

---

## Huella hídrica de la leche y el queso: un caso de estudio en Tandil, Argentina

### Water footprint of milk and cheese: a case study in Tandil, Argentina

Pérez, Jesica<sup>1</sup>; Arrien, María Macarena<sup>1,2</sup>; Cisneros Basualdo, Nicolás Eloy<sup>1,2</sup>;  
Vuksinic, Evelyn<sup>2,3</sup> y Rodríguez, Corina Iris<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Chilecito.

\*E-mail: [corodri@fch.unicen.edu.ar](mailto:corodri@fch.unicen.edu.ar)

Pérez, J.; Arrien, M.C.; Cisneros Basualdo, N.E.; Vuksinic, E.; Rodríguez, C.I. (2021). Huella hídrica de la leche y el queso: un caso de estudio en Tandil, Argentina. *Revista Estudios Ambientales*, 9(2), 28-48.

**Recibido:** 16 de marzo de 2021

**Aceptado:** 16 de junio de 2021

**Publicado:** 30 de diciembre de 2021

## RESUMEN

El indicador de la huella hídrica mide el volumen de agua consumida o contaminada en un proceso productivo y resulta útil para evaluar la sustentabilidad de dicha producción. Este trabajo tiene como objetivo calcular la huella hídrica verde y azul de la leche y el queso elaborados en un tambo-fábrica de Tandil, Argentina. El estudio se realizó en un establecimiento educativo agroindustrial que cuenta con diversos sectores de producción donde los estudiantes realizan sus prácticas formativas. Se analizaron los componentes de la huella hídrica considerando: el agua contenida en el alimento, la bebida animal y el agua de servicios. Los resultados indicaron que el volumen de agua consumido para la elaboración de 1 kg de queso es 10 veces mayor que para 1 kg de leche. La mayor proporción de la huella hídrica la representó el agua verde del alimento. Dentro de la huella azul de la leche, predominó la bebida animal sobre el agua de servicios, mientras que sucedió lo inverso en cuanto a la huella azul del queso. La reutilización del agua de refrescado de la leche para la limpieza del tambo impacta positivamente en la reducción de la huella azul. Se evidencia la necesidad de implementar medidas de reducción de consumos de agua azul, especialmente en la fabricación de quesos.

**Palabras clave:** consumo de agua, gestión de los recursos hídricos, industria lechera.

## ABSTRACT

The water footprint indicator measures the volume of water consumed or polluted during a productive process and it is useful to evaluate the sustainability of the production. This work aims to calculate the green and blue water footprint of milk and cheese made in a dairy farm combined with a cheese factory in Tandil, Argentina. The study was carried out in an educational and agro-industrial institution which has several productive sectors where students develop their training practices. The water footprint components of an animal product were analyzed: water related to feed, drinking water and services water consumption. The results showed that the volume of water consumed to make 1 kg of cheese was 10 times higher than the volume needed to produce 1 kg of milk. The main proportion of the water footprint was given by the green water related to feed. As regard to the blue water footprint of milk, animal drinking water was predominant over services water consumption, while the opposite happened with the blue water of cheese. The reuse of milk

cooling water for cleaning the dairy farm positively impacts on blue water reduction. It is necessary to implement measures to reduce the blue water consumption mainly in cheese production.

**Key words:** water consumption, water resources management, dairy industry.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso crucial para la producción de alimentos, por ello es necesario encontrar herramientas que permitan diagnosticar su estado, cuantificar su uso, evaluar los impactos ambientales derivados de su utilización y mejorar su gestión para minimizar los problemas de contaminación y escasez que surgen de su aprovechamiento no sustentable.

El indicador de huella hídrica mide la apropiación humana del agua dulce para satisfacer sus diferentes necesidades. Su metodología contabiliza volúmenes de agua consumida o contaminada en un proceso, para la producción de un producto, por un individuo o por una organización. El indicador aporta información de los consumos de agua a lo largo de toda la cadena productiva como también brinda una idea de la sustentabilidad en el uso del recurso.

Según Hoekstra *et al.* (2011), la huella hídrica es un indicador multidimensional que no solo mide el volumen de agua dulce consumido por una unidad específica de estudio, sino que además explicita dónde y cuándo se realiza dicho consumo. El indicador se subdivide en tres componentes o tipos de agua: a) Agua verde: volumen total de agua consumida proveniente de las lluvias, incorporada en el producto o evapotranspirada por las plantas; b) Agua azul: volumen total de agua dulce consumida, extraída desde fuentes superficiales o subterráneas; y c) Agua gris: cantidad de agua teórica requerida para diluir o asimilar la contaminación generada por un proceso productivo determinado.

Distintos autores a nivel mundial han estudiado la huella hídrica de la leche y sus derivados (Drastig *et al.*, 2010; Mekonnen y Hoekstra, 2010; Hoekstra, 2012; PascalePalhares y Macedo Pezzopane, 2015; Owusu-Sekyere *et al.*, 2016; Murphy *et al.*, 2017). Sin embargo, son escasos los estudios sobre huella hídrica en Argentina y en la región pampeana bonaerense. En Argentina, se destaca el cálculo de la huella hídrica de actividades agrícolas y ganaderas para la provincia de San Luis (Gobierno de la provincia de San Luis, 2014), y el trabajo de Charlon *et al.* (2015) quienes evaluaron la huella hídrica de

establecimientos lecheros de Santa Fe y San Luis. En la provincia de Buenos Aires, se destacan los estudios de Moyano Salcedo *et al.* (2015) que analizaron la huella hídrica verde y azul de establecimientos lecheros, Iramain *et al.* (2001) y Nosetti *et al.* (2002) que evaluaron el uso del agua subterránea en tambos, y Cisneros Basualdo (2015 y 2021) que analizaron los consumos de agua y la gestión de los efluentes en tambos.

En la región del sudeste bonaerense se pueden mencionar antecedentes sobre la huella hídrica de cultivos relevantes (Rodríguez *et al.*, 2015; Arrien *et al.*, 2021; Olivera Rodríguez *et al.*, 2021).

Específicamente en el caso de estudio, Vuksinic *et al.* (2019) analizaron los usos del agua por parte del establecimiento, y determinaron la calidad y los caudales de agua subterránea utilizados en cada proceso productivo agroindustrial. Además, evaluaron la gestión del agua y determinaron que existe un gran consumo de agua subterránea para las diferentes producciones que impacta en el acuífero libre que las abastece, el cual posee escaso espesor y el sustrato impermeable muy próximo a la superficie, lo cual limita la extracción de agua. Por su parte, Tabera *et al.* (2016) analizaron la calidad del agua, especialmente sus características microbiológicas, desde la fuente de extracción, dentro del proceso productivo del tambo y la fábrica de quesos, hasta el vuelco del efluente generado.

La escasez de estudios regionales sobre la temática marca la relevancia del presente trabajo, especialmente por su localización en un área altamente productiva, haciendo imperiosa la necesidad de generar conocimiento que sirva como base para la gestión integrada de los recursos hídricos.

Este trabajo tiene como objetivo calcular y evaluar la huella hídrica verde y azul de la producción de leche y queso en un tambo-fábrica correspondiente a un establecimiento educativo agroindustrial. No se consideró la huella hídrica gris ni los flujos indirectos de agua, como se explica posteriormente en la metodología.

El propósito del trabajo es aportar datos que permitan analizar los consumos de agua a lo largo de la cadena productiva de la leche y el queso, evaluar la sustentabilidad de dichos procesos y sus impactos ambientales asociados y, a partir de ello, generar pautas para mejorar la gestión del recurso hídrico a nivel local y su replicabilidad en producciones similares.

## CASO DE ESTUDIO

### Ubicación y caracterización

El caso de estudio está ubicado en el partido de Tandil, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina), dentro de la Cuenca lechera Mar y Sierras (Figura 1).

Según el Ministerio de Asuntos Agrarios (2010), la Cuenca lechera Mar y Sierras contaba en 2010 con 241 tambos registrados de los cuales 103 estaban en el municipio de Tandil (42,7% del total de la cuenca), cifra que muestra la relevancia regional de la producción láctea en Tandil. Asimismo, en 2010 existían en la provincia de Buenos Aires 320 plantas elaboradoras de lácteos, de las cuales 17 se ubicaban en Tandil constituyendo uno de los municipios con mayor cantidad de plantas elaboradoras.



Figura 1. Ubicación del partido de Tandil y de la cuenca Mar y Sierras.

El caso de estudio constituye un establecimiento agroindustrial, de carácter educativo-productivo, donde se desarrollan diversas actividades agropecuarias. Cuenta con sectores de producción que constituyen entornos formativos en los cuales los estudiantes de nivel secundario y terciario realizan sus prácticas diarias. Incluye: tambo; fábrica de productos lácteos; cría de porcinos y animales de granja; cría de terneros; procesamiento de harinas, conservas, carnes y chacinados; taller de maquinaria agrícola; agricultura y forrajes; y huerta. Estos sectores junto con el comedor, las aulas y el sector administrativo, se

distribuyen en las 298 hectáreas que abarca el establecimiento. Los productos elaborados se utilizan mayormente para el consumo interno y especialmente los quesos se comercializan. Se destacan las actividades de ordeño en tambo y la fabricación de quesos, por la relevancia de los productos lácteos a nivel local y regional. Diariamente se producen alrededor de 2.000 litros de leche y 200 kg de queso semiduro.

Las producciones desarrolladas, sumadas a las necesidades del personal y el alumnado que alcanzan 600 personas, demandan un importante volumen de agua subterránea.

Según Vuksinic *et al.* (2019), el establecimiento se abastece de una perforación de la cual se extrae un volumen diario de aproximadamente 100.000 litros de agua subterránea. El agua se bombea hacia un tanque principal en el cual atraviesa un proceso de desinfección y luego es distribuida por gravedad hacia los edificios y sectores productivos.

El predio presenta la particularidad de estar ubicado sobre un acuífero freático que tiene escaso espesor saturado, cuyo piso es el basamento cristalino a poca profundidad, lo que provoca dificultades para la explotación del agua subterránea en la zona. Existen tres aspectos clave a considerar: las características hidrogeológicas del sitio, la importante demanda de agua para las diferentes producciones, fundamentalmente el tambo y la fábrica de lácteos, y la generación de efluentes líquidos con alto contenido orgánico que son vertidos en lagunas sin previo tratamiento desde donde infiltran hacia el suelo o escurren hacia un arroyo lindero.

### **Proceso productivo y uso del agua**

En el año 2016 el tambo contaba con 84 vacas Holando Argentino, cuya producción diaria estimada fue de 23 litros de leche por vaca.

El proceso productivo del tambo se realiza en dos turnos diarios. Las vacas aguardan en el corral o pista de espera y posteriormente se realiza el ordeño. Luego, se efectúa la limpieza del corral de espera, del edificio y la maquinaria utilizando agua. En el caso de la pista, donde se acumulan heces y barro, la limpieza se realiza con agua proveniente del equipo de refrigeración de la leche, es decir que se reutiliza el recurso. Los efluentes contienen restos de leche y heces animales, detergentes y sustancias alcalinas de limpieza, y son derivados a un desagüe común para todo el establecimiento y descargados en una laguna artificial. Por su elevada carga bacteriana y orgánica constituyen una fuente potencial de contaminación del acuífero.

En cuanto a la elaboración de quesos, la leche llega del tambo y se mantiene refrigerada. Se inicia el proceso con la pasteurización, en el cual se eleva la temperatura a través de vapor de agua. Posteriormente, la leche es sometida a un doble proceso de enfriamiento mediante un sistema de refrigeración con agua, la cual no es reutilizada. Entre el primer y segundo enfriamiento se procede a la coagulación de la leche y el desuerado de la cuajada. Una vez formada la cuajada, se le incorporan colorantes y otros insumos, se corta con una lira separándola del suero, y se da lugar a su cocción. A continuación se realiza el moldeo, durante el cual se genera suero como efluente, que es lavado con agua. El suero representa el 90% del total de la leche que ingresó al sistema, contiene alta carga orgánica y constituye el mayor volumen de efluente generado en todo el proceso. Cabe mencionar que, en el período de estudio (año 2016), parte del suero se utilizaba como alimento en el sector de porcinos, aprovechando este subproducto y reduciendo el volumen de efluentes.

Los quesos se presan durante 24 horas. Luego se desmoldan y se colocan en salmuera durante un día. Finalmente, se disponen en la sala de maduración de 30 a 60 días. Los efluentes de salmuera, con una alta salinidad y contenido orgánico, se eliminan una vez al año con el resto de los efluentes.

Otras actividades que demandan agua dentro del proceso productivo son la limpieza de lienzo, moldes y utensilios, y la higiene general del edificio y maquinarias, cuyos efluentes se dirigen al colector general del establecimiento.

El total de leche producida diariamente (1.932 L) se utilizó en el período de estudio para la elaboración de quesos (200 kg/día). La eficiencia del proceso de transformación de leche a queso es de aproximadamente un 9%, es decir que se utilizan 10 litros de leche para obtener entre 0,8 y 1 kg de queso duro o semiduro. Este valor de eficiencia indica que en el proceso se genera un efluente del 91%, el cual es una mezcla de agua y suero.

## **METODOLOGÍA**

### **Relevamiento de información**

Se realizaron recorridos y visitas en los dos sectores productivos de interés: el tambo y la fábrica de quesos. Se consideró la información relevada por estudiantes de la Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, en el marco de la asignatura Auditoría Ambiental (Chomicki *et al.*, 2014;

Botet *et al.*, 2014) y del Proyecto de extensión universitaria “Hacia la gestión ambiental de la Escuela Granja de Tandil”.

Se realizaron entrevistas semi-estructuradas a informantes clave del establecimiento: a) encargado de cultivos y alimentación del ganado, a quien se consultó sobre el tipo y cantidad de alimento consumido por las vacas, forma de producción de esos alimentos, fechas de siembra, superficie cultivada y rendimientos; b) encargada del tambo, quien informó sobre el número de animales, producción de leche diaria por vaca, equipamiento y usos de agua; c) encargado de la fábrica de quesos, quién facilitó datos sobre la producción diaria de quesos, equipos y usos de agua. Además, se realizó una entrevista al encargado de la empresa local productora de alimentos balanceados, quien informó sobre la composición del mismo.

### **Cálculo de la huella hídrica de un producto animal**

Se utilizó la metodología de Chapagain y Hoekstra (2003) y Mekonnen y Hoekstra (2010) para el cálculo de la huella hídrica de productos animales. Se tomó como unidad de referencia 1 kg de leche y 1 kg de queso en la puerta de la fábrica. Se consideró un alcance temporal de un año, correspondiente a 2016. Las estimaciones se realizaron para el total de vacas en ordeño existentes en dicho período.

El alcance metodológico abarcó el cálculo de la huella hídrica verde y azul de la leche y el queso. El sistema productivo en estudio es monoproducción, es decir que la leche es un producto intermedio para la elaboración del queso. En el caso de la huella del alimento del ganado lechero, al tratarse de cultivos de secano, no se contabilizó la huella azul debido a que no se aplicó riego, y tampoco el agua indirecta asociada a la producción de insumos y combustibles para la agricultura. No se consideró la huella hídrica gris por la complejidad que representa su cálculo y por la falta de información respecto a la cantidad y calidad de los efluentes generados en los procesos productivos.

Chapagain y Hoekstra (2003) y Mekonnen y Hoekstra (2010) proponen que la huella hídrica (HH) de los productos animales tiene tres componentes: el agua contenida en el alimento, el agua de bebida animal y el agua de servicios requerida para mantener las diferentes actividades del proceso productivo (Ecuación 1):

$$HH_{\text{producto animal}} = HH_{\text{alimento}} + HH_{\text{bebida}} + HH_{\text{servicios}} \quad (1)$$



La huella hídrica de un producto animal se expresa como el volumen de agua sobre unidad de producto ( $m^3/kg$ ). El agua del alimento consiste, en este caso, en la huella verde, mientras que el agua de bebida y de servicios se refiere al agua azul consumida. En el caso de la leche, el agua de servicios se refiere a la utilizada en el proceso productivo del tambo, mientras que para el queso se agrega la demanda de agua para los servicios en la fábrica.

Finalmente, se relacionaron los valores obtenidos de consumos de agua con la producción diaria de leche y queso, para estimar la huella hídrica de cada producto según las Ecuaciones 2 y 3.

$$HH_{leche} = \frac{m^3 \text{ agua}}{kg \text{ leche}} \quad (2)$$

$$HH_{queso} = \frac{m^3 \text{ agua}}{kg \text{ queso}} \quad (3)$$

#### Agua verde

La huella hídrica verde (HHV) del alimento de las vacas lecheras fue estimada según Hoekstra *et al.* (2011) aplicando la Ecuación 4, donde el uso del agua verde ( $m^3/ha$ ) se relacionó con el rendimiento (R, t/ha). El uso del agua verde se calculó como el mínimo entre la evapotranspiración del cultivo (ETc,  $m^3/ha$ ) y la precipitación efectiva (Pef,  $m^3/ha$ ).

Se calculó ETc (mm) para pasturas, soja, girasol, trigo y maíz a través del programa Cropwat 8.0 (FAO, 2010), el cual requirió parámetros climáticos (estación Tandil Aero correspondiente al Servicio Meteorológico Nacional), datos referentes a suelos (carta de suelos N° 3760-29-2 "Sierras del Tandil" de INTA (1989)), y parámetros hídricos de los suelos y los cultivos (Doorenbos *et al.*, 1980; Allen *et al.*, 2006; Falasca *et al.*, 2002; Rodríguez, 2005; FAO, 2010). Esta información fue considerada para todo el período de crecimiento de cada cultivo. Dentro del programa CropWat, se seleccionó el método USDA-SCS para calcular la precipitación efectiva.

Dado que no existen registros de rendimientos en el establecimiento, se consultaron datos locales publicados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGYP, 2019).

$$HHV_{cultivo} = \frac{\min(ETc, Pef) (m^3/ha)}{R (t/ha)} = \frac{m^3}{t} \quad (4)$$

La HHV de cada cultivo ( $m^3/t$ ) se multiplicó por la cantidad suministrada del mismo a cada vaca por día y por sumatoria se calculó la huella hídrica verde total del alimento.

#### *Agua azul*

El agua de bebida se calculó para cada vaca por día, siguiendo la metodología planteada por Beede (1993) y NRC (2001), que tiene en cuenta los factores que afectan la ingesta de agua por el ganado lechero, tales como el consumo de materia seca, la producción de leche, el consumo de sodio y la temperatura ambiente.

En cuanto al agua de servicios, se consideraron los consumos cuantificados por Vuksinic *et al.* (2019) correspondientes al agua de servicios utilizada en el tambo y en la fábrica de lácteos. No se contabilizó el agua indirecta asociada a la producción de insumos y energía en ambos casos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Huella hídrica verde

La alimentación del ganado se realiza tanto dentro como fuera del tambo, alcanzando 26 kg/vaca/día. Dentro del tambo se suministra una ración de alimento balanceado, mientras que fuera del tambo se provee un mix compuesto de pasto y granos (Tabla 3).

La Tabla 1 presenta los resultados del uso de agua verde y de huella hídrica verde (HHV) para cada cultivo utilizado como alimento.

Tabla 1. Huella hídrica verde de los cultivos utilizados como alimento

Cultivo	Uso de agua verde ( $m^3/ha$ )	Rendimiento (t/ha)	Huella hídrica verde del cultivo ( $m^3/t$ )
Trigo	1.923	3,85	499,48
Maíz	3.663	6,05	605,45
Soja	3.687	2,33	1.582,40
Girasol	3.205	2,40	1.335,42
Pasturas	5.793	9,40	616,28

El alimento balanceado ingerido por las vacas está compuesto por maíz (35%), afrechillo de trigo (32%), girasol (30%) y sales (3%). Partiendo de la HHV de cada componente y

considerando la ración diaria de alimento balanceado, se determinó su HHV de 2,7 m<sup>3</sup> agua/vaca/día (Tabla 2).

Tabla 2. Huella hídrica verde del alimento balanceado.

Composición del alimento balanceado		Peso en la ración diaria (kg)	Huella hídrica verde del cultivo (m <sup>3</sup> /t)	Huella hídrica verde del alimento (m <sup>3</sup> /vaca/día)
Maíz	35%	1,23	605,45	0,74
Afrechillo de trigo	32%	1,12	499,48	0,60
Girasol	30%	1,05	1.335,42	1,40
Total	97%	3,40		2,70

En la Tabla 3 se muestran los resultados de HHV para cada componente y la HHV total del alimento, la cual resultó de 18,86 m<sup>3</sup> agua/vaca/día. Este valor multiplicado por el total de 84 vacas en ordeño indica que el agua verde del alimento para la producción de leche fue de 1.584,45 m<sup>3</sup>/día.

Tabla 3. Huella hídrica verde por componente y en total del alimento diario de las vacas en ordeño.

Tipo de alimento	Huella hídrica verde (m <sup>3</sup> /t)	Cantidad ingerida (kg/vaca/día)	Huella hídrica verde del alimento (m <sup>3</sup> /vaca/día)
Pasturas	616,28	9	5,55 (29,41%)
Maíz	605,45	11	6,66 (35,31%)
Soja	1.582,40	2,5	3,96 (20,97%)
Balanceado	-	3,5	2,70 (14,31%)
Total		26	18,86

A nivel local, los resultados de la huella hídrica verde de los alimentos concuerdan con los antecedentes de Arrien *et al.* (2021) y Olivera Rodríguez *et al.* (2021) para el maíz y la soja respectivamente. Al mismo tiempo, los valores obtenidos son coherentes con los

antecedentes a nivel nacional del trigo, maíz y soja calculados por Aldaya *et al.* (2010) y con los del trigo, soja y pasturas determinados por Gobierno de la provincia de San Luis (2014). Por su parte, Mekonnen y Hoekstra (2011) calcularon la huella hídrica verde de diferentes cultivos para la provincia de Buenos Aires, cuyos resultados son superiores a los valores de este trabajo para el trigo, el maíz y el girasol, mientras que para la soja se obtuvieron valores similares. Esta diferencia puede deberse a la realización de los cálculos en el presente estudio utilizando datos locales, lo cual permite obtener mayor especificidad en los resultados pudiendo detectar variaciones del indicador.

### Huella hídrica azul

Tomando como antecedente las mediciones realizadas por Vuksinic *et al.* (2019) se considera que el agua de servicios utilizada en el tambo fue de 4,87 m<sup>3</sup>/día, incluyendo la limpieza del corral de espera, edificio e instalaciones. No se incluyó el agua de refrescado de la leche porque la misma es reutilizada en la limpieza de la pista de espera. Por su parte, el agua de servicios utilizada en la fábrica de quesos alcanzó 15 m<sup>3</sup>/día, e incluyó el consumo en la caldera para la pasteurización, la limpieza del edificio e instalaciones, el lavado de moldes, lienzos y utensilios, y el llenado de piletas de salmuera.

En cuanto al agua de bebida, se obtuvo un consumo de 88,27 L/vaca/día y considerando las 84 vacas existentes brinda un valor diario de 7,4 m<sup>3</sup>/día.

### Huella hídrica de la leche y el queso

La Tabla 4 presenta los resultados de agua verde y azul en cada etapa del proceso productivo de la leche y del queso.

Tabla 4. Agua verde y azul calculada y producción del tambo-fábrica.

Producción de alimento (agua verde)	Bebida animal (agua azul)	Agua (azul) de servicios en el tambo	Agua (azul) de servicios en la fábrica
1.584,85 m <sup>3</sup> /día	7,4 m <sup>3</sup> /día	4,87 m <sup>3</sup> /día	15 m <sup>3</sup> /día

El mayor volumen de agua consumida a lo largo de todo el proceso lo representa el agua verde del alimento, como primer eslabón de la cadena productiva, que alcanza un 99,23% del total requerido para la producción de leche y un 98,31% para la elaboración del queso.

En la región de Tandil el balance hídrico se caracteriza por presentar un exceso anual de 144 mm mientras que el déficit es poco relevante, con 18 mm anuales, y se produce en el período estival (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2010). Esto implica que el uso de agua verde no representa una limitación en el área de estudio, sino más bien resulta en una ventaja comparativa respecto a otras regiones con déficit hídrico.

La predominancia del componente verde en la huella hídrica de la leche y el queso implica menos externalidades ambientales negativas que el uso de agua azul. Esto resalta la importancia del agua verde para la seguridad hídrica y alimentaria al producir con agua de lluvia, ya que a diferencia del agua azul no puede ser reasignada a otros usos más que a la vegetación y cultivos (Aldaya *et al.*, 2010; Hoekstra, 2014; Hoekstra *et al.*, 2017).

Por su parte, el volumen del agua azul de origen subterránea utilizada es 12,27 m<sup>3</sup> agua/día para producir leche y 27,27 m<sup>3</sup> agua/día para elaborar quesos. La demanda de agua azul de la leche se desglosa en el agua de bebida animal, que representa el 60% del volumen, y el agua de servicio utilizada en el tambo que ocupa el 40% restante. Por su parte, dentro del agua azul para elaborar quesos el mayor volumen corresponde a los servicios dentro de la fábrica (55%), seguido por la bebida animal (27%) y los servicios en el tambo (18%).

Teniendo en cuenta las condiciones hidrogeológicas que posee el sector de estudio, el uso de agua azul puede representar una limitación a la producción láctea, debido a las dificultades de extracción de agua subterránea en cantidades necesarias para los servicios asociados al tambo y la fábrica de quesos.

La huella hídrica de la leche y del queso incluyó la sumatoria de todos los consumos de agua (alimento, bebida y servicios). Para expresar ambos resultados como volumen de agua en relación a 1 kg de producto (m<sup>3</sup>/kg), se consideró la densidad de la leche, que para el caso de estudio tiene un valor 1,028 kg/L. Así, se obtuvo que la huella hídrica verde y azul alcanzó 0,8 m<sup>3</sup> agua/kg de leche y 8,06 m<sup>3</sup> agua/kg de queso semiduro.

$$HH_{LECHE} = \frac{1.584,45 \text{ m}^3 + 7,4 \text{ m}^3 + 4,87 \text{ m}^3}{1.932 \text{ L de leche}} = \frac{0,83 \text{ m}^3 \text{ agua}}{\text{L de leche}} = \frac{0,8 \text{ m}^3 \text{ agua}}{\text{kg leche}}$$

$$HH_{\text{QUESO}} = \frac{1.584,45 \text{ m}^3 + 7,4 \text{ m}^3 + 4,87 \text{ m}^3 + 15 \text{ m}^3}{200 \text{ kg de queso}} = \frac{8,06 \text{ m}^3 \text{ agua}}{\text{kg de queso}}$$

La Figura 2a muestra que la HH verde de 1 kg de queso es aproximadamente 10 veces mayor que la de 1 kg la leche, lo cual está directamente relacionado con la eficiencia del proceso de elaboración de quesos, mientras que con respecto a la HH azul en la Figura 2b se observa que el valor alcanzado por la producción de queso es 22 veces mayor al de la leche.

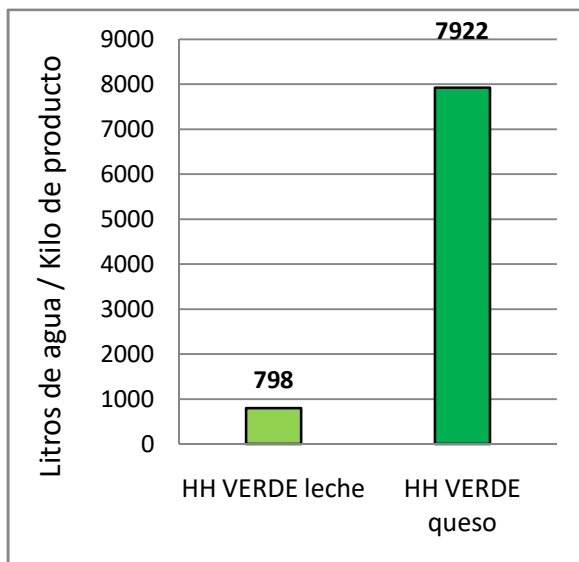


Figura 2a. Huella hídrica verde de la leche y del queso.

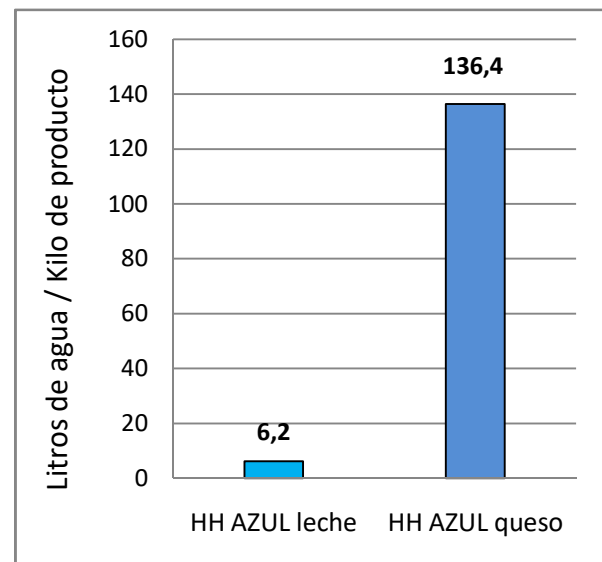


Figura 2b. Huella hídrica azul de la leche y del queso.

Por otra parte, resulta interesante comparar los resultados con otros estudios realizados en producciones similares. A nivel local, Falabella *et al.* (2018) evaluaron la huella de agua en quesos semiduros de una fábrica de Tandil que procesaba leche de 320 vacas en ordeño. El resultado de la huella azul fue de 201 L de agua/kg de queso, si bien la diferencia con la de este trabajo no es altamente significativa, puede deberse a la implementación de distintas metodologías, a la inclusión de otros insumos tales como combustible y a que los sistemas productivos bajo estudio son diferentes. Por su parte, Rodríguez *et al.* (2019) calcularon la huella hídrica azul de la leche y el queso en dos tambos-fábrica de diferentes dimensiones productivas (80 y 300 vacas en ordeño) de Tandil. Los resultados de huella

azul de la leche fueron mayores al presente estudio, mientras que sucede lo inverso con la huella azul del queso. Se infiere que en el caso analizado las prácticas de manejo del agua en el proceso del tambo son más eficientes, lo cual puede estar relacionado con la reutilización del agua de refrescado para la limpieza de la pista de espera. En cambio, la eficiencia en el uso del agua para la elaboración de quesos puede ser mejorada notablemente. También cabe considerar que dicha diferencia puede ser debida a otros factores como el rendimiento de la leche de acuerdo con el tipo de queso que se fabrique.

A nivel regional, Moyano Salcedo *et al.* (2015) calcularon la huella hídrica verde y azul en 38 tambos de la provincia de Buenos Aires. El componente verde alcanzó el 98% del total con valores medios de 844 L de agua/kg de leche (variando entre 323 y 1711 L/kg), mientras que el componente azul promedio fue de 13,7 L de agua/kg de leche (variando entre 6 y 23 L/kg). El valor de la huella verde del presente trabajo se encuentra muy cercano al promedio obtenido por Moyano Salcedo *et al.* (2015), mientras que el componente azul equivale a su valor mínimo. En el trabajo de Charlon *et al.* (2015), sobre tambos con diferentes sistemas productivos de Santa Fe, el agua verde representó el mayor componente de la huella hídrica total (entre 96,8% y 98%), mientras que el agua azul varió entre 5 y 7 L de agua/kg leche y se conformó principalmente por el agua de bebida, coincidiendo con los valores aquí reflejados.

A nivel internacional, Mekonnen y Hoekstra (2010) calcularon la huella hídrica verde, azul y gris de animales de granja y sus productos derivados para diferentes países. Los resultados indicaron que el mayor volumen de agua de la producción animal proviene del alimento que consume, contabilizando un 98% del total de la huella hídrica, mientras que el agua de bebida y la de servicio contabilizan un 1,1% y 0,8% respectivamente, coincidiendo en términos generales con este trabajo. Murphy *et al.* (2017) analizaron el componente verde y azul de la huella hídrica en 24 granjas lecheras de Irlanda y, aunque utilizaron otra metodología, los resultados son semejantes a esta investigación, con valores medios de HH verde de 684 L de agua/kg de leche (con variaciones entre 532 y 1099 L/kg) y de HH azul de 6,4 L de agua/kg de leche (con un rango de 1,9 a 11,1 L/kg). Por su parte, Mekonnen y Hoekstra (2012) calcularon la huella hídrica promedio global de diferentes productos de origen animal. Se observó coherencia en el componente verde, mientras que la huella azul de la leche y el queso fueron 10 y 2 veces más altas, respectivamente, que las calculadas en este trabajo.

Cabe considerar la particularidad que tiene el caso analizado al ser un establecimiento de carácter educativo-productivo, donde las decisiones que se toman no se basan en la rentabilidad económica, lo que puede generar diferencias con las industrias mencionadas en los estudios antecedentes tanto en la modalidad de trabajo como en los objetivos perseguidos por la producción.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La mayor proporción de la huella hídrica de la leche y el queso corresponde al agua verde para la producción de alimentos, lo cual implica menos externalidades ambientales negativas que el uso de agua azul y destaca la importancia del agua verde para la seguridad hídrica y alimentaria.

El agua azul de la leche tiene un valor relativamente bajo en comparación con otros estudios. La reutilización del agua de refresco de la leche para la limpieza del tambo impacta positivamente en la reducción de la huella azul. En cambio, se advierte la necesidad de revisión y mejora de las prácticas de uso del agua en la fabricación del queso.

A medida que se avanza en la cadena productiva aumenta la demanda de agua, siendo así la suma de la huella hídrica verde y azul del queso 10 veces superior que la de la leche.

Es necesario el diseño e implementación de medidas para reducir el consumo de agua en este tipo de producciones lácteas, que sean factibles y acordes a la realidad de cada caso, tales como: la reutilización del agua de enfriamiento de la fábrica de quesos, la incorporación de tecnologías de pasteurización y enfriamiento que requieran menores consumos de agua, entre otras estrategias.

Considerando que el caso de estudio corresponde a un establecimiento educativo-productivo, los resultados podrían ser utilizados para mejorar hábitos de trabajo y manejo de recursos, y lograr formas de producción más sustentables. Asimismo, para incorporar la temática dentro de las aulas donde se forman futuros profesionales y trabajadores del ámbito agropecuario local y regional, y para que tanto los alumnos como el personal tomen conciencia del uso de los recursos y sean partícipes de la toma de decisiones sobre la temática del agua y de los efluentes.

## AGRADECIMIENTOS



Este trabajo ha derivado de la Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental de la Licenciada Jesica Pérez. Agradecemos el apoyo de la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación de Argentina en el marco del Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica PICT2017-0564.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aldaya, M.M., Allan, J.A., Hoekstra, A.Y. (2010). Strategic importance of green water in international crop trade. *Ecological Economics*, 69, 887–894. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.001>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma, Italia: FAO.
- Arrien, M. M., Aldaya, M. M., y Rodríguez, C. I. (2021). Water footprint and virtual water trade of maize in the province of Buenos Aires, Argentina. *Water*, 13(13), 1769. <https://doi.org/10.3390/w13131769>
- Beede, D. K. (1993). *Water nutrition and quality for dairy cattle*. Western Large Herd Dairy Management Conference. (pp 193-205). Las Vegas Nevada, USA.
- Botet, C., Donoso, M. Navarro, A. Provenzal, P., y Ramis Simón, D. (2014). *Escuela Granja. Fábrica de lácteos*. [Trabajo de cátedra inédito]. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Chapagain, A. K. y Hoekstra, A. Y. (2003). *Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products*. Value of water Research Report Series N° 13. The Netherlands: UNESCO-IHE.
- Charlon, V., Manazza, J.F., Tieri, M.P., Longo-Rodríguez, C., y Engler, P.L. (2015). *Huella hídrica en tambos según diferentes sistemas de producción*. Actas del IV Encuentro Argentino de ciclo de vida y III Encuentro de la Red Argentina de huella hídrica. Córdoba: Ediciones INTA.
- Chomicki, C., Delgado Vázquez, L., Márquez, M.I., Mertens, F., Morteo, C., y Vuksinic, E. (2014). *Escuela Granja. Tambo*. [Trabajo de cátedra inédito]. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Cisneros Basualdo, N.E. (2015). *Diagnóstico ambiental de dos tambos en la cuenca Mar y Sierras, Tandil, Provincia de Buenos Aires*. [Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y

- Gestión Ambiental, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires].
- Cisneros Basualdo, N.E. (2021). *Evaluación ambiental de la actividad de tambo en la cuenca lechera Mar y Sierras, provincia de Buenos Aires*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Luján].
- Doorenbos, J., Kassam, A.H., Bentvelsen, C.L.M., Branscheid, V., Plusjé, J.M.G.A., Smith, M., Uittenbogaard, G.O., y Van Der Val, H.K. (1980). *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 33. Roma, Italia: FAO.
- Drastig, K., Prochnow, A., Kraatz, S., Klauss, H., y Plöchl, M. (2010). Water footprint analysis for the assessment of milk production in Brandenburg (Germany). *Advances in Geosciences*, 27, 65–70. <https://doi.org/10.5194/adgeo-27-65-2010>
- Falabella, C., Garro, J., Korb, M., Minaglia, M., y Tuninetti, L. (2018). *Evaluación de la huella de agua. Caso de estudio: quesos de pasta semidura*. San Martín: Instituto Nacional de Tecnología Industrial – INTI.
- Falasca, S.L., Forte Lay, J.A., y Bernabé, M.A. (2002). Simulación de las necesidades de riego complementario de un sector del partido de Tandil, República Argentina. *Revista Brasileira de Agrometeorología*, 10 (2): 333–342. Santa María.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2010). 'CROPWAT 8.0 model', FAO, Rome. Recuperado de: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>
- Gobierno de la provincia de San Luis (2014). *Cálculo y Análisis de la Huella Hídrica de la Provincia de San Luis. Sectores agrícola y pecuario*. San Luis. Recuperado de: <http://www.huellahidrica.org/Reports/Calculo%20Huella%20Hidrica.pdf>
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., y Mekonnen, M.M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the global standard*. Londres, Inglaterra: Earthscan.
- Hoekstra, A.Y. (2012). The hidden water resource use behind meat and dairy. *Animal frontiers*, 2 (2): 2-8. <https://doi.org/10.2527/af.2012-0038>
- Hoekstra, A.Y. (2014). Sustainable, efficient, and equitable water use: The three pillars under wise freshwater allocation. *WIREs Water*, 1, 31–40. <https://doi.org/10.1002/wat2.1000>

- Hoekstra, A.Y.; Chapagain, A.K.; van Oel, P.R. (2017). Advancing water footprint assessment research: Challenges in monitoring progress towards sustainable development goal 6. *Water*, 9, 438. <https://doi.org/10.3390/w9060438>
- INTA - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (1989). Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, escala 1:500.000. Buenos Aires: INTA.
- Iramain, M.S., Nosetti, L., Herrero, M.A., Maldonado May, V., Flores, M., y Carbó, L. (2001). *Evaluación del uso y manejo del agua en establecimientos lecheros de la Provincia de Buenos Aires, Argentina*. III Encuentro Internacional de las Aguas: "Agua, Vida y Desarrollo". Santiago de Chile, Chile: IICA.
- MAGYP (2019). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Producción. Estimaciones Agrícolas. Recuperado de: <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.ohp?reporte=Estimaciones>
- Mekonnen, M.M. y Hoekstra, A.Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Value of Water Research Report Series N° 48, Delft, Países Bajos: UNESCO-IHE.
- Mekonnen, M.M. y Hoekstra, A.Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 1577-1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>.
- Mekonnen, M.M. y Hoekstra, A.Y. (2012). A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems* (2012) 15: 401–415. OI: <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>
- Ministerio de Asuntos Agrarios. Provincia de Buenos Aires (2010). Resumen estadístico de la cadena láctea de la Provincia de Buenos Aires. Recuperado de: <http://www.carbap.org/lecheria/RELEVAMIENTO%20LECHERO%202010.pdf>
- Moyano Salcedo, A., Tieri, M.P., y Herrero, M.A. (2015). *Huella hídrica de establecimientos lecheros de Buenos Aires, Argentina*. Actas del IV Encuentro Argentino de ciclo de vida y III Encuentro de la Red Argentina de huella hídrica. Córdoba: Ediciones INTA.
- Murphy, E., De Boer, I.J.M., Van Middelaar, C.E., Holden, N.M., Shalloo, L., Curran, T.P., y Upton, J. (2017). Water footprinting of dairy farming in Ireland. *Journal of Cleaner Production*, 140: 547-555. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.199>
- National Research Council (NRC). (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. (7th rev. ed.). Washington DC, USA: National Academy of Sciences.

- Nosetti, L., Herrero, M. A., Pol, M., Maldonado May, V., Iramain, M. S. y Flores, M. (2002). Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros. I. Demanda de agua y manejo de efluentes. *Revista INVet*, 4 (1): 37-43.
- Owusu-Sekyere, E., Scheepers, M.E., y Jordaan, H. (2016). Water footprint of milk produced and processed in South Africa: implications for policy-makers and stakeholders along the dairy value chain. *Water*, 8, 322. <https://doi.org/10.3390/w8080322>
- Olivera Rodriguez, P., Holzman, M.E., Degano, M.F., Faramiñán, A.M.G., Rivas, R.E., y Bayala, M.I. (2021) Spatial variability of the green water footprint using a medium-resolution remote sensing technique: The case of soybean production in the Southeast Argentine Pampas. *Science of the Total Environment*, 763: 142963. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142963>
- PascalePalhares, J.C. y Macedo Pezzopane, J.R. (2015). Water footprint accounting and scarcity indicators of conventional and organic dairy production systems, *Journal of cleaner production*, 93: 299-307. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.035>
- Rodríguez, C.I. (2005). *Planificación del riego complementario para la producción de papa, en el partido de Tandil*. [Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires].
- Rodríguez, C.I., Ruiz de Galarreta, V.A., y Kruse, E.E. (2015). Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. *Journal of Cleaner Production*, 90: 91-96. Amsterdam. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.075>
- Rodriguez, C.I., Cisneros Basualdo, N.E., Díaz, A.A., Banda Noriega, R., Tabera, A.E., Arrien, M., Barranquero, R.S., Cifuentes, M., Corengia, C., Nicora, B., Novo, J., Pérez, J., Rolando, R., y Ruiz De Galarreta, A. (2019). *Extensión, docencia e investigación: la huella hídrica azul en la producción de leche y quesos*. VIII Encuentro Argentino de Ciclo de Vida y VII Encuentro de la Red Argentina de Huella Hídrica ENARCIV 2019. Mendoza: Universidad Tecnológica Nacional.
- Ruiz de Galarreta, V. A., Banda Noriega, R., Barranquero, R., Díaz, A. A., Rodríguez, C. I. y Miguel, R. E. (2010). Análisis integral del sistema hídrico, uso y gestión. Cuenca del arroyo Langueyú, Tandil, Argentina. *Boletín Geológico y Minero*, 121 (4), 343-356.
- Tabera, A., Cisneros Basualdo, N.E., Ruiz de Galarreta, V.A., y Krüger, A. (2016). *Evaluación de la calidad microbiológica del agua en tambos-fábricas de la zona de*

*Tandil*. IV Jornadas Interdisciplinarias Ciclo del Agua en Agroecosistemas. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Vuksinic, E., Rodriguez, C.I., Tabera, E., Cifuentes, M. R., Díaz, A. A., Cisneros Basualdo, N. E., y Ruiz de Galarreta, A. (2019). Groundwater management in an agro-industrial school in Argentina. *UNED Research Journal*, 11 (2): 122-129.  
<https://doi.org/10.22458/urj.v11i2.2300>