



## HUELLA HÍDRICA DE CULTIVOS FORRAJEROS DE TAMBOS DE LA CUENCA LECHEREA CENTRAL DE SANTA FE (ARGENTINA).

Jennerich, L. B.<sup>1,\*</sup>, M. C. Panigatti<sup>1</sup>, P. Ghiberto<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Rafaela. Grupo Estudio Medio Ambiente (GEM); <sup>2</sup> Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Ciencias Agrarias. \* Acuña 49. Rafaela, Santa Fe. [lucijennerich@gmail.com](mailto:lucijennerich@gmail.com)

**RESUMEN:** El consumo de agua en sistemas lecheros bovinos, depende de la tipología del mismo, el manejo sobre el recurso, aptitudes del rodeo, zona edafoclimática, tipo de suelo, entre otros. La metodología de Huella Hídrica (HH) no está definida sólo por la cantidad de agua consumida en un sistema como un dato aislado. Es un indicador del uso de agua dulce tanto directo como indirecto, útil para planificar un manejo sustentable del recurso hídrico. La finalidad del trabajo es determinar la HH de los cultivos desarrollados en sistemas lecheros del Departamento Castellanos y Las Colonias, provincia de Santa Fe (Argentina) con condiciones agrometeorológicas y sistemas de manejo diferentes y verificar supuestos de diferencias respecto del uso del agua. Se seleccionaron 5 tambos bovinos con diferentes sistemas de alimentación y suelos contrastantes donde se calculó la HH empleando el enfoque de Hoekstra expresando el indicador en términos de volumen consumido por unidad de alimento producido (L/kg). Se determinó la HH verde (HHve) correspondiente al consumo de agua de la oferta forrajera; la HH azul no se contabilizó porque son cultivos en secano. Se estimó la HH gris (HHgris) correspondiente al volumen necesario para diluir la carga contaminante derivada de la aplicación de sustancias químicas al suelo considerando la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Se observaron grandes diferencias, pudiendo inferir que, los valores de huella hídrica serían menores, para aquellos casos donde las características de los suelos sean mejores y los rendimientos de los cultivos fueran mayores, quienes resultarían en sistemas lecheros más sustentables. Las variabilidades resultantes se debieron también en gran medida al tipo de sistema de alimentación (más o menos intensivo) y a las prácticas de manejo realizadas, lo cual, como consecuencia, destacó la importancia de la administración de la información que cada productor realice.

**PALABRAS CLAVE:** eficiencia uso de agua, forrajes, sistemas lecheros.

### INTRODUCCION

En Argentina, los sistemas de producción de leche se enfrentan a un proceso de concentración e intensificación evidenciado en un aumento de la producción por vaca en ordeño y del tamaño de los rodeos (Lazarini et al., 2019). La intensificación requiere de un manejo sustentable del agua que permita un aumento de la productividad de los cultivos forrajeros y evite la contaminación de los cursos de agua y de las napas causada por el mayor uso de agroquímicos.

Por tal motivo, ha surgido la necesidad de construir indicadores y de establecer métodos de análisis que permitan reflejar la dimensión y la forma con que la sociedad hace uso del ambiente. A nivel internacional, y en lo que corresponde al análisis del uso del recurso agua, ha surgido el indicador de Huella Hídrica (HH), un enfoque desarrollado por la "Water Footprint Network (WFN)" para conceptualizar y cuantificar la presión sobre los recursos hídricos que la sociedad ejerce a través de la producción y el consumo. El foco de análisis de la HH es la sustentabilidad, eficiencia y equidad de la distribución y uso del agua en productos o patrones de consumo, tanto en contextos locales o globales, como en regiones geográficas específicas, con problemáticas específicas (Anschau, et al., 2015).

La HH se diferencia en verde (HHve), azul (HHaz) y gris (HHg) según su procedencia. Las dos primeras, son recursos importantes para la producción de cultivos. La agricultura de secano utiliza únicamente agua verde mientras que la agricultura de regadío consume agua verde y azul. En general, estudios relacionados con la disponibilidad de agua dulce están orientados a la cuantificación del agua azul mientras que ignoran el agua verde como parte de los recursos hídricos.

Dada la importancia de la implementación de indicadores que permitan cuantificar el uso del agua y de métodos que posibiliten analizar el comportamiento y/o variaciones de sus consumos, el objetivo del trabajo fue estimar la HHve y la HHg de cultivos que componen la oferta forrajera en tambos bovinos de la cuenca lechera central de la provincia de Santa Fe, desarrollados en condiciones agrometeorológicas y sistemas de manejo diferentes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron cinco sistemas de producción de leche bovina con características distintas. Se encuentran desarrollados en suelos con diferentes índices de productividad (IP), localizados en la cuenca lechera central de la provincia de Santa Fe (precisamente en el Departamento Castellanos y Las Colonias, Argentina). En la Tabla I, se presentan las características de los sistemas analizados.

Tabla I: Breve descripción de los establecimientos tamberos seleccionados para el estudio.

<b>Casos</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3</b>	<b>Caso 4</b>	<b>Caso 5</b>
Nombre del suelo	<i>Argialbol típico serie Castellanos</i>	<i>Argjudol ácuico serie Lehmann</i>	<i>Argjudol típico serie Rincón de Ávila</i>	<i>Natracualf típico serie Aurelia</i>	<i>Argjudol ácuico Serie Humboldt</i>
Índice de Aptitud	57	75	81	8	75
Humedad del suelo disponible total (mm/m)	169	176	168	156	163
Tasa máxima de infiltración (mm/d)	189,1	199,2	233,5	225,7	186,6
Profundidad radicular máxima (cm)	94	103	121	80	118
<b>Hectáreas totales</b>	218	200	143	202	125
<b>Relación forraje-concentrado (Rf:c) en la dieta (%)</b>	90:10	60:40	88,5:11,5	100:0	74:26
<b>Vacas en ordeño (VO)</b>	230	125	216	185	198

Para el cálculo de HH se empleó el enfoque de Hoekstra et al. (2011) expresando el indicador en términos de volumen consumido por unidad de alimento producido (litros de agua/kg de alimento obtenido). Se incluyó la fracción de HHve (volumen de agua captada por el cultivo a partir de las precipitaciones), no así el volumen derivado de fuentes subterráneas o superficiales (HHaz) dado que son todos, cultivos realizados en secano. Estos indicadores, deben calcularse en base a la componente de agua verde (CWUv) a continuación con las siguientes fórmulas.

$$CWU_v = 10 \times \sum \min(ET_c, P_{ef})$$

$$HH_{ve} = \frac{CWU_v}{Y}$$

donde:

$ET_c$  (mm/período), es la evapotranspiración del cultivo;

$P_{ef}$  (mm/período), es la precipitación efectiva;

$Y$  (kg/ha), el rendimiento del cultivo.

La evapotranspiración de los cultivos se realizó con el modelo Cropwat 8.0 (FAO, 2010) introducido por la FAO y aceptado internacionalmente como un método que permite realizar estimaciones de consumo de agua de recursos forrajeros y/o cultivos producidos. Para eso, se precisó de una serie de datos determinados (registros climáticos, precipitaciones, suelo y manejo de cultivo).

La información meteorológica de los lugares de estudio se obtuvo en Meteoblue y para el caso de los tambos situados cercanos a la localidad de Rafaela, de Informes Agrometeorológicos de INTA (Estación Experimental Rafaela). Los datos de suelos se obtuvieron a partir de información disponible del mapa de suelos de la provincia de Santa Fe (INTA, 2020) y los faltantes, estimados con ecuaciones de edafotransferencia generadas para estos suelos (Imhoff et al., 2016; Pilatti & Orellana, 2016).

Los datos de manejo de los cultivos fueron de la campaña 2017-2018 y fueron suministrados por los responsables de los tambos mediante entrevistas personales. Con respecto a los resultados productivos de los cultivos, algunos de ellos corresponden a datos provistos directamente por los productores, pero los restantes fueron escogidos valores referenciales a partir de informes técnicos de manejo de estaciones experimentales de INTA aplicando un  $\pm 10\%$  para aquellos casos donde el suelo es deficitario o superando la aptitud del suelo de dichos ensayos.

Por otra parte, empleando la siguiente fórmula, se estimó la HH gris (HHg) correspondiente al volumen necesario para diluir la carga contaminante derivada de la aplicación de sustancias químicas al suelo. En este estudio, se considera solo la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

$$HH_{proc,gris} = \frac{(\alpha \times AR) / (c_{max} - c_{nat})}{Y}$$

donde:

$\alpha$  (%), es la fracción de químicos aplicados que alcanzan cuerpos de agua dulce;

$AR$  (kg/ha) la cantidad de producto aplicado al suelo;

$C_{max}$  (kg/m<sup>3</sup>), es la concentración máxima permitida en el cuerpo de agua receptor y

$C_{nat}$  (kg/m<sup>3</sup>), es la concentración natural presente en el cuerpo de agua receptor.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos (Tabla II) demuestran, el impacto volumétrico del uso del agua representado en la HHve de los cultivos, valores que luego, se verían reflejados en la HH total del producto final del sistema (leche).

Tabla II. Estimaciones de Evapotranspiración potencial del cultivo en condiciones estándar (ETc), Evapotranspiración real del cultivo (ETa) y sus respectivos valores de HH.

<b>Estudios de casos</b>	<b>Cultivos</b>	<b>ETc</b> (mm/ período)	<b>ETa</b> (mm/ período)	<b>HHve<sup>1</sup></b> (litros/kg)	<b>HHve<sup>2</sup></b> (litros/kg)	<b>HHg</b> (litros/kg)
<b>Caso 1</b>	Alfalfa	713,1	594,7	400,6	594,7	
	Maíz para silo	337,6	333,7	176,6	211,87	54,24
	Trigo	158,4	106,3	95,1	132,8	95,95
	<b>TOTAL</b>			<b>672,3</b>	<b>939,4</b>	<b>150,2</b>
<b>Caso 2</b>	Alfalfa	713,1	614,6	333,83	512,17	
	Trigo	158,4	109,3	84,56	121,4	85,29
	Maíz para silo	337,6	333,5	150,57	180,56	47,95
	<b>TOTAL</b>			<b>569</b>	<b>814,1</b>	<b>133,2</b>
<b>Caso 3</b>	Alfalfa	741,9	695,1	370,16	579,25	
	Ryegrass	469,8	338,8	285,38	423,5	
	Maíz para silo	350,6	270,8	96,8	124,6	106,41
	Trigo	158,9	123,4	88,5	112,2	
	Soja para silo	410	342,1	383	570,1	
<b>TOTAL</b>			<b>1223,8</b>	<b>1809,6</b>	<b>106,4</b>	
<b>Caso 4</b>	Avena	184,3	183,3	174,5	305,5	59,05
	Maíz para silo	346,4	247,2	148,2	189,5	75,93
	Sorgo para silo	352,6	282,8	319	471,3	
	Soja tierna pastoreo	435,7	291,2	681	970,6	
	Moha	330,7	233,7	305	467,4	
	Alfalfa	757,8	582,2	455,3	646,9	
	<b>TOTAL</b>			<b>2083</b>	<b>3051,2</b>	<b>134,9</b>
<b>Caso 5</b>	Alfalfa	774	674,2	404,7	612,9	11,18
	Maíz para grano	397,9	305,7	234	382,12	
	Maíz para silo	376,4	274,5	125,6	148,55	
	Soja para silo	417,2	328,9	412,6	548,16	22,37
<b>TOTAL</b>			<b>1176,9</b>	<b>1691,7</b>	<b>33,5</b>	

HHve<sup>1</sup>: huella hídrica verde obtenida a partir de la ETc; HHve<sup>2</sup>: Huella hídrica obtenida a partir de la ETa.

La HH total considerando la HHve<sup>2</sup> (ver Tabla) y HHg fue para el Caso 1, 1089,6; Caso 2, 947,3; Caso 3, 1916; Caso 4, 3186,1 y Caso 5, 1725,2 L/kg respectivamente.

De la misma manera como se expone en trabajos anteriores (Manazza 2012; Manazza y Diaz, 2013), a mayor nivel de intensificación del sistema de alimentación, menor es el valor de HHve de la oferta forrajera. Al mismo tiempo, en casos donde los rendimientos son más elevados, el resultado de HHve disminuye.

Vale aclarar, que los menores valores totales de HH le corresponden al Caso 1 y 2 (Figura 1), pero esto se debe también a que su oferta forrajera en cuanto a diversidad de cultivos es menor que todas las demás y por defecto la suma de las HHve resulta en un valor más pequeño. No obstante, observando los resultados en forma individual (Tabla I) y comparando las HHve de sus cultivos (alfalfa, maíz y trigo) con las correspondientes a los otros casos, se observa la misma situación. Aquellos donde sus características de IP y sus rendimientos fueron mejores, los valores de huella resultaron más pequeños.

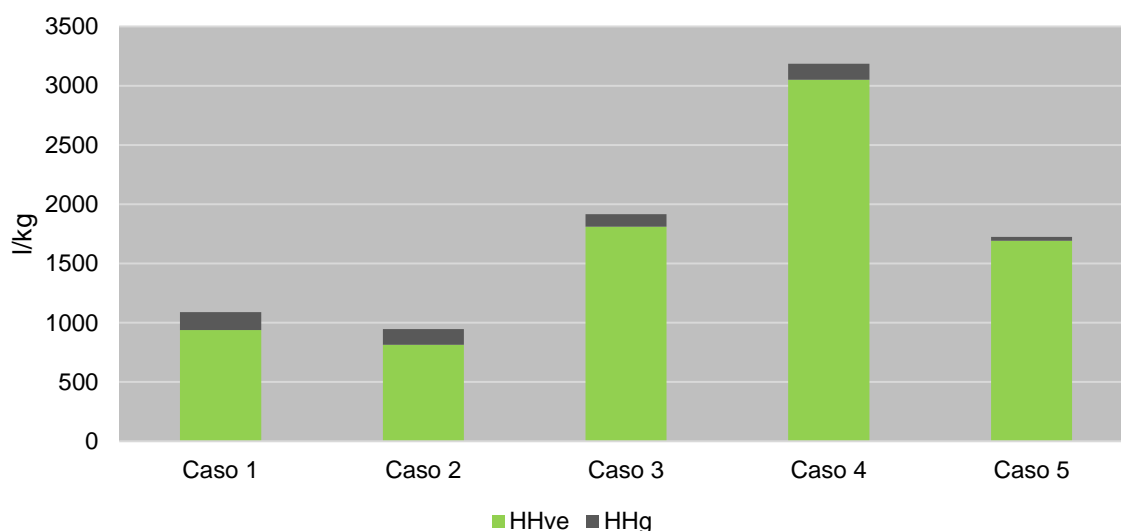


Figura 1. Resultados totales de huella hídrica de las ofertas forrajeras cada caso estudiado.

Analizando los resultados de las ETc y ETa de cada cultivo, se observan amplias diferencias. Las mayores variabilidades en sus resultados están dadas por los datos específicos de suelo, el tipo de sistema y las prácticas de manejo realizadas. Esto permite destacar la importancia de la disponibilidad de información confiable al momento de emplear la metodología de HH.

La HHgris, si bien se calculó sólo para las especies nitrogenadas, representó el menor valor de la HH total, escenario que coincide con el de estudios previos (Charlón, Manazza y Tieri, 2015). Por otro lado, y referido a la ausencia de la HHaz, si planteamos un escenario hipotético donde evaluamos la necesidad de agua insatisfecha se observa en el software que, aquellos cultivos que se desarrollarían en sistemas con mejor aptitud de suelo, el requerimiento de riego hubiera sido menor.

## CONCLUSIONES

Se concluye que, la metodología permite rápidamente visualizar cómo se comporta los cultivos de cada sistema y distinguir cuáles son los mayores consumos. Los escenarios posibles, dependerán de la finalidad de lo que se desea estudiar y del nivel de rigurosidad de los datos que se disponen. El desarrollo de herramientas informáticas para la gestión, se transforman en instrumentos útiles que, acompañados de la implementación o modificación de prácticas de manejo, pueden permitir una reducción de requerimientos de agua y uso eficiente de la misma.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anschau, R.A, R Bongiovanni, L Tuninetti, y F Manazza, 2015. Huella hídrica de la cadena de maní en argentina. Avances y Estado de Situación en Análisis de Ciclo de Vida y Huellas Ambientales en Argentina, Actas IV Encuentro Argentino de Ciclo de Vida – III Encuentro Argentino de Huella Hídrica. Primera Edición.
- Charlón V, J.F Manazza, M.P Tieri, 2015. Huella hídrica en tambos según diferentes sistemas de producción. Avances y estado de situación en el análisis de ciclo de vida y huellas ambientales en Argentina- Actas de ENARCIV 2015.
- FAO (2010) 'CROPWAT 8.0 model', FAO, Rome, [www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html).
- Franke, N.A., H Boyacioglu, and A.Y Hoekstra, 2013. Grey water footprint accounting: Tier 1 supporting guidelines, Value of Water Research Report Series No. 65, UNESCOIHE, Delft, the Netherlands.
- Hoekstra, A, A Chapagain, M Aldaya, M Mekonnen, 2011. The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. Earthscan, London, Washington, DC.

- Imhoff S, A. Pires da Silva, P.J. Ghiberto, C.A. Tormena, M.A. Pilatti, P.L. Libardi 2016. Physical Quality Indicators and Mechanical Behavior of Agricultural Soils of Argentina. PLoS ONE 11(4): e0153827.oi: 10.1371/journal.pone.0153827. Editor: P.C. Abhilash, Banaras Hindu University, INDIA.
- INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2020. Visor GeoINTA: Mapas de suelo, perfiles y coberturas de suelos, imágenes y bases de datos georeferenciadas. Available at: (<http://geointa.inta.gov.ar/visor2/?p=96>) [Accessed March. 11, 2020].
- 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, 2012.
- Manazza, J.F y J.R Diaz, 2013. Aproximación al análisis de eficiencia de uso de agua en sistemas ganaderos bovinos. <https://www.researchgate.net/publication/276919832>.
- Lazzarini B, J Baudracco, G Tuñon, L Gastaldi, N Lyons, H Quattrochi, N Lopez-Villalobos, 2019. Milk production from dairy cows in argentina: Current state and perspectives for the future. App. Anim. Sci. 35, 426-432
- Pilatti M.A y J.A de Orellana, 2016. Hacia una clínica de suelos: Mirando al suelo con ojos de planta. Edic. Colección 'Cátedra' UNL, 280 pp. ISBN: 978-987-657-959-9.