

Huella hídrica del ganado bovino: desde la producción de cultivos hasta la exportación de la carne en la provincia de Buenos Aires (Argentina)¹

The water footprint of cattle: from crop production to meat exports in the province of Buenos Aires (Argentina)

Maria Macarena Arrien^{1,2}, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0001-0025>

¹ Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA), Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Campus Universitario, Tandil 7000, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), 1425 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

E-mail autor de correspondencia: marrien@fch.unicen.edu.ar

Arrien, M.M. (2026). Huella hídrica del ganado bovino: desde la producción de cultivos hasta la exportación de la carne en la provincia de Buenos Aires (Argentina) *Revista Estudios Ambientales*, 16 (1), 156 - 161.

Recibido: 05/05/2026 - **Aceptado:** 26/05/2026 – **Publicado:** 24/07/2026

Directoras de tesis: Corina Iris Rodríguez; Maite M. Aldaya

El crecimiento poblacional y el cambio en las dietas globales han incrementado la demanda de proteína animal, posicionando a países exportadores como Argentina en un rol estratégico (FAO, 2017; Steinfeld et al., 2006). En 2018, el país se ubicó como el sexto exportador mundial de carne vacuna, destacando la importancia económica de transformar granos en proteína de mayor valor para fortalecer las economías regionales (USDA, 2018).

Sin embargo, la intensificación productiva conlleva desafíos ambientales, principalmente sobre los recursos hídricos

y el suelo (Steinfeld et al., 2006; FAO, 2019). El impacto varía según el sistema de manejo: mientras los sistemas extensivos silvopastoriles con cargas animales adecuadas pueden ayudar a reducir el consumo de agua azul y la contaminación del agua relacionada con el nitrógeno, los sistemas intensivos de tipo feedlot, aunque técnicamente más eficientes, ejercen una mayor presión sobre el agua subterránea y generan riesgos de contaminación por la concentración de residuos (Mekonnen y Hoekstra, 2012).

Ante el creciente conflicto por el uso del agua entre sectores productivos, la huella hídrica (HH) se presenta como un

¹ Esta tesis se realizó en el marco del Doctorado en Ciencias Aplicadas mención Ambiente y Salud de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Fecha de defensa: 27 de marzo de 2026.

indicador multidimensional útil para evaluar la sostenibilidad y el uso de agua necesario para producir un producto o servicio. La huella hídrica cuantifica el volumen de agua dulce consumido a lo largo de toda la cadena de suministro, está conformada por tres componentes: el “azul” (volumen de agua superficial y subterránea evaporada como resultado de la producción de un bien), el “verde” (agua consumida proveniente de las precipitaciones), y el “gris” (volumen de agua dulce que es requerido para asimilar la carga de contaminantes generada) (Hoekstra et al., 2011). Este enfoque permite visibilizar el uso indirecto del agua, facilitando la identificación de ineficiencias y la mejora de la gestión de recursos.

La provincia de Buenos Aires concentra una proporción importante del stock bovino y de la producción de carne vacuna del país, constituyendo una de las principales regiones ganaderas de Argentina (SENASA 2018, Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, 2022). Sin embargo, la información disponible sobre la huella hídrica de estos sistemas productivos continúa siendo limitada. En este contexto de relevancia productiva de la región, la investigación tuvo como objetivo evaluar la huella hídrica del novillo desde el nacimiento hasta la salida del matadero en la provincia de Buenos Aires, considerando su relevancia en el comercio de agua virtual mediante sus exportaciones.

Para esto se plantearon los siguientes objetivos específicos: a) estimar cada uno de los componentes de la huella hídrica (gris, azul y verde) del novillo desde el nacimiento hasta la salida del matadero (de la cuna a la puerta del matadero), para el año 2018; b) analizar las exportaciones de agua virtual de carne vacuna, centrada en la categoría novillo; c) evaluar la sustentabilidad del uso del agua en la producción ganadera y generar

propuestas de mejora adaptadas a la realidad local.

La metodología se basó en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica de Hoekstra et al. (2011), adaptándola al contexto local y realizando aportes metodológicos específicos. Se estimó la huella hídrica verde y gris de los cultivos producidos en Buenos Aires destinados a la alimentación animal. La huella hídrica azul se consideró nula, dado que la agricultura en esta región es predominantemente de secano y solo alrededor del 1,5 % del área se cultiva bajo riego (INDEC, 2019). Luego se evaluó la huella hídrica del novillo engordado bajo tres sistemas (extensivo, mixto e intensivo) en la provincia de Buenos Aires (Figura 1). Posteriormente, se calculó el agua virtual asociada a la exportación de carne realizada por la provincia de Buenos Aires. Por último, se analizó la sustentabilidad de los resultados, vinculando la huella hídrica con indicadores de sustentabilidad social, económica y ambiental.

La investigación demostró que la producción de alimento para el ganado representa la mayor contribución a la huella hídrica del novillo. La agricultura regional se caracteriza por ser de secano, es decir que se basa en el uso de agua de lluvia (agua verde). En este sentido, la provincia de Buenos Aires presenta ventajas comparativas en la agricultura frente a regiones dependientes de agua azul, aunque también exponen la vulnerabilidad de los sistemas frente a la variabilidad climática y a eventos extremos como sequías e inundaciones (Rodríguez et al., 2024).

Los resultados de la huella hídrica gris del alimento, evidenciaron que la fertilización de los cultivos es ineficiente, por lo cual se está extrayendo más nutrientes del suelo de los que se le aportan, acrecentando la degradación edáfica.

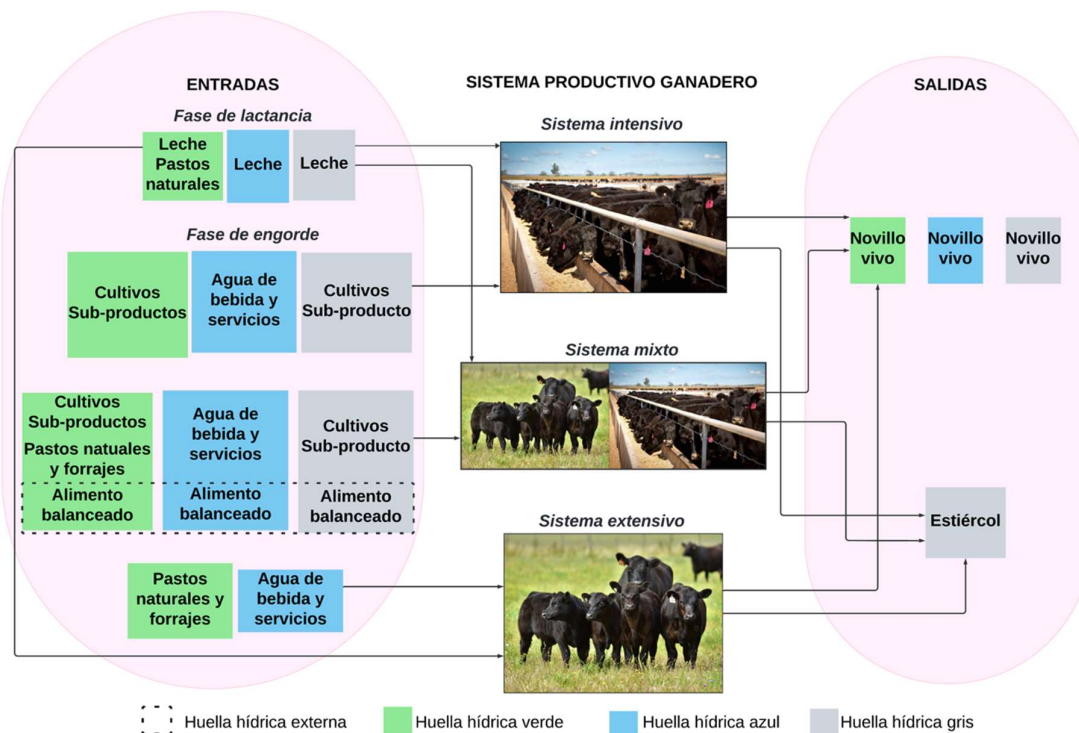


Figura 1. Esquema del uso del inventario de agua para la producción de novillos.

Del análisis de la huella hídrica del novillo en la granja en los tres sistemas productivos se desprende que, si bien el sistema extensivo es el que mayor huella hídrica total registra, el 99% de la misma corresponde al agua verde. Mientras que los sistemas intensivos y mixtos presentan una menor huella hídrica total, pero una mayor huella gris asociada al manejo de estiércol. Estas diferencias en los resultados de huella hídrica en los sistemas depende de diversos factores: alimento proporcionado; la cantidad de animales producidos por año; la duración del ciclo de engorde; el manejo del estiércol (Arrien et al., 2024, 2025).

La contribución de los mataderos al consumo total de agua es ínfima en comparación con las etapas previas de producción. Se consultó en mataderos regionales, pero ante la imposibilidad de acceder a los mismos para obtener información, se adoptó como referencia para la HH azul el valor establecido por

SENASA (1968), que estima un consumo de 1.500 litros de agua por animal. Por su parte, para la determinación de la huella gris, se asumió que los mataderos tratan y vierten adecuadamente las aguas residuales a la misma cuenca fluvial de donde captaron el agua, cumpliendo con los requisitos establecidos en la legislación nacional y provincial, lo que resulta en la ausencia de HH gris.

En la Tabla 1 se pueden observar los resultados de huella hídrica por sistema productivo desde el nacimiento del animal hasta la salida del matadero. Para el cálculo de la huella hídrica de la carne se realizó una asignación física de masa, y se consideró una fracción de producto de la carne para el ganado vacuno del 49% del peso vivo (Unión Europea, 2021).

Así, se obtuvo que la huella hídrica promedio para producir una tonelada de carne de novillo en los tres sistemas, considerando todo el ciclo productivo

desde el nacimiento hasta la puerta del matadero, fue de 5.343 m³ de agua. Este valor de huella hídrica de la carne se lo multiplicó por las toneladas de carne exportadas por la provincia en el año 2018 (258.000 toneladas) (INDEC, 2019; FAO, 2025), y se obtuvo que se comercializaron 1.379 Hm³ de agua. Este volumen se exportó a 31 países, de los cuales 11 fueron los responsables del 99%: China

(57%), Rusia (12%), Chile (9%), Alemania (7%), Israel (5%), Países Bajos (4%), Brasil (2%), Italia (2%), España (0.26%), Vietnam (0.25%), Reino Unido e Irlanda del Norte (0.21%). Cabe destacar que la mayoría de estas naciones presentan escasez hídrica en al menos una cuenca o estación del año, dependiendo de sus reservorios de agua dulce.

Tabla 1. HH total animal desde el nacimiento hasta la puerta del matadero en m³/animal faenado y m³/t de carne.

Sistema ganadero	Componente HH	HH novillo en granja	HH novillo en mataderos	HH novillo en toda la cadena	HH de la carne
		m ³ /animal vivo	m ³ /animal faenado	m ³ /animal faenado	m ³ /t de carne
Extensivo	verde	5.593	0	5.593	6.159
	azul	38	1,5	40	43
	gris	48	0	48	53
	total	5.679		5.681	6.255
Mixto	verde	4.073	0	4.073	4.536
	azul	37	1,5	39	43
	gris	137	0	137	153
	total	4.247		4.249	4.731
Intensivo	verde	4.767	0	4.767	4.247
	azul	47	1,5	49	43
	gris	846	0	846	754
	total	5.660		5.662	5.044
HH promedio de la carne bovina					5.343

En cuanto al análisis de la sustentabilidad, la huella hídrica de la carne puede considerarse sostenible desde el punto de vista geográfico ya que no se evidencia escasez de agua azul debido a que se conservan los caudales mínimos ambientales, ni tampoco se registran impactos negativos en la calidad del agua a nivel municipal. Pero es importante destacar que no es posible afirmar que un sistema productivo sea más sustentable que otro, ya que depende de los indicadores considerados y de las características propias de los sistemas productivos. En este contexto, se concluyó que las principales estrategias para reducir la huella hídrica se vinculan con

fortalecer prácticas de economía circular y promover sistemas de producción adaptados a la variabilidad climática. Algunos ejemplos pueden ser remplazar componentes de la dieta animal tales como granos intensivos en uso de agua por subproductos con una huella hídrica menor; reutilizar efluentes ganaderos con fines agronómicos, hacer adaptaciones en la siembra y manejo de los cultivos. Los resultados coinciden con investigaciones internacionales que destacan que la etapa de alimentación del animal constituye el principal componente de la huella total (Maré et al., 2020; González-Martínez et al., 2024). Además, coinciden en que mientras que la huella de

la carne disminuye a medida que el sistema se intensifica, la huella hídrica gris tiene un comportamiento inverso, incrementándose a medida que los sistemas se intensifican Mekonnen y Hoekstra (2012).

En conclusión, la investigación evidenció que la producción de novillos en Buenos Aires presenta una huella hídrica variable según el sistema productivo. La comparación entre sistemas extensivos-intensivos-mixtos indica que no es posible definir un modelo de producción más sustentable en todos los aspectos. Si bien los sistemas intensivos presentan menores valores de huella hídrica total, concentran mayores riesgos de contaminación hídrica asociados al manejo de estiércol, por el contrario, los sistemas extensivos y mixtos si bien tiene una huella hídrica mayor, presentan menores impactos sobre los cuerpos de agua dulce.

A su vez, la investigación evidenció que la exportación de carne bovina implica también la exportación indirecta de

grandes volúmenes de agua virtual hacia países con limitaciones hídricas, posicionando a la Argentina como exportador relevante de agua virtual en el comercio internacional.

Mediante esta investigación se aporta información clave para mejorar la gestión sostenible del agua en la producción agrícola y ganadera, ofreciendo herramientas y datos que permiten orientar políticas públicas, prácticas productivas y estrategias de comercio internacional hacia un manejo más eficiente y sustentable de los recursos hídricos, contribuyendo a la sostenibilidad del sector agroalimentario en la provincia de Buenos Aires.

PALABRAS CLAVES: huella hídrica; sistemas bovino intensivo, extensivo y mixto; sustentabilidad agropecuaria; agua virtual

KEY WORDS: water footprint; intensive-extensive and mixed livestock production system; agricultural sustainability; virtual water

BIBLIOGRAFÍA

Arrien, M.M., Aldaya, M.M., & Rodríguez, C.I. (2024). Cattle water footprint calculator / Calculadora de huella hídrica del ganado vacuno [DataSet]. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. <http://hdl.handle.net/11336/248559>

Arrien, M.M., Aldaya, M.M., & Rodríguez, C.I. (2025). Livestock and Water Resources: A Comparative Study of Water Footprint in Different Farming Systems. *Sustainability*, 17(5), 2251. <https://doi.org/10.3390/su17052251>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). *The Future of Food and Agriculture—Trends and Challenges*; Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). *Water use of livestock production systems and supply chains. In Guidelines for Assessment; Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership*, Roma.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2025). FAOSTAT [Dataset]. [En línea] Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/TCL>

González-Martínez, P., Goenaga, I., León-Ecay, S., De las Heras, J., Aldai, N., Insausti, K., & Aldaya, M.M. (2024). The water footprint of Spanish Ternera de Navarra PGI beef: Conventional versus novel feeding based on vegetable by-products from the local food industry. *Agricultural Systems*, 218. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103990>

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., & Mekonnen, M.M., (2011). The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Earthscan, Londres.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2019). Censo Nacional Agropecuario 2018: resultados preliminares. [En línea]. Disponible en: https://www.indec.gov.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_preliminares.pdf

Maré, F.A., Jordaan, H., & Mekonnen, M.M. (2020). The water footprint of primary cow–calf production: A revised bottom-up approach applied on different breeds of beef cattle. *Water* 2020, 12, 2325. <https://doi.org/10.3390/w12092325>

Mekonnen, M.M., & Hoekstra, A.Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 2012, 15, 401–415. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2022). Plan de Ganadería Argentina 2022–2030. Disponible online: https://magyp.gob.ar/ganar/pdf/Plan_GanAr_27-04-2022_provisorio.pdf

Rodríguez, C.I., Arrien, M.M., Silva, S.H., & Aldaya, M.M. (2024a). Global relevance of Argentinean rainfed crops in a climatic variability context: A water footprint assessment in Buenos Aires province. *Science of the Total Environment*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171946>

Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). (2018). El Stock Ganadero Bovino Alcanzó los 54,8 Millones de Animales. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Sanidad Animal. Disponible online: <http://www.senasa.gob.ar/senasa-comunica/noticias/el-stockganadero-bovinoalcanzo-los-548-millones-de-animales> (acceso 15 de mayo de 2024).

Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). (1968). Decreto 4238/1968: Reglamento de inspección de productos y subproductos y derivados de origen animal. Capítulo 4: "Régimen de afluentes". Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Sanidad Animal.

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & De Haan, C. (2006). *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*; Food and Agriculture of the United Nations: París.

Unión Europea [UE]. (2021). Recommendation on the use of Environmental Footprint methods. Annex I. Product Environmental Footprint Method. Unión Europea. Disponible online <https://environment.ec.europa.eu/system/files/2021-12/Annexes%201%20to%202.pdf>

United States Department of Agriculture (USDA). (2018). *Livestock and Poultry: World Markets Trade*. Foreign Agricultural Service: Washington, DC, USA. [En línea]. Disponible online: https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/73666448x/mg74qq69r/j6731729p/livestock_poultry.pdf