



## Estimación de la huella hídrica gris en tambos del centro oeste de la Provincia de Santa Fe.

### Gray water footprint estimation in dairy farms in center west of Santa Fe Province.

**Autores: Santiago Kerstens, Sabrina Monay, Brenda Costamagna.**

Grupo GEM. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela. Rafaela, Santa Fe, Argentina.

santiagokerstens1234@gmail.com, sabrinamon00@gmail.com,  
breencostamagna1@gmail.com

#### Resumen.

La producción de leche se ha convertido en una de las actividades de mayor importancia en cuanto a generación de aguas residuales con capacidad de contaminación y alto impacto ambiental. Santa Fe conforma la principal cuenca lechera de Latinoamérica. El objetivo del presente trabajo es comparar de forma preliminar la Huella Hídrica gris (HHg) de aguas residuales de sistemas de producción lechera a nivel primario. Para el estudio, se recolectaron datos mediante muestreos de efluentes realizados a la salida del sistema de ordeño o de plantas de tratamientos de efluentes en varios tambos. Se realizaron análisis fisicoquímicos de diversos parámetros. A partir de los cálculos de HHg realizados, se concluye que los resultados obtenidos determinan el volumen de agua necesario para asimilar la carga del contaminante y no refleja la contaminación e impacto de los efluentes sobre el ecosistema.

**Palabras claves:** Huella Hídrica, predios lecheros, efluentes, agua.

#### Abstract.

Milk production has become one of the most important activities in terms of wastewater generation with contamination capacity and high environmental impact. Santa Fe forms the main dairy basin in Latin America. The objective of this work is to make a preliminary comparison of wastewater Gray Water Footprint (HHg) from dairy production systems at the primary level. For the study, data were collected through effluent sampling carried out at the outlet of the milking system or effluent treatment in several dairy farms. Physicochemical analyzes of various parameters were performed. From HHg calculations, it is concluded that the results determine the water volume necessary to assimilate the pollutant load and do not reflect the pollution and impact of the effluents on the ecosystem.

**Keywords:** Water footprint, dairy farms, effluents, water.

## **Introducción.**

La obtención de productos agropecuarios es responsable de los mayores volúmenes de uso de agua dulce en el planeta (Hoekstra et al, 2014). En Argentina, la intensificación en las actividades agropecuarias, específicamente en la producción de leche, generó una problemática puntual como lo es, el aumento en la cantidad de efluentes producidos en las instalaciones de ordeño. El manejo inadecuado de los mismos, sumados a excrementos acumulados en los corrales, resultan una de las principales fuentes de contaminación tanto del agua subterránea (Panigatti, et al., 2010), como de aguas superficiales.

Por lo tanto, es importante profundizar en el estudio de las mejoras en los sistemas de tratamiento de efluentes y evaluar mediante el cálculo del indicador de huella hídrica (HH) el impacto del uso de agua. Los tambos, en particular, se destacan por su intensidad de uso del agua, diversos estudios dan cuenta de la importancia que tiene la huella hídrica de la producción (Hoekstra et al., 2011; De Boer et al., 2013;; Zonderland Thomassen & Ledgard, 2012; Manazza y Charlón).

El indicador de Huella Hídrica (HH), es un enfoque que ha sido desarrollado por la “Water Footprint Network (WFN)” para conceptualizar y cuantificar la presión de la producción y consumo de una sociedad sobre los recursos hídricos. Esta línea de trabajo, correspondiente al campo de la gestión, administración y eficiencia de los recursos hídricos, está vinculada de manera exclusiva con la dimensión hídrica de los productos y procesos económicos. Tal es así, que surge la clasificación en HH verde, HH azul y HH gris, siendo el primero, el volumen de agua incorporado a un sistema o producto proveniente de las precipitaciones captadas por los cultivos, mientras el segundo se relaciona con el volumen de agua consumida correspondiente a cuerpos de origen superficial y/o subterráneo. Por último, la HH gris, es un indicador del volumen de agua necesaria para asimilar los contaminantes involucrados hasta alcanzar los niveles permitidos de concentración en agua (Franke et al., 2013).

Existen antecedentes sobre investigaciones en cuantificación y caracterización de efluentes para la determinación de HH gris. Generalmente se excluye del análisis dicha Huella, por considerarla muy baja o por ausencia de información fehaciente que permita su cálculo. Además, la metodología para su cálculo es muy controversial ya que refleja en volumen la medida de impacto en la distribución eficiente y sostenible del recurso, pero no en cuanto a la contaminación que genera ese efluente.

El objetivo del trabajo es comparar, en forma preliminar y a partir de aproximaciones, la Huella Hídrica gris (HHg) de aguas residuales de varios sistemas de producción lechera de la provincia de Santa Fe a nivel primario, considerando su volcamiento a cuerpo de agua superficial de bajo caudal.

## **Desarrollo.**

En el presente trabajo se plantea el estudio de cinco predios lecheros ubicados en la zona centro-oeste de la provincia de Santa Fe. Para la determinación de la HHg, es necesario contar con datos de la fuente de contaminación en estudio. Dicha fuente corresponde a los efluentes denominados purines, los cuales son aguas sucias que se componen por el volumen de agua utilizada en la sala de ordeño, restos de heces y orina de pisos del corral de espera, contenido de agua empleado para higiene de pezoneras, herramientas y tanque de almacenamiento.

Se han tomado muestras de efluentes a la salida de la sala de ordeño o de las plantas de tratamiento (en los casos que poseen). Se ha realizado el análisis fisicoquímico de los siguientes parámetros: pH, Conductividad, Sólidos totales (ST), Sólidos totales volátiles (STV), Nitrógeno total Kjeldahl (NTK), Fósforo total (PT), Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>). Para todos los análisis se siguió la metodología propuesta por APHA (2017). Para el cálculo de HHg se trabaja con los valores promedios obtenidos a lo largo de un año.

En la Tabla 1 se pueden observar las principales características de los casos de estudio.

**Tabla 1:** Principales características de los casos de estudio.

CASOS	Tambo 1	Tambo 2	Tambo 3	Tambo 4	Tambo 5
Ubicación	Grutly	Lehmann	Sarmiento	Clucellas	Saguier
Índice aptitud del suelo	81	8	75	57	75
Precipitación media anual	1180 mm	1150 mm	1101,5 mm	1101,5 mm	1150 mm
Evapotranspiración	1103 mm	1132 mm	1153 mm	1132 mm	1132 mm
Temp. media anual	17,1° C	19,8° C	19° C	20° C	19, 8° C
Mayor época de lluvias	Verano	Verano	Verano	Verano	Verano
Tratamiento de Efluentes	1 lag. anaeróbica 1 facultativa	2 lag. anaeróbicas	-	-	-
Vacas en Ordeñe	268	130	198	180	96
Producción (kg de leche/vaca/día)	25,25	25,49	20,64	26,71	29,21

La fórmula para el cálculo de la HHg utilizada en el presente trabajo fue propuesta por Pellicer-Martínez y Martínez Paz (2014), diseñada para el vertido puntual de un único contaminante sobre una masa de agua. El resultado se expresa en unidades de volumen por unidad de tiempo.

$$HHg = \frac{Q_{efl} \cdot (C_{efl} - C_{nat})}{C_{max} - C_{nat}} \quad (1)$$

Donde:

- HHg: la máxima huella hídrica gris generada por un contaminante k contenido en el vertido sobre la masa de agua (volumen/tiempo).
- $Q_{efl}$ : caudal del efluente vertido (volumen/tiempo).
- $C_{max}$ : concentración máxima permitida del contaminante X del vertido en la masa de agua que lo recibe (masa/volumen). (Según normativa).
- $C_{nat}$ : concentración natural del contaminante X en la masa de agua si no hubiera sido alterada por la actividad humana (masa/volumen).
- $C_{efl}$ : concentración del contaminante X del vertido (masa/volumen).

Según dicha formulación se utiliza como información de partida las concentraciones de los contaminantes en el efluente, el caudal de aguas residuales vertido, valores establecidos por normativa para uso del agua donde se vuelca el efluente y concentraciones naturales del cuerpo de agua. Como los efluentes contienen diferentes contaminantes, se establece que el contaminante crítico es el que establece el valor mayor de la HHg (Hoekstra et al., 2011; Wang y Wu, 2014) de dicho vertido, ya que es el que requiere el máximo volumen de dilución. Por lo que se asume que el volumen de dilución del contaminante que genera la mayor HHg es suficiente para diluir el resto de los contaminantes.

En algunos trabajos los datos de HHg obtenidos se informan como volumen de agua por unidad de tiempo (l/día, m<sup>3</sup>/año), mientras que en otros casos el cálculo se realiza por cantidad de producto en estudio (kilo o litro). Se realizan los cálculos teniendo en cuenta los datos de efluentes generados tomando como referencia los litros de leche en ordeñe, no se tuvieron en

cuenta la lixiviación y la escorrentía de fertilizantes químicos y agroquímicos correspondiente a los cultivos.

### Resultados.

En la Tabla 2 se presentan los resultados promedios de todos los parámetros analizados en los muestreos de los diferentes tambos y se comparan en base a los límites de volcamiento permitidos por la legislación de la provincia de Santa Fe.

**TABLA 2:** Análisis fisicoquímico-promedios de efluentes de los diferentes tambos.

Parámetros evaluados	Límites de Volcamiento Máx permitido	Tambo 1	Tambo 2	Tambo 3	Tambo 4	Tambo 5
pH	5,5 - 10 <sup>(1)</sup>	8,11	8,76	6,84	7,68	7,22
Cond. (µS/cm)	-	6980	11425	6040	8290	6355,5
ST (mg/l)	-	5593	11764	7609	23203	12203
STV (mg/l)	-	1984	2377	4035	10217	4141
NTK (mg/l N)	15 <sup>(2)</sup>	175,55	194,55	129,85	418,7	205,65
PT(mg/l P)	2 <sup>(2)</sup>	25,2	62,2	38,45	39,25	51,2
D.B.O. <sub>5</sub> (mg/l O <sub>2</sub> )	50 <sup>(1)</sup>	828,5	355	2060	1958	1983,5
D.Q.O. (mg/l O <sub>2</sub> )	75 <sup>(1)</sup>	2257,1	4436,8	6525,5	14481,5	4708

El límite de volcamiento corresponde a:

(1) Resolución 1089/82. Título C del Reglamento para Control de Vertimiento de Líquidos Residuales, teniendo en cuenta una dilución menor de 360. Provincia de Santa Fe.

(2) Ley 11220. Anexo 1.2.2. Normas de calidad de agua potable y efluentes cloacales. Provincia de Santa Fe.

En la Tabla 3 se muestra la concentración natural de los contaminantes en un cuerpo de agua superficial sin ser alterado por la actividad humana (Panigatti, et al., 2010).

**TABLA 3:** Concentración natural de los contaminantes en un cuerpo de agua

Contaminante	Cnat
D.Q.O. (mg/l O <sub>2</sub> )	0
Nitrógeno Total (mg/l N)	1
Fósforo Total (mg/l P)	0.5

Las Figuras 1, 2, 3, 4 y 5 muestran los resultados de HHg de los distintos tambos, donde la unidad que se utiliza es m<sup>3</sup>/año. Se puede observar que los niveles de HHg correspondiente a la Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.) en todos los predios lecheros son superiores que los correspondientes a los demás contaminantes.

Analizando los gráficos, se puede observar que los resultados obtenidos en los tambos 1 y 2 son inferiores a los obtenidos en los demás casos. Estos tambos cuentan con sistemas de tratamiento de efluentes que disminuyen las concentraciones de los contaminantes antes de ser vertidos en un cuerpo de agua superficial.

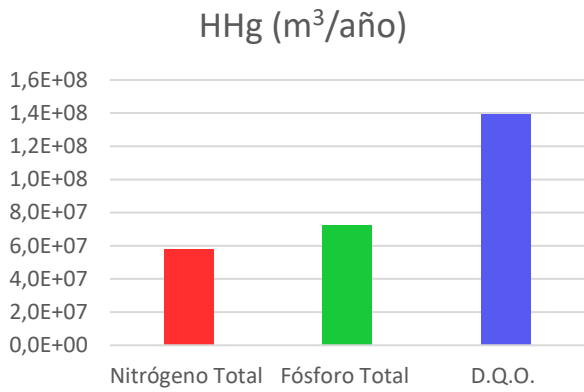


FIGURA 1: HHg de los contaminantes del Tambo 1.

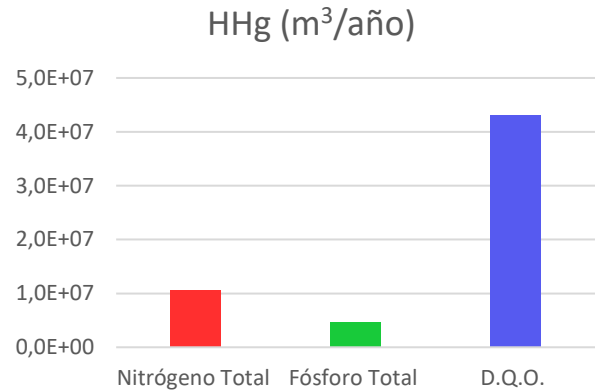


FIGURA 2: HHg de los contaminantes del Tambo 2.

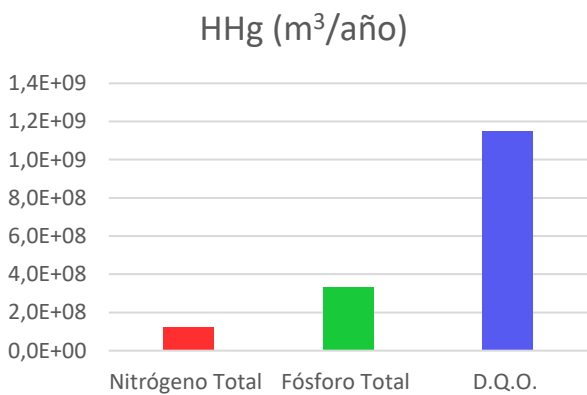


FIGURA 3: HHg de los contaminantes del Tambo 3.

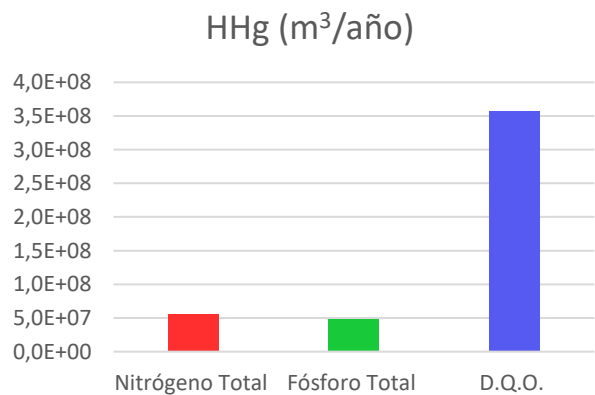


FIGURA 4: HHg de los contaminantes del Tambo 4.

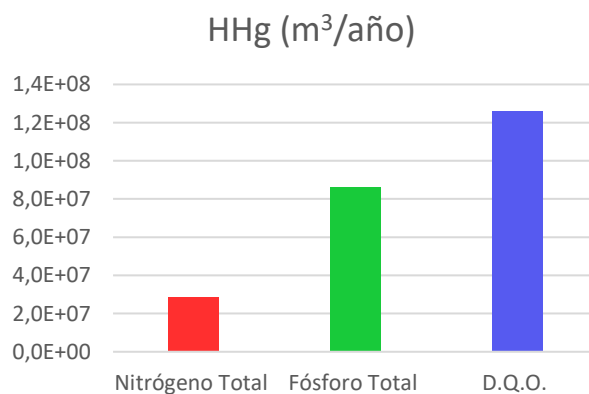
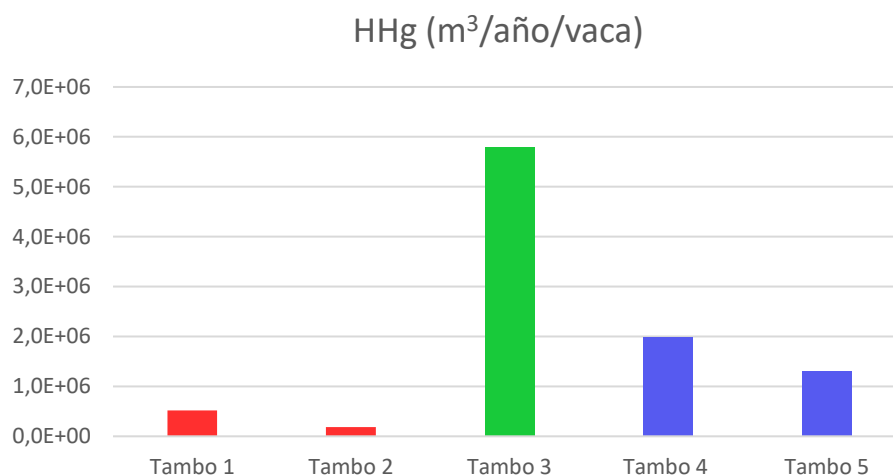


FIGURA 5: HHg de los contaminantes del Tambo 5.

En la Figura 6 se compara la HH del contaminante seleccionado en cada uno de los tambos (correspondiendo a D.Q.O. para todos los casos) considerando el promedio de vacas en ordeño de cada predio lechero. Se puede observar que el Tambo 3 es el que produce mayor HHg por vaca a lo largo de un año.



**Figura 6: Comparación de las HHg de mayor nivel en los tambos en base a la cantidad de animales.**

Los altos valores encontrados de D.Q.O., implican una elevada demanda de oxígeno si el mismo es volcado un cuerpo de agua superficial, que alteraría fuertemente el ecosistema natural. Elevadas concentraciones de D.Q.O. implican consumo de oxígeno en el cuerpo receptor que puede llevar a su agotamiento, teniendo en principio como consecuencia inmediata la destrucción de las comunidades acuáticas. Además, el exceso de materia orgánica posibilita la proliferación de microorganismos.

Tal como plantean Civit et al. (2015), en el caso de la huella hídrica gris, más allá de los resultados numéricos, el valor obtenido indica un volumen de agua dulce por unidad de tiempo o de producto, pero no revela completamente el efecto potencial que podría tener la extracción de ese volumen de una cuenca o la adición de los contaminantes a un cuerpo de agua y su consecuente impacto potencial sobre la eutrofización acuática, la calidad de los ecosistemas y la salud de las personas.

Para disminuir las HHg halladas, se deberían diseñar sistemas de tratamientos de efluentes en los casos que no cuentan con ello, y mejorar aquellos sistemas instalados modificando o rediseñando. El reúso del recurso agua también contribuiría a la disminución de la huella hídrica gris.

### **Conclusiones.**

La Huella Hídrica gris calculada en los predios lecheros, teniendo en cuenta el volcamiento de efluentes a cuerpos de agua superficiales de bajo caudal, es variable dependiendo si los mismos cuentan con sistemas de tratamientos de efluentes o no. Estos sistemas empleados son insuficientes, pero de igual manera se puede observar que los niveles obtenidos de Huella Hídrica gris son inferiores en los casos que se utilizan. La huella determina el volumen de agua necesario para asimilar la carga contaminante de un efluente y resulta una medida de impacto en el consumo de agua, pero no estaría reflejando directamente la contaminación e impacto sobre el ecosistema acuático que este efluente genera.

### **Bibliografía.**

APHA.(2017) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.Amer. Publ. HealthAssoc. New York.

Charlon, V.; Manazza, J. F.; Tieri, M. P.; Longo-Rodriguez, C.; Engler, P. L. INTA (2015) “Huella hídrica en tambos según diferentes sistemas de producción”. Encuentro de la Red Argentina de Huella Hídrica. ENARCIV.

Civit, B., Piastrellini, R., Curadelli, S., Arena, P. (2015) Medida del impacto sobre la calidad de agua en la etapa de producción de productos. En: Avances y estado de situación en análisis de ciclo de vida y huellas ambientales en argentina. Editorial: INTA Ediciones.

De Boer, C. (2013). Contextual interaction theory for assessing water governance, policy and knowledge transfer. In *Water governance, policy and knowledge transfer* (pp. 56-74). Routledge.

Franke, N.A., Boyacioglu, H. and Hoekstra, A.Y. (2013) Grey water footprint accounting: Tier 1 supporting guidelines, Value of Water Research Report Series No. 65, UNESCOIHE, Delft, the Netherlands.

Hoekstra, AY y Wiedmann, TO (2014). La huella ambiental insostenible de la humanidad. *Ciencia*, 344 (6188), 1114-1117.

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2014). Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment. *Ecological indicators*, 46, 214-223. Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. (2011). The water footprint assessment manual: Setting the global standard, Earthscan, London, UK.

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. ISBN 978-987-679-109-0

Panigatti, M. C.; Boglione, R.; Griffa, C.; Cassina, D.; Schierano, M. C.; Imoberdof, M. (2010). "Influencia de los predios lecheros en la calidad de las aguas subterráneas freáticas. Estudio de casos en tambos de la provincia de Santa Fe, Argentina". Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua.

Wang L, Wu X. (2014). Careful considerations when reporting and evaluating the grey water footprint of products. *Ecological Indicators*, 41: 131-132.

Zonderland-Thomassen, M.A. & Legard, S.F. (2012). *Agricultural Systems*. Vol. 110, July 2012, Pages 30–40.

Mekonnen, M. y Hoekstra, AY (2011). Cuentas nacionales de la huella hídrica: La huella hídrica verde, azul y gris de producción y consumo. Volumen 1: Informe principal. Zonderland-Thomassen, MA y Ledgard, SF (2012). Huella hídrica: una comparación de métodos que utilizan la producción lechera de Nueva Zelanda como estudio de caso. *Sistemas Agrícolas*, 110, 30-40.

Verónica, C., Francisco, SS, Manazza Francisco, J., & Herrero María, A. (2013, junio). Análisis comparativo de costos de aplicación de purines en tambos de Chile y Argentina. En *15e conférence internationale Ramiran: recyclage des résidus organiques pour l'agriculture-Versalles, Francia* (Vol. 6, pp. 03-05).

Pellicer Martínez, F. (2014). Huella hídrica y planificación hidrológica: aplicación en la demarcación hidrográfica del Segura. *Proyecto de investigación*.