

Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico y estrategias de mitigación en América Latina*

Status of research on enteric methane emissions and mitigation strategies in Latin America

Mohammed Benaouda¹, Manuel González Ronquillo¹, Luisa T. Molina² y Octavio Alonso Castelán Ortega^{1§}

¹Facultad de Veterinaria y Zootecnia-Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario Núm. 100. Colonia Centro, Toluca, México. CP. 50000, ²Molina Center for Energy and the Environment. 3252 Holiday Ct, Suite 223. La Jolla, United States of America. CA. 92037. §Autor para correspondencia: oaco2002@yahoo.com.mx.

Resumen

La medición de la emisión de gases de efecto invernadero es altamente relevante en la evaluación del impacto ambiental de los sistemas agropecuarios. El metano producido por la fermentación entérica de los rumiantes representa una parte importante de todas las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero en América Latina, donde hay una gran producción de rumiantes. Actualmente, los esfuerzos de los países latinoamericanos están enfocados más en la cuantificación de las emisiones de metano y el cálculo de los inventarios nacionales que en la mitigación. En este ensayo se exponen los datos obtenidos hasta ahora en diferentes experimentos, en términos de determinación *in vivo* de las emisiones de metano en los países de América Latina. Esto, con la intención de discutir y dar a conocer el panorama actual y los avances de la zona en cuanto a la medición del impacto ambiental de este gas y el desarrollo de estrategias para reducir su producción por los rumiantes. Finalmente se marcan los retos que se enfrenta en el futuro la investigación sobre el tema.

Palabras clave: América Latina, gases de efecto invernadero, metano entérico, rumiantes.

Abstract

Measurement of greenhouse gas emissions is highly relevant in assessing the environmental impact of agricultural systems. Methane produced by enteric fermentation of ruminants represents an important part of all anthropogenic emissions of greenhouse gases in Latin America, where there is a large production of ruminants. Currently, the efforts of Latin American countries are focused more on the quantification of methane emissions and the calculation of national inventories than on mitigation. In this paper the data obtained so far in different experiments, in terms of *in vivo* determination of methane emissions in the countries of Latin America are exposed. This, with the intention of discussing and making known the current panorama and the zone progress in terms of measurement of the environmental impact of this gas and the development of strategies to reduce its production by ruminants. Finally the challenges that are faced in the future in the investigation on the subject are marked.

Keywords: enteric methane, greenhouse gases, Latin America, ruminants.

* Recibido: marzo de 2017
Aceptado: junio de 2017

Introducción

La agricultura aporta alrededor de 13% de la emisión total de gases de efecto invernadero (GEI) en el mundo, 50% del metano (CH₄) y 60 a 80% del óxido nitroso (N₂O) liberado (IPCC, 2014). Las emisiones de metano se originan principalmente de la fermentación entérica de los rumiantes y de los cultivos inundados de arroz. América Latina y el Caribe (ALC) contribuyen con menos del 9.1% de las emisiones antropogénicas globales total de gases de efecto invernadero, ocupando el cuarto lugar detrás de Asia, Europa y América del Norte, sucesivamente (Figura 1).

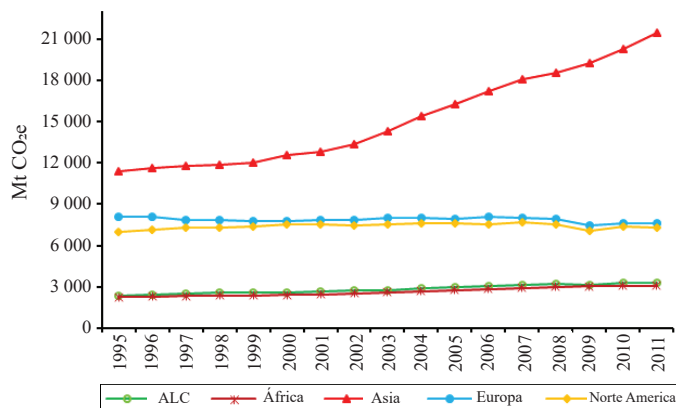


Figura 1. Emisiones totales de gases de efecto invernadero en América Latina y el Caribe, África, Asia, Europa y Norte América de 1995-2011 (Mt CO₂e= megatonnes de equivalente de CO₂). Fuente: Instituto de Recursos Mundiales (CAIT, 2011).

Figure 1. Total emissions of greenhouse gases in Latin America and the Caribbean, Africa, Asia, Europe and North America of 1995-2011 (Mt CO₂e= megatons of CO₂ equivalent). Source: Institute of World Resources, (CAIT, 2011).

Del mismo modo, la Figura 2 muestra que la región de LAC produce 14% de las emisiones de CH₄ total mundial (World Resources Institute 2014). Brasil, México, Argentina y Colombia contribuyen con los volúmenes más grandes de GEI en la zona, 44.7%, 22.8, 13.7 y 7%, respectivamente. De igual manera, estos países contribuyen con grandes cantidades de metano a escala mundial (Figura 3), Brasil y México ocupan el quinto y el octavo lugar de los países más productores de metano en el mundo.

Introduction

Agriculture contributes about 13% of the total emission of greenhouse gases (GHGs) in the world, 50% of methane (CH₄) and 60 to 80% of nitrous oxide (N₂O) released (IPCC, 2014). Methane emissions originate mainly from the enteric fermentation of ruminants and flooded rice crops. Latin America and the Caribbean (LAC) contribute less than 9.1% of total global anthropogenic emissions of greenhouse gases, ranking fourth behind Asia, Europe and North America (Figure 1).

Similarly, Figure 2 shows that the LAC region produces 14% of CH₄ emissions worldwide total (World Resources Institute 2014). Brazil, Mexico, Argentina and Colombia contribute the largest GHG volumes in the area, 44.7%, 22.8, 13.7 and 7%, respectively. Similarly, these countries contribute large amounts of methane worldwide (Figure 3), Brazil and Mexico occupy the fifth and eighth place in the world's most methane-producing countries.

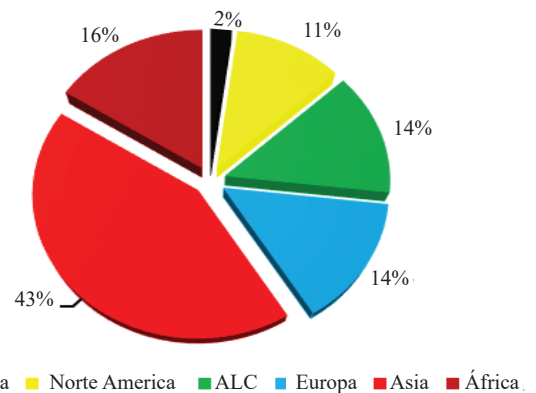


Figura 2. Contribución regional de las emisiones de metano en 2011. Fuente: Instituto de Recursos Mundiales (CAIT, 2011).

Figure 2. Regional contribution of methane emissions in 2011. Source: World Resources Institute (CAIT, 2011).

Ruminants are a major source of methane released in the atmosphere, producing about 33% of the anthropogenic methane emissions (Eckard *et al.*, 2010). Methane is a natural byproduct of digestion of ruminants, where methanogenic archaea bacteria present in the rumen use the CO₂ and H₂ originated from the microbial fermentation of plant fiber to form methane and reduce accumulation of H₂ in the rumen.

Los rumiantes son una de las principales fuentes de metano liberado en la atmósfera, ya que producen alrededor de 33% del total de las emisiones antropogénicas de metano (Eckard *et al.*, 2010). El metano es un subproducto natural del proceso digestivo de los rumiantes, donde las bacterias arqueas metanogénicas presentes en el rumen usan el CO₂ y H₂ que se originan a partir de la fermentación microbiana de la fibra de las plantas, para formar metano y reducir la acumulación de H₂ en el rumen.

El metano no se usa por el animal como fuente de energía y se elimina a través de los pulmones o el eructo hacia la atmósfera (Crutzen *et al.*, 2006). Por lo tanto, la producción de metano en rumiantes representa una pérdida de energía para el sistema, la cual puede llegar a representar hasta 7% del total de la energía bruta ingerida por el animal en un día (Hristov *et al.*, 2013). Así, que el desarrollo de estrategias para reducir la producción de metano en el rumen puede, por un lado, contribuir a mitigar los efectos del metano sobre el cambio climático, y de otro lado traer beneficios económicos a los ganaderos al hacer animales más eficientes en cuanto al uso de la energía de los alimentos.

Avances en medición de misiones de metano a partir de la fermentación entérica de los rumiantes en América latina y el Caribe

Actualmente la mayoría de los esfuerzos en la región de ALC para reducir el metano producido por los rumiantes están enfocados a la cuantificación de los volúmenes de la emisión, la determinación de los factores de emisión y el cálculo de los inventarios nacionales, mientras que pocos estudios se han concentrado en el desarrollo estrategias de mitigación. Esto se debe a que fue hasta hace poco que los gobiernos y los científicos de la zona se dieron cuenta de la importancia del papel que desempeñan el ganado bovino, ovino y caprino en la producción y la emisión de grandes cantidades de metano hacia la atmósfera y de sus influencias en el cambio climático. De hecho, la primera conferencia regional sobre gases de efecto invernadero provenientes de la agricultura tuvo lugar en Chile en 2014. La situación en ALC contrasta grandemente con países de Europa, Norte América y algunos de Oceanía donde se han realizado un gran número de estudios sobre el tema desde hace ya varias décadas (Blaxter y Clapperton, 1965).

La literatura revisada por los autores del presente estudio muestra que las primeras iniciativas para conocer la magnitud del problema, están encaminadas hacia el

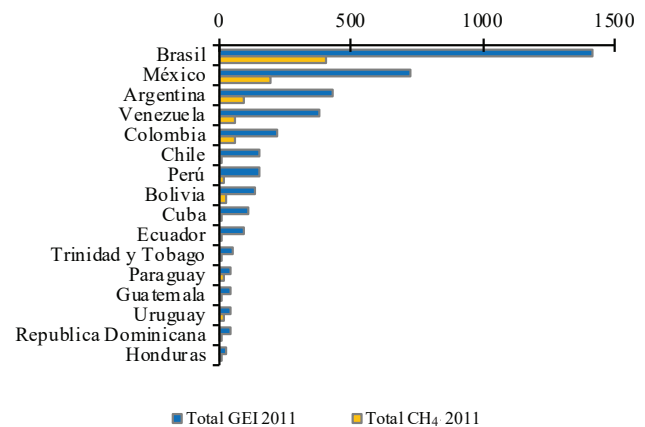


Figura 3. Emisiones totales de metano en relación con la emisión total de gases de efecto invernadero en los principales países de América Latina y el Caribe (CAIT, 2011). Mt CO₂e= megatoneladas de CO₂ equivalente.

Figure 3. Total emissions of methane in relation to total greenhouse gas emissions in the main countries of Latin America and the Caribbean (CAIT, 2011). Mt CO₂e= Megatons of CO₂ equivalent.

Methane is not used by the animal as an energy source and excreted through the lungs or belching into the atmosphere (Crutzen *et al.*, 2006). Therefore, the methane production in ruminants represents a loss of energy for the system, which can represent up to 7% of the gross energy ingested by the animal in a day (Hristov *et al.*, 2013). Thus, the development of strategies to reduce methane production in the rumen can, on one hand, help mitigating the effects of methane on climate change, and on the other hand bring economic benefits to farmers by making animals more efficient in the use of food energy.

Advances in methane emissions measurement from the enteric fermentation of ruminants in Latin America and the Caribbean

Currently, most efforts in the LAC region to reduce methane produced by ruminants are focused on quantification of emission volumes, determination of emission factors and calculation of national inventories, while few studies have focused on the development of mitigation strategies. This is because it was not until recently that governments and scientists in the area realized the importance of the role of cattle, sheep and goats in the production and emission of large quantities of methane into the atmosphere and its

desarrollo de las instalaciones y la infraestructura, que permitirá a los investigadores medir las emisiones de metano y así generar la línea base en la que los gobiernos locales podrán negociar los compromisos de mitigación dentro de los protocolos internacionales vigentes. Los inventarios de emisiones fiables reducirán la incertidumbre actual y permitirán el seguimiento de las emisiones de los sistemas de producción pecuaria antes y después de la implementación de estrategias de mitigación, por lo que la reducción de las emisiones puede ser corroborada y la eficacia de la estrategia evaluada.

La generación de factores locales de emisión de metano por los rumiantes es un reto emergente para los países de la región de ALC, ya que exige instalaciones costosas, equipo científico y un importante número de experimentos con un gran número de animales durante periodos de tiempo relativamente largos que permiten una caracterización precisa de las emisiones. Una revisión de la literatura disponible revela un pequeño número de estudios sobre el tema, a pesar de que los sectores, agricultura y ganadería, son dos de las principales actividades económicas de la región.

Uno de los primeros estudios sobre la emisión de metano en América Latina se realizó en Argentina, un país con 51 millones de cabezas de ganado, por Bárbaro *et al.* (2008). Dichos autores utilizaron la técnica de hexafluoruro de azufre (SF₆) (Johnson *et al.*, 1994) para medir la emisión de metano en un grupo de novillos de raza Aberdeen Angus de 14 meses de edad. La mitad de ellos estaban pastoreando un pasto nativo y la otra mitad un pasto cultivado, dominado por raigrás (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*).

El estudio se llevó a cabo en una región de clima templado de Argentina. La producción de metano registrada fue de 227 y 248 L de CH₄ cabeza⁻¹ día⁻¹, respectivamente, y una ganancia media diaria de peso para ambos grupos de 1.3 kg día⁻¹. En un experimento similar llevado a cabo por Bualo *et al.* (2014) con 20 vacas de carne de un peso vivo promedio de 382 kg, la mitad de las vacas tuvo acceso durante seis horas a una pradera de gramíneas y leguminosas mixta y la otra mitad tuvo acceso a una pradera de sorgo (*Sorghum* spp.) también durante seis horas. La técnica SF₆ fue utilizada también en este experimento y las emisiones promedio de metano fueron muy parecidas al experimento anterior, del orden de 291 y 234 L vaca⁻¹ día⁻¹, respectivamente.

influences on climate change. In fact, the first regional conference on greenhouse gases from agriculture took place in Chile in 2014. The situation in LAC contrasts sharply with countries in Europe, North America and some in Oceania where a large number of studies have been carried out on the theme for several decades (Blaxter and Clapperton, 1965).

The literature reviewed by the authors of this research shows that the first initiatives to know the magnitude of the problem, are directed towards the development of facilities and infrastructure, that will allow the researchers to measure the emissions of methane and thus generate the baseline in which the local governments will be able to negotiate the mitigation commitments within the existing international protocols. Reliable emissions inventories will reduce current uncertainty and allow monitoring of emissions from livestock production systems before and after the implementation of mitigation strategies, thus emissions reduction can be corroborated and the strategy effectiveness evaluated.

The generation of local factors of methane emission by ruminants is an emerging challenge for the countries of the LAC region, as it requires costly installations, scientific equipment and a large number of experiments with a large number of animals over relatively long periods of time that would allow an accurate characterization of emissions. A review of available literature reveals a small number of studies on the subject, although the agriculture and livestock sectors, are two of the main economic activities of the region.

One of the first studies on methane emission in Latin America took place in Argentina, a country with 51 million head of cattle, by Bárbaro *et al.* (2008). These authors used the technique of sulfur hexafluoride (SF₆) (Johnson *et al.*, 1994) to measure the methane emission in a group of Aberdeen Angus steers 14 months old. Half of them were grazing native pasture and half cultivated grass, dominated by ryegrass (*Lolium perenne*) and white clover (*Trifolium repens*).

The study was carried out in a temperate climate region of Argentina. Methane production recorded was 227 and 248 L of CH₄ head⁻¹ day⁻¹, respectively, and an average daily weight gain for both groups of 1.3 kg day⁻¹. In a similar experiment carried out by Bualo *et al.* (2014) 20 beef cows with an average weight of 382 kg, half the cows had access for six hours at a grasses and legumes meadow and the other half had access to a sorghum (*Sorghum* spp.) meadow also for six hours. The SF₆ technique was also used in this

En Chile Muñoz *et al.* (2015) realizaron uno de los primeros estudios para medir la producción de metano entérico por el ganado lechero en pastoreo en ese país. De igual manera, utilizaron la técnica de SF₆ en 24 vacas pastando en una pradera de raigrás. Estos autores han observado que el aumento del nivel de suplementación con concentrado de 1 kg a 5 kg vaca⁻¹ día⁻¹, ha resultado en un incremento en la producción de leche y la producción total de metano al pasar de 452 a 500 L CH₄ vaca⁻¹ día⁻¹, respectivamente, sin afectar la producción de metano por unidad de leche producida.

En un estudio similar, Herrera *et al.* (2014) evaluaron el efecto de la suplementación con concentrado sobre la producción de metano por las vacas Holstein multíparas con un peso vivo promedio de 597 kg en su etapa final de la lactancia (15 kg leche vaca⁻¹ día⁻¹) que pastaban en una pradera de *Lolium perenne*. Estos autores utilizaron la técnica SF₆ para medir la producción de metano y dos niveles de suplementación de concentrados, 4 y 8 kg vaca⁻¹ día⁻¹. Como en el estudio anterior, sus resultados también mostraron que los niveles crecientes de concentrado resultaron en más metano producido, el cual pasó de 406 L vaca⁻¹ día⁻¹ en las vacas que recibieron 4 kg de concentrado a 449 L vaca⁻¹ día⁻¹ en aquellas con 8 kg de concentrado. Sin embargo, en este estudio se ha producido menos metano ($p < 0.05$) por kilogramo de ración total mezclada consumida por vaca en el tratamiento con 8 kg de concentrado que en el tratamiento con 4 kg de concentrado (29.5 vs 33 L CH₄ kg⁻¹ de dieta).

Brasil es un caso especial porque tiene el mayor rebaño comercial de bovinos en el mundo, con más de 212 millones de cabezas, por lo que la fermentación entérica de esta especie ganadera es responsable de más de 73% de todo el metano antropogénico producido en ese país (Cerri *et al.*, 2009). Esta situación puede explicar por qué Brasil es uno de los pocos países de la región que ha invertido en la construcción y operación de cámaras de respiración para medir *in vivo* la producción de metano y otros estudios colorimétricos tendientes a evaluar diversas alternativas para mitigar la emisión de metano por el ganado.

Por ejemplo, un estudio fue realizado por Gonçalves *et al.* (2014) con el fin de determinar el efecto de la calidad de un ensilaje hecho con el forraje Bermuda var. Tifton 85 en diferentes etapas de crecimiento (25, 45, 56, 74 y 90 días), sobre la producción de metano por ovejas adultas. En dicho estudio utilizaron 25 ovejas con un peso vivo promedio de 46.5 kg y la emisión de metano fue medida con un sistema

experiment and the average methane emissions were very similar to the previous experiment, within the range of 291 and 234 L cow⁻¹ day⁻¹, respectively.

In Chile Muñoz *et al.* (2015) conducted one of the first studies to measure enteric methane production by dairy cattle grazing in that country. Similarly, they used the SF₆ technique in 24 cows grazing in a ryegrass meadow. These authors observed that increasing the level of supplementation with concentrated of 1 kg to 5 kg cow⁻¹ day⁻¹ has resulted in an increase in milk production and the total production of methane going from 452-500 L CH₄ cow⁻¹ day⁻¹, respectively, without affecting the methane production per unit of milk produced.

In a similar study, Herrera *et al.* (2014) evaluated the effect of concentrate supplementation on methane production by multiparous Holstein cows with an average live weight of 597 kg in their final stage of lactation (15 kg milk cow⁻¹ day⁻¹) grazing in a *Lolium perenne* meadow. These authors used the SF₆ technique to measure methane production and two levels of concentrate supplementation, 4 and 8 kg cow⁻¹ day⁻¹. As in the previous study, their results also showed that increasing levels of concentrate resulted in more methane produced, going from 406 L cow⁻¹ day⁻¹ in cows receiving 4 kg of concentrate to 449 L cow⁻¹ day⁻¹ in those with 8 kg of concentrate. However, in this paper less methane has been produced ($p < 0.05$) per kilogram of total mixed ration consumed per cow in the treatment with 8 kg of concentrate than on the treatment with 4 kg concentrate (29.5 vs 33 L CH₄ kg⁻¹ diet).

Brazil is a special case because it has the largest commercial herd of cattle in the world, with more than 212 million head, reason why the enteric fermentation of this cattle species is responsible for more than 73% of all the anthropogenic methane produced in that country (Cerri *et al.*, 2009). This situation may explain why Brazil is one of the few countries in the region that has invested in the construction and operation of respiration chambers to measure *in vivo* the methane production and other colorimetric studies tending to evaluate various alternatives to mitigate methane emissions by livestock.

For example, a study conducted by Gonçalves *et al.* (2014) in order to determine the effect of the quality of silage made with Bermuda var. Tifton 85 forage in different growth stages (25, 45, 56, 74 and 90 days), on the production of methane by adult sheep. In this study, 25 sheep were used

de calorimetría indirecta de circuito abierto. Sus resultados no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos para el consumo de materia seca (MS) ($1.081 \text{ g MS cabeza}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y la producción de metano ($23.8 \text{ L cabeza}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

En un estudio similar también con ovejas, Machado *et al.* (2011) evaluaron el efecto de ensilaje de sorgo hecho con tres variedades diferentes de sorgo en tres diferentes etapas de crecimiento en la producción de metano. Encontraron que las emisiones de metano variaron, sin significancia estadística ($p > 0.05$), de 13.6 a $24.4 \text{ L cabeza}^{-1} \text{ día}^{-1}$, mientras que el consumo varió entre 832 y $911 \text{ g MS cabeza}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en ovejas de 47.5 kg de peso vivo.

En cuanto al ganado lechero en las regiones tropicales de Brasil, Primavesi *et al.* (2004) reportaron que la emisión de metano por las vacas Holstein pastando pasto *Brachiaria* spp., varió de 564 , 389 y $294 \text{ L cabeza}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en vacas lactantes, vacas secas y novillas, respectivamente. En el mismo orden, el consumo de materia seca fue 16 , 12 y $9.5 \text{ kg MS cabeza}^{-1} \text{ día}^{-1}$, lo cual confirma lo reportado por Machado *et al.* (2009) con respecto a la relación entre el consumo de MS y la producción de metano.

Por otro lado, encontraron que la producción de metano en vacas Holstein*Cebú no difiere ($p > 0.05$) de las emisiones observadas en vacas Holstein puras, por ejemplo, 463 , 413 y $286 \text{ L cabeza}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en vacas lactantes, vacas secas y novillas, respectivamente. En contraste, en un segundo experimento llevado a cabo por el mismo grupo de investigadores en Brasil compararon de nuevo la cantidad de metano producida por vacas de raza pura Holstein frente a vacas Holstein*Cebú (Pedreira *et al.*, 2009). Estos investigadores reportaron que las vacas Holstein producen más metano ($p < 0.05$) que las vacas híbridas, 419 L día^{-1} vs 376 L día^{-1} , respectivamente, a pesar del hecho de que ambos grupos de vacas recibieron la misma dieta. Los resultados de este segundo experimento sugieren que la raza podría ser un factor determinante para la producción de metano y se debe considerar en el cálculo de los inventarios de la región.

En el caso del ganado vacuno de carne en Brasil, Demarchi *et al.* (2003) observaron factores de emisión relativamente menor en las vacas Nellore en comparación con las vacas lecheras, ya que éstos variaron desde 143 hasta $308 \text{ L vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Los mismos autores lograron reducir la producción de metano a $93.5 \text{ L cabeza}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en vacas Nellore adicionando 7% de grasa en la dieta, como el aceite de palma o soja.

with an average live weight of 46.5 kg and the methane emission was measured with an indirect open circuit calorimetry system. Their results showed no significant difference ($p > 0.05$) among treatments for the consumption of dry matter (DM) ($1.081 \text{ g DM head}^{-1} \text{ day}^{-1}$) and methane production ($23.8 \text{ L head}^{-1} \text{ day}^{-1}$).

In a similar study also with sheep, Machado *et al.* (2011) evaluated the effect of sorghum silage made with three different varieties of sorghum in three different growth stages in methane production. They found that methane emissions varied without statistical significance ($p > 0.05$) from 13.6 to $24.4 \text{ L head}^{-1} \text{ day}^{-1}$, while the consumption varied between 832 and $911 \text{ g DM head}^{-1} \text{ day}^{-1}$ on sheep of 47.5 kg live weight.

As for the dairy cattle in tropical regions of Brazil, Primavesi *et al.* (2004) reported that the methane emission of Holstein cows grazing *Brachiaria* spp., ranged from 564 , 389 and $294 \text{ L head}^{-1} \text{ day}^{-1}$ in lactating cows, dry cows and heifers, respectively. In the same order, the dry matter intake was 16 , 12 and $9.5 \text{ kg DM head}^{-1} \text{ day}^{-1}$, confirming that reported by Machado *et al.* (2009) regarding the relationship between DM consumption and methane production.

Furthermore, they found that methane production in Holstein*Zebu cows is not different ($p > 0.05$) from emissions observed in pure Holstein cows, for example, 463 , 413 and $286 \text{ L head}^{-1} \text{ day}^{-1}$ in lactating cows, dry cows and heifers, respectively. In contrast, in a second experiment carried out by the same group of researchers in Brazil, compared again the amount of methane produced by purebred Holstein cows against Holstein*Zebu cows (Pedreira *et al.*, 2009). These researchers reported that Holstein cows produce more methane ($p < 0.05$) than the hybrid cows, 419 L day^{-1} vs 376 L day^{-1} , respectively, despite the fact that both groups of cows received the same diet. The results of the second experiment suggest that the race might be a determining factor for the production of methane and should be considered in the calculation of the inventories of the region.

In the case of beef cattle in Brazil, Demarchi *et al.* (2003) observed relatively lower emission factors in Nellore cows compared to dairy cows, which ranged from 143 to $308 \text{ L cow}^{-1} \text{ day}^{-1}$. The same authors managed to reduce methane production to $93.5 \text{ L head}^{-1} \text{ day}^{-1}$ in Nellore cows by adding 7% fat in the diet, such as palm or soybean oil. However, these authors do not recommend the use of palm oil because it had negative effects on voluntary intake and animal yield

Sin embargo, estos mismos autores no recomiendan el uso de aceite de palma, ya que tiene efectos negativos sobre el consumo voluntario y el rendimiento de los animales (Demarchi *et al.* 2003). Por otra parte, los factores de emisión más altos fueron reportados por Canesin *et al.* (2014) en novillos Nellore adultos de 399 kg de peso vivo, pastando *Brachiaria brizantha*, suplementado con pulpa de cítricos, torta de semilla de algodón y urea. La cantidad de metano producido por los novillos Nellore adultos varió entre 316 y 355 L día⁻¹ para un consumo promedio de 7.7 kg MS.

En México los avances en la estimación de los factores de emisión y los inventarios han sido limitados, sin duda es el más rezagado de los grandes países ganaderos de la región, los pocos trabajos que existen están basados en estudios *in vitro* (González y Ruiz, 1995) y modelación (Castelán *et al.*, 2013), estos últimos autores estiman que el metano producido por los 32 millones de cabezas de ganado en México está cerca de dos tera gramos. Fue hasta 2014 que las dos primeras cámara de la respiración se construyeron en la Universidad Autónoma de Yucatán en el sur de México.

El nuevo equipo permite medir *in vivo* las emisiones de metano en ovinos y bovinos en las regiones de clima tropical del sur de México. Los resultados de los primeros experimentos llevados a cabo sugieren que la producción de metano de ganado Cebú alimentado con gramíneas tropicales oscila entre 74 L cabeza⁻¹ día⁻¹ en animales jóvenes con un consumo promedio de 4.4 kg MS día⁻¹ y 348 L cabeza⁻¹ día⁻¹ en vacas adultas. Los factores de emisión de las ovejas varían desde 21 hasta 34 L cabeza⁻¹ día⁻¹ (Ku-Vera 2014, Com. Pers.).

Por último, los factores de emisión en Uruguay donde el ganado supera en número a las personas (3.6:1), se encuentran entre los más altos de la región. Por ejemplo, Dini *et al.* (2012) mencionaron que las vacas Holstein adultas de un peso vivo promedio de 536 kg alimentadas con pasto y leguminosas (76% *Lolium multiflorum* y 24% *Lotus corniculatus*) puede producir hasta 521 L cabeza⁻¹ día⁻¹. Estos volúmenes pueden atribuirse a una dieta rica en forrajes porque la mayor parte de la producción de ganado en el país se basa en el pastoreo de praderas nativas y mejoradas.

Avances en la mitigación de emisiones de metano a partir de la fermentación entérica

Algunos estudios han sido realizados en la región para reducir la fermentación entérica en ruminantes con el uso de aceites y plantas taníferas con resultados variables. Por ejemplo en

(Demarchi *et al.*, 2003). Moreover, the higher emission factors were reported by Canesin *et al.* (2014) in adults Nellore steers of 399 kg live weight, grazing *Brachiaria brizantha*, supplemented with citrus pulp, cotton seed cake and urea. The amount of methane produced by adult Nellore steers ranged from 316 to 355 L day⁻¹ for an average intake of 7.7 kg DM.

In Mexico advances in estimating emission factors and inventories have been limited, it is certainly the most backward of the great cattle countries in the region, the few jobs that exist are based on *in vitro* studies (González and Ruiz, 1995) and modeling (Castelán *et al.*, 2013), these authors estimate that the methane produced by the 32 million head of cattle in Mexico is about two tera grams. It was until 2014 that the first two breathing rooms were built at the Autonomous University of Yucatán in southern Mexico.

The new equipment allows to measure *in vivo* methane emissions in sheep and cattle in tropical regions of southern Mexico. The results of the first experiments carried out suggest that Cebu cattle methane production fed with tropical grasses ranges from 74 L head⁻¹ day⁻¹ in young animals with an average consumption of 4.4 kg DM day⁻¹ and 348 L head⁻¹ day⁻¹ in adult cows. The sheep emission factors range from 21 to 34 L head⁻¹ day⁻¹ (Ku-Vera 2014, Com. Pers.).

Finally, the emission factors in Uruguay where cattle outnumber people in a ratio of 3.6 to 1 are among the highest in the region. For example, Dini *et al.* (2012) reported that adult Holsteins with an average live weight of 536 kg fed with grass and legumes (76% *Lolium multiflorum* and 24% *Lotus corniculatus*) can produce up to 521 L head⁻¹ day⁻¹. These high volumes can be attributed to a diet rich in forage because most of the cattle production in the country is based on the grazing of native and improved grasslands.

Advances in the mitigation of methane emissions from enteric fermentation

Some studies have been carried out in the region to reduce enteric fermentation in ruminants with the use of oils and tannery plants with variable results. For example, in Colombia, Rodríguez *et al.* (2014) evaluated using the poli-tunnel technique (Murray *et al.*, 2007), the *in vivo* effect of the addition of oregano oil (*Lippia origanoides*) on methane production by Holstein heifers. Oregano oil is known to inhibit methanogenesis in the rumen due to

Colombia, Rodríguez *et al.* (2014) evaluaron, con el uso de la técnica de politúnel (Murray *et al.*, 2007), el efecto *in vivo* de la adición de aceite de orégano (*Lippia organoides*) sobre la producción de metano por vaquillas Holstein. Se sabe que el aceite de orégano inhibe la metanogénesis en el rumen por su efecto directo sobre el crecimiento de bacterias archae metanogénicas sin afectar a la degradación de la fibra de los forrajes. Sin embargo, estos autores no reportaron un efecto significativo ($p > 0.05$) por la adición de 25 mg kg⁻¹ de MS de aceite de orégano esencial sobre la producción de metano (175 L cabeza⁻¹ día⁻¹) en novillas alimentadas con una dieta base compuesta de 83% pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y 17% de concentrado comercial, en comparación con aquellas que no recibieron el aceite de orégano (192 L cabeza⁻¹ día⁻¹).

En Argentina, Martínez *et al.* (2014), en un estudio *in vitro*, evaluaron el potencial anti-metanogénico del aceite esencial extraído de cuatro plantas nativas: *Aloysia gratissima*, *Lippia turbinata*, *Schinus molle* y *Tagetes minutas* en comparación con monensina, un antibiótico que ha demostrado su eficacia en reducir la formación de metano en el rumen. Se observó que bajas dosis de *Lippia* (100 mg L⁻¹ de medio de incubación) y dosis medias de *Aloysia* producen un efecto similar a la monensina sin afectar a la digestibilidad de la fibra del forraje. En México Ayala *et al.* (2014) reportaron que la adición de 450 g MS cabeza⁻¹ día⁻¹ de una harina preparada con el fruto del árbol de Parota (*Enterolobium cyclocarpum*) a la dieta de ovejas Pelibuey*Katahdin, reduce las emisiones de metano hasta 36% en relación con la dieta control.

Otras estrategias de mitigación de las emisiones de metano entérico utilizadas en ALC incluyen el uso de leguminosas arbóreas y arbustos integrados en los sistemas silvopastoriles, se cree que es una forma sostenible de la producción en comparación con los sistemas tradicionales. Los arbustos mejoran la calidad nutricional de la dieta del ganado en pastoreo, mediante el aumento de la concentración de proteína, y reduce la producción de metano por efecto de los metabolitos secundarios como taninos y saponinas presentes en las plantas. Por ejemplo, Mayorga *et al.* (2014) utilizaron la técnica de poli-túnel para evaluar el efecto de *Guazuma ulmifolia*, una planta leguminosa arbustiva, sobre la emisión de metano por novillos Cebú de 10 meses de edad y 191 kg de peso vivo. Observaron que la adición de 30% guazuma en una dieta basal del forraje *Panicum maximum* reduce la emisión de metano a 320 L cabeza⁻¹ día⁻¹ en comparación con la dieta control que produce 368 L día⁻¹. La dieta experimental también incrementó un 17.5% el consumo diario de materia seca.

its direct effect on the growth of archaean methanogenic bacteria without affecting the degradation of forage fiber. However, these authors reported a significant effect ($p > 0.05$) by the addition of 25 mg kg⁻¹ of DM of essential oil oregano on methane production (175 L head⁻¹ day⁻¹) in heifers fed on a diet composed of 83% pennisetums (*Pennisetum clandestinum*) and 17% commercial concentrate, compared to those who did not received oregano oil (192 L head⁻¹ day⁻¹).

In Argentina, Martínez *et al.* (2014), in an *in vitro* study evaluated the anti-methanogenic potential of essential oil extracted from four native plants: *Aloysia gratissima*, *Lippia turbinata*, *Schinus molle* and *Tagetes minutas* compared with monensin, an antibiotic that has proven effective in reducing the formation of methane in the rumen. It was observed that low dose *Lippia* (100 mg L⁻¹ of incubation medium) and mean doses of *Aloysia* show a similar effect to monensin without affecting digestibility of forage fiber. In Mexico Ayala *et al.* (2014) reported that the addition of 450 g DM head⁻¹ day⁻¹ of a meal prepared with the fruit of Parota tree (*Enterolobium cyclocarpum*) to the diet of Pelibuey*Katahdin sheep, reduces methane emissions up to 36% compared with the control diet.

Other strategies to mitigate enteric methane emissions used in LAC include the use of tree legumes and shrubs integrated in silvopastoral systems, which is believed to be a more sustainable form of production compared to traditional livestock systems. Shrubs improve the nutritional quality of grazing cattle diet, usually by increasing protein concentration, and help reduce methane production by the effect of secondary metabolites such as tannins and saponins present in these plants. For example, Mayorga *et al.* (2014) used the poly-tunnel technique to evaluate the effect of *Guazuma ulmifolia*, shrubby leguminous plant, on methane emission of Zebu steers of 10 months old and 191 kg liveweight. They observed that addition of 30% guazuma in a basal diet of *Panicum maximum* fodder reduces the emission of methane to 320 L head⁻¹ day⁻¹ compared to the control diet producing 368 L day⁻¹. The experimental diet also increased daily consumption of dry matter by 17.5%.

Finally, *Leucaena leucocephala*, a tropical legume native from Mexico, has also proven to be effective in reducing methane emissions by ruminants in tropical regions of LAC. Moreira *et al.* (2013) used the SF₆ technique to determine the effect of leucaena in methane production by St. Agnes lambs of eight months old and 28 kg liveweight. The lambs

Por último, *Leucaena leucocephala*, leguminosa tropical originaria de México, ha mostrado ser eficaz en la reducción de las emisiones de metano por los rumiantes en regiones tropicales de ALC. Moreira *et al.* (2013) utilizaron la técnica de SF₆ para determinar el efecto de la leucaena en la producción de metano por corderos en Santa Inés de ocho meses y 28 kg de peso vivo. Los corderos en el grupo experimental recibieron una dieta compuesta 5% harina de soja, 3% de maíz y 82% leucaena, mientras que los corderos en el grupo de control recibieron una dieta con 71% de harina de soja y 29% de maíz.

Los resultados mostraron que la leucaena reduce la producción de metano hasta el 30%, pero también a reduce el consumo de materia seca, 616 y 820 g MS cabeza⁻¹ día⁻¹, respectivamente, lo cual se explica por la elevada concentración de leucaena en la dieta experimental. Por otra parte, los altos niveles de leucaena en la dieta pueden aumentar la concentración de nitrógeno en la orina y las heces de animales, que más tarde pueden ser convertidos a óxido nitroso (N₂O), un poderoso gas de efecto invernadero, por las bacterias en el suelo. El potencial de la leucaena para reducir la producción de metano entérico es prometedor; sin embargo, se necesita más investigación antes de llegar a resultados concluyentes, en particular, debido a sus efectos sobre el rendimiento de los animales a altos niveles de inclusión y su potencial de producción de N₂O, también un contaminante potente.

Conclusiones

La información presentada en el presente documento sugiere que existe la necesidad urgente de ampliar la información sobre los factores de emisión, inventarios y estrategias de mitigación para las diferentes especies de rumiantes en los países de América Latina y el Caribe, pues en general estos países están muy por detrás de países europeos y de América del Norte. Esta información servirá para orientar el desarrollo de las políticas de mitigación y reducir la incertidumbre en los inventarios de metano para la región.

Literatura citada

Ayala, A.; Albores, M. S.; Alayón, G. J.; Aguilar, P. C.; Solorio, S. F.; Ramírez, L. V.; Magaña, M. J. y Ku, V. J. 2014. Efecto del fruto molido de *Enterolobium cyclocarpum* Jacq Griseb. sobre la población de protozoarios y la producción de metano en el rumen de ovinos de pelo. *In*: proceeding of primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica. 105-104 pp.

in the experimental group received a compound 5% soybean meal, 3% corn and 82% leucaena diet while the lambs in the control group received a diet with 71% soybean meal and 29% corn.

The results showed that leucaena reduces the production of methane up to 30%, but also to reduce the consumption of dry matter, 616 and 820 g DM head⁻¹ day⁻¹ respectively matter which is possibly explained by the high concentration of leucaena in the experimental diet. Moreover, high levels of leucaena on the diet might increase nitrogen concentration in the urine and feces of animals, which can be later converted to nitrous oxide (N₂O), a powerful greenhouse gas by bacteria in the soil. The potential of leucaena to reduce enteric methane production is promising; however, more research is needed before reaching conclusive results, in particular because of its effects on animal performance at high inclusion levels and its potential for N₂O production, also a potent pollutant.

Conclusions

The information showed in this paper suggests that there is an urgent need to expand information on emission factors, inventories and mitigation strategies for different species of ruminants in the countries of Latin America and the Caribbean, as these countries are generally far behind from European and North America countries. This information will guide the development of mitigation policies and reduce uncertainty in methane inventories for the region.

End of the English version



- Bárbaro, N.; Gere, R.; Gratton, R.; Rubio, R. and Williams, K. 2008. First measurements of methane emitted by grazing cattle of the Argentinean beef system. New Zealand. New Zealand J. Agric. Res. 51(2):209-219.
- Blaxter, K. L. and Clapperton J. L. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. British J. Nutr. 19:511-522.
- Bualo, R.; Gere, J.; Pierini, A.; Arias, R.; Ortega, F.; Wulff, A. y Berra, G. 2014. Determinación y comparación de factores de emisión de metano entérico para vacas de cría en condiciones de pastoreo con dos dietas diferentes. *In*: proceeding of primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica. Alfaro, M. V.; González, S. M.; Hube, S. S.; Muñoz, C. M.; Pinares, P. C. y Ungerfeld, E. Núm. 54. INIA. Chile. 103-104 pp.

- Canesin, C. R.; Berchielli, T. T.; Messana, J. D.; Baldi, F.; Pires, A. P.; Frighetto, R. T. S.; Fiorentini, G. and Reis, R. A. 2014. Effects of supplementation frequency on the ruminal fermentation and enteric methane production of beef cattle grazing in tropical pastures. *Brazil. Rev. Bras. Zoot.* 43(11):590-600.
- Cerri, C. C.; Maia, S. M. F.; Galdos, M. V.; Cerri, C. E. P.; Feigl, B. J. and Bernoux, M. 2009. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. *Brazil. Sci. Agric.* 66(6):831-843.
- Crutzen, P. J.; Sanhueza, E. and Brenninkmeijer, C. A. M. 2006. Methane production from mixed tropical savanna and forest vegetation in Venezuela. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions.* 6(2):3093-3097.
- Demarchi, J. J. A. A.; Manella, M. Q.; Lourenço, A. J.; Alleoni, G. F.; Frighetto, R. S.; Primavesi, O. and Lima, M. A. 2003. Daily methane emission at different seasons of the year by Nellore cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu preliminary results. In: world conference on animal production. Núm 9. Porto Alegre, Brazil. 19 p.
- Dini, Y.; Gere, J.; Briano, C.; Manetti, M.; Juliarena, P.; Picasso, V.; Grantton, R. and Astigarraga, L. 2012. Methane emission and milk production of dairy cows grazing pastures rich in legumes or rich in grasses in Uruguay. *Animals.* 2(2):288-300.
- Eckard, R. J.; Grainger, C. and de Klein, C. A. M. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. *Livestock Science.* 130(1-3):47-56.
- Gonçalves de Faria, W.; Gonçalves, L. C.; Gonzara, J.D. y Nogueira, C. J. C. 2014. Emisiones de metano en ovinos alimentados con ensilados de Bermuda Tifton 85 en diferentes edades de corte. In: proceeding of primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica. Alfaro, M. V.; González, S. M.; Hube, S. S.; Muñoz, C. M.; Pinares, P. C. y Ungerfeld, E. Núm. 54. INIA. Chile. 91-92 pp.
- Herrera, D.; Hube, S.; Morales, J.; Ungerfeld, E. y Muñoz, C. 2014. Efecto de la suplementación con concentrado sobre las emisiones de metano y desempeño productivo de vacas lecheras en lactancia tardía. In: proceeding of primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica. Alfaro, M. V.; González, S. M.; Hube, S. S.; Muñoz, C. M.; Pinares-Patiño, C. y Ungerfeld, E. Núm. 54. INIA. Chile. 89-90 pp.
- Hristov, A. N.; Oh, J.; Firkins, J. L.; Dijkstra, J.; Kebreab, E.; Waghorn, G.; Makkar, H. P.; Adesogan, A. T.; Yang, W.; Lee, C.; Gerber, P. J.; Henderson, B. and Tricarico, J. M. 2013. Special topics-mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J. Animal Sci.* 91(11):5045-5069.
- Huarte, A.; Cifuentes, V.; Gratton, R. and Clause, A. 2010. Correlation of methane emissions with cattle population in Argentine Pampas. *Atmospheric Environment.* 44(23):2780-2786.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. United Nations Environment Programme. Assessment Report 4: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva. Switzerland.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014, Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Johnson, K.; Huylar, M.; Westberg, H.; Lamb, B. and Zimmermann, P. 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. *Environ. Sci. Technol.* 28(2):359-362.
- Johnson, K. A.; Westberg, H. H.; Michel, J. J. and Cossalman, M. W. 2007. The SF6 tracer technique: Methane measurement from ruminants. In: measuring methane production from ruminants. Makkar, H. P. S. y Vercoe, P. E. IAEA. 33-67 pp.
- Machado, F. S.; Rodriguez, N. M.; Gonçalves, L. C.; Ribas, M. N.; Rodrigues, J. A. S. y Pereira, L. G. R. 2011. Emissão de metano entérico por ovinos alimentados com silagens de sorgo. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia. O desenvolvimento da produção animal e a responsabilidade frente a novos desafios: anais. Belém. Brazil.
- Martínez, J. F.; García, F.; Brunetti, M. A.; Cora, A.; Frossasco, G.; Lucini, E.; Moreno, M. V.; Martínez, M. J. y Colombatto, D. 2014. Evaluación *in vitro* del potencial antimetanogénico de aceites esenciales extraídos de plantas nativas de Argentina. In: primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica. Alfaro, M. V.; González, S. M.; Hube, S. S.; Muñoz, C. M.; Pinares-Patiño, C. y Ungerfeld, E. NÚM. 54. INIA. Chile. 95-96 pp.
- Mayorga, O.; Angarita, E.; Zambrano, R.; Cardozo, J. y Ospina, S. 2014. Emisiones de metano entérico en novillos cebú con y sin la inclusión de *Guazuma ulmifolia* sobre dietas de *Panicum maximum* en el Caribe seco colombiano. In: primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica. Alfaro, M. V.; González, S. M.; Hube, S. S.; Muñoz, C. M.; Pinares-Patiño, C. y Ungerfeld, E. Núm. 54. INIA. Chile. 97-98 pp.
- Messana, D. J.; Canesin, R. C.; Fiorentini, G.; Reis, R. A.; Arcuri, P. B. y Berchielli, T. T. 2014. Intake, performance and estimated methane production of Nellore steers fed soybean grain. *Rev. Bras. Zoot.* 43(12):662-669.
- Moreira, G. D.; Lima, P. T.; Borges, B. O.; Primavesi, O.; Longo, C.; McManus, C.; Abdalla, A. and Louvandini, H. 2013. Tropical tanniferous legumes used as an option to mitigate sheep enteric methane emission. *Tropical Animal Health and Production.* 45(3):879-882.
- Muñoz, C.; Hube, S.; Morales, J.; Yan, T. and Ungerfeld, E. M. 2015. Effects of concentrate supplementation on enteric methane emissions and milk production of grazing dairy cows. *Livestock Sci.* 175:37-46.
- Orskov, E. R.; Flatt, W. P. and Moe, P. W. 1968. Fermentation balance approach to estimate extent of fermentation and efficiency of volatile fatty acid formation in ruminants. *J. Dairy Sci.* 51(9):1429-1435.
- Pedreira, M. D. S.; Primavesi, O.; Lima, M. A.; Frighetto, R.; De Oliveira, S. G. and Berchielli, T. T. 2009. Ruminal methane emission by dairy cattle in southeast Brazil. *Scientia Agricola.* 66(6):742-750.
- Primavesi, O.; Shiraiishi, F. R. T.; Pedreira, M. S.; de Lima, M. A.; Berchielli, T. T. y Barbosa, P. F. 2004. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira.* 39(3):277-283.
- Rodríguez, T.; Angarita, E.; Mestra, L.; Mancipe, E.; Ariza, C. y Mayorga, O. 2014. Evaluación del efecto del aceite esencial de orégano nativo del alto patía sobre la metanogénesis ruminal en novillas del trópico alto de Colombia. In: primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de LA. Alfaro, M. V.; González, S. M.; Hube, S. S.; Muñoz, C. M.; Pinares-Patiño, C. y Ungerfeld, E. Núm. 54. INIA. Chile. 93-94 pp.