

Evaluación del uso y consumo de agua en sistemas de producción de leche en el centro oeste de la provincia de Santa Fe



Water use and consumption evaluation in milk production systems in the central western area of Santa Fe province

Jennerich, Luciana; Panigatti, M. Cecilia; Ghiberto, Pablo

Luciana Jennerich

lucijennerich@gmail.com

Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Facultad Regional Rafaela, Argentina

M. Cecilia Panigatti

Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Facultad Regional Rafaela, Argentina

Pablo Ghiberto

Instituto de Ciencias Agropecuarias del Litoral (ICiAgro Litoral), Universidad Nacional del Litoral - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (UNL-CONICET). Facultad de Ciencias Agrarias (FCA-UNL), Argentina

Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias

Universidad Nacional del Litoral, Argentina

ISSN: 2346-9129

ISSN-e: 2346-9129

Periodicidad: Semestral

vol. 21, núm. 2, 12325, 2022

revistafave@fca.unl.edu.ar

Recepción: 12 Mayo 2022

Aprobación: 16 Noviembre 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/586/5863684011/>

DOI: <https://doi.org/10.14409/fa.v21i2.12325>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: El objetivo del trabajo fue evaluar el uso y consumo del agua en la producción lechera bovina, en casos representativos del centro-oeste de la provincia de Santa Fe. Los métodos de análisis están centrados en las metodologías de Huella Hídrica y el enfoque de Ciclo de Vida para evaluación de impactos, en los sistemas lecheros primarios. La unidad de medida definida es kilo de leche corregida por grasa y proteína (LCGP). Se implementaron herramientas diversas y metodologías de cuantificación del consumo de agua, lo cual permitió la obtención de numerosos datos que reflejan la dimensión y forma con que cada sistema hace uso del recurso, distinguiendo grandes diferencias. Las variables de manejo del recurso son las que se destacan como más influyentes. El nivel de afectación de los sistemas sobre el recurso hídrico puede ser mejorado y/o reducido en aquellos sistemas donde presentan menor eficiencia, mediante prácticas y tecnologías que optimicen sus procesos.

Palabras clave: huella hídrica, producción de leche, consumo de agua, sustentabilidad, ciclo de vida.

Abstract: *The objective of the study was to evaluate the use and consumption of water in bovine milk production in representative cases of the central western area of Santa Fe province. The analysis methods are centered on the Water Footprint methodologies and Life Cycle approach for impact assessment in primary dairy systems. The defined measurement unit is milk kilogram corrected for fat and protein (LCGP). Diverse tools and methodologies for quantifying water consumption were implemented, which made it possible to obtain valuable data on the extent and way in which each system makes use of the resource, with great differences identified. The resource management variables stand out as the most influential. The level of affectation of the systems on the water resource can be improved and/or reduced in systems where they present less efficiency through practices and technologies that optimize their processes.*

Keywords: *water footprint, milk production, water consumption, sustainability, life cycle.*

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, debido al aumento en la demanda de alimentos, Argentina y específicamente, los sistemas de producción de leche bovina se enfrentan a un proceso de concentración e intensificación productiva, evidenciado en un aumento de la producción por vaca en ordeño y del tamaño de los rodeos (Lazzarini et al., 2019). Tal intensificación, generó una problemática puntual como lo es, el aumento en el consumo de agua y, por consiguiente, de efluentes producidos en las instalaciones de ordeño. Por tal motivo ha surgido el interés por herramientas que evalúen la sustentabilidad de esas prácticas, en particular el consumo de agua y el destino de los efluentes generados. Hoekstra et al. (2011), propusieron el indicador de Huella Hídrica (HH), como una medida volumétrica del consumo de agua y la contaminación. Este enfoque desarrollado por la “Water Footprint Network (WFN)”, ofrece una perspectiva sobre cómo y en qué magnitud la sociedad se vincula con el uso de sistemas de agua dulce mediante su producción y consumo.

La HH se diferencia en verde (HHv), azul (HHa) y gris (HHg) según su procedencia, siendo la HHv una medida del agua incorporada a un producto proveniente de las precipitaciones captadas por las superficies cultivadas; HHa, corresponde al agua consumida en forma directa que proviene de fuentes superficiales y subterráneas (Hoekstra et al., 2011) y la HHg, un indicador del volumen de agua necesaria para asimilar los contaminantes presentes en el proceso hasta alcanzar niveles permitidos de concentración en agua por normativas locales (Franke et al., 2013).

Por otra parte, ISO (2014) en su norma 14046, proporciona principios, requisitos y directrices para la determinación de un perfil de huella de agua de productos y organizaciones con enfoque de “ciclo de vida” (LCA por siglas en inglés Life cycle assessment). Esta, define un Perfil de Huella de Agua como una serie de impactos relacionadas con el agua, compuesto por resultados obtenidos en varias categorías, que reflejan no sólo el volumen extraído en una cuenca sino el daño potencial sobre la disponibilidad, la escasez y la polución que esa extracción y subsecuente uso genera sobre los recursos, la salud humana y la calidad de los ecosistemas. Existen numerosos indicadores de escasez de agua y hasta la fecha no hay un consenso dentro de la comunidad LCA con respecto a un método de evaluación del impacto de la escasez de agua (Boulay et al., 2018). Los resultados obtenidos por diferentes métodos no siempre son comparables cuando se utilizan diferentes indicadores de escasez o estrés para la caracterización de los impactos. Pueden ser representados mediante indicadores de un solo impacto, como ser el índice de impacto hídrico (WIIX, “water impact index”) que evalúa la incidencia sobre la disponibilidad de agua de una región puntual (Bayart et al., 2014). Para eso se emplea el índice de escasez hídrica (WSI- wáter stress index) usando valores preestablecidos para cada región del mundo según características propias.

Debido a la importancia que existe en la necesidad de dimensionar el impacto de la producción primaria de leche bovina sobre el recurso hídrico regional, el objetivo del trabajo fue evaluar el uso y consumo del agua en la actividad, en casos representativos de la zona centro-oeste de la provincia de Santa Fe utilizando el método de huella hídrica y el indicador WIIX.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de los sistemas empleados

El trabajo consistió en la cuantificación del consumo de agua durante el proceso de producción primaria lechera (entre julio 2019 y junio 2020), la evaluación de eficiencia de su uso y el análisis de impacto sobre la disponibilidad del recurso. Se seleccionaron y analizaron cinco sistemas diferentes de producción de leche bovina representativos del centro oeste de la Provincia de Santa Fe (Tabla I).

TABLA I / TABLE 1
Características de los sistemas de producción de leche bovina seleccionados en el estudio. / *Characteristics of the cattle dairy farm systems selected in the study.*

Casos	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	
Tipo de suelo dominante	Argiudol típico Rincón de Ávila	Natracualf típico Serie Aurelia	Argiudol ácuico Humboldt	Argialbol típico Castellanos	Argiudol ácuico Lehmann	Argiudol típico Rafaela
Índice de aptitud de suelo (IP)	81	8	75	57	82	82
Superficie (hectáreas)	218	202	200	143	15	125
% forraje-concentrado	87:13	100:0	80:20	75:35		65:35
Vacas en ordeño (VO)	268	140	198	160	128	128
Producción (kg de leche/vaca/día)	25,25	25,49	20,64	26,71		29,21
Tipo de sistema productivo	TP	TP	PSE	PSE		PMS
Cantidad anual de nitrógeno aplicado como fertilizante (kg/ha/año de N)	720	440	338	728		700

Los resultados totales finales fueron expresados mediante la unidad de análisis kg de leche corregida por grasa y proteína (LCGP). Los límites de los sistemas se encuentran definidos en la Figura 1. Posteriormente, con la finalidad de que estos puedan ser comparados y evaluados según su eficiencia de uso de agua, se estableció normalizar los 5 sistemas a un escenario hipotético con el mismo volumen de leche producido permitiendo ser afectado a la productividad por animal obtenida en cada caso.

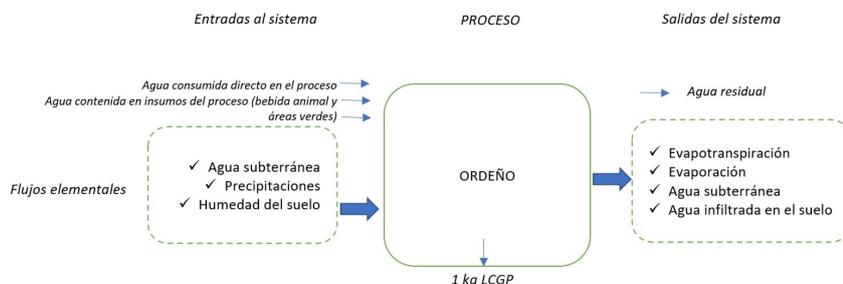


FIGURA 1 / PICTURE 1

Límites de los cinco sistemas estudiados. / *Limits of the five studied systems.*

Estimación de la HH de los cultivos

Huella hídrica verde de los cultivos. La HHv se calculó como la cantidad de agua consumida por unidad de alimento producido (L/kg) (Hoekstra et al., 2011) sin contabilizar el alimento concentrado que se produce fuera del establecimiento. No se consideró la HHa directa proveniente del riego, por tratarse de cultivos producidos en secano. La HHv, se calculó en base a la componente de agua verde (CWUv); a partir de la evapotranspiración potencial (ETc) y real (Eta) (mm/período), la precipitación efectiva Pef (mm/período) del lugar en estudio y el rendimiento del cultivo Y (kg/ha). Para ello se utilizó el programa Cropwat 8.0 (FAO, 2009). La información del manejo de cada cultivo y su rendimiento fue provista por los responsables de los tambos. En casos de falta de información se recurrió a valores de referencia de ensayos experimentales del INTA (INTA Ediciones, 2018) y la base de datos de FAO (2009).

Estimación de HHg de los cultivos. Se estimó la HHg, expresada en litros de agua por kg de alimento obtenido. Corresponde al volumen necesario para diluir la carga contaminante derivada de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, sustancias químicas al suelo. Al igual que lo indica Hoekstra (2011), se tuvo en cuenta sólo la fertilización con especies nitrogenadas, por ser este elemento el potencial contaminante de mayor necesidad de dilución según la normativa local vigente para agua de consumo humano (Código Alimentario Argentino, 2019). En todos los casos se realizó la conversión estequiométrica de las especies nitrogenadas contenidas en el fertilizante a nitrato para luego aplicar la Ecuación 1 (Hoekstra et al., 2011):

$$HH_g = \frac{(\alpha \times AR) / (C_{max} - C_{nat})}{Y} \quad HH_g = \frac{(\alpha \times AR) / (C_{max} - C_{nat})}{Y} \quad (1)$$

donde:

α (%), fracción de químicos aplicados que alcanzan cuerpos de agua dulce.

AR (kg/ha), cantidad de NO_3^- aplicado al suelo por hectárea.

C_{max} (kg/m.), concentración máxima de NO_3^- permitida en el cuerpo de agua receptor.

C_{nat} (kg/m³), concentración natural de NO_3^- presente en el cuerpo de agua receptor.

Y , rendimiento del cultivo (kg/ha).

Considerando el suelo y tipo de drenaje se adoptó un valor de α de 10% (Franke et al., 2013) y una C_{nat} de 0,01 kg/m³ según estudios previos realizados por Boglione et al. (2009) y teniendo en cuenta que ese es el contenido de NO_3^- de la napa freática de la región.

Determinación de la HHa proveniente del consumo de agua de los animales

El componente de HH correspondiente al consumo de agua de los animales, expresado en litros de agua por el total de animales por año, fue estimado para cada categoría de rodeo utilizando el consumo diario de alimento por animal. Para la categoría de vaca ordeño (VO), se utilizó la metodología extraída del NRC (2001), corregida por temperatura y consumo de sodio (Ecuación 2). En la Ecuación 2 el consumo de sodio no fue considerado debido a que los productores encuestados no suplementan al rodeo con este elemento.

$$VO = (1,58 \times CMS) + (0,9 \times \text{kg leche día}) + (0,05 \times CNa) + (1,2 \times T^{\circ}\text{min.}) + 15,99$$

$$VO = (1,58 \times CMS) + (0,9 \times \text{kg leche día}) + (0,05 \times CNa) + (1,2 \times T^{\circ}\text{min.}) + 15,99 \quad (2)$$

donde,

CMS (kgMS/día), consumo diario de materia seca

CNa (kg/día), consumo diario de sodio

$T^{\circ}\text{min}$ (°C), temperatura mínima promedio de la zona

Para la categoría de vaca seca (VS), se empleó la metodología propuesta por Holter y Urban (1992), citada por NRC (2001), adaptada considerando la variable $T^{\circ}\text{min}$.

$$VS = -10,34 + (0,2296 \times \%MS \text{ dieta}) + (2,212 \times CMS) + (0,03944 \times (\%CP)^2) + (1,2 \times T^{\circ}\text{min.})$$

$$VS = -10,34 + (0,2296 \times \%MS \text{ dieta}) + (2,212 \times CMS) + (0,03944 \times (\%CP)^2) + (1,2 \times T^{\circ}\text{min.}) \quad (3)$$

donde:

$\%MS$, porcentaje de materia seca del alimento consumido.

$\%CP$, porcentaje de proteína cruda en la ración.

Para vacas parto y vaquillonas, se consideró apropiado, tomar como referencia, la fórmula predictiva para VO (ecuación 2) ya que son categorías de alta demanda de agua. En el primer caso porque se encuentran en la etapa de sobre demanda de agua por parte del ternero en los últimos tres meses de gestación y, en el segundo, debido a su fase final de crecimiento, previo a su primera preñez, donde existe una necesidad de composición de reservas importantes para alcanzar su condición corporal óptima. Por último, se consideró un valor de referencia de consumo de agua de 8% de su peso vivo para las hembras de reposición (Duarte, 2011) y se descartaron del cómputo los machos destinados a cría.

Determinación de la HH azul a partir del consumo de agua en instalaciones del tambo

La HHa del sistema de ordeño es la que corresponde al consumo o uso extractivo para el funcionamiento y limpieza de las instalaciones del tambo (equipamiento, sala de ordeño, pisos y corrales) y abastecimiento para placa de enfriado de leche. Los consumos se definieron mediante dos escenarios. Uno por medio de estimaciones a partir de valores preestablecidos (Salazar, 2012; Fernández Mayer, 2017; Charlón, 2017; Negri y Aimar, 2019). El otro por mediciones in situ en forma indirecta a partir de medición de caudales mediante el método volumétrico (Suárez Agudelo, 2018). Finalmente, con los resultados se cotejaron y analizaron diferencias entre cada caso de estudio.

Para ambos escenarios se encuentran computados los consumos de agua empleada para: limpieza de pezones y limpieza de piso al pie de la vaca en el momento de ordeño; placa de enfriado; limpieza de máquina de ordeño; limpieza de corrales de espera (finalizado el ordeño); limpieza del tanque de almacenamiento de leche y abastecimiento de agua del tanque intercambiador de calor.

Estimación de HHg de los efluentes generados en el sistema de ordeño

Para el cálculo de la HHg correspondiente al volumen necesario para diluir la carga contaminante generada a partir de los efluentes obtenidos de la limpieza del sistema de ordeño, se utilizó el método propuesto por Pellicer-Martinez y Martinez (2014), adaptada de Hoekstra et al. (2011). (Ecuación 4)

$$HHg = \frac{Q_{efl} \times (C_{efl} - C_{nat})}{(C_{max} - C_{nat})} \quad HHg = \frac{Q_{efl} \times (C_{efl} - C_{nat})}{(C_{max} - C_{nat})} \quad (4)$$

donde;

Q_{efl} ($m^3/año$), caudal de efluente generado.

C_{efl} (mg/m^3), concentración de un componente en un efluente.

C_{nat} (mg/m^3), concentración natural del componente presente en el medio natural receptor.

C_{max} (mg/m^3), concentración máxima permitida de un componente según normativa.

Para la estimación, se determina el valor de HHg correspondiente a cada uno de los parámetros evaluados en los efluentes generados en cada establecimiento y según los límites máximos establecidos por la Resolución N° 1089/82 de volcamiento de efluentes de la provincia de Santa Fe. El que arroja mayor resultado es considerado como el componente de mayor impacto potencial. Se estableció realizar para este trabajo un muestreo de efluente en cada establecimiento. Los parámetros analizados fueron: demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), Sólidos suspendidos (SS), nitrógeno total Kjeldhal (NTK) y fósforo total (PT). Los análisis fueron realizados en laboratorio y se emplearon las técnicas recomendadas por APHA (2017). Los resultados fueron expresados en litros de agua totales por año.

Evaluación de impacto sobre la disponibilidad de agua. Estimación del indicador WIIX

Se estimó a partir del indicador WIIX (Fundación Chile y Aguallimpia, 2016) el cual se calcula a partir del agua extraída (WIIX extracción) y para cada una de las aguas descargadas al ambiente por la actividad (WIIX descarga) (Ecuaciones 5 y 6). Consiste en un balance hídrico de entradas y salidas, que entrega un resultado de consumo equivalente de agua (ej. m^3 eq. WIIX), debido a la caracterización de calidad y estrés que tiene asociado el indicador (Bayart et al., 2014).

$$WIIX_{extracción} = +(E \times Q_E \times WSI_E) \quad WIIX_{extracción} = +(E \times Q_E \times WSI_E) \quad (5)$$

$$WIIX_{descarga} = -(S \times Q_S \times WSI_S) \quad WIIX_{descarga} = -(S \times Q_S \times WSI_S) \quad (6)$$

donde,

E ($m^3/año$), volumen de agua de entrada,

S ($m^3/año$), volumen de agua de salida,

Q_E , factor de calidad del agua de entrada,

Q_S , factor de calidad del agua de salida,

WSI_E , nivel de escasez hídrica zona de extracción

WSI_S , nivel de escasez hídrica zona de descarga

Para determinar los Q_E y Q_S , se tienen en cuenta la calidad de las aguas y un valor de concentración de referencia normalizado (Resolución N° 1089/82) para cada una de las componentes analizadas en ellas. Se evaluaron todos los contaminantes y/o parámetros presentes en cada fuente y el factor de calidad del agua tomó el valor del más crítico. Por último, el WSI evalúa el nivel de escasez hídrica de una zona determinada. Este modelo se construye tomando en cuenta las extracciones y la disponibilidad de agua para una determinada cuenca (Pfister et al., 2009). Su valor va desde 0,01, para lugares no estresados, hasta 1, para lugares muy estresados. Para Santa Fe, y según trabajos anteriores que emplearon la base de datos de Pfister et al. (2009), se determinó utilizar un valor de WSI de 0,0106 (Charlón et al., 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la HH de los cultivos

En la Tabla II se presenta para cada caso en estudio los cultivos realizados y los valores correspondientes de ETc, ETa y HHv. La HH total de los cultivos, considerando la HHv² y HHg fue para el Caso 1, **5933,9**; Caso 2, **14.888,5**; Caso 3, **10.130,1**; Caso 4, **7.814,7** y Caso 5, **12.361,4** L/vaca por día.

TABLA II / TABLE II
 Evapotranspiración bajo condiciones estándar (ETc), y evapotranspiración real del cultivo (ETa) y HH para cada cultivo de los sistemas de producción seleccionados en el estudio. / *Evapotranspiration under standard conditions (ETc), actual crop evapotranspiration (Eta) and HH for each crop of the systems selected in the study.*

Caso	Cultivos	ETc (mm/per.)	ETa (mm/per.)	HHv ¹ (L/kg/ha)	HHv ² (L/kg/ha)	HHg (L/kg/ha)
1	Alfalfa	739,4	636,9	390,4	530,8	
	Maíz para silo	353,7	328,1	104,8	150,9	
	Trigo	168,0	110,8	64,5	100,7	106,41
	Soja para silo	396,0	220,9	288,5	368,2	
	Ryegrass	485,1	344,4	396,5	430,5	
	Total (L/kg/ha)			1.244,7	1.581,1	106,4
	HH (L/año) ⁽³⁾				580.456.000	8.512,8
	HH (L agua/vaca día)		5933,9			0,087
2	Alfalfa	726,2	584,0	507,3	648,9	
	Maíz para silo	349,8	272,0	168,6	208,5	75,93
	Soja tierna pastoreo	392,6	250,4	637,7	834,7	
	Avena	184,4	154,1	142,5	256,8	59,05
	Sorgo para silo	321,4	261,5	341,2	435,8	
	Moha	301,1	250,6	458,2	501,2	
	Total (L/kg/ha)			2.255,50	2.885,9	134,9
	HH (L*total hectáreas/año)				760.803.000	3381,1
	HH (L agua/vaca)		14888,5			0,066
3	Alfalfa	731,7	581,8	415,1	528,9	11,18
	Maíz para silo	351,2	275,6	119,2	149,1	
	Soja para silo	400,1	282,5	292,7	470,8	22,37
	Maíz para grano	383,7	306,9	308,5	383,6	
	Total (L/kg/ha)			1135,5	1532,4	33,5
		HH (L*total hectáreas/año)				691.431.000
	HH (L agua/vaca)		10130,1			0,022
4	Alfalfa	726,7	723,4	618,8	723,4	
	Maíz para silo	345,5	336,4	166,0	213,6	56,24
	Trigo	159,4	138,3	135,1	172,9	95,95
	TOTAL (L/kg/ha)			1051,3	1276,2	133,24
		HH (L*total hectáreas/año)				456.376.000
	HH (L agua/vaca)		7814,7			0,081
5	Alfalfa	727,6	724,2	518,9	603,5	47,95
	Maíz para silo	345,7	336,3	141,6	182,1	85,29
	Trigo	160,1	139,1	120,1	154,6	152,19
	TOTAL (L/kg/ha)			912	1106,4	
		HH (L*total hectáreas/año)				577.507.400
	HH (L agua/vaca)		12361,0			0,045

(1): HHv calculada a partir de la ETc; (2): HHv calculada a partir de la ETa (litros de agua/kg producido de alimento/ha). (3): Los totales de HHv están expresados en litros de agua* total de alimento * total de hectáreas sembradas.

Respecto a los resultados de HH de los cultivos (Tabla II), se observa que, cuanto mayor es el nivel de intensificación del sistema de alimentación, el valor de HHv de la oferta forrajera se reduce, siendo esta

condición coincidente con trabajos anteriores (Manazza, 2012; Manazza y Diaz, 2013). En los Casos 1, 4 y luego el Caso 5, que corresponden a sistemas más intensivos, las HHv fueron menores. Además, estos poseen mejor aptitud de suelo, con lo cual se asumió un aumento en sus rendimientos de materia seca. El Caso 2, presenta los mayores valores de HHv correspondiente a la oferta forrajera asumiendo que se debe principalmente a las prácticas escogidas, ya que emplea leguminosas en estados tempranos o cultivos de períodos cortos alcanzando rendimientos bajos. Excepto este caso, los restantes presentaron valores cercanos a los promedios mundiales estimados por Mekonnen y Hoekstra (2011).

La HHg de los cultivos, en todos los casos, representó el menor valor de la HH total de los mismos, escenario que también coincide con estudios previos (Charlón, et al., 2015, Salazar y Martinez 2013) debiéndose a su baja representatividad en el total de consumos, ya que estaría afectado a un valor muy pequeño (factor de lixiviación). Como plantea Palhares et. al (2020), se asume que las mayores variabilidades en los resultados de HH están dadas por la rotación de cultivos, las prácticas de manejo realizadas, las fechas de siembras, las condiciones climáticas, las hectáreas destinadas para cada uno y fundamentalmente la influencia de los datos específicos de suelo que intervienen en el software para la estimación de la evapotranspiración real (ETa).

Estimación de HHa y HHg proveniente del consumo para bebida animal y del sistema de ordeño

En la Tabla III se presentan los valores obtenidos en las estimaciones de HHa y HHg para cada uno de los casos analizados y de acuerdo con los dos métodos de cuantificación establecidos.

TABLE III / TABLA III
 Estimación de HHa y HHg derivada del uso de agua para consumo animal y en la generación de efluentes. / *HHa and HHg estimation derived from the water use for animal consumption and effluents generation.*

HH AZUL Y GRIS DE EFLUENTES												
Casos	HHa bebida (estimada)			HHa limpieza de ordeño						HHg efluentes		
				HHa estimada	HHa medida	HHa estimada	HHa medida					
	Bebida animal (L/año)	L/kg LCGP	L/vaca	Consumo en sistema de ordeño y limpieza instalaciones (L/año)	L/kg LCGP	L/vaca	L/kg LCGP	L/vaca	(L/año)	L/kg LCGP	L/vaca	
Caso 1												
Placa de refrescado				9.555.700	5.277.900	11,38	35.655,6	6,28	19.693,66			
Limpieza de pisos				1.508.910	2.433.333	1,80	5.630,3	2,90	9.079,60			
Otros				578.288,80	783.767	0,69	2.157,8	0,93	2.924,50			
Total	10.868.692,4	12,94	40.554,8	11.642.898,80	8.495.000	13,86	43.443,7	10,12	31.697,76	76.446.890,17	91,03	285249,59
Caso 2												
Placa de refrescado				5.409.300	4.599.000	12,10	38.637,86	10,29	32.850,00			
Limpieza de pisos				1.366.560	408.800	3,06	9.761,14	0,91	2.920,00			
Otros				372.607,70	292.000	0,83	2.661,48	0,65	2.085,71			
Total	5.822.546,2	13,0	41.589,6	7.148.467,70	5.299.800	15,99	51.060,48	11,86	37.855,71	21.313.730,50	47,68	152240,93
Caso 3												
Placa de refrescado				13.140.000	9.703.384,60	27,15	70.267,38	20,05	51.889,76			
Limpieza de pisos				2.049.840	2.772.128,20	4,24	10.961,71	5,73	14.824,21			
Otros				700.007,20	897.900	1,45	3.743,35	1,86	4.801,60			
Total	7.864.465,2	16,25	42.055,9	15.889.847,20	13.190.912,8	32,84	84.972,44	27,26	70.539,64	806.292.801,10	1666,14	4311726,21
Caso 4												
Placa de refrescado				8.029.270	2.398.381,80	14,99	50.182,94	4,48	14.989,89			
Limpieza de pisos				967.980	893.673,70	1,81	6.049,88	1,67	5.585,46			
Otros				552.651,30	932.409,10	1,03	3.454,07	1,74	5.827,56			
Total	7.540.500,4	14,08	47.128,1	9.549.901,30	4.224.464,60	17,83	59.686,88	7,89	26.402,90	656.026.323,90	1224,71	4100164,52
Caso 5												
Placa de refrescado				4.958.160	3.275.478,30	10,58	38.735,63	6,99	25.589,67			
Limpieza de pisos				1.343.784	938.571,40	2,87	10.498,31	2,00	7.332,59			
Otros				394.788,70	775.218,10	0,84	3.084,29	1,65	6.056,39			
Total	4.936.849,5	10,54	38.569,1	6.696.732,70	4.989.267,80	14,29	52.318,22	10,65	38.978,65	148.418.648,70	316,73	1159520,69

La HHa obtenida de bebida animal, varía notablemente de acuerdo con la clasificación que cada sistema realiza de las categorías dentro del rodeo de vacas en ordeño y la conformación de sus respectivas raciones. Palhares et al. (2020) y Charlón et al. (2005), han arribado a resultados similares y coinciden sobre la importancia de la influencia del sistema de alimentación, en el consumo de bebida (uno de los usos extractivos más grandes del sistema). Aquellos casos donde el suministro de proteína en las dietas fue menor, contribuyó positivamente en un menor volumen de agua de bebida coincidente con lo observado por Palhares et al. (2020). Los menores valores, expresados en L/vaca o L/kg LCGP, fueron para los Casos 5, 1 y 2, siendo los

sistemas con mayor producción, lo cual concuerda con lo planteado por Charlón et al. (2015), el consumo de agua de bebida animal se incrementó en la medida que aumentó la escala de producción.

Con relación a HHa del sistema de ordeño y la HHg de sus efluentes generados, los resultados también son notablemente dispares, en este caso debiéndose fundamentalmente a cuestiones de manejo del recurso agua. El Caso 2, fue el que obtuvo menor valor de HHg, ya que presentó el menor volumen requerido para asimilar las cargas contaminantes. A su vez, tuvo la menor HHa derivada de limpieza de pisos porque emplean herramientas para barrido de sólidos lo cual permite suponer que posee la mayor eficiencia de uso de agua. El Caso 1, es el segundo que obtuvo el menor volumen necesario para asimilar contaminantes presentes en el efluente. Ambos poseen sistemas de tratamiento de efluentes, sin embargo, si bien las concentraciones de salidas son menores, los resultados de los análisis fisicoquímicos superan los valores máximos permitidos por la normativa local. El Caso 1, posee un resultado de HHa derivada del ordeño similar al Caso 5, no así la HHg ya que este último presentó un contenido de DQO ampliamente excedido del límite permitido resultando en un mayor volumen de dilución de sus cargas contaminantes. El Caso 3, presenta los mayores consumos en ambas componentes. Esto se debe al desperdicio de agua de placa por falta de capacidad de almacenamiento de esta y por la descarga de agua para mantenimiento de temperatura del equipo de frío. Siguiendo lo planteado por Taverna et al. (2013), si se reutilizara la totalidad del agua que pasa por la placa de refrescado (para bebida animal y limpieza), podría asumirse un ahorro entre 45 y 90 litros de agua/vaca/día, cuyo valor promedio coincide con el propuesto por el autor (60 litros), exceptuando los valores del Caso 3.

En la Figura 2 se presentan los resultados finales de HH vinculados a la unidad de producción, kg de LCGP para todos los casos estudiados. Respecto de los totales de HH, para el Caso 1, 2 y 5 se encontraron similitudes con otros trabajos realizados en Argentina, entre ellos, Gimenez et al. (2018), Charlón et al. (2014) con valores entre 900 y 1700 L/kg LCGP. Otra similitud con dichos autores y numerosos trabajos previos es que, si bien la HHv no corresponde a un uso extractivo, es el de mayor proporción dentro de la HH total. Luego se encuentra la HHg, la cual es mayor en los Casos 3, 4 y 5 donde no poseen sistemas de tratamiento de efluentes.

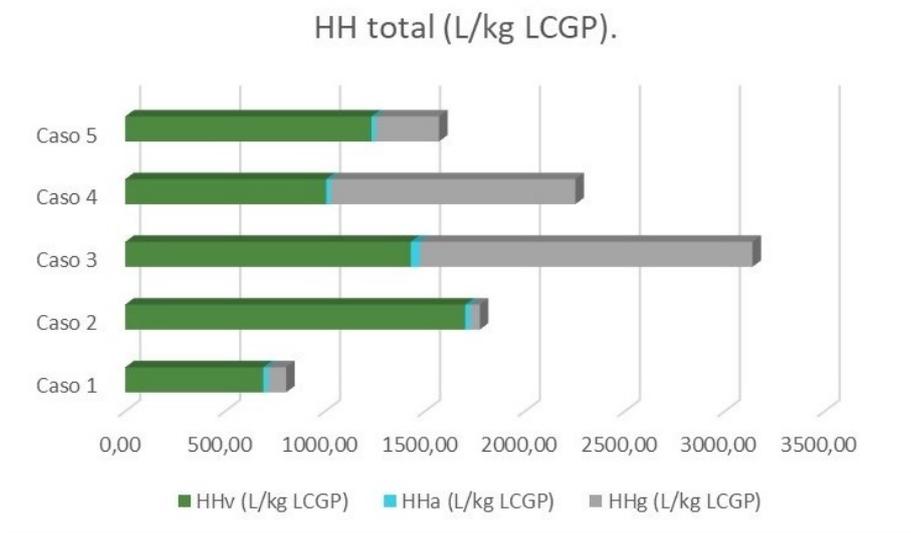


FIGURA 2 / FIGURE 2

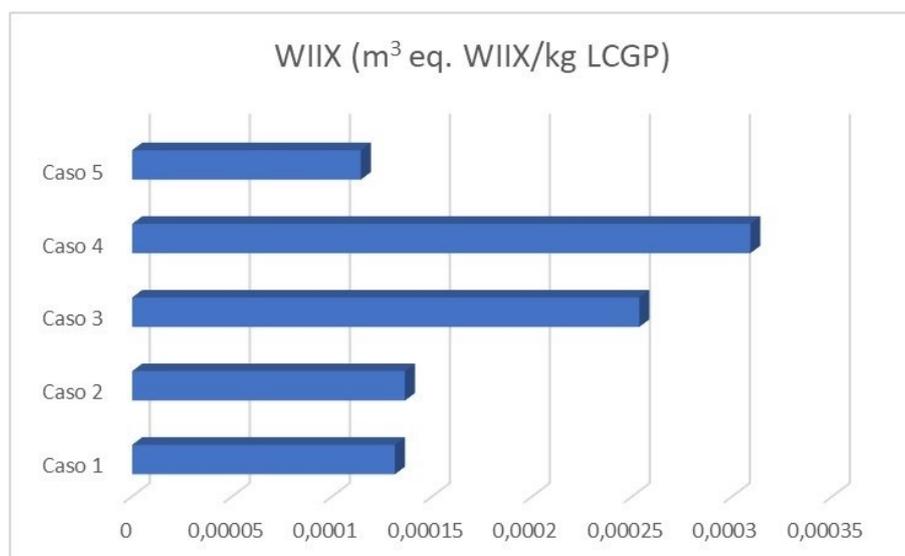


FIGURA 3 / FIGURE 3

Por otro lado, a fin de comparar entre sistemas, si planteamos un escenario hipotético donde todos ellos tuvieran la misma producción, ejemplo 440.000 kg LCGP, el número de vacas equivalente para dicha producción sería para el Caso 1 140; Caso 2, 138; Caso 3, 170; Caso 4 131 y Caso 5 120 vacas, pero quien posee el menor volumen de agua asociado a dicha cantidad de vacas, fue el Caso 1 pudiendo inferir indirectamente que este sería el de mayor eficiencia de uso de agua por unidad de producción.

Evaluación de impacto sobre la disponibilidad de agua. Estimación del indicador WIIX

La metodología de ISO refleja que el resultado de WIIX más bajo (el de menor impacto sobre la disponibilidad de agua en la región) fue el Caso 5, seguido del 1 y 2, y el resultado más alto corresponde al Caso 4 (Figura 3). WIIX es un indicador donde los consumos y caudales residuales están ponderados por factores de calidad y estrés hídrico, por lo que no es comparable con HH. Se han desarrollado muchos indicadores para cuantificar la escasez de agua. La comunidad de evaluación LCA se ha centrado en las contribuciones potenciales a la escasez de agua de consumo, vinculada al agua azul en todo un sistema de producción (Boulay, 2021). Debido a esto, se destaca la necesidad futura de comparar el indicador WIIX, con otro que emplee variables de escasez, conforme a lo recomendado por consenso por Boulay et al., (2021), quienes recomiendan aplicar al menos dos métodos como el AWARE (Boulay et al., 2018) y el Blue Water Scarcity Index (BWSI) (Hoekstra et al., 2012). No obstante, para el presente estudio se escogió el indicador WIIX como un inicio a estas metodologías, ya que es un indicador de mayor alcance que HH y posee relación directa con la región geográfica donde se desenvuelve un proceso productivo al momento de evaluar su desempeño en el uso de un bien público como lo es el agua.

Se refuerza la importancia del factor humano y el área de gestión en dichos sistemas productivos, siendo estas variables las de mayor incidencia en sus resultados y a su vez las de mayor visibilidad. Esto puede ser aprovechado como una ventaja, ya que acompañado de indicadores posibilita el desarrollo de planes de acción y alternativas de mejora permitiendo eficientizar su desempeño y, en definitiva, reducir el caudal de agua consumido y efluente producido o bien, el impacto sobre la disponibilidad del recurso.

CONCLUSIONES

El empleo de diferentes metodologías de evaluación de uso y consumo de agua permitió obtener un análisis más amplio y diversos escenarios. Siguiendo el enfoque de HH, el sistema más intensivo fue el que presentó mayor eficiencia de consumo de agua por unidad de producto obtenido, y la cuantificación en las rutinas de ordeño permitieron distinguir cómo y qué variables de manejo resultaron las más influyentes en cada caso. No así en el uso efectivo de agua sobre el total disponible en una cuenca (afectado a variables de impacto ambiental). El sistema que presenta menor uso posee al mismo tiempo menor carga contaminante en sus efluentes debido a la presencia de métodos de tratamiento, con lo cual podría considerarse que es el de menor impacto sobre la disponibilidad del agua en el sector.

La HH proporciona soluciones prácticas y futuros planes de acción ya que visualiza dónde están los mayores consumos de agua. En tanto, el indicador de escasez de agua WIIX, promueve un uso equitativo de fuentes de agua dulce consciente acerca de sus límites dentro del mundo, independiente del nivel de eficiencia de uso en un proceso y dependiente de la región geográfica donde se desarrolle. Aquellos sistemas de producción que demostraron poseer prácticas de manejo más apropiadas, que no presentaron sobrecargas del sistema mediante categorías improductivas o sistemas de alimentación más eficientes (resultando en una menor demanda de agua para bebida), puede asumirse que fueron los modelos productivos más sostenibles en cuanto al consumo de agua o bien, de menor impacto sobre la disponible en una región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Edition.
- Bayart, J. B., Worbe, S., Grimaud, J. & Aoustin, E. (2014). The Water Impact Index: a simplified singleindicator approach for water footprinting. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(6), 1336-1344. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0732-3>.
- Boulay, AM., Bare, J., Benini, L., Berger M., Lathuillière M. J., Manzardo A., Margni M., Motoshita M., Núñez M., Valerie Pastor A., Ridoutt B., Oki T., Worbe S. & Pfister S. (2018). The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *Int J Life Cycle Assess* 23, 368–378. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>
- Boulay A., Drastig K., Amanullah N., Chapagain A., Charlon V., Civit B., DeCamillis C., De Souza M., Hess T., Hoekstra A., Ibidhi R., Lathuillière M., Manzardo A., McAllister T., Morales R., Motoshita M., Palhares J.C., Pirlo G., Ridoutt B., Russo V, Salmoral G., Singh R., Vanham D., Wiedemann S., Zheng W., Pfister S. (2021) Building consensus on water use assessment of livestock production systems and supply chains: Outcome and recommendations from the FAO LEAP Partnership. *Ecological Indicators*, Volume 124, 2021, 107391, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107391> .
- Boglione, R., Panigatti, M. C., Griffa, C. & Cassina, D. (2009). Estudio de la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca oeste de la provincia de Santa Fe. *Actas del XXII Congreso Nacional del Agua*. (1) 36-37.
- Charlón, V., Taverna, M. & Herrero, M.A. (2005). *El agua en el tambo. Manual de referencias técnicas para el logro de leche de calidad*. 2° ed., INTA.
- Charlón, V., Tieri M. P., Manazza, F., Engler, P., Pece, M. A. & Frank, F. (2014). Comparación de dos metodologías de cálculo de huella hídrica en un sistema de producción de leche de argentina. III Encuentro Argentino de Ciclo de Vida y II Encuentro de la Red Argentina de Huella Hídrica ENARCIV.
- Charlón, V., Manazza, J. F. & Tieri, M. P. (2015). Huella hídrica en tambos según diferentes sistemas de producción. *Actas de ENARCIV 2015*.
- Charlón, V. (2017). Efecto de los sistemas de producción de leche sobre el ambiente. Riesgos y pautas para una lechería sustentable. III Congreso nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental.
- Código Alimentario Argentino (CAA) (2019). Capítulo XII: Bebidas hídricas, agua y agua gasificada.

- Duarte, E. (2011). Uso del Agua en establecimientos agropecuarios. Sistema de abrevadero (Parte I). Revista Plan Agropecuario, edición N° 139 agosto 2011. <https://www.planagropecuario.org.uy/web/magazine/view/id/149.html>
- FAO. (2009). Cropwat 8.0 for windows user guide. Rome, Italy.
- Fernández Mayer, A. (2017). Calidad del Agua para Consumo Vacuno. Sitio Argentino de Producción Animal.
- Franke, N. A., Boyacioglu, H., & Hoekstra, A. Y. (2013). Grey water footprint accounting: Tier 1 supporting guidelines (Vol. 65). Delft, The Netherlands: Unesco-Ihe.
- Agualimpia, O. N. G., & Andina, P. S. (2016). Manual de aplicación de evaluación de huella hídrica acorde a la norma ISO 14046.
- Giménez, G. D., Frank, F. C., & Marini, P. R. (2018). Huellas de carbono y de agua en tambos con diferentes estrategias de intensificación.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. & Mekonnen, M. M. (2011). The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Routledge.
- Hoekstra A.Y., Mekonnen M.M., Chapagain A.K., Mathews R.E., Richter B.D. (2012) Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. PLoS ONE 7(2): e32688. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032688>
- INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2014). Visor GeoINTA: Mapas de suelo, perfiles y coberturas de suelos, imágenes y bases de datos georeferenciadas. <http://visor.geointa.inta.gob.ar/>
- INTA Ediciones (2018). Información técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2018/2019. Publicación Miscelánea año VI N° 2, EEA Rafaela, Área de Investigación en Producción Vegetal.
- INTA (2020). Estación Experimental Rafaela. <https://inta.gob.ar/suelos> .
- ISO 14046. (2014). Environmental management—Water footprint—Principles, requirements and guidelines.
- Lazzarini, B., Baudracco, J., Tuñón, G., Gastaldi, L., Lyons, N., Quattrochi, H., & Lopez-Villalobos, N. (2019). Milk production from dairy cows in Argentina: Current state and perspectives for the future. Applied Animal Science, 35(4), 426-432. <https://doi.org/10.15232/aas.2019-01842>.
- Manazza, J. F. (2012). Cuantificación y valoración económica del uso consuntivo del agua en los principales productos de las cadenas lácteas de La Pampa y San Luis. – 1ª ed. – San Luis: Ediciones INTA.
- Manazza, J. F. & Diaz, J. R. (2013). Aproximación al análisis de eficiencia de uso de agua en sistemas ganaderos bovinos. <https://www.researchgate.net/publication/276919832>.
- Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A.Y. (2011). National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption, Value of Water Research Report Series No. 50, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands. https://digitalcommons.unl.edu/wffdocs/85?utm_source=digitalcommons.unl.edu%2Fwffdocs%2F85&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- National Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle: 2001*. National Academies Press.
- Negri Rodriguez, L. M., Aimar, M. V., Costamagna, D. A., Callieri, C., Herrero, M. A., Charlon, V., ... & Bontá, M. (2019). Guía de buenas prácticas para establecimientos lecheros: material de referencia de la Red de BPA. Ediciones INTA.
- Palhares, J. C., Novelli, T. I. & Morelli, M. (2020). Best practice production to reduce the water footprint of dairy milk. "Ambiente & Agua"- An Interdisciplinary Journal of Applied Science. ISSN 1980-993X- doi:10.4136/1980-993X. www.ambi-agua.net
- Pellicer-Martinez, F. & Martínez Paz, J. M. (2014). La evaluación de la Huella Hídrica Gris en una Demarcación Hidrográfica. Congreso Nacional de Medio Ambiente. Instituto Universitario del Agua y del Medio Ambiente (INUAMA).
- Pfister, S., Koehler, A., & Hellweg, S. (2009). Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. Environmental science & technology, 43(11), 4098-4104. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es802423e>
- Resolución N° 1089/82. (1982). Reglamento para el control del vertimiento de líquidos residuales. [https://www.san-tafe.gob.ar/index.php/web/content/view/full/28842/\(subtema\)/112857](https://www.san-tafe.gob.ar/index.php/web/content/view/full/28842/(subtema)/112857)

- Salazar, S. F. (2012). Manual de manejo y utilización de purines de lechería. Consorcio Lechero y la Fundación para la Innovación Agraria (FIA). Primera Edición. Osoro, Chile.
- Salazar, S. F. & Martínez Lagos, J. (2013). Huella hídrica en leche y carne bovina. La Serena: Serie Actas - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. No. 50. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/8643>
- Taverna, M. A., Charlón, V., García, K. E., & Walter, E. G. (2013). Una propuesta integral de manejo de efluentes. *Producir XXI*, 21(255).