

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN GANADERÍA OVINA EN ARGENTINA: APLICACIÓN DEL MÉTODO IPCC NIVEL 2

Greenhouse gas emissions from sheep in Argentina: use of method IPCC tier 2

Said*^{1,2} AD, Arzubi^{2,3} A, Nieto⁴ MI

¹ Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

² Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina

³ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora

⁴ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Catamarca

*E-mail de contacto: andresdsaid@gmail.com

RESUMEN

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la actividad ovina que la Argentina reporta en sus inventarios nacionales se estiman mediante el método de cálculo nivel 1 del IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático). Este nivel de cálculo utiliza factores de emisión por defecto, por lo que no refleja las características productivas locales. La precisión de las estimaciones se podría mejorar mediante el desarrollo de factores de emisión propios mediante la aplicación del método IPCC nivel 2. Los objetivos de este trabajo fueron: (1) conocer las emisiones de GEI de la ganadería ovina de Argentina a través de la aplicación del nivel 2 de IPCC, (2) comparar las emisiones estimadas con el nivel de cálculo 2 con un método nivel 1, y (3) estudiar el efecto en las emisiones ante un cambio en diversos parámetros productivos mediante un análisis de sensibilidad. Para ello, se caracterizó la producción de las principales zonas ovinas del país agrupadas en 10 regiones relativamente homogéneas que comprenden el 80% del stock nacional. En estas regiones, se estimaron las emisiones para el año 2019 mediante el nivel 2 del Refinamiento de 2019 a las Directrices del IPCC de 2006. Las estimaciones de emisiones de GEI de la actividad ovina en Argentina dieron como resultado 2,49 mega toneladas de CO₂eq. En relación al nivel 1, el nivel 2 implicó un incremento en las emisiones estimadas del 24,7%. El factor de emisión de fermentación entérica osciló para las diferentes regiones entre 6,5 y 8,1 kg CH₄/cabeza año (con un valor promedio de 6,7). En el análisis de sensibilidad, los parámetros que presentaron mayor impacto sobre las emisiones de GEI son la digestibilidad de la dieta y el peso de los animales. El entendimiento de las variables que impactan sobre las emisiones de GEI que brinda el nivel 2 resulta fundamental para el desarrollo de medidas de mitigación.

Palabras clave. directrices IPCC, fermentación entérica, factores de emisión, metano

ABSTRACT

Greenhouse gas (GHG) emissions from sheep activity that Argentina reports in its national inventories are estimated using tier 1 calculation method of the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). This tier uses emission factors by default, so it does not reflect local production characteristics. The accuracy of the estimates could be improved by developing local emission factors using the IPCC tier 2 method. The objectives of this study were: (1) to know the GHG emissions from sheep farming in Argentina through the application of tier 2, (2) compare the estimated emissions with tier 2 approach with the tier 1 method, and (3) study the effect changing production parameters on emissions through a sensitivity analysis. For this, the production of the main sheep areas of the country was characterized, and these areas were grouped into 10 relatively homogeneous regions that comprised 80% of the national stock. In these regions, emissions for the year 2019 were estimated using tier 2 of the year 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines. Estimates of GHG emissions from sheep activity in Argentina resulted in 2,49 mega tons of CO₂eq. In relation to tier 1, tier 2 implied an increase in estimated emissions of 24,7%. In particular, the enteric fermentation emission factor ranged between 6.5 and 8,1 kg CH₄/sheep year (with an average value of 6,7). The parameters with the greatest impact on GHG emissions were digestibility of the diet and weight of the animals. Understanding the variables that impact GHG emissions provided by tier 2 is essential for the development of mitigation measures.

Key words. IPCC Guidelines, enteric fermentation, emission factors, national greenhouse gas inventory, methane

Recibido: Julio 2022

Aceptado: Febrero 2023

Introducción

Los rumiantes pueden obtener la alimentación a partir de forrajes y de los subproductos y co-productos agrícolas e industriales que el hombre no puede consumir o utilizar en forma directa (Huss 1993; Jaurena *et al.* 2019). No obstante, producen gases de efecto invernadero (GEI) en cantidades que contribuyen al cambio climático. Las emisiones de metano (CH_4) se inducen principalmente a través de la fermentación entérica, las excretas y la gestión del estiércol (McDowell 2009). Las emisiones de óxido nitroso (N_2O) están asociadas con la nitrificación y desnitrificación de los suelos luego de aportes de nitrógeno como excrementos u orina (Galloway *et al.* 2003).

Los países que forman parte de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático deben reportar periódicamente sus emisiones de GEIs (CMNUCC 1992). Éstas deben ser estimadas utilizando las metodologías de cálculo desarrollada por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). La misma propone 3 niveles de complejidad metodológica, al pasar a niveles más altos, se mejora la exactitud de las estimaciones y se reduce la incertidumbre, aunque la complejidad y los recursos necesarios también son mayores para los niveles más altos (IPCC 2019). El cálculo metodológico más simple (nivel 1), en general, consiste en multiplicar el dato de actividad (por ejemplo, stock ganadero) por factores de emisión (FE) por defecto para cada fuente. Si bien este enfoque requiere pocos recursos (datos de entrada), no puede reflejar las circunstancias o tendencias de un país a lo largo del tiempo, excepto los cambios en el número total de ganado. Es usualmente adecuado para estimaciones iniciales de emisiones de pequeños rumiantes en la mayoría de los países (Zervas y Tsiplakou 2012). Sin embargo, en las categorías de emisiones de mayor magnitud para un país, se alienta a utilizar factores de emisión locales mediante el desarrollo de niveles de cálculo superiores. El método de nivel 2 es más preciso, pero requiere mayor información para reflejar las circunstancias específicas de un país o región. La caracterización del ganado ovino del Nivel 2 requiere información por categoría de stock anual promedio, y una caracterización productiva detallada a fin de estimar la ingesta de alimento diario promedio. En particular se requiere la siguiente información: peso, aumento de peso promedio por día, situación alimentaria, producción diaria de leche y contenido graso, porcentaje de hembras que paren en un año, crecimiento de la lana, cantidad de crías y digestibilidad de alimentos (%).

Este método puede mejorar la calidad de las estimaciones de las emisiones de GEI y reflejar mejor los efectos de las políticas y medidas en el sector ganadero sobre las emisiones de GEI (Ministry of Agriculture, Ethiopia 2020). Su aplicación es fundamental para reflejar la relación entre la productividad y la intensidad de emisiones, y para comprender los procesos que influyen en las emisiones de GEI. En consecuencia, facilita el análisis, planeamiento y recomendación de estrategias de mitigación específicas para diferentes áreas y regiones ganaderas (Marino *et al.* 2015). Por último, el nivel 3 de cálculo consiste en el desarrollo de modelos específicos que requieren muestreos exhaustivos periódicos, por lo que son altamente demandantes de

recursos y por lo tanto no son frecuentemente adoptados al momento.

Las emisiones de GEI netas totales estimadas en Argentina para el año 2018 fueron de 366 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO_2eq) (MAYDS 2021), de las cuales la ganadería representa el 22,2%. En particular, las emisiones provenientes de la actividad ovina en Argentina, calculadas mediante el método nivel 1, se estimaron en 2,73 MtCO_2eq , es decir el 0,75 % de las emisiones de Argentina. Pudiéndose desagregar en 5 fuentes de emisión: CH_4 por fermentación entérica (1,51 MtCO_2eq), CH_4 por gestión del estiércol (0,04 MtCO_2eq), N_2O por excretas en pasturas (0,84 MtCO_2eq), indirectas por excretas en pasturas de volatilización (0,17 MtCO_2eq) y de lixiviación (0,19 MtCO_2eq). Dada la magnitud de las emisiones en el país, las categorías de CH_4 por fermentación entérica y N_2O por excretas en pastura en ovinos son las consideradas categorías principales.

En este contexto, los objetivos de este trabajo fueron: (1) conocer las emisiones de GEI de la ganadería ovina de Argentina a través de la aplicación del nivel 2 de IPCC, (2) comparar las emisiones estimadas con el nivel de cálculo 2 con un método nivel 1, y (3) estudiar el efecto en las emisiones ante un cambio en diversos parámetros productivos mediante un análisis de sensibilidad.

Metodología

Caracterización de las regiones ovinas

La ganadería ovina se distribuye en todo el país, pero dada las características físicas y geográficas (ecoregiones) el ganado ovino se concentra más en unas ecoregiones que en otras. La estimación del nivel 2 de cálculo se realizó para las principales zonas ovinas del país: Buenos Aires (con excepción de AMBA), Sur y Centro de Corrientes, Entre Ríos, Santa Cruz, Chubut (con excepción del Noreste), Tierra del Fuego y Río Negro. En total la región comprende un total de 11,9 millones de cabezas al año 2019, lo cual representa al 80% del stock total de Argentina. Se caracterizó la población de ganado ovino dividiendo el stock en 10 regiones relativamente homogéneas en relación a características productivas y de cada ecoregión (Figura 1; Tabla 1). Esta clasificación tuvo en cuenta las siguientes particularidades:

Tipo de producción, considerando las razas ovinas predominantes, las características productivas (lana, carne, mixta) y los parámetros técnicos.

Parámetros tecnológicos y productivos (porcentaje de señalada, porcentaje de mortandad, tipo de recurso forrajero disponible, porcentaje de digestibilidad y de proteína bruta del recurso, pesos promedio, ganancia de peso, producción de leche, producción de lana).

La Provincia de Buenos Aires se caracterizó en base al trabajo de Arzubi *et al.* (2018) en 5 regiones ovinas (Cuenca del Salado y Depresión de Laprida, Mar y Sierras, Noreste, Oeste, Sur). La información de la región del Noreste Argentino (NEA), proviene de una adaptación del trabajo de Arzubi *et al.* (2012). La caracterización de las regiones Estepa Magallánica Seca, Golfo de San Jorge y Meseta Central surgen de la caracterización realizada por el MAGyP (2022). Finalmente, la región Río Negro se ha caracterizado especialmente para este trabajo, a partir de información no publicada. Además, se consideraron subcategorías de animales clasificados por sexo

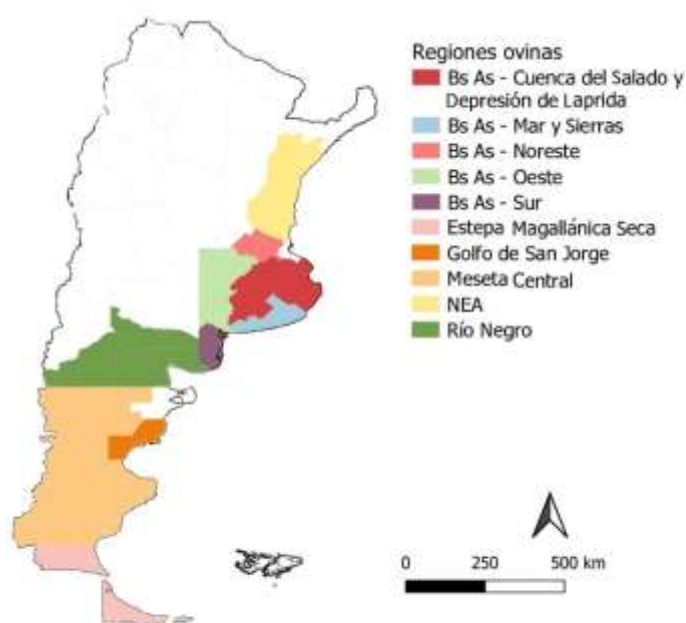


Figura 1. Regiones ovinas de Argentina caracterizadas para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Figure 1. Characterized sheep regions of Argentina for the estimation of greenhouse gas (GHG) emissions.

Tabla 1. Principales parámetros productivos de las diferentes regiones ovinas.

Table 1. Main productive parameters of the different sheep regions.

Parámetros productivos		Cuenca Salado y Depresión Laprida	Oeste	Sur	Mar y Sierras	Noreste	NEA	Estepa Magallánica Seca	Meseta Central	Golfo de San Jorge	Río Negro
Stock al año 2019 (miles)		1.037	340	352	200	117	1.561	1.505	4.539	537	1.110
Digestibilidad de la dieta (%)		60	59	55	61	61	61	58	55	55	55
Proteína en la dieta (%)		10	9	7	10	10	9	10	7	8	8
Producción de leche (kg/día)		0,26	0,25	0,21	0,27	0,29	0,25	0,21	0,20	0,20	0,20
Señalada (%)		88	84	78	91	95	78	75	60	70	70
Producción carne (kg/oveja)		35,0	25,5	20,7	53,0	48,9	27,6	25,8	14,0	16,8	17,8
Peso promedio	Ovejas	56,5	44,7	40,0	65,8	70,0	58,0	50,0	38,0	38,0	40,0
	Carneros	78,0	75,7	65,0	86,5	100,0	90,0	85,0	65,0	65,0	65,0
	Borrego	30,1	27,8	24,0	31,9	33,6	30,4	28,8	24,0	24,0	24,0
	Capón	41,3	39,7	34,4	43,0	44,6	40,3	38,5	34,4	34,4	34,4
	Cordero	15,0	14,0	11,6	15,8	16,5	16,5	13,2	11,6	11,6	11,6
Producción lana	Ovejas	5,8	5,5	4,5	4,8	3,5	3,7	4,1	3,8	4,0	4,0
	Carneros	5,8	5,5	4,5	4,8	3,5	3,7	4,5	4,5	4,1	4,5
	Borrego	0,8	0,8	1,5	0,8	0,8	0,8	1,5	1,5	1,5	1,5
	Capón	5,8	5,5	4,5	4,8	3,5	3,7	4,5	3,8	4,0	4,5

y edad en ovejas, carneros, capones, borregos y corderos. Este criterio de basó en la clasificación provista por SENASA (2022) que presenta los datos de stock ovino por año. El resto del país no fue incluido en el análisis dado que comprende una gran extensión con una amplia heterogeneidad de características productivas y un bajo nivel de existencias. De modo que se consideró mantener el nivel 1 de cálculo para dicha superficie.

Cálculo de emisiones GEI

Se estimaron las emisiones para el año 2019 mediante la metodología "Refinamiento de 2019 a las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero" (IPCC 2019). Se consideró consistente la determinación para un único año (2019) dado que no se han producido cambios relevantes en los parámetros productivos regionales de los sistemas ovinos en, al menos, los últimos 10 años (Muller 2013; MAGyP 2022). Se estimaron, en primer lugar y para todo el país, las emisiones de GEI con nivel 1 a fin de estimar el impacto del cambio de metodología. Posteriormente, para cada una de las 10 regiones ovinas, se utilizó un nivel 2 de cálculo, en tanto en el resto del país se utilizó nivel 1, asumiendo parámetros por defecto para sistemas de baja productividad (Tabla 1). Para el cálculo se consideró y asumió que la totalidad del stock ovino se encuentra en tierras de pastoreo, y en los casos que los parámetros de las Directrices se desagregarán entre sistemas de baja o alta productividad, se optó por el primero ya que se considera más representativo de la producción en los países en desarrollo.

Se consideraron 5 categorías de emisiones: (1) CH₄ por fermentación entérica, (2) CH₄ por la gestión del estiércol, (3) directas de N₂O de aportes de orina y estiércol a tierras de pastoreo, (4) indirectas de N₂O por volatilización de aportes de orina y estiércol a tierras de pastoreo, y (5) indirectas de N₂O por lixiviación de aportes de orina y estiércol a tierras de pastoreo. No se consideraron emisiones de N₂O por la gestión del estiércol, dado que se asumió que el ganado ovino se encuentra en tierras de pastoreo. Los datos de stock ovino por categoría de animal (oveja, carnero, borrego, capón y cordero) y a nivel departamental se obtuvieron de SENASA (2022). Las emisiones de GEI se estimaron separadamente para cada gas y en kg CO₂eq utilizando los factores de conversión del potencial de calentamiento global (GWP) de 298 para N₂O y 25 para CH₄ a un horizonte temporal de 100 años (IPCC 2007). El clima se clasificó en función de su condición húmeda o seca según el índice de aridez estimado por Soria *et al.* (2014). El índice consiste en la relación precipitación / evapotranspiración media anual. Cuando esta relación es > 1, el distrito se considera húmedo, de lo contrario, seco. Esta clasificación se utilizó para determinar los factores que varían en función de la condición hídrica (Factor de emisión por volatilización y re-deposición de N, y Fracción de lixiviación).

A fin de comparar la magnitud de las emisiones entre regiones se estimaron 4 indicadores: (1) emisiones de GEI por categoría de emisión por cabeza, (2) emisiones de CH₄ por fermentación entérica por kg de peso vivo (PV), (3) emisiones de CH₄ por fermentación entérica por Tn de carne producida, y (4) emisiones de CH₄ por fermentación entérica por kg de lana producida. Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad para el cual se evaluó el efecto de 6 parámetros

(peso promedio, digestibilidad de la dieta, producción de leche, producción de lana, proteína de la dieta y proporción de animales con 2 crías) sobre las emisiones de GEI totales en la región analizada con la metodología nivel 2. Su efecto se analizó aumentando en un 15% el valor de cada parámetro en las 10 regiones manteniendo los demás constantes.

Resultados y Discusión

Las emisiones totales en Argentina asociadas a la actividad ovina considerando el nivel 2 de cálculo en las 10 regiones ovinas y en el resto de país el nivel 1, se estimaron en 2,49 mega toneladas de CO₂eq (MtCO₂eq), lo que arrojaron un promedio de 168,9 kg CO₂eq por animal al año 2019. La emisión de metano por fermentación entérica representa el 93,4%, el CH₄ por gestión del estiércol el 1,1%, las emisiones directas de N₂O por estiércol en pasturas el 3% y las indirectas de nitrógeno representan el 1,6 y 0,85% para volatilización y lixiviación respectivamente. El nivel 2 en relación al nivel 1 de cálculo implicó un incremento en las emisiones de GEI estimadas por la actividad ovina del 24,7% a nivel nacional, con aumentos en todas las categorías de emisión, con excepción de las emisiones de N₂O por excretas en pasturas, para las cuales no se presentaron diferencias entre ambos niveles metodológicos. Este incremento se podría explicar en parte a que los sistemas de baja productividad en el nivel 1 de cálculo consideran un peso promedio de los ovinos de 31 kg, mientras que para la región de Argentina estimada mediante nivel 2 se estimó un peso promedio ponderado considerando el correspondiente stock y peso entre categorías de ovinos y regiones de 37 kg.

Emisiones totales por cabeza

Las regiones ovinas con menores emisiones por cabeza se encuentran en Patagonia, con valores mínimos en la Meseta Central y en el Golfo de San Jorge con 171,2 y 172,9 kg CO₂eq/cabeza respectivamente, considerando la sumatoria de todas las fuentes de emisión (Tabla 3). Por el contrario, los valores con mayores emisiones por animal se encuentran en las regiones de Mar y Sierras (225,2 kg CO₂eq/cabeza) y Noreste (220,3 kg CO₂eq/Cabeza). Si se consideran las 10 regiones en las cuales se estimó mediante el nivel 2, el valor de emisiones por cabeza de fermentación entérica resulta en 6,7 kg CH₄ /cabeza, pero al incorporar las regiones del país calculadas con el nivel 1 eso produce una disminución a 6,31 kg CH₄/cabeza. El valor para las diferentes regiones productivas ovinas osciló entre 6,53 kg CH₄ /cabeza en Meseta Central y 8,08 kg CH₄ /cabeza en Mar y Sierras. Es decir, se presenta una situación intermedia entre los valores por defecto de la metodología IPCC (2019) para sistemas de baja productividad (5 kg CH₄ /cabeza) y alta productividad (9 kg CH₄ /cabeza). En relación al FE utilizado por Argentina en emisiones de CH₄ ovino por fermentación entérica en su inventario nacional (5 kg CH₄/cabeza, MAgDS 2021), el nivel 2 estimado implica un incremento del 26,2 %. Este valor se asemeja al reportado por Australia (6,66 kg CH₄/cabeza; Australian Government 2022) en su inventario nacional de GEI para el año 2020, con presencia de sistemas ovinos en situación de pastoreo, que se caracterizan por un peso promedio de 43,6 kg/cabeza y una digestibilidad del alimento del 66,6%.

Tabla 2. Comparación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la actividad ovina en Argentina entre los métodos de cálculo nivel 1 y nivel 2 (Mt CO₂eq) en el año 2019.**Table 2.** Comparison of greenhouse gas (GHG) emissions from sheep activity in Argentina between tier 1 and tier 2 calculation methods (MtCO₂eq) for the year 2019.

Emisiones GEI (Mt CO ₂ eq)	Nivel 1	Nivel 2
Fermentación entérica	1,843	2,325
Directas CH ₄ gestión de estiércol	0,021	0,027
Directas N ₂ O excretas en pasturas	0,075	0,075
Indirectas N ₂ O excretas en pasturas (Volatilización)	0,039	0,041
Indirectas N ₂ O excretas en pasturas (Lixiviación)	0,018	0,021
Total de Emisiones GEI	1,996	2,490

Tabla 3. Factores de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) por cabeza en las diferentes regiones ovinas. Nótese que para el cálculo de la emisión total en CO₂eq se multiplicó el valor de cada gas por sus factores de calentamiento global (25 para el CH₄ y 298 para el N₂O).**Table 3.** Emission factors of greenhouse gases (GHG) per sheep in the different sheep regions. Note that to calculate the total emission in CO₂eq, the value of each gas was multiplied by its global warming factors (25 for CH₄ and 298 for N₂O).

Región ovina	Fermentación entérica (kg CH ₄)	Gestión de estiércol (kg CH ₄)	Excretas en pasturas (kg N ₂ O)	Excretas indirectas en pasturas (kg N ₂ O)		Total Kg CO ₂ eq
				Volatilización	Lixiviación	
C.Salado y D.Laprida	7,22	0,080	0,02	0,02	0,019	200,96
Oeste	6,86	0,078	0,02	0,02	0,012	187,47
Sur	7,05	0,087	0,02	0,01	-	184,64
Mar y Sierras	8,08	0,087	0,02	0,02	0,022	225,20
Noreste	7,88	0,085	0,02	0,02	0,022	220,30
NEA	6,69	0,073	0,02	0,02	0,017	185,42
Estepa Magall.seca	6,62	0,076	0,02	0,01	-	175,28
Meseta central	6,53	0,080	0,01	0,01	0,000	171,16
Golfo de San Jorge	6,59	0,081	0,02	0,01	-	172,88
Río Negro	6,69	0,082	0,02	0,01	0,000	175,87
Resto del país (nivel 1)	5,00	0,056	0,02	0,01	0,004	135,16
Promedio	6,31	0,074	0,02	0,01	0,005	168,86

Emisiones por peso vivo (PV)

Las regiones que habían presentado la mayor fermentación entérica por cabeza (Mar y Sierras y Noreste) presentaron, sin embargo, valores bajos de emisiones por peso vivo (140 y 148 kg CH₄/Tn PV, respectivamente) (ver Tabla 4). Ello se debe, principalmente, a la raza, dado que tanto en Mar y Sierras como en Noreste se produce en base a razas carniceras, de elevado peso vivo. En cambio, en modelos de Patagonia como Golfo de San Jorge, Río Negro, Meseta Central y Buenos Aires Sur se presentaron valores más bajos de fermentación entérica, explicados especialmente por la preponderancia de animales más livianos y menores valores de señalada.

Emisiones por producción de carne y lana

Las regiones de Mar y Sierras y Noreste presentan los menores valores (232 y 258 kg, respectivamente) en cuanto a CH₄/Tn carne producida (Tabla 4). Es decir, estos sistemas presentan bajas emisiones por PV y por kg de carne producida, aunque presenten altos valores por cabeza. El resultado hallado coincide con otro trabajo (Opio *et al.* 2013) que concluye que la intensidad de las emisiones disminuye (hasta un nivel relativamente alto de productividad) a medida que aumenta la productividad (asociada a la producción de carne). Los sistemas de producción patagónicos, tales como Estepa Magallánica seca, Meseta Central, Golfo de San Jorge

y Río Negro, se presentan ineficientes si se observa el indicador CH₄/Tn de carne producida. Ello se explica por las características particulares de la región, donde la escasez de forraje y de agua potable determina sistemas de baja eficiencia, si se los compara con otros sistemas como Mar y Sierras o Cuenca del Salado. Pero, mientras en éstos últimos es posible modificar la oferta forrajera, los sistemas patagónicos son muy poco flexibles ya que conviven con suelos aridisoles (INTA 2014) de escasa aptitud productiva y que ofrecen pocas alternativas de mejora. Por lo tanto, las emisiones de GEI deben contextualizarse a la realidad de cada región.

Los sistemas de mayores emisiones por Tn de lana producido son Noreste y NEA (3.166 y 2.689 kg NH₄/Tn lana), justamente los de menor producción de lana por oveja. Las mejores eficiencias asociadas a la producción de lana se encuentran en Bs As Oeste y Cuenca del Salado-Depresión de Laprida, con 1.644 y 1.765 kg CH₄/Tn lana). Los sistemas patagónicos presentan intermedios de CH₄/Tn lana, pero debe advertirse que la calidad de la lana (y su valor económico) es muy superior a los sistemas de la provincia de Buenos Aires.

Análisis de sensibilidad

Finalmente, se estudió el efecto del incremento en un 15% del valor de los parámetros utilizados para el nivel 2 sobre las emisiones de GEI. El parámetro más sensible se le atribuye a la digestibilidad de la dieta, con una reducción de en un 20,4%, coincidiendo con el trabajo de Herrero *et al.* (2013) quienes identificaron a la eficiencia alimenticia como un aspecto fundamental asociado a las emisiones de la ganadería. En segundo orden de importancia se ubicó al peso

de los animales con un incremento del 9,4%. Por el contrario, se encontró una baja sensibilidad (<1,3%) sobre el impacto en las emisiones de GEI en el resto de los parámetros evaluados (producción de leche, producción de lana, proteína de la dieta, y proporción de animales con 2 crías). La variable oveja con 2 cría no se la vinculó con el aumento de la señalada, lo que seguramente hubiera impactado en el indicador CH₄/Tn carne producida.

Tabla 4. Indicadores de emisión de metano por fermentación entérica por oveja, peso vivo, carne y lana producida en las diferentes regiones ovinas.

Table 4. Indicators of methane enteric fermentation emission per sheep, live weight, meat and wool produced in the different ovine regions.

Región ovina	Fermentación entérica			
	kg CH ₄ /cabeza	kg CH ₄ /Tn de Peso Vivo	kg CH ₄ /Tn carne producida	kg CH ₄ /Tn Lana producida
C. Salado y D.de Laprida	7,22	158	330	1765
Oeste	6,86	175	393	1644
Sur	7,05	202	482	1988
Mar y Sierras	8,08	148	232	2243
Noreste	7,88	140	258	3166
NEA	6,69	146	425	2689
Estepa Magallánica seca	6,62	167	449	2338
Meseta central	6,53	204	939	2291
Golfo de San Jorge	6,59	206	813	2224
Río Negro	6,69	202	690	2192

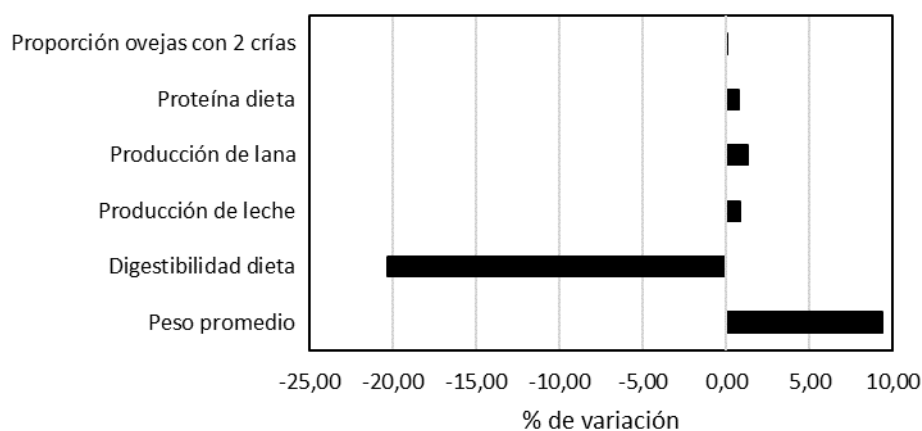


Figura 2. Efecto del incremento en un 15% los parámetros productivos sobre las emisiones ovinas de GEI.

Figure 2. Effect of 15% increase in production parameters on sheep GHG emissions.

Conclusiones

El desarrollo de un nivel 2 de cálculo de las emisiones de GEI de la actividad ovina en Argentina permitió aumentar la precisión de las estimaciones a partir del desarrollo de factores de emisión que considera las características productivas locales. A su vez, consiste en una herramienta que brinda información sobre la relación de las emisiones en función del manejo en cada una de las regiones productivas, identificando los principales procesos que influyen en las públicas que promueva sistemas productivos más eficientes con menor cantidad de emisiones por producto. Dicho en otras palabras, para el desarrollo y recomendación de medi-

das de mitigación que reduzcan las emisiones por unidad de producto generado. Entre los indicadores trabajados, resultó interesante verificar la presencia de sistemas con bajas emisiones por tonelada de carne producida, aunque hayan presentado altos valores por cabeza. Los indicadores que contemplan las emisiones en función de atributos productivos, que surge de este nivel de análisis, son esenciales para la implementación de políticas públicas que promuevan el desarrollo de sistemas productivos más eficientes. La incorporación de medidas de mitigación impactará, a mediano y largo plazo, en la reducción de las emisiones por unidad de producto generado.

Agradecimientos

Agradecemos a Ayelén Forlenza por realizar el mapa de las regiones ovinas de Argentina.

Contribuciones de los autores

Said AD: escritura protagónica del artículo, procesamiento de datos y análisis de resultados, cálculo de emisiones de GEI. **Arzubi A (q.e.p.d):** caracterización de los sistemas ovinos, análisis de resultados. **Nieto MI:** interpretación de resultados, responsabilidad por la integridad y coherencia del artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- Australian Government (2022) National Inventory Report. United Nations Framework Convention on Climate Change, Australia.
- Arzubi A, Mc Cormick M, Lynch G, Simonetti L (2012) Análisis de modelos representativos y mejorados de la producción ovina desarrollada en regiones de Buenos Aires y Mesopotamia. En la 43° Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria. Corrientes, Argentina.
- Arzubi A, Mc Cormick M, Simonetti L, Giola P, Soria R, Lynch G (2018) Modelización económica de la producción ovina de Buenos Aires. En la 49° Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria. Santa Fe, Argentina.
- [CMNUCC] Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992) Naciones Unidas, Río de Janeiro, 1992. World Meteorological Organization. Our future climate: WMO-Nro 952. WMO Geneve 2003.
- Herrero M, Havlík P, Valin H, Notenbaert A, Rufino MC, Thornton PK, Blümmel M, Weiss F, Grace D, Obersteiner M (2013) Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **110**, 20888-20893.
- Huss DL (1993) El papel de los animales domésticos en el control de la desertificación. Serie Zonas áridas y semiáridas **2**, 113. (PNUMA-FAO, Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe).
- [INTA] Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2014) Atlas de Suelos de la República Argentina. Instituto de Suelos, INTA, Castelar, Argentina.
- Galloway JN, Aber JD, Erisman JW, Seitzinger SP, Howarth RW, Cowling EB, *et al.* (2003) The nitrogen cascade. *Bioscience* **53**, 341-356.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Cambridge University Press: Cambridge, UK).
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change (2019) 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published: IPCC, Switzerland.
- [MAGyP] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina (2022) Modelos productivos regionales - ovinos. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/d_ovinos/resultados_productivos/
- Marino R, Atzori AS, D'Andrea M, Lovane G, Trabalza-Marinucci M, Rinaldi L (2015) Climate change: Production performance, health issues, greenhouse gas emissions and mitigation strategies in sheep and goat farming. *Small Ruminant Research* **135**, 50-59.
- [MAyDS] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Argentina (2021) Cuarto Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.
- Ministry of Agriculture, Ethiopia (2020) Inventory of greenhouse gas emissions from cattle, sheep and goats in Ethiopia (1994-2018) calculated using the IPCC Tier 2 approach. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Muller J (2013) La producción ovina en Argentina. Comunicación Técnica Nro. PA 618. INTA EEA Bariloche, Argentina.
- McDowell RW (2009) Environmental Impacts of Pasture-Based Farming. (CABI Publishing: Wallingford, UK).
- Opio C, Gerber P, Mottet A, Falcucci A, Tempio G, Macleod M, Vellinga T, Henderson B, Steinfeld H (2013) Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains - A global life cycle assessment. (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome, Italy).
- [SENASA] Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, Argentina (2022) Fecha consulta: 4/6/2022. <https://www.argentina.gob.ar/senasa/mercados-y-estadisticas/estadisticas/animal-estadisticas/ovinos>
- Zervas G, Tsiplakou E (2012) An assessment of GHG emissions from small ruminants in comparison with GHG emissions from large ruminants and monogastric livestock. *Atmospheric Environment* **49**, 13-23.