

ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA GANADERÍA DE LECHE EN LA SIERRA CENTRO NORTE DEL ECUADOR

ESTIMATE OF THE WATER FOOTPRINT OF DAIRY FARMS IN THE NORTH-CENTRAL ANDEAN REGION OF ECUADOR

Francisco Adolfo Gutiérrez-León^{1a}, Sandy Pamela Briones Zavala^{1b} y Xavier Bolívar Lastra-Bravo^{1c*}

^{1a} Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Jerónimo Leiton y Gatto Sobral s/n. Ciudadela Universitaria. CP 170521, Quito, Ecuador
<https://orcid.org/00000-0002-9749-3467>

^{1b} Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Jerónimo Leiton y Gatto Sobral s/n. Ciudadela Universitaria. CP 170521, Quito, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-9749-3467>

^{1c} Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Jerónimo Leiton y Gatto Sobral s/n. Ciudadela Universitaria. CP 170521, Quito, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0001-6167-6942>

* Autor para correspondencia: xblastra@uce.edu.ec

RESUMEN

La demanda de agua para ganadería aumenta a medida que la población crece, por lo que es importante reducir su consumo. El objetivo de la presente investigación fue determinar la Huella Hídrica (HH) y sus componentes (verde, azul y gris) en las ganaderías de leche de la región andina del Ecuador. La investigación se desarrolló en 24 fincas ganaderas o ganaderías de leche distribuidas en siete provincias de la región andina. Se agruparon en cuatro grupos en función de la superficie y tamaño del hato en producción. La información requerida se levantó mediante visitas en campo y entrevistas a los productores. Los resultados se analizaron mediante estadística descriptiva, análisis de varianza y prueba de LSD-Fisher ($p < 0,05$). Los resultados indican que la HH verde, proveniente de lluvias, es la más consumida (5.663,85 L agua vaca⁻¹ día⁻¹ en promedio). No se encontró relación entre HH verde y tamaño de las fincas, dado que la principal fuente de alimentación en todas las ganaderías son pasturas. En general, las fincas más pequeñas son más eficientes en el uso del agua por unidad de producción de leche, aunque las fincas más grandes tienen mejor capacidad para gestionar y tratar las aguas grises.

Palabras clave: agua virtual, ganadería lechera, Región andina, Ecuador.

ABSTRACT

The demand for water for livestock increases as population size increases, and thus it is important to reduce water consumption in this sector. This research aimed to determine the Water Footprint (WF) and its components (green, blue and gray) in dairy farms in the Andean region of Ecuador. The research was conducted in 24 cattle or dairy farms distributed across seven provinces in the Andean region. The farms were grouped into four categories based on their surface area and herd size. The required data was collected through field visits and interviews with producers. The results were

analyzed using descriptive statistics, analysis of variance, and Fisher's Least Significant Difference (LSD) test ($p < 0.05$). The results indicate that WF green from rainfall is the most consumed (5,663.85 L water cow⁻¹ day⁻¹ on average). There was no relationship between green WF and farm size, since the main source of feed in all farms is pasture. In general, smaller farms are more efficient in water use per unit of milk production, although larger farms have better capacity to manage and treat graywater.

Keywords: virtual water, dairy farming, Andean region, Ecuador.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso único e insustituible de cantidad limitada, y como base de la vida, las sociedades y las economías, conlleva múltiples valores y beneficios. Pero a diferencia de la mayoría de otros recursos naturales valiosos, ha resultado extremadamente difícil determinar su verdadero "valor" (UNESCO, 2021). Es así como, para comprender la dependencia hídrica de los sistemas económicos, para diseñar estrategias de gestión hídrica y evaluar el desempeño hídrico en los sistemas de producción y de consumo, se ha desarrollado el concepto de Huella Hídrica (HH) (Madrid-López, 2023; Nydrioti et al., 2023).

El término huella se usa como un término ecológico, la cual se puede definir como el estudio científico de los flujos de energía y recursos materiales a través de los ecosistemas y de los mecanismos competitivos y cooperativos que han evolucionado para la asignación de recursos entre diferentes especies (Rees, 2018). La HH es un indicador desarrollado en la década de los 2000 con el objetivo de operacionalizar el concepto de agua virtual (volumen de agua necesario para producir un producto o servicio), y por tanto, cuantificar el contenido virtual de agua en productos y/o servicios que son consumidos directa e indirectamente por individuos, comunidades o industrias (Madrid-López, 2023; Fatima et al., 2024). La HH se compone de tres partes: agua verde (agua de lluvia), agua azul (superficial y subterránea) y gris (agua contaminada) (Lovarelli et al., 2016; Madrid-López, 2023; Fatima et al., 2024).

De manera general, los cultivos agrícolas, los productos ganaderos, las fibras naturales y la bioenergía requieren grandes cantidades de agua para ser producidos (Hoekstra y Mekonnen, 2012), y las proyecciones indican que la demanda de agua aumentará debido a la productividad ganadera, incluida la lechera, y a los cambios en la dieta (Weindl et al., 2017). Entre los productos ganaderos, destaca por su alto consumo de agua la ganadería bovina de carne ($\sim 15.400 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$), que es tres veces superior al consumo promedio mundial de las carnes de cerdo ($\sim 6.000 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$) o pollo ($\sim 4.300 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$) (Mekonnen y Hoekstra,

2010). Este mayor consumo se debe a que en los rumiantes la tasa de conversión alimenticia es más baja que en los animales monogástricos (Ibidhi y Ben Salem, 2020a; Siwek et al., 2021).

Un consumo mucho menor es el estimado para la ganadería bovina de leche ($\sim 1.000 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$) (Mekonnen y Hoekstra, 2010). Pero, su huella hídrica varía en función de factores como el tipo de explotación, la raza del ganado, el tipo de alimentación (forrajes y/o piensos), el tamaño del hato, las tecnologías de ordeño o la gestión de la finca (Shine et al., 2020; Nagypál et al., 2020; Al-Bahouh et al., 2021; Bronts et al., 2023). En cuanto a la alimentación, por ejemplo, cultivos como el maíz, utilizado en la producción de piensos, ha aumentado su consumo de agua por las mayores tasas de evapotranspiración y el estrés térmico producto de las variaciones climáticas, y por ende, también han aumentado los requerimientos hídricos para la producción láctea (Waltner et al., 2023).

Se estima que el 27% de la huella hídrica mundial está relacionada con la producción de productos ganaderos, mientras que solo el 4% corresponde al consumo de agua en los hogares (Bhagat et al., 2020). Considerando que la demanda de agua para la producción láctea aumenta a medida que la población crece, para cubrir la demanda el sector ganadero ha incrementado el uso de recursos renovables y no renovables, pero al hacerlo ha aumentado la competencia con otros usuarios, sectores productivos y servicios ambientales, agravando los problemas de escasez de agua en varias regiones (Siwek et al., 2021). Además de la escasez de agua, uno de los desafíos centrales que enfrenta la ganadería es el manejo y disposición de los residuos generados directamente, puesto que las heces y la orina pueden ser peligrosas para el ambiente (Steinfeld et al., 2009).

Dada la importancia que tiene el reducir el consumo de los recursos hídricos en las actividades productivas, especialmente en la ganadería de leche, el objetivo de la presente investigación fue determinar la huella hídrica y sus componentes (verde, azul y gris) en las ganaderías de leche de la región andina del Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en 24 fincas ganaderas o ganaderías de leche distribuidas en siete provincias de la región andina del Ecuador: Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y Chimborazo (Fig. 1). De acuerdo con las estadísticas reportadas por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2023), en el 2023, en estas siete provincias se obtuvieron el 56,7% de los 5,6 millones de litros de litro que se producen diariamente en el Ecuador. Por provincias, Pichincha y Cotopaxi son las mayores productoras de leche a nivel nacional, con el 13,6 y el 11,8%, respectivamente. Chimborazo y Tungurahua produjeron el 11,1 y el 10,2%, ubicándose en cuarto y quinto lugar. Carchi, Bolívar e Imbabura produjeron el 10%. Además, en la provincia de Pichincha se concentran el 40% de empresas productoras de leche (Corporación Financiera Nacional (CFN), 2023).

Las 24 fincas se localizan en zonas climáticas con similares características (Tabla 1), a una altitud entre 1.897 y 3.000 m s.n.m, con temperaturas máximas entre 18 y 23°C, mínimas entre 3 y 9°C, y con precipitaciones entre 2.000 y 2.400 mm.

Se levantó información de cada finca mediante un cuestionario en relación con características generales de la finca (superficie, uso del suelo, infraestructura existente), características del hato ganadero (tamaño, raza, producción diaria,

tipo de ordeño, vacas en producción), manejo de pasturas (tipo, especies, sistema de pastoreo, sistema de manejo), uso y gestión del agua (provisión, tipo de riego, frecuencia de riego, medidas de protección de fuentes), limpieza y equipos en las instalaciones (volumen del tanque colector, lavado ácido y alcalino, tiempo de lavado, uso del agua en manejo animal), lavado del establo (tiempo y tipo), tratamiento de agua (calidad, acceso, tratamiento de aguas residuales).

Las 24 ganaderías se clasificaron mediante el programa INFOSTAT a través de un análisis de conglomerados jerárquicos con el método Ward (clasificar y formar grupos relativamente homogéneos), de acuerdo con el número de hectáreas y número de animales en producción, obteniendo como resultados cuatro grupos de seis ganaderías (Tabla 2). El estudio se realizó durante los meses de noviembre, diciembre y enero de 2021.

Las variables obtenidas para el cálculo posterior de la huella hídrica total, y por producción, fueron:

- **Rendimiento de forraje** (Kg MS ha⁻¹): se tomaron muestras al azar de las pasturas destinadas para las vacas en producción de leche mediante un cuadrante de 1 m².
- **Materia Seca (MS)**: Una submuestra de las muestras tomadas al azar de las pasturas se utilizó para estimar el contenido de materia seca, con una estufa con ventilación forzada a 70 °C por 48 horas (Marín et al., 2020):

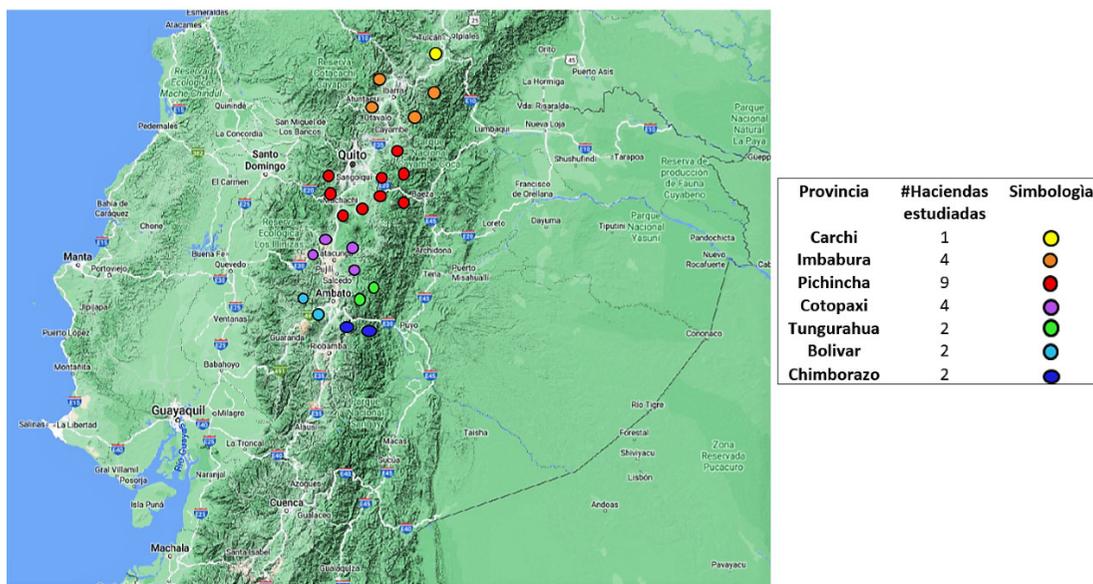


Fig. 1. Ubicación de las ganaderías de leche por provincia. Fuente: Elaboración propia a partir de Google maps.

Fig. 1. Location of dairy farms by province. Source: Own elaboration based on Google maps.

Tabla 1. Características agroclimáticas de las fincas ganaderas de leche.
Table 1. Agroclimatic characteristics of dairy cattle farms.

Finca	Altitud (m s.n.m)	Temperatura		Precipitación anual (mm)
		máxima (°C)	mínima (°C)	
A1	2.600	18	6	2.100
A2	2.650	20	7	2.000
A3	3.000	20	8	2.200
A4	2.800	20	4	2.100
A5	2.220	20	4	2.300
A6	2.300	22	6	2.220
B1	2.900	23	8	2.300
B2	2.500	20	4	2.400
B3	2.820	20	4	2.000
B4	2.500	18	3	2.000
B5	2.965	20	6	2.100
B6	2.890	21	6	2.202
C1	1.998	22	6	2.000
C2	1.901	21	6	2.100
C3	2.100	22	7	2.100
C4	1.897	22	6	2.200
C5	1.897	22	4	2.100
C6	2.101	20	8	2.000
D1	2.000	20	9	2.000
D2	2.000	20	8	2.100
D3	2.340	18	4	2.300
D4	2.500	19	6	2.100
D5	2.100	20	8	2.200
D6	1.980	21	9	2.000

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2022).

Tabla 2. Clasificación de las fincas ganaderas de leche por las variables de estratificación consideradas.
Table 2. Classification of dairy cattle farms based on the stratification variables considered.

Grupo	Superficie (ha)	Número de animales en producción
A	Mayor a 70	Mayor a 50
B	40-70	35-50
C	20-39	20-34
D	Menor a 20	Menor a 20

Fuente: Elaboración propia.

$$\%MS = \frac{\text{Peso final (g)}}{\text{Peso inicial (g)}} * 100$$

- **Peso vivo de los animales (PV):** se utilizó la información disponible en cada una de las fincas en kg.
- **Consumo de materia seca (CMS)** del rebaño: se estimó mediante la sumatoria del CMS de cada animal de acuerdo con el peso vivo (PV). Se valoró el CMS como el 3 % del PV

(Rombach et al., 2019).

- **Producción de leche** (L leche vaca⁻¹ día⁻¹): se consideró el reporte de venta de leche, así como la que se destina para los animales lactantes, de acuerdo con los datos reportados por los responsables de las fincas (cuestionario).
- **Consumo de agua para la producción de forraje** (L kg MS⁻¹): para calcular el requerimiento de agua de cultivo (RAC), se utilizó el programa CROPWAT-FAO (Food and Agriculture Organization of the United

Nations, 2022a), recomendado por la FAO para calcular los requerimientos de agua de los cultivos a partir de datos climáticos y del cultivo. Los datos climáticos que requiere el programa fueron proporcionados por estaciones meteorológicas cercanas a cada hacienda (Tabla 1). Esta información se obtuvo mediante el programa CLIMWAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022b).

- **Manejo de aguas residuales:** se verificó si se dan tratamiento a las aguas grises - HHG.

Para el cálculo estimado de la HH, y de sus componentes, se consideró:

- **Huella hídrica azul (HHA):** el agua de bebida para las vacas lactantes y la utilizada para limpieza, en una relación de 6 litros de agua por litro de leche producida (Rueda Quiroz, 2014). Se asumió un consumo similar para todas las ganaderías considerando sus variables agroclimáticas similares.
- **Huella hídrica verde (HHV):** para el consumo indirecto (CI) del agua se tomó en cuenta la cantidad de agua para la producción de MS del forraje (*Pennisetum clandestinum*, *Lolium multiflorum*, *Trifolium repens*), valor estimado con el programa CROPWAT-FAO, y el consumo de MS de los animales, 3% peso vivo (Ríos Ramírez et al., 2013).

$$CI = \frac{(AC \times A)}{H}$$

donde:

AC = Alimento consumido por el hato (kg/MS).

A = Litros de agua utilizados para producir un kg de MS.

H = Número de animales de la finca (solo vacas en producción).

- **Huella hídrica gris (HHG):** agua consumida en la limpieza del establo (LE) y lavado del equipo de ordeño. No se consideró el agua contaminada por otras labores del sistema de producción lechera por no ser representativo.
- **Limpieza del establo (LE):** se midió el tiempo que llevaba esta actividad y se aforó el caudal utilizando el método volumétrico con un recipiente de 20 litros y el tiempo que tomaba llenarlo.

$$LE = T_{LE} \times \frac{V}{T}$$

donde:

T_{LE} = Tiempo de limpieza del establo.

V = volumen (20 l).

T = tiempo de llenado (s).

- **Lavado del equipo de ordeño:** se consideró el tipo de ordeño mecánico que utilizan en las ganaderías y el volumen del tanque de almacenamiento de leche. También se analizó la frecuencia con la que realizan las actividades de pre-enjuague, lavado, enjuague ácido o alcalino y desinfección.

El cálculo de la HH para la producción de un litro de leche se realizó a través de la ecuación recomendada por Yalta et al. (2021):

$$HH = \frac{(CAA + UdA)}{PLP}$$

donde:

CAA = Consumo de agua por parte del animal obtenida de la suma de la HHA (consumo directo de agua) y la HHV (consumo indirecto de agua).

UdA = Huella hídrica gris (HHG).

PLP = Producción de litros de leche del hato.

Los resultados se evaluaron mediante estadística descriptiva, test de análisis de varianza y prueba de LSD-Fisher. Se realizaron análisis de los supuestos para observar que se cumpla con los requisitos de normalidad en cada uno de los grupos de fincas. Se utilizó del programa estadístico INFOSTAT.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las fincas y de su gestión ambiental

Las diferencias entre las cuatro clases de ganaderías de la zona andina del Ecuador incluidas en el estudio se visualizan en la Tabla 3. La superficie media se reduce progresivamente a la mitad de un grupo a otro, siendo el valor del grupo D aproximadamente la décima parte del grupo A. Similar relación se observa en la cantidad de animales que componen el hato, siendo el número de vacas en producción del grupo D, la quinta parte del grupo A. Existieron varias razas lecheras; la más numerosa fue Holstein-Friesian, seguido de Jersey y Brown Swiss, así como cruces lecheros. En cuanto al peso vivo, se observaron diferencias significativas ($p = 0,02$), siendo las fincas con menor extensión y número de animales las que presentan el menor promedio. Por el contrario, las variables producción de pasto, producción de leche por vaca al día y producción de leche por hectárea no presentaron diferencias significativas. Inclusive, se observa que la productividad de las fincas con menor superficie y número de animales es mayor a la de las grandes fincas. La alimentación del ganado proviene principalmente de pastos cultivados en las fincas, siendo la suplementación

Tabla 3. Características de las fincas productoras de leche incluidas en el estudio.**Table 3. Characteristics of the dairy farms included in the study.**

Grupo	A		B		C		D	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Superficie (ha)	119,17	±64,01	51,5	±10,15	26,67	±6,53	13,17	±5,01
Vacas en producción	174,00	±147,77	40,83	±3,37	27,00	±4,47	17,33	±2,73
Peso Vivo (kg)	461,00	±6,20	455,00	±5,48	444,17	±11,14	431,67	±19,41
Producción de pastos (Kg MS ha ⁻¹)	2.396,10	±45,19	2.459,06	±152,24	2.312,33	±70,50	2.392,54	±106,46
L leche vaca ⁻¹ día ⁻¹	11,75	±3,51	13,23	±3,50	14,25	±4,00	18,27	±5,01
L leche ha ⁻¹	16,85	±14,34	10,63	±2,71	15,28	±7,48	29,77	±18,81

DE: desviación estándar; MS: Materia seca.

con balanceado o pienso minoritaria.

En relación con el consumo de agua para producción de forraje, se obtuvieron valores promedio para cada tipo de finca considerando la composición promedio de sus pasturas (Tabla 4). Las principales especies encontradas en las pasturas de las fincas ganaderas de leche fueron gramíneas como kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), raigrás perenne (*Lolium perenne*), pasto azul (*Dactylis glomerata*); leguminosas como trébol (*Trifolium* sp.); alfalfa (*Medicago sativa*); y asteráceas como achicoria (*Cichorium intybus*) y llantén (*Plantago major*).

Si bien la cantidad de agua que se requiere para producir materia seca es mayor en los grupos A y C, principalmente por la mayor presencia de leguminosas en las pasturas, no se encontraron diferencias significativas entre los grupos de fincas. La presencia de leguminosas en las pasturas provoca un mayor consumo de materia seca y una mayor producción de leche, de manera que existe una mayor eficiencia del agua en la producción de leche, aunque el contenido de proteínas y grasas en la leche es ligeramente inferior (Johansen et al., 2018). Además, la mayor eficiencia en el uso del agua y el mayor valor nutricional de las leguminosas, contribuyen a una mejor gestión global del agua en las fincas lecheras con alimentación basada en pastos (Dulepinskih et al., 2023; Pereira et al., 2023). Destaca en los pastos de las fincas estudiadas la presencia de raigrás perenne, común en climas templados, especie sensible a la sequía y que requiere un riego más frecuente para mantener su productividad, aumentando su requerimiento hídrico (Holloway-Phillips, 2011). En definitiva, la cantidad de agua consumida por los distintos tipos de especies forrajeras utilizadas en la producción lechera en la región andina depende de varios factores, entre ellas, las prácticas de

riego, el manejo de los pastos y las condiciones ambientales, siendo necesario en estas zonas altitudinales mejorar la gestión de la calidad del suelo y la eficiencia de los sistemas de riego (Cachipuendo-Ulcuango et al., 2017).

El agua utilizada en las actividades diarias y en el riego de las pasturas proviene principalmente de vertientes naturales que se recargan mediante lluvias (5 de las fincas de los grupos A y C, y 4 de las fincas de los grupos B y D), seguida de captaciones de ríos aledaños (2 de fincas del grupo D, una de fincas de los grupos A y C). Las fincas del grupo B también se abastecen desde pozo y reservorio. En general, las fincas presentan una alta dependencia de las lluvias para la producción de forraje y para mantenimiento, por lo que épocas de sequía generan condicionan el desarrollo normal de las ganaderías. El tipo de riego utilizado en las pasturas es por aspersión. En este sentido, Errecart et al. (2020) aseguran que la disponibilidad de agua es esencial para la absorción de nitrógeno (N) en la pradera, ya que la mayor parte del N mineral se encuentra en la capa superior del suelo, y por tanto, el estrés hídrico puede dificultar la nutrición de N en la pastura si se reduce el suministro de N. Devi et al. (2022) señalan que el consumo de agua proveniente de forrajes y de piensos superan los consumos de agua potable y de las actividades diarias en las ganaderías.

Se encontraron diferencias significativas entre grupos de fincas para el consumo de agua en la limpieza de los establos y del ordeño (Tabla 5). Las fincas más pequeñas (D) son las que más agua consumen en estas dos actividades de mantenimiento, indicando que son más ineficientes. Estas fincas también presentaron el mayor consumo de agua directo de los animales. Las fincas más grandes (A) presentaron el mayor consumo de agua de riego, debido a su extensión.

Tabla 4. Consumo de agua para la producción de forraje.**Table 4. Water consumption for forage production.**

Grupo	Especie	RAC (mm)	Pasto por	Agua	Agua
			hato (%)	consumida (L kg MS ⁻¹)	consumida por grupo (L kg MS ⁻¹)
A	<i>Lolium multiflorum</i>	98,4	70	299,27	421,53
	<i>Pennisetum clandestinum</i>	92,9	20	80,73	
	<i>Trifolium repens</i>	95,6	10	41,54	
B	<i>Lolium multiflorum</i>	98,4	75	316,33	416,45
	<i>Pennisetum clandestinum</i>	92,9	20	79,64	
	<i>Trifolium repens</i>	95,6	5	20,49	
C	<i>Lolium multiflorum</i>	98,4	80	348,76	432,31
	<i>Trifolium repens</i>	95,6	15	63,53	
	<i>Plantago major</i>	90,4	5	20,03	
D	<i>Lolium multiflorum</i>	98,4	60	254,63	415,48
	<i>Pennisetum clandestinum</i>	92,9	35	140,23	
	<i>Trifolium repens</i>	95,6	5	20,62	

Tabla 5. Consumo de agua azul (L agua vaca⁻¹ día⁻¹).**Table 5. Blue Water consumed (L water cow⁻¹ day⁻¹).**

Grupo	Consumo directo	Riego de pasturas	Limpieza de establo	Limpieza del ordeño
A	70,55 a	172,54 a	7,20 a	3,52 a
B	79,47 a	136,73 a	12,02 ab	7,33 b
C	85,43 a	133,94 a	16,26 ab	8,03 b
D	89,10 a	126,59 a	19,79 b	14,10 c
p valor	0,4387	0,7639	0,0340	<0,0001
media	81,13	142,45	13,82	8,24
DE	20,35	77,51	8,19	4,52

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

En cuanto al manejo de aguas grises, se observó que es menor en las fincas del grupo D, ya que solo una finca realiza tratamiento de estas aguas mediante una piscina de oxidación. En las fincas de los grupos C y B, dos fincas tratan sus aguas grises mediante este sistema, y en el caso del grupo A, se llega a la mitad de las fincas (tres). Este resultado muestra que el nivel de implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales sigue siendo un asunto pendiente en la ganadería de la zona andina del Ecuador, y que el impacto ambiental que se genera en los afluentes que reciben estas aguas no está siendo adecuadamente mitigado. Las fincas más grandes son aquellas que han enfrentado mayoritariamente este problema, posiblemente porque pueden afrontar los costos que conlleva.

Huella Hídrica de las ganaderías

Resultado del cálculo del consumo de agua en función de la cantidad de vacas en lactancia,

de cada una de las fincas incluidas en el estudio, se obtuvo una HH promedio de 5.893,18 L agua vaca⁻¹. Se encontraron diferencias significativas entre los grupos de fincas (Tabla 6), observando que las fincas con mayor superficie y número de animales tienen un menor consumo de agua por cada vaca en lactancia. Resultados similares fueron reportados por Devi et al. (2020, 2022) en India, donde ganaderías comerciales (grandes) consumen más agua, pero han alcanzado una mayor eficiencia.

Por componente de la HH, en las ganaderías incluidas en el estudio se obtuvo que la HHA representó el 3,52% de los litros de agua consumidos por cada vaca en producción, la HHV el 96,11%, y la HHG el 0,37%. Estos resultados responden a la alta dependencia de las lluvias para la producción de pastos y forrajes en las fincas ganaderas analizadas, y la baja tecnificación en cuanto a riego.

Los estudios sobre HH en ganaderías de leche

Tabla 6. Huella Hídrica Azul, Huella Hídrica Verde y Huella Hídrica Gris por vaca en lactancia (L agua vaca⁻¹ día⁻¹).**Table 6. Blue Water Footprint, Green Water Footprint and Gray Water Footprint per dairy cow (L water cow⁻¹ day⁻¹).**

Grupo	HHA	HHV	HHG	HH
A	193,91a	5.829,78a	10,72b	6.034,41b
B	224,13a	5.688,60a	19,35b	5.928,08b
C	206,44a	5.760,59a	24,29a	5.991,32b
D	204,59a	5.380,44b	33,89a	5.618,92a
<i>p</i> valor	0,9187	0,0002	0,0008	0,0029
media	207,27	5.663,85	22,06	5.893,18
DE	71,30	224,29	11,23	236,07

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

tienen un amplio rango sobre la demanda de agua para la producción de leche. Por ejemplo, Martínez Mamian et al. (2016) calcularon un consumo de 8.622,17 m³ año⁻¹ en Colombia, y al igual que en este estudio, que el 97,4% proviene de la HH verde. Por su parte, Ibdhi y Ben Salem, (2020b), en Túnez, encontraron que el 68% del agua consumida corresponde a HHV, el 30% a HHA y el 2% a HHG, resultados que difieren dado el mayor consumo de piensos y menor dependencia a los pastos. Higham et al., (2024) cuantificaron que el 99% de la HH de la producción lechera de pastoreo en Nueva Zelanda corresponde a la producción de forraje y de piensos. En regiones semiáridas, se estima que aproximadamente el 57% del agua consumida proviene de precipitaciones (HHV), que el 18% se consume en el riego (HHA) y el 25% corresponde a los alimentos producidos fuera de las fincas (Yerou et al., 2021).

En la composición de la HH de la ganadería de leche, los resultados obtenidos en la investigación y los estudios mencionados, concuerdan con los indicados por Shine et al. (2020), Devi et al. (2022) y Wisser et al. (2024), que el principal componente de la HH de la ganadería de leche es la HHV, por su alimentación basada principalmente en pastos y en los ingredientes de los piensos, y en menor medida, el agua de consumo directo por parte de los animales o en las operaciones de mantenimiento.

No se observaron diferencias significativas en la HHA entre los grupos de finca. Las fincas con mayor superficie y hato ganadero (grupo A) presentaron el menor consumo de agua desde fuentes de agua dulce (HHA). El bajo porcentaje que representa la HHA obedece a que las necesidades de agua azul en sistemas pastoriles son menores, puesto que el agua presente en los

forrajes contribuye significativamente a satisfacer las necesidades de agua, mientras que los forrajes deshidratados, los granos y los concentrados, que suelen utilizarse en los sistemas de producción estabulados, contienen cantidades de agua mucho menores: entre el 5 y el 12% del peso del alimento, lo que aumenta la demanda de agua de bebida para los animales (McDonald et al., 2013). Además, Los animales, pierden agua a través de la respiración (pulmones), evaporación (piel), defecación (intestinos) y orina (riñones), estas pérdidas de agua aumentan con las temperaturas altas y la humedad baja (National Research Council, 2001).

Se observaron diferencias entre los grupos de fincas en el consumo de agua proveniente de precipitaciones en el crecimiento de las pasturas (HHV) y en las aguas grises generadas (HHG). Las diferencias guardan relación con el tamaño de las fincas incluidas en este estudio, dado que las fincas más pequeñas (grupo D) son las más eficientes en el uso del agua para el crecimiento de pasturas, y las más grandes (grupo A) las que menor cantidad de aguas grises generan, por cada vaca en producción.

Higham et al. (2024) señalan que el sistema de explotación influye significativamente en la HH de la ganadería lechera, ya que los sistemas de regadío tienen una HH mayor que los sistemas de secano. Bronts et al. (2023) compararon ganaderías lecheras convencionales y orgánicas en Países Bajos, encontrando que los segundos presentan una menor eficiencia. En sistemas estabulados en Alemania, Krauß et al. (2016) estimaron que la HHG es de 29 L vaca⁻¹ día⁻¹. Steinfeld et al., (2009) obtuvieron para sistemas estabulados una HHG de 22 L vaca⁻¹ día⁻¹, muy superior a sistemas pastoriles, en las que disminuye a 5 L vaca⁻¹ día⁻¹. Si bien las ganaderías en la investigación tienen

sistemas pastoriles, su HHG es alta, con valores similares a los de sistemas estabulados. Esto se relaciona con que un porcentaje importante de ganaderías no realiza ningún tratamiento a sus aguas grises.

En cuanto a la HH por litro de leche producida, se obtuvo que las fincas más grandes (grupo A) tienen una mayor demanda de agua por litro de leche producida (Tabla 7), consumo superior en aproximadamente un 16% al de las fincas de los grupos B y C. Mientras que las fincas del grupo D registran un menor consumo de agua por litro de leche, aproximadamente el 60% de lo que consumen las fincas del grupo A. Sin embargo, en los resultados anteriores no se identificaron diferencias estadísticas significativas entre los cuatro grupos en la HH total ni en sus tres componentes.

Los valores de HH por litro de leche obtenidos en esta investigación son menores a los reportados en otros estudios, principalmente por el tipo de sistema productivo. Es así como, *Ibidhi y Ben Salem, (2020b)* en Túnez, concluyeron que en sistemas estabulados se requieren de 1.360 L agua L leche⁻¹. En Sudáfrica en sistemas estabulados se necesitan 882 L agua L leche⁻¹, de esto el 87% es la HHV, 8% HHA y 4% es la HHG (*Owusu-Sekyere et al., 2016*). En el norte de China, en sistemas de leche estabulados se estableció que la HH en promedio fue de 882 L agua L leche⁻¹, con un rango de 639 a 1.307 L leche (Lu et al., 2018). *Muñoz Quintero (2014)*, en su estudio en Panamá, señala que otro factor a considerar es la estación, ya que obtuvo que en época seca la HH es de 1.048 L agua L leche⁻¹, mientras que en época lluviosa disminuye a 891 L agua L leche⁻¹. Los valores altos de HH por litro de leche pueden explicarse por lo señalado por *Gimenez et al. (2022)*, quienes afirman que en sistemas lecheros la demanda de agua está relacionada con una elevada carga

animal y alta suplementación (piensos), ya que estos sistemas requieren alimentos externos que aumentan la demanda de agua.

En sistemas productivos con mayor similitud a las fincas incluidas en este estudio (sistemas pastoriles) se obtuvieron resultados con mayor similitud. *Pérez et al. (2021)* obtuvieron una HH de 798 L agua kg leche⁻¹, en su estudio en Argentina. En Chile, bajo un sistema pastoril, se utilizan en promedio 278 L agua L leche⁻¹ (*Martínez-Lagos y Salazar, 2015*). *Murphy et al. (2017)*, en sistemas pastoriles de Irlanda, estimaron que se requieren en promedio 670 L agua L leche⁻¹, de estos el 85% corresponde a la HHV.

En relación con la HHA, los valores obtenidos son superiores a los reportados por *Capper et al. (2009)*, quienes en su estudio de los sistemas de producción lechera estadounidenses, entre 1944 y 2007, concluyeron que existe una disminución de la HHA y que el consumo de agua pasó de 10,44 a 3,6 L agua L leche⁻¹, en 2007. Esto pone de manifiesto la escasa o nula preocupación por parte de las fincas incluidas en el estudio para implementar mejoras relacionadas con eficiencia hídrica.

A partir de los resultados obtenidos, y considerando que cada vez hay más recursos hídricos contaminados, sobreexplotados y secados por el ser humano, y a veces con consecuencias irreversibles (*UNESCO, 2022*), se refuerza la necesidad de implementar estrategias de manejo eficiente del agua, la optimización del uso de pasturas, la gestión de aguas residuales y la adaptación de la dieta de los animales, para reducir la huella hídrica total. Temas que se discuten a continuación a partir de la literatura científica.

En relación con estrategias de manejo eficiente del agua, se ha considerado para reducir la HH en ganaderías lecheras el aumentar la eficiencia

Tabla 7. Huella Hídrica Azul, Huella Hídrica Verde y Huella Hídrica Gris por litro de leche (L leche⁻¹).

Table 7. Blue Water Footprint, Green Water Footprint and Gray Water Footprint per liter of milk (L milk⁻¹).

Grupo	HHA	HHV	HHG	HH
A	17,04a	523,24b	1,93a	542,21b
B	17,13a	457,22ab	1,56a	475,90b
C	14,57a	441,12ab	2,16a	457,86b
D	11,84a	317,88a	1,83a	331,56a
<i>p</i> valor	0,3930	0,0803	0,6284	0,0772
media	15,15	434,86	1,87	451,88
DE	6,01	143,05	0,78	146,15

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

del riego en los cultivos (Huang et al., 2014; Ibdhi y Ben Salem, 2020a), realizar evaluaciones periódicas de la HH y la adopción de prácticas sostenibles (Bai et al., 2018; Nagypál et al., 2020), el reciclar el agua de enfriamiento de la leche y modificar los protocolos de preparación de la vaca para el ordeño (Le Riche et al., 2017), la inclusión de tecnologías innovadoras como el Internet de las cosas (IoT) y sensores para optimizar el uso del agua y mejorar el monitoreo (Saad et al., 2020). Pero, Monteiro et al. (2023) consideran que, a pesar de las mejoras tecnológicas en los sistemas de bebida, alimentación y riego de las ganaderías de leche, el impacto global de este sistema productivo sobre la escasez de agua sigue siendo significativo por la elevada demanda de este recurso.

Para la optimización del uso de pasturas, Palhares y Pezzopane, (2015), ponen de manifiesto que para reducir la HH se debe tener en cuenta la cantidad de vacas lactantes en un rebaño, considerando ideal que el 81% del hato se encuentre en periodo de lactancia. Añaden que esto tendría impactos positivos en los valores de la HH, debido a una mayor producción de leche sin cambios significativos en el consumo de agua verde, azul y gris de las ganaderías. También es importante analizar la adecuación de los pastos utilizados a las condiciones agroclimáticas y su nivel de digestibilidad. Al respecto, Carra et al., (2023), determinaron en el sur de Brasil, que las ganaderías lecheras pastoriles tienen una huella de escasez de agua media anual más elevada ($52,7 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ leche corregida en proteína y grasa) que los sistemas semiestabulados y estabulados, en un 12,4 y un 3,5%, respectivamente. Zafrilla et al. (2020) señalan que el uso ineficiente del agua en la producción de pastos y piensos aporta al cambio climático.

Sobre la gestión de aguas residuales o grises, (Flotats Ripoll, 2009), señalan que la gestión de las deyecciones animales es una actividad que debe formar parte integral de la producción ganadera, con igual importancia que la alimentación o el control sanitario. Además, indican que estos y otros residuos orgánicos potencialmente pueden valorizarse como fertilizantes o enmiendas, por lo que deben verse como recursos a gestionar, en lugar de contaminantes a eliminar. Otro uso que se puede dar a las deyecciones ganaderas es la implementación de digestiones anaerobias (DA), ya que existen numerosas experiencias de éxito sobre la producción de biogás para su uso en calderas para generar energía térmica y electricidad (Khan et al., 2021). Implementar Buenas Prácticas de Manejo de los fertilizantes y de las deyecciones ayudará a reducir las concentraciones de nutrientes, contaminantes

y sedimentos en los afluentes, y caminar hacia el cumplimiento de los criterios ambientales establecidos en las distintas regulaciones obligatorias como voluntarias (Knowlton y Ray, 2013; Scarsbrook y Melland, 2015; Chavarro Chaux et al., 2023). Por ejemplo, en la Unión Europea se limita la cantidad de fertilizantes orgánicos (dyecciones ganaderas) que se pueden aplicar a las tierras a un máximo equivalente a $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, y en el caso del P no debe exceder los $20 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Prenafeta y Fernández, 2018).

Respecto a la adaptación de la dieta de los animales, Drastig et al. (2010), aseguran que la mejora genética de las vacas productoras y el mejorar las formas de alimentación se traduce en una mayor eficiencia en el consumo de agua y por tanto en la reducción de la HHA. Por ejemplo, incluir concentrados proteicos en la dieta de las vacas lactantes (Palhares y Pezzopane, 2015; Owusu-Sekyere et al., 2016), o seleccionar alimentos provenientes de regiones con menores requerimientos hídricos o con menor escasez de agua (Huang et al., 2014; Bai et al., 2018).

En resumen, diversos factores interactúan en el consumo de agua en las ganaderías lecheras, por lo que entenderlos e implementar prácticas y estrategias efectivas de manejo del agua es necesario para alcanzar la sostenibilidad en estos sistemas productivos.

CONCLUSIONES

En general, las fincas más pequeñas son más eficientes en el uso del agua por unidad de producción de leche, aunque las fincas más grandes tienen mejor capacidad para gestionar y tratar las aguas grises. Además, se observó una variabilidad significativa en el consumo de agua entre las fincas, influenciada por factores como el tamaño de la finca y la tecnología de riego empleada.

La mayor parte del agua consumida constituye la huella hídrica verde, es decir, el agua usada indirectamente a través del cultivo de forrajes. La huella hídrica verde en las ganaderías lecheras de la región andina del Ecuador está influenciada por la cantidad de biomasa y la precipitación que se utilizan para la alimentación animal, principalmente pasturas compuestas por especies forrajeras (kikuyo, trébol y raigrás) que demandan entre 72 a 110 mm de agua, de riego o de precipitación por ciclo.

La huella hídrica gris se constituye por agua consumida en la limpieza del establo y del equipo de ordeño, que varía entre 10 y 33 L agua vaca⁻¹ día⁻¹, siendo las fincas más grandes las que menos consumen. El agua gris

generada en las fincas incluidas en el estudio no se puede volver a reutilizar, ya que termina con una carga contaminante significativa, y al ser desechada directamente al suelo y afluentes, se generan impactos negativos al ambiente. Sin embargo, como aspecto positivo, en un 30% de las ganaderías evaluadas se emplean piscinas de oxidación que permiten convertir esta agua en fertilizante para las pasturas.

Colaboración de autores

Los autores Francisco Adolfo Gutiérrez-León y Xavier Bolívar Lastra-Bravo participaron activamente en la revisión bibliográfica, elaboración de la metodología, discusión de los resultados y aprobación final de la versión final del artículo. La autora Sandy Pamela Briones Zavala realizó la recolección de datos en campo.

LITERATURA CITADA

- Al-Bahouh, M., V. Osborne, T. Wright, M. Dixon, A. VanderZaag, et al. 2021. Blue Water Footprints of Ontario Dairy Farms. *Water (Basel)* 13(16): 2230. doi: 10.3390/w13162230.
- Bai, X., X. Ren, N.Z. Khanna, N. Zhou, and M. Hu. 2018. Comprehensive water footprint assessment of the dairy industry chain based on ISO 14046: A case study in China. *Resour. Conserv. Recycl.* 132: 369–375. doi: 10.1016/j.resconrec.2017.07.021.
- Bhagat, S., A.K. Santra, S. Mishra, V.N. Khune, A. Dubey, et al. 2020. The water footprint of livestock production system and livestock products: A dark area: A review. *International Journal of Fauna and Biological Studies* 7(1): 83–88. <https://www.faunajournal.com/archives/2020/vol7issue1/PartB/7-1-18-591.pdf>.
- Bronts, S., P.W. Gerbens-Leenes, and P. Guzmán-Luna. 2023. The water, land and carbon footprint of conventional and organic dairy systems in the Netherlands and Spain. A case study into the consequences of ecological indicator selection and methodological choices. *Energy Nexus* 11: 100217. doi: 10.1016/j.nexus.2023.100217.
- Cachipundo-Ulcuango, C.J., N.D.J. Requelme, O.M. Gualavisí Cachiguango, C.E. Sandoval Montenegro, J.L. Sandoval Cuascota, et al. 2017. Uso comunitario del agua y del suelo para la producción sustentable de pasturas. *La Granja* 26(2): 142. doi: 10.17163/lgr.n26.2017.12.
- Capper, J.L., R.A. Cady, and D.E. Bauman. 2009. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *J Anim Sci* 87(6): 2160–2167. doi: 10.2527/jas.2009-1781.
- Carra, S.H.Z., K. Drastig, J.C.P. Palhares, T.A. Bortolin, H. Koch, et al. 2023. Impact Assessment of Livestock Production on Water Scarcity in a Watershed in Southern Brazil. *Water (Basel)* 15(22): 3955. doi: 10.3390/w15223955.
- Chavarro Chaux, L., J.J. Ramirez-Avila, S.L. Ortega-Achury, T. Schauwecker, and J. Czarnecki. 2023. Best Management Practices Effectiveness on Stream Water Quality in Livestock Management Areas. *Soil Erosion Research Under a Changing Climate*, January 8-13, 2023, Aguadilla, Puerto Rico, USA. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI
- Corporación Financiera Nacional (CFN). 2023. Leche y sus derivados. Fichas sectoriales I Trimestre 2023. <https://www.cfn.fin.ec/bibliotecainfo/>.
- Devi, G.L., A. Mech, R. Gorti, and V. Sejian. 2022. Assessment of Water Use Efficiency in Dairy Production Systems. *Indian Journal of Extension Education* 58(2): 198–201. doi: 10.48165/IJEE.2022.58229.
- Devi, G.L., A. Mech, S. Veerasamy, R. Gorti, M.A. Katakataware, et al. 2020. Water Use and Dairy Production System: An Indian Experience. *Livestock Health and Farming*. IntechOpen
- Drastig, K., A. Prochnow, S. Kraatz, H. Klaus, and Plöchl. 2010. Water footprint analysis for the assessment of milk production in Brandenburg (Germany). *Advances in Geosciences*. Copernicus GmbH. p. 65–70
- Dulepinskih, L.N., O.Y. Yunusova, and L.V. Sycheva. 2023. Legumes in feeding dairy cattle. *Животноводство России* (9): 55–56. doi: 10.25701/ZZR.2023.09.09.004.
- Errecart, P.M., M.A. Marino, M.G. Agnusdei, F.A. Lattanzi, and J.-L. Durand. 2020. The intensity of water stress dictates whether the N status of temperate-type perennial grass swards is affected by drought. *Field Crops Res.* 257: 107928. doi: 10.1016/j.fcr.2020.107928.
- Fatima, A., A.S. Parihar, S. Yadav, B. Tiwari, and D. Srivastava. 2024. Water footprint: Making the invisible visible. *Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences Volume 3 Book 6*. Iterative International Publisher, Selfpage Developers Pvt Ltd. p. 1–8

- Flotats Ripoll, X. 2009. Gestión y tratamiento de deyecciones ganaderas. Avances en nutrición y alimentación animal. XXV Curso de especialización FEDNA. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. p. 13–42
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2022a. Cropwat. Tierras y Aguas. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2022b. CLIMWAT. Tierras y Aguas. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/>.
- Gimenez, G.D., B.I. Novaira, and P.R. Marini. 2022. Análisis energético en lecherías de la región Pampeana Argentina. Parte 2. Contabilidad energética. *Agronomía Mesoamericana*: 49389. doi: 10.15517/am.v33i3.49389.
- Higham, C.D., R. Singh, and D.J. Horne. 2024. The water footprint of pastoral dairy farming: The effect of water footprint methods, data sources and spatial scale. *Water (Basel)* 16(3): 391. doi: 10.3390/w16030391.
- Hoekstra, A.Y., and M.M. Mekonnen. 2012. The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(9): 3232–3237. doi: 10.1073/pnas.1109936109.
- Holloway-Phillips, M.M. 2011. Opportunities to improve the irrigation efficiency of dairy pasture systems through management of water resources and an understanding of plant water relations (Version 1). doi: <https://doi.org/10.25959/23210879.v1>.
- Huang, J., C.-C. Xu, B.G. Ridoutt, J.-J. Liu, H.-L. Zhang, et al. 2014. Water availability footprint of milk and milk products from large-scale dairy production systems in Northeast China. *J. Clean Prod.* 79: 91–97. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.05.043.
- Ibidhi, R., and H. Ben Salem. 2020a. Water footprint of livestock products and production systems: a review. *Anim. Prod. Sci.* 60(11): 1369. doi: 10.1071/AN17705.
- Ibidhi, R., and H. Ben Salem. 2020b. Water footprint and economic water productivity assessment of eight dairy cattle farms based on field measurement. *Animal* 14(1): 180–189. doi: 10.1017/S1751731119001526.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). 2023. Estadísticas Agropecuarias. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). 2022. Red de estaciones automáticas hidrometeorológicas. <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>.
- Johansen, M., P. Lund, and M.R. Weisbjerg. 2018. Feed intake and milk production in dairy cows fed different grass and legume species: a meta-analysis. *Animal* 12(1): 66–75. doi: 10.1017/S1751731117001215.
- Khan, M.U., M. Ahmad, M. Sultan, I. Sohoo, P.C. Ghimire, et al. 2021. Biogas production potential from livestock manure in Pakistan. *Sustainability* 13(12): 6751. doi: 10.3390/su13126751.
- Knowlton, K., and P. Ray. 2013. Water-related issues in sustainability: nitrogen and phosphorus management. *Sustainable animal agriculture*. CABI, UK. p. 113–123
- Krauβ, M., K. Drastig, A. Prochnow, S. Rose-Meierhöfer, and S. Kraatz. 2016. Drinking and cleaning water use in a dairy cow Barn. *Water (Basel)* 8(7): 302. doi: 10.3390/w8070302.
- Lovarelli, D., J. Bacenetti, and M. Fiala. 2016. Water Footprint of crop productions: A review. *Science of The Total Environment* 548–549: 236–251. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.01.022.
- Lu, Y., S. Payen, S. Ledgard, J. Luo, L. Ma, et al. 2018. Components of feed affecting water footprint of feedlot dairy farm systems in Northern China. *J. Clean. Prod.* 183: 208–219. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.165.
- Madrid-López, C. 2023. Water footprint. *Elgar Encyclopedia of Ecological Economics*. Edward Elgar Publishing. p. 517–521
- Marín, J., S. Yousfi, P. V. Mauri, L. Parra, J. Lloret, et al. 2020. RGB Vegetation Indices, NDVI, and biomass as indicators to evaluate C3 and C4 turfgrass under different water conditions. *Sustainability* 12(6): 2160. doi: 10.3390/su12062160.
- Martínez Mamian, C.A., X.A. Ruiz Erazo, and S. Morales Velasco. 2016. Huella Hídrica de una finca ganadera lechera bajo las condiciones agroecológicas del valle del Cauca. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 14(2): 47–56. doi: 10.18684/BSAA(14)47-56.
- Martínez-Lagos, J., and F. Salazar. 2015. Huella hídrica de la producción de leche en el sur de Chile. In: Sarandón, S.J. and Abbona, E.A., editors, *Memorias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología - SOCLA*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP). p. A4232
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, L.A. Sinclair, et al. 2013. *Nutrición animal*. 7th ed. Acribia.

- Mekonnen, M., and A.Y. Hoekstra. 2010. The green, blue and grey water footprint of animals and animal products. Unesco-IHE Institute for Water Education.
- Monteiro, A., S. Santos, and J.L.S. Pereira. 2023. Efficient water use in dairy cattle production: A Review. *Open Agric. J.* 17(1). doi: 10.2174/0118743315270668231127190323.
- Muñoz Quintero, W. 2014. Cálculo de la huella hídrica en fincas ganaderas ubicadas en la cuenca del río La Villa, Panamá. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7078> (accessed 23 July 2024).
- Murphy, E., I.J.M. de Boer, C.E. van Middelaar, N.M. Holden, L. Shalloo, et al. 2017. Water footprinting of dairy farming in Ireland. *J. Clean. Prod.* 140: 547–555. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.07.199.
- Nagypál, V., E. Mikó, and C. Hodúr. 2020. Sustainable Milk Use Considering Three Hungarian Dairy Farms. *Sustainability* 12(8): 3145. doi: 10.3390/su12083145.
- National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. National Academies Press.
- Nydrioti, I., M.-M. Moutsaki, N. Leounakis, and H. Grigoropoulou. 2023. Implementation of the water footprint as a water performance indicator in industrial manufacturing units located in Greece: challenges and prospects. *Environmental Science and Pollution Research* 31(1): 803–819. doi: 10.1007/s11356-023-31145-9.
- Owusu-Sekyere, E., M. Scheepers, and H. Jordaan. 2016. Water Footprint of Milk Produced and Processed in South Africa: Implications for Policy-Makers and Stakeholders along the Dairy Value Chain. *Water (Basel)* 8(8): 322. doi: 10.3390/w8080322.
- Palhares, J.C.P., and J.R.M. Pezzopane. 2015. Water footprint accounting and scarcity indicators of conventional and organic dairy production systems. *J. Clean. Prod.* 93: 299–307. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.01.035.
- Pereira, L.S., P. Paredes, D. Espírito-Santo, and M. Salman. 2023. Actual and standard crop coefficients for semi-natural and planted grasslands and grasses: a review aimed at supporting water management to improve production and ecosystem services. *Irrig. Sci.* doi: 10.1007/s00271-023-00867-6.
- Pérez, J., M.M. Arrien, N.E. Cisneros Basualdo, E. Vuksinic, and C.I. Rodríguez. 2021. Huella hídrica de la leche y el queso: un caso de estudio en Tandil, Argentina. *Revista Estudios Ambientales - Environmental Studies Journal* 9(2): 28–48. doi: 10.47069/estudios-ambientales.v9i2.1273.
- Prenafeta, F., and B. Fernández. 2018. Informe de revisión de la normativa europea y española sobre la gestión de las deyecciones ganaderas en el sector lácteo, y de las tecnologías de tratamiento. https://inlac.es/wp-content/uploads/2020/01/INFORME-INLAC_VF-DIC-2019.pdf
- Rees, W.E. 2018. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out. In: Tacoli, C., editor, *The Earthscan Reader in Rural-Urban Linkages*. ebook. Routledge
- Le Riche, E., A. VanderZaag, S. Burt, D. Lapen, and R. Gordon. 2017. Water Use and Conservation on a Free-Stall Dairy Farm. *Water (Basel)* 9(12): 977. doi: 10.3390/w9120977.
- Ríos Ramírez, N., E. Lanuza, B. Gámez, A. Montoya, A. Díaz, et al. 2013. Cálculo de la huella hídrica para producir un litro de leche en fincas ganaderas en Jinotega y Matiguás, Nicaragua. VII Congreso Latinoamericano de Sistemas Agroflorestrais para a Producao Pecuária Sustentável. p. 722–726. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7959>
- Rombach, M., K.-H. Südekum, A. Münger, and F. Schori. 2019. Herbage dry matter intake estimation of grazing dairy cows based on animal, behavioral, environmental, and feed variables. *J. Dairy Sci.* 102(4): 2985–2999. doi: 10.3168/jds.2018-14834.
- Rueda Quiroz, L.D. 2014. Análisis de la gestión hídrica en el sistema de producción de leche en pequeña escala en la subcuenca de amecameca, Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/58727/MCARN%20LAURA%20DOLORES%20RUEDA%20QUIROZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Saad, A., A.E.H. Benyamina, and A. Gamatie. 2020. Water management in agriculture: A survey on current challenges and technological solutions. *IEEE Access* 8: 38082–38097. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2974977.
- Scarsbrook, M.R., and A.R. Melland. 2015. Dairying and water-quality issues in Australia and New Zealand. *Anim. Prod. Sci.* 55(7): 856. doi: 10.1071/AN14878.
- Shine, P., M.D. Murphy, and J. Upton. 2020. A global review of monitoring, modeling, and analyses of water demand in dairy farming. *Sustainability* 12(17): 7201. doi: 10.3390/su12177201.

- Siwek, M., A. Slawinska, and A. Dunislawska. 2021. Water in Livestock – Biological role and global perspective on water demand and supply chains. In: Gadomski, A., editor, *Water in Biomechanical and Related Systems*. Springer International Publishing, Cham. p. 315–331
- Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, et al. 2009. La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones. https://www.researchgate.net/publication/273308193_La_Larga_Sombra_del_Gandado_Problemas_Ambientales_y_Opciones
- UNESCO. 2021. *The United Nations World Water Development Report 2021*. United Nations.
- UNESCO. 2022. Nuevo informe: ¿Se esconde la solución a la crisis del agua bajo nuestros pies? <https://www.unesco.org/es/articles/nuevo-informe-se-esconde-la-solucion-la-crisis-del-agua-bajo-nuestros-pies>.
- Waltner, I., A. Ribács, B. Gémes, and A. Székács. 2023. Influence of climatic factors on the water footprint of dairy cattle production in Hungary—A Case Study. *Water (Basel)* 15(23): 4181. doi: 10.3390/w15234181.
- Weindl, I., B.L. Bodirsky, S. Rolinski, A. Biewald, H. Lotze-Campen, et al. 2017. Livestock production and the water challenge of future food supply: Implications of agricultural management and dietary choices. *Global Environmental Change* 47: 121–132. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2017.09.010.
- Wisser, D., D.S. Grogan, L. Lanzoni, G. Tempio, G. Cinardi, et al. 2024. Water use in livestock agri-food systems and its contribution to local water scarcity: A spatially distributed global analysis. *Water (Basel)* 16(12): 1681. doi: 10.3390/w16121681.
- Yalta, J., N. Ríos, L. Valqui, L.G. Bobadilla, C.N. Vigo, et al. 2021. Huella hídrica de la producción lechera en la cuenca ganadera Pomacochas, Perú. *Livestock Research for Rural Development* 33(10): 125. <http://www.lrrd.org/lrrd33/10/33125hvasq.html>.
- Yerou, H., B. Belguerbi, A. Homrani, and K. Benabdeli. 2021. Water footprint of milk production systems in semi-arid plains of North Africa. *Biotechnology in Animal Husbandry* 37(1): 27–43. <https://doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=1450-91562101027Y>.
- Zafrilla, J., Á. García-Alaminos, and F. Monsalve. 2020. The Sustainability Challenge of Dairy Livestock Systems. In S. García-Yuste (Ed.), *Sustainable and Environmentally Friendly Dairy Farms* (pp. IX, 112, SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology): Springer International Publishing.