RAPA Revista Argentina de Producción Animal

COMUNICACIÓN

ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA LECHE EN UN TAMBO SEMI-PASTORIL UBICADO EN EL PARTIDO DE BOLÍVAR

Estimation of the carbon footprint of milk in a pasture-based dairy farm located in the Bolivar district

Santana FN*, Sarramone C, Milano GD
Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
* E-mail de contacto: santana@vet.unicen.edu.ar

RESUMEN
Se estimaron las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y el secuestro de C del tambo "Santa Catalina II" (partido de Bolívar, Provincia de Buenos Aires, Argentina), durante 2023, a partir de datos obtenidos mediante visitas al establecimiento y entrevistas con los propietarios, para identificar las fuentes de emisión y los sumideros de carbono y calcular la huella de carbono (HC) asociada a la producción de leche. Las emisiones se estimaron en 1.093,6 t CO_2eq/año, principalmente aportadas por la fermentación entérica (58%), las deposiciones de excretas en pasturas durante el pastoreo (9,45%), las emisiones asociadas a la compra de alimentos (9,4%) y ganado a terceros (7,6%) y el almacenamiento de estiércol en una laguna anaeróbica (6,2%). El secuestro de C se estimó en 273 t CO_2eq/año resultado de la sumatoria de los residuos de cosecha (39%), el secuestro por excretas (34%), y la biomasa forestal (27%). El establecimiento fue un emisor neto de GEI con un balance de 820,15 t CO_2eq/año y una HC de 0,67 kg CO_2eq/kg de leche corregida por grasa y proteína a la salida del tambo.

Palabras clave: Gases de efecto invernadero, bovinos, fermentación entérica, secuestro de carbono, pastoreo.

ABSTRACT
Greenhouse gases (GHG) emissions and carbon (C) sequestration were estimated at the "Santa Catalina II" dairy farm, located in Bolívar, Province of Buenos Aires, Argentina, during 2023. The data was gathered through farm visits and interviews with the owners. The purpose of this study was to identify carbon emission sources and sinks, and to estimate the carbon footprint associated with milk production. Emissions were estimated at 1093.6 t CO_2eq/year, contributed mainly by enteric fermentation (58%), the excreta deposited on pasture during grazing (9.45%), the emissions associated with feed (9.4%) and livestock (7.6%) purchased from third parties and the storage of dairy excreta in an anaerobic lagoon (6.2%). The estimated carbon sequestration was 273 t CO_2eq/year, resulting from the sum of carbon sequestered in crop residues (39%), manure (34%), and tree biomass (27%). The dairy farm was a net GHG emitter with a balance of 820,15 t CO_2eq/year and a carbon footprint of 0.67 kg CO_2eq/kg of fat and protein corrected milk at the farm gate.

Key words: Greenhouse gases, cattle, enteric fermentation, carbon sequestration, grazing.

Recibido: noviembre de 2025
Aceptado: junio de 2026

Introducción
Los gases de efecto invernadero (GEI) son componentes de la atmósfera que absorben y reflejan las radiaciones solares, provocando cambios en la temperatura de la superficie terrestre. El aumento en su concentración en la atmósfera provoca un aumento de la temperatura media terrestre, fenómeno conocido como "efecto invernadero". Las especies de ganado doméstico contribuyen un 12% de las emisiones totales mundiales de GEI, de las cuales un 62% proviene de los bovinos, principalmente en forma de metano (CH_4; FAO 2023). Por lo tanto, actualmente, la ganadería bovina es considerada una gran emisora de GEI y se ha puesto el foco en reducir las emisiones en este sector.

En Argentina, la ganadería bovina es de importancia económica y social, ya que genera alimentos esenciales, empleo y divisas por la producción y comercialización de sus principales productos: carne y leche. El país cuenta, aproximadamente, con 53 millones de bovinos (MAGyP 2023) responsables del 22% del total de las emisiones de GEI de Argentina (MAyDS 2021).

El objetivo de este trabajo fue estimar las emisiones de GEI y secuestro de C durante el año 2023 en el tambo semi-

pastoril “Santa Catalina II” (SC2) situado en el partido de Bolívar, provincia de Buenos Aires, y calcular la huella de C (HC) de producto asociada a la producción de 1 kg de leche corregida por grasa y proteína (FCPM).

Materiales y métodos

Descripción del tambo y de la información relevada

Durante el año 2023 (1/1 al 31/12) se relevaron los componentes físicos y biológicos de SC2, mediante visitas al establecimiento y entrevistas a los productores. SC2 está ubicado en el partido de Bolívar, Buenos Aires, Argentina (36°21'46"S, 61°05'09"W). El clima es templado-húmedo y las precipitaciones durante el período de estudio fueron de 704 mm. El establecimiento comprende 195 ha (suelos tipo molisol, textura franco-arenosa). La superficie forestal abarca 3 ha, en donde predominan *Eucalyptus globosus* y moras salvajes.

La hacienda, integrada por animales de raza Holando-Argentino (15%), Jersey (3%) y cruzas Holando-Argentino x Jersey (82%), fue agrupada en 10 categorías (Tabla 1). El porcentaje de preñez de las vacas fue 72%. El peso promedio al nacimiento de los terneros fue 34 kg. Las vaquillonas recibieron el primer servicio a los 15 meses (78% de preñez) y se recriaron hasta los 22 meses.

La alimentación se basó en el pastoreo de forrajes en pie (avena, avena-vicia, sorgo, maíz, alfalfa y pastizales), complementado con silaje de planta entera de maíz o megafardos de alfalfa y suplementación con concentrado comercial de 15-18% de proteína bruta (PB) para las vacas en ordeñe (26% de la materia seca total) y terneros/as hasta los 2 meses de edad, y de 13-15% de PB para las demás categorías.

Las vacas fueron ordeñadas 3 horas por día. Se vendieron en el periodo estudiado 1.005.328 L de leche cruda (grasa 3,97%; PB 3,63%). Se consumieron en la guachera 43.470 L.

La producción de carne (venta de vacas adultas de descarte, terneros machos de 4 días y 6 meses de edad y machos enteros de 6-12 y 12-24 meses de edad) totalizó 26.230 kg.

Las excretas de las vacas en ordeñe se depositaron en los potreros utilizados para el pastoreo, excepto las excretadas en corrales de encierre y rampas de acceso a la sala de ordeñe, que fueron dirigidas con el agua de lavado y limpieza de la instalación y equipamiento de ordeño a una laguna anaeróbica descubierta (sin tratamiento). Los terneros hasta los 6 meses, depositaron sus excretas en el corral, sin aplicación a campo. En las demás categorías, las excretas quedaron en las pasturas y verdeos en los que los animales permanecieron todo el día.

Tabla 1. Hacienda agrupada por categorías.
Table 1. *Livestock grouped by category.*

Categoría	Animales	PVP (kg)	GDP (kg/d)	Muertos	PA (kg)	Etapa (días)
Vacas en ordeñe	162	510	-	15	530	365
Vacas secas	24	510	-	15	530	365
Toros	5	600	-	0	600	365
Terneras 0-6 meses	81	90	0,72	8	530	180
Terneros 0-6 meses	49	90	0,72	8	600	180
Vaquillonas 6-12 meses	73	180	0,50	0	530	180
Vaquillonas 12-24 meses	60	270	0,50	0	530	120
Vaquillonas pre-parto	50	330	0,34	0	530	240
Macho entero 6-12 meses	6	200	0,50	0	600	180
Macho entero 12-24 meses	4	300	0,50	0	600	365

PVP: peso vivo promedio; GDP: ganancia diaria de peso; Muertos: cantidad de animales; PA: peso adulto; Etapa: tiempo que esa categoría pasa en el campo.

Se relevaron los datos relacionados al transporte (ingresos y salidas de vehículos por compra y venta de hacienda, alimentos, insumos y servicios, capacidad de los vehículos de transporte, tipo de combustible utilizado, kilómetros recorridos por viaje y total de viajes), tipo y cantidad de insumos de limpieza utilizados en el tambo y el consumo de energía eléctrica (228,94 kWh) y de gasoil (6.611,6 litros).

Metodología y modelos de cálculo

La HC de la leche cruda a la salida del tambo (unidad declarada: 1 kg de FPCM; IDF 2015), se estimó según la norma ISO 14067 (2018), basada en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Para estimar las emisiones de GEI y el secuestro de C se usaron las ecuaciones y factores de emisión (FE) internacionales definidos para el sector “Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra” de las guías del IPCC (2019), complementados con FE y parámetros locales (SAyDS 2015; PACN 2023a), según los métodos Tier 2 (emisiones de GEI y secuestro de C en excretas y residuos de cultivo) o Tier 1 (cambios de C en suelo). Las ecuaciones y FE del IPCC (2019) fueron integrados en la planilla PACN Calculador Lácteos v1.2 2023, desarrollada por el Programa Argentino de Carbono Neutro (PACN 2023a), que permite estimar a escala de predio las emisiones de GEI dentro (emisiones de GEI de origen biogénico: CH_4 por fermentación

gastroentérica, excretas en pasturas y laguna anaeróbica, N_2O por excretas y residuos de cultivo; emisiones de GEI por el uso de combustibles fósiles), y fuera de este (aguas arriba; emisiones de GEI de insumos agrícolas, alimentos balanceados, insumos de limpieza y mantenimiento, y transporte) y el secuestro de C por procesos que ocurren dentro del predio (cambios en el uso de la tierra, implantación y manejo de verdeos, pasturas y pastizales y el C retenido en los residuos de cultivos, en las excretas animales y en los árboles). Las ecuaciones y FE de la planilla del PACN (PACN 2023a) fueron revisados individualmente y, cuando fue necesario, ajustadas a las del IPCC (2019).

Emisiones de GEI

Las emisiones de CH_4 entérico se calcularon a partir del consumo de energía bruta (EB), el factor de conversión de CH_4 (Ym) y el contenido de energía del CH_4 (55,64 MJ/kg; Ecuación 10.21; IPCC 2019). El consumo de EB (MJ/d) se estimó en base a los requerimientos diarios de energía neta (EN) de cada categoría, la relación entre la densidad de la EN y la digestibilidad de la dieta (Ecuación 10.16; IPCC 2019). El consumo de materia seca (CMS, kg MS/d) se estimó en base al peso vivo y la producción de FCPM para vacas en lactancia (NRC 2001) o la ganancia de peso diaria para otras categorías (Ecuaciones 10.18A y 10.18B; IPCC 2019). La composición química de la dieta consumida por cada categoría (PB, FDN, digestibilidad y cenizas) se estimó como promedio ponderado de la composición química de cada alimento ofrecido a esa categoría y la contribución proporcional de cada alimento ofrecido a la dieta total. El valor de Ym fue definido de acuerdo a la digestibilidad de la materia seca (MS) y el FDN de la dieta correspondiente a cada categoría (Tabla 10.12; IPCC 2019).

Las estimaciones de las emisiones de CH_4 del estiércol se basaron en la producción de sólidos volátiles (SV), calculada considerando el consumo de EB, una densidad energética de 18,45 MJ/kg MS y la digestibilidad y las cenizas de la dieta (Ecuación 10.24; IPCC 2019). La producción de SV se multiplicó por la capacidad máxima de producción de CH_4 del estiércol (0,13 m^3 CH_4/kg SV), por el factor de conversión de volumen a masa (0,67 kg CH_4/m^3 CH_4) y por el factor de conversión de CH_4 específico para el sistema de manejo del estiércol de cada categoría (0,47% para pastura y potrero duro; 73% para las excretas del tambo en laguna anaeróbica) (Ecuación 10.23; IPCC 2019).

Las emisiones directas de N_2O del estiércol se calcularon multiplicando el N excretado por el FE para el sistema de manejo del estiércol de cada categoría (depositado en pastura o almacenado, sin separación de líquidos y sólidos, en una laguna anaeróbica; Tabla 11.1 y 10.21; Ecuaciones 10.25 y 11.11; IPCC 2019). El N del estiércol se estimó a partir del CMS, la PB de la dieta (N = PB/6,25) y la retención de N por los animales (NRC 2001).

Las emisiones indirectas de N_2O del estiércol se calcularon multiplicando el contenido de N del estiércol por el factor de lixiviación (0,24 kg N lixiviado/kg N) o de volatilización (0,21 kg N volatilizados/kg N) correspondiente a cada sistema de manejo del estiércol (Tablas 10.22, 10.23 y 11.3; Ecuaciones 10.26, 10.27, 10.31, 10.34A y 10.34B, 11.9 y 11,10; IPCC 2019).

Las estimaciones de las emisiones directas de N_2O del suelo se basaron en el N total que ingresa al suelo por fertilizantes y residuos orgánicos aplicados, residuos de pasturas y cultivos, mineralización de N del suelo y los FE propuestos por el IPCC (2019) o elaborados localmente (Tablas 11.1A y 11.3, Ecuaciones 11.2 y 11.6; IPCC 2019).

Las emisiones indirectas de N_2O del suelo debidas a lixiviación y escorrentía se estimaron según las fracciones de lixiviación y escorrentía (0,24 kg N/kg N) y los FE para lixiviación y escorrentía desarrollados localmente (Ecuación 11.10; IPCC 2019). Las emisiones indirectas de N_2O del suelo debidas a la volatilización se calcularon utilizando las constantes 0,11 para la fracción de volatilización y 0,01 para el FE (Ecuación 11.11; Tabla 11.3; IPCC 2019).

Las emisiones de GEI debidas a la producción de los insumos (semillas, herbicidas, insecticidas, fungicidas, fertilizantes, aceites, detergentes, alimento balanceado) y de la energía utilizada en el tambo se estimaron multiplicando la cantidad de insumos y energía utilizada por los FE de cada gas correspondiente a la producción de una unidad de insumo o de energía tomados de la base de datos de la planilla de cálculo de PACN (PACN 2023).

Las emisiones de GEI debidas al transporte de insumos y animales se estimaron considerando la distancia recorrida en cada viaje, la cantidad de viajes y el tipo de vehículo y combustible utilizados. La distancia total recorrida se multiplicó por los FE correspondientes a cada tipo de vehículo.

Las estimaciones de cambio de C en el suelo se hicieron en base a las existencias iniciales de C orgánico total (COT) de los suelos del partido de Bolívar (61,43 t C/ha; PACN 2023a) y a los factores de cambio fraccional en el contenido de C del suelo debido a los diferentes usos del suelo según la historia de cada potrero, el tipo de manejo o labranza y la cantidad y tipo de residuos de cosecha, pastoreo o excretas que recibe el suelo (Tablas 5.5 y 6.2; IPCC, 2019). El COT de referencia y los factores de cambio fueron integrados en la ecuación de balance de COT en suelo (Ecuación 2.25; IPCC 2019).

Secuestro de C

El secuestro de C en las excretas se estimó en base a la cantidad total de N de excretas depositadas en pasturas, potreros duros o en las instalaciones del tambo, la fracción del N de las excretas disponible para aplicar al suelo (Tablas 10.22 y 10.23 y 11.3; Ecuaciones 10.26, 10.27 y 10.31A, 10.34A; IPCC 2019), la relación C/N en excretas (16/1) y el factor de conversión de C a CO_2 (44/12=3,666).

El secuestro de C por árboles se estimó multiplicando la cantidad de árboles o arbustos de cada especie por el coeficiente anual de captura de C en la biomasa aérea específico de cada especie (base de datos planilla de cálculo PACN; PACN 2023a) y por el factor de conversión de C a CO_2 (44/12=3,666).

Cálculo de la HC

Las emisiones totales de GEI y la captura de C se expresaron como kg CO_2eq teniendo en cuenta un poder de calentamiento global (PCG) de 27,2, 29,8 y 273 para el CH_4 de origen no fósil, CH_4 de origen fósil y N_2O, respectivamente, y asumiendo un horizonte temporal de 100 años (PACN 2023b).

La producción de leche fue convertida a FPCM según la ecuación propuesta por IDF (2015):

FPCM (kg/año) = Producción de leche (kg/año) x [0,1226 x Grasa (%) + 0,0776 x Proteína (%) + 0,2534]

Para calcular la HC (kg CO2eq/ kg FPCM) se utilizó el factor de asignación por masa (AFM) para el producto evaluado (kg FPCM a la salida del tambo) calculado según IDF (2015) como:

AFM = 1-6,04*BMR

donde BMR es el cociente entre la carne (kg) y la FPCM (kg) producidas en el período de estudio.

Resultados y discusión

Las estimaciones de las emisiones de GEI, las capturas de C y la HC de la leche se presentan en la Tabla 2. Las emisiones de GEI (0,89 kg CO_2eq/kg FCPM) y la HC (0,67 kg CO_2eq/kg FCPM) del presente trabajo se ubican entre los valores más bajos del rango de HC reportado en revisiones recientes (12-0,39 kg CO_2eq/kg FCPM, Bongiovanni *et al.* 2022; 5,99 a 0,74 kg CO_2eq/kg FCPM, Mazzetto *et al.* 2024), aunque las diferencias en la metodología de cálculo (modelo de estimación de emisiones de GEI y secuestro de C, límites del sistema y cálculo del ACV, PCG, unidad declarada y AFM) no siempre permiten una comparación ajustada de HC entre trabajos.

Las emisiones de GEI del presente trabajo coinciden con las reportadas para otros tambos semi-pastoriles de Argentina y Uruguay (0,75-0,99 kg CO_2eq/kg FCPM; Lizarralde *et al.* 2014; Herrero *et al.* 2014; Bongiovanni *et al.* 2022). En los estudios de Herrero *et al.* (2014) y Bongiovanni *et al.* (2022) la inclusión de concentrado en la dieta fue más elevada, lo que implicaría una menor contribución de la fermentación entérica porque las dietas con mayor proporción de concentrado y mayor densidad energética tienen un Ym menor (3-4% vs 6-7%; IPCC 2019). En efecto, la fermentación entérica, principal fuente de emisión de GEI en el presente trabajo (0,52 kg CO_2eq/kg FPCM, 26% concentrado), tuvo un valor similar a los estimados por Lizarralde *et al.* (2014; 0,52-0,62 kg CO_2eq/kg FPCM; 24-39 % concentrado) pero mayor que los estimados por Herrero *et al.* (2014) y Bongiovanni *et al.* (2024; 0,33-0,44 kg CO_2eq/kg FPCM; 35-53% concentrado).

Tabla 2. Emisiones anuales de gases de efecto invernadero (GEI) por diferentes fuentes dentro y fuera del predio y captura de CO_2 por diferentes sumideros en el tambo "Santa Catalina 2".

Table 2. *Annual emissions of greenhouse gases (GHG) from different sources inside and outside the farm and CO_2 capture by different sinks in the dairy farm "Santa Catalina 2".*

	t CO_2eq/año	kg CO_2eq/kg FCPM	%
Emisiones de GEI			
Dentro del predio			
Fermentación entérica	637,04	0,520	58,2
Estiércol en pasturas	103,10	0,080	9,45
Gestión del estiércol del tambo	67,68	0,050	6,20
Residuos de cultivos	29,77	0,020	2,70
Energía	34,19	0,030	3,15
Fertilizantes aplicados	9,42	0,010	0,90
Fuera del predio			
Alimentos de terceros	103,01	0,080	9,40
Recría	83,21	0,070	7,60
Transporte	23,96	0,020	2,20
Limpieza y mantenimiento	1,17	0,001	0,10
Fertilizantes	0,64	0,001	0,06
Otros insumos	0,45	0,001	0,04
Total	1093,64	0,89	100
Secuestro de carbono			
Excretas	92,95	0,076	34,1
Residuos de cosecha	107,12	0,087	39,0
Cobertura forestal	73,42	0,060	26,9
Total	273,49	0,223	100
Huella de Carbono	820,15	0,67	

La contribución relativa de las emisiones por la compra de alimentos (9,4%) fue similar a las estimadas por Lizarralde *et al.* (2014; 8,9-11,7%) pero mucho menor que las estimadas por Bongiovanni *et al.* (2022) en donde los alimentos comprados contribuyeron el 50% del CMS y fueron la principal fuente de emisión de GEI (46% del total).

Las emisiones por gestión del estiércol del tambo (0,05 kg CO_2eq/kg FPCM; 6,2%) coincidieron con las estimadas por

Lizarralde *et al.* (2014; 0,06-0,09 kg CO_2eq/kg FPCM; 6,4-8,4%), probablemente porque el estiércol del tambo almacenado en laguna anaeróbica representó, en ambos casos, un porcentaje reducido de las excretas. En cambio, las emisiones debidas al estiércol depositado en pasturas en el presente trabajo fueron la mitad de las reportadas por Lizarralde *et al.* (2014), a pesar de que en ambos casos la excreción de N/kg FPCM, la fracción de SV depositado en pasturas, las ecuaciones y FE utilizados para estimar las emisiones directas e indirectas de N_2O en pasturas fueron similares.

De todas las fuentes de emisión de GEI estimadas, la que ofrece mejores oportunidades de reducción es el almacenamiento de estiércol en la laguna anaeróbica, que tiene un FE de CH_4 elevado (73%; IPCC, 2019). La distribución diaria de estas excretas en los lotes de pastoreo reduciría el FE a 0,5% y las emisiones de 67,7 a 2,4 t CO_2eq/año, i.e. un 6% de las emisiones totales.

La metodología de cálculo usada permitió estimar también el secuestro de C. Los residuos de cosecha fueron responsables del 39% del secuestro de C, seguidos por las excretas (34%) y por los árboles (27%). En total, el secuestro de C (0,21 kg CO_2eq/kg FCPM), representó un 24% de las emisiones de GEI, a diferencia de Bongiovanni *et al.* (2022) quienes, con una metodología similar, encontraron que el secuestro representó sólo el 3,3% de las emisiones y tuvo un efecto relativamente pequeño sobre la HC.

Un aumento del secuestro de C puede tener efectos importantes sobre la HC. En el presente trabajo, por ejemplo, la aplicación en todos los cultivos de prácticas de labranza y manejo que maximicen el secuestro de C en suelo (como la siembra directa y la incorporación de residuos de cosecha) podría elevar el coeficiente de labranza hasta 1,09 (Tabla 5.5; IPCC 2019) y aumentar significativamente el secuestro de C. Además, un incremento similar se podría conseguir distribuyendo las excretas del tambo en los lotes, lo que aumentaría el coeficiente de incorporación de residuos de 1,0 a 1,11 (Tabla 5.5; IPCC 2019).

Conclusión

En este trabajo, la estimación de las emisiones de GEI y secuestro de C en base a las directrices de IPCC 2019 y al ACV de producto permitió establecer que la HC de la leche de un tambo semi pastoril del centro oeste de Buenos Aires, con nivel de producción intermedio y bajo nivel de suplementación, se encuentra entre los valores más bajos reportados en la literatura internacional y es similar a la de otros casos de tambos semi pastoriles analizados en estudios regionales. Además, el trabajo permitió caracterizar la contribución de diferentes fuentes de emisión y sumideros de C a la HC e identificar aquellos procesos que pueden ser modificados para reducirla.

Agradecimientos

Agradecemos al PACN por autorizar el uso del software para el estudio del caso.

Contribuciones

Santana FN, recolección y procesamiento de datos, escritura y edición del manuscrito; Milano GD, procesamiento de datos, escritura y edición del manuscrito; Sarramone C, recolección de datos.

Bibliografía

Bongiovanni R, Tieri MP, Nardi N (2022) Huella de carbono de la leche: un caso piloto. *Agronomía y ambiente: Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires* **44**, 111-125.

FAO (2023) Pathways towards lower emissions – A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems. Rome. https://doi.org/10.4060/cc9029en

Herrero MA, Moyano Salcedo A, Varillas G, Carbo L, Maekawa M (2014) Huella de Carbono según tres metodologías de cálculo en tambos del oeste bonaerense. *Revista Argentina de Producción Animal* **34** Supl. 1, 219.

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2019) 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Eds: Calvo Buendia E, Tanabe K, Kranjc A, Baasansuren J, Fukuda M, Ngarize S, Osako A, Pyrozhenko Y, Shermanau U and Federici S (IPCC: Suiza).

International Dairy Federation [IDF] (2015). A common carbon footprint approach for the dairy sector. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology (IDF: Brussels).

ISO (2018) Norma ISO14067:2018(es) GEI - Huella de carbono de productos - Requisitos y directrices para cuantificación.

Lizarralde C, Picasso V, Rotz CA, Cadenazzi M, Astigarraga L (2014) Practices to reduce milk carbon footprint on grazing dairy farms in southern Uruguay: Case studies. *Sustainable Agriculture Research* **3**, 1-15.

Mazzetto AM, Falconer S, Ledgard S (2024) Mapping the carbon footprint of milk production from cattle: A systematic review. *Journal of Dairy Science* **105**, 9713–9725.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca [MAGyP] (2023) Informe de cierre de existencias bovinas al 31 de diciembre de 2023. MAGyP.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MAyDS] (2021) Cuarto Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC).

National Research Council [NRC] (2001) Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, The National Academies Press, Washington, DC.

Programa Argentino de Carbono Neutro [PACN] (2023a) PACN Calculador Lácteos.v1.2. INTA, INTI, SAGyP, Ministerio de Economía, Argentina.

Programa Argentino de Carbono Neutro [PACN] (2023b) Manual de Metodología de Cálculo de Balance de Carbono para el Sector Lácteos, versión 1.0. INTA, INTI, SAGyP, Ministerio de Economía, Argentina.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación [SAyDS] (2015) Tercera comunicación Nacional de la República Argentina a la convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático.