

Cuantificación del agua en la elaboración de cuero mediante la huella hídrica

Hubaide Restom, Sebastián David ^{a,b}; Mainardi Remis, Juan Martín ^{a,b}; Rajal, Verónica Beatriz ^{a,b}; Gutiérrez Cacciabue, Dolores ^{a,b*}

a. Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI)– Universidad Nacional de Salta (UNSa), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

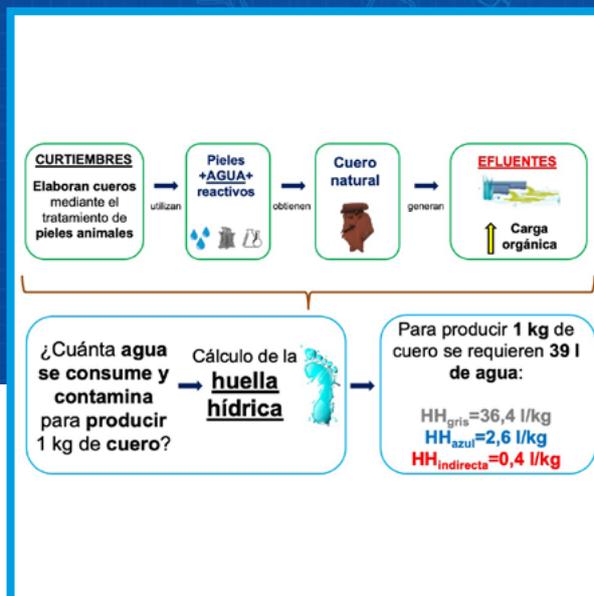
b. Facultad de Ingeniería, UNSa,

Contacto tinchomainardi@gmail.com
dolo83@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue cuantificar el agua en la elaboración de cuero natural mediante la huella hídrica (HH). Se analizó una curtiembre local, identificándose cuatro etapas principales: ribera, curtido, recurtido y acabado. Para cada una se calculó la HH_{total} como la suma de las HH_{gris} , HH_{azul} y $HH_{indirecta}$. Para la HH_{gris} se utilizó la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) como parámetro de evaluación de los efluentes, para la HH_{azul} se consideró el agua evaporada durante el proceso y para $HH_{indirecta}$ las huellas de equipos y electricidad. En términos de HH_{total} se necesitan 39 litros de agua para producir 1 kg de cuero ($HH_{gris}=36$ l/kg, $HH_{azul}=2,6$ l/kg, $HH_{indirecta}=0,4$ l/kg), donde el valor sin considerar huellas es de 29 l/kg cuero. La HH_{gris} fue la que más contribuyó sobre la total (92%). La ribera fue la etapa de mayor uso de agua ($HH_{gris}=30,7$ l/kg), generando efluentes con altos valores de DBO.

Palabras clave: : curtiembres, efluentes, huella hídrica, proceso.



ABSTRACT

The aim of this work was to quantify the water involved during natural leather production by the water footprint (WF). A local tannery was analyzed, where four main steps were identified: beamhouse, tanning, retanning and finishing operations. The WF_{total} was calculated for each operation step, as the sum of the WF_{grey} , WF_{blue} and $WF_{indirect}$. For WF_{grey} the biochemical oxygen demand (BOD) was used as the main parameter for effluent quality measurement; for WF_{blue} water evaporated during the process was considered; for $WF_{indirect}$ equipment and electricity footprints were used. In WF terms, 39 liters of water are needed to produce 1 kg of leather ($WF_{grey} = 36$ l/kg, $WF_{blue} = 2.6$ l/kg, $WF_{indirect} = 0.4$ l/kg), when the value without considering the WF calculation is 29 l/kg leather. WF_{grey} contributed the most to the total (92%). The beamhouse was the step with highest water use ($WF_{grey} = 30.7$ l/kg), generating effluents with high BOD values.

INTRODUCCIÓN

La industria del cuero es un segmento mundial de la economía que, aunque no se encuentra dentro de los sectores industriales más grandes del mundo, puede ser un actor regional dominante en ciertas áreas [1]. En general, se utiliza el término curtiembres para referirse a aquellas industrias en donde a través de diferentes tratamientos de pieles de algunos animales, se obtienen cueros naturales con amplias aplicaciones [2]. El material final se utiliza luego en muchos sectores importantes, como calzado, ropa, accesorios de moda, muebles y la industria automotriz [3].

Durante el proceso de tratamiento del cuero natural se utiliza una variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos que, si bien permiten obtener un producto de buena calidad, son contaminantes para el medio ambiente. Los orgánicos, como proteínas, carbohidratos y lípidos, se producen a partir del lavado de pieles, mientras que los inorgánicos, como disolventes, aditivos y cromo, provienen de los químicos añadidos en diferentes procesos de tratamiento [4]. Estos compuestos forman parte de los efluentes generados por la industria. Es por ello que, si no son correctamente tratados, pueden ocasionar graves daños ambientales sobre los cuerpos receptores en donde son finalmente vertidos [4].

En las curtiembres se estima que cerca del 60% en peso de la piel bruta se elimina como residuo o subproducto. En este sentido, cerca del 15% del peso total de la piel se descarga en las aguas residuales principalmente en forma de grasas, pelo degradado y fibras [5].

Además de todo esto, el proceso de elaboración de cuero involucra grandes volúmenes de agua dulce. Esto es preocupante ya que se sabe que el recurso acuático es muy valioso para la población, lo que su uso en exceso por parte de las industrias ocasionará una disminución en su calidad y cantidad [6]. Si bien mundialmente, el sector industrial se encuentra en segundo lugar luego de la agricultura, con respecto al consumo de agua, no está exento de responsabilidad ambiental [7].

Aunque la producción de cuero natural se percibe como una industria contaminante, en los últimos años las empresas de fabricación de cuero lograron grandes mejoras. Actualmente se utilizan taninos vegetales para el curtido de cueros como un producto más respetuoso con el medio ambiente que el cuero curtido con cromo. Términos como "sin cromo", "sin metales", "sin metales pesados", "orgánico", "biodegradable", "bio-", "natural" se utilizan con frecuencia para referirse a los cambios positivos relacionados con el uso de la energía y del agua [1].

Afortunadamente, cada vez son más las industrias y entre ellas curtiembres, que están dispues-

tas a modificar sus patrones de producción con el fin de mejorar el desempeño ambiental. Con respecto al uso del agua, la huella hídrica (*HH*) es una herramienta interesante que puede aplicarse en estos casos para comprobar el real impacto de las actividades sobre el agua dulce, buscando tener una mejor visión relacionada a los problemas de escasez y contaminación [8]. Este concepto, no sólo tiene en cuenta el volumen de agua requerido en la fabricación de un bien o producto (agua virtual) [9], sino que también incluye las características con las que el agua es posteriormente regresada a su lugar de origen o bien a otro lugar [8]. El concepto de *HH* puede aplicarse a productos, procesos, regiones, organizaciones o personas.

Por todo lo expuesto, el objetivo de este trabajo fue cuantificar el agua en la elaboración de cuero natural de una industria local mediante el cálculo de la *HH*.

La implementación y análisis de este indicador en el proceso de fabricación de cuero natural, permitirá establecer cambios en los patrones de consumo y contaminación del agua, encontrando así, un punto de equilibrio entre una producción rentable, el bienestar de la sociedad y la protección del recurso hídrico.

DESARROLLO

En primer lugar, se recopiló información de una curtiembre local, ubicada en la provincia de Salta, Argentina. Se identificaron las materias primas e insumos utilizados, equipos intervinientes en el proceso, consumos de agua y energía, entre otros aspectos. Para ello, se analizaron en detalle las cuatro etapas básicas del proceso (Figura 1).

Etapas 1 - Ribera: incluye un conjunto de operaciones mecánicas cuyo objetivo es quitar de la piel todos los componentes no deseados en la elaboración del cuero. Dentro de esta etapa, se identificaron cuatro subetapas críticas relacionadas con la generación de efluentes y consumo de agua que son las siguientes:

Lavado: las pieles (el cuero crudo) se recubren con granos de sal para preservar sus propiedades químicas y físicas. Es por ello que posteriormente se deben lavar con agua y luego dejar escurrir en el suelo.

Remojo: el propósito es rehidratar la piel con agua y eliminar la suciedad superficial. Se lleva a cabo en fulones que son tanques horizontales de madera con un movimiento giratorio para mejorar la interacción. Esta subetapa se caracteriza por un elevado consumo de agua.

Pelambre: se utiliza una mezcla de químicos depilantes (generalmente alcalinos) y agua para eliminar los pelos y aflojar las fibras de colágeno

para favorecer los posteriores procesos de curtido.

Descarnado: se descartan las grasas y la carne remanente de la capa interior de la piel del animal.

Etapa 2 - Curtido: involucra operaciones físico-químicas que se realizan para detener los procesos de descomposición y degradación de la piel. Inicialmente, la piel se corta utilizando una máquina de dividir y luego se trata con un agente curtiente vegetal (tanino generalmente) que se combina irreversiblemente con el colágeno, para lograr la estabilidad de esta proteína.

Etapa 3 - Recurtido: incluye operaciones que le otorgan al cuero características deseadas, como ser, maleabilidad, resistencia, elasticidad, suavidad, entre otras. Para lograr esto, se utiliza el mismo agente curtiente de la etapa anterior.

Etapa 4 - Acabado: etapa final donde se llevan a cabo las operaciones de acondicionamiento del cuero para dejarlo listo para la venta, tales como recorte, teñido, engrase, ablandado, entre otras. Se caracteriza por ser una etapa en seco que no utiliza agua.

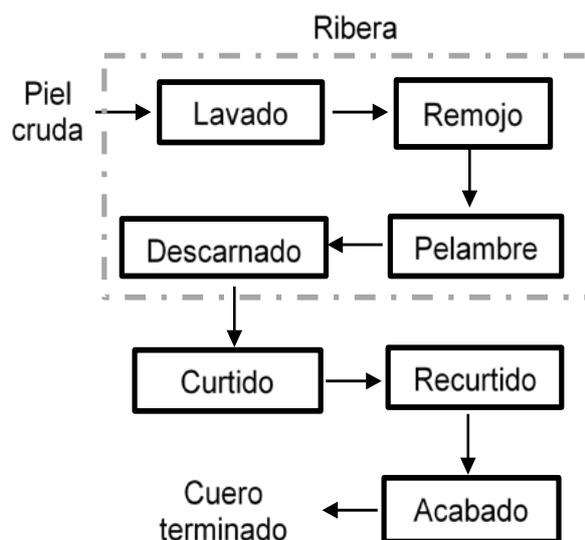


Figura 1: Etapas principales del proceso de elaboración de cuero natural.

Una vez identificadas las etapas del proceso, se procedió al cálculo de la huella hídrica total (HH_{total} en l de agua/kg cuero producido) y sus respectivos componentes siguiendo la metodología propuesta por Hoekstra y colaboradores [10]. El cálculo de la HH se realizó para las Etapas 1, 2 y 3 (ribera, curtido y recurtido, respectivamente). Dado que en la Etapa 4 (acabado) no se utiliza agua, no se la incluyó en los cálculos de HH .

La HH_{total} se calculó como la suma de la huella hídrica azul (HH_{azul}), huella hídrica gris (HH_{gris}) y huella hídrica indirecta ($HH_{indirecta}$) (1).

$$HH_{total} = HH_{azul} + HH_{gris} + HH_{indirecta} \quad (1)$$

La HH_{azul} representa el consumo de agua dulce superficial o subterránea. Este consumo incluye el agua evaporada, la incorporada a un producto y la que se extrae de un cuerpo de agua y se devuelve a otro diferente [10]. Se realizó el balance hídrico de la planta, considerando la cantidad de agua evaporada por kg de cuero procesado. Cerca de un 9% del agua que ingresa a cada etapa se evapora debido a las condiciones ambientales y operativas en las que se lleva a cabo el proceso [5]. Como no hay agua de retorno y el cuero obtenido no contiene agua, el volumen de estos componentes de la HH_{azul} se consideraron nulos.

La HH_{gris} (2) es el volumen de agua dulce necesario para diluir una carga contaminante (C_{eff}) presente en un volumen de efluente (V_{eff}) hasta alcanzar un valor menor o igual al límite establecido en las legislaciones de volcamiento de efluentes en un cuerpo acuático ($C_{máx}$). En su cálculo, también se utiliza la concentración natural del contaminante en el cuerpo receptor (C_{nat}), la que suele considerarse nula para la mayoría de los contaminantes.

$$HH_{gris} = \frac{V_{eff} \times C_{eff}}{C_{máx} - C_{nat}} \quad (2)$$

Para todas las etapas se seleccionó la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) como el parámetro de medición más importante con respecto a la calidad de los efluentes. Eso se debe a la elevada carga orgánica presente. La concentración máxima permitida se obtuvo de regulaciones provinciales para el volcamiento de efluentes industriales en ríos [11]. Dicha legislación establece que el parámetro límite de DBO debe ser inferior a 50 mg/l. La concentración natural de DBO en el cuerpo receptor se consideró igual a cero.

Se utilizó información proporcionada por la curtiembre local para determinar el volumen de efluentes generado en cada etapa (Tabla 1). A cada subetapa de la ribera, se le asignó un porcentaje sobre el efluente principal de la misma, lo que permitió determinar el volumen de efluente que se obtiene de cada una de ellas (Tabla 1).

Tabla 1. Volúmenes de efluentes para las subetapas de la ribera y para cada etapa principal del proceso.

	Asignación (%)	Volumen de efluente (l/kg)
Subetapas de la Ribera		
Lavado	12	1,5
Pelambre	35	4,4
Descarnado	3	0,4
Remojo	50	6,3
Etapas principales		
Ribera	100	12,6
Curtido	100	9,1
Recurtido	100	4,6

Los valores de *DBO* medidos en cada efluente (Tabla 2) se obtuvieron de trabajos previos [12].

Tabla 2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) para cada uno de los efluentes de las etapas y subetapas de la elaboración de cuero.

Etapas	Subetapas	DBO (mg/l)
Ribera	Lavado	170
	Pelambre	350
	Descarnado	550
	Remojo	90
Curtido	-	20
Recurtido	-	20

Al tratarse de subetapas en las que los efluentes confluyen en una corriente final, para calcular la HH_{gris} de la ribera, se seleccionó la subetapa que presenta el mayor valor del indicador. Esto es así, ya que al utilizar la mayor cantidad de agua para diluir los contaminantes, también se diluyen los contaminantes de las otras subetapas. La HH_{gris} de todo el proceso se determinó como la suma de las huellas grises de todas las etapas.

La huella hídrica indirecta ($HH_{indirecta}$) se refiere a todo el volumen de agua utilizado en la fabricación de los bienes y servicios involucrados en el proceso de fabricación de cuero.

Para determinar la HH de los equipos (HH_{equipo}), se sumó la HH de los fulones y de la máquina de dividir utilizada antes del curtido (3). Para cada uno, se tuvieron en cuenta las HH s del material con que fueron construidos ($HH_{material-i}$), su masa ($M_{equipo-i}$), la vida útil ($Vu_{equipo-i}$) y la cantidad de cuero producido (Q_{cuero}). Para la máquina de dividir, se tuvo en cuenta la HH del acero correspondiente a un valor de 2270 l/kg [13], una masa igual a 7900 kg y una vida útil de 50 años. Para los fulones, se seleccionó de bibliografía la HH de la madera, equivalente a 1650

l/kg [14]. Para determinar la masa del fulón, primero se calculó el volumen teniendo en cuenta sus dimensiones (4 m de largo con un diámetro del mismo valor [15]) el cual luego se multiplicó por la densidad de la madera (450 kg/m³ [16]). Ya que en la empresa los fulones fueron utilizados por más de 100 años, se seleccionó ese valor como *vida útil*. La cantidad de cuero procesada (Q_{cuero}) es de 2400 t/año.

$$HH_{equipo} = \sum_{i=1}^n \frac{M_{equipo-i} \times HH_{material-i}}{Vu_{equipo-i} \times Q_{cuero}} \quad (3)$$

donde n en la ecuación 3 hace referencia a la cantidad de equipos involucrados en el cálculo de la huella (para este caso son 2 equipos: fulones y máquina de dividir).

Para la $HH_{indirecta}$ del consumo eléctrico (HH_{CE}) se consideró el consumo mensual de electricidad (CE) de la planta de 15000 kW, la HH de la electricidad (HH_e) que equivale a 0,16 l/kW [17] y la cantidad de cuero producida por mes (Q_{cuero}). (4).

$$HH_{CE} = \frac{CE \times HH_e}{Q_{cuero}} \quad (4)$$

Considerando el aporte indirecto de los equipos y la energía eléctrica, la $HH_{indirecta}$ total se calculó como la suma de todas ellas (5).

$$HH_{indirecta} = HH_{CE} + HH_{equipo} \quad (5)$$

RESULTADOS

La HH_{total} obtenida para el proceso de elaboración de cuero fue de 39 l agua/kg cuero. El valor de consumo de agua de la industria sin tener en cuenta la HH , fue de 29 l agua/kg cuero.

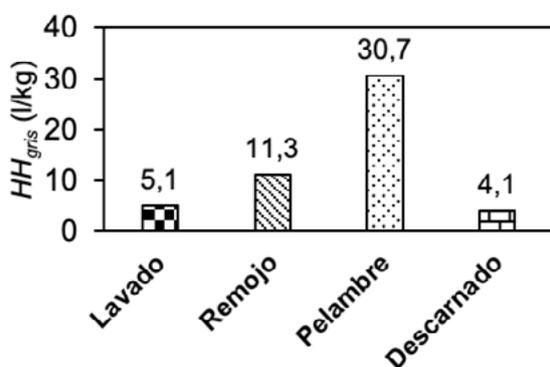
Al considerar la HH_{total} (que incluye los componentes gris e indirecto), la curtiembre está utilizando un 39% más de agua de lo que supone. Con respecto a cada componente, la HH_{gris} (36 l/kg) fue la mayor seguida por la HH_{azul} (2,6 l/kg) y por último la $HH_{indirecta}$ (0,4 l/kg), lo que significa una contribución del 92%, 7% y 1%, respectivamente. Dado que los efluentes de las curtiembres contienen una elevada carga orgánica [1], [3], se necesitan mayores volúmenes de agua dulce para diluirlos hasta alcanzar los valores límites establecidos por legislación [11] antes de su vertido en un cuerpo de agua.

La HH_{azul} de todo el proceso fue igual a la suma de los volúmenes evaporados en las etapas analizadas, siendo la etapa de la ribera la de mayor contribución (Tabla 3).

Tabla 3. Balance hídrico en la planta.

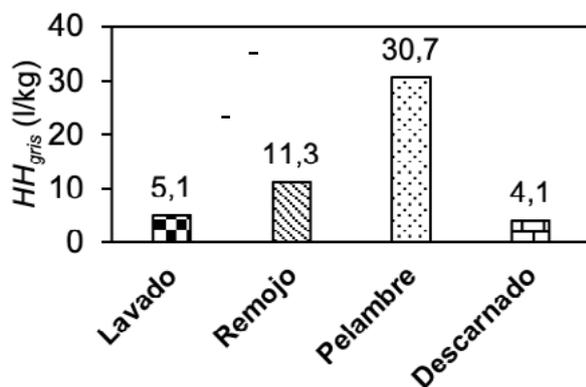
Etapa	Agua de entrada (l/kg)	Agua de salida (l/kg)	HH_{azul} (l/kg)
Ribera	13,8	12,6	1,2
Curtido	10	9,1	0,9
Recurtido	5	4,6	0,4
Total	28,8	26,2	2,6

Dentro de la ribera, el pelambre fue la subetapa con mayor HH_{gris} (30,7 l/kg, Figura 2). Esto ocurre por la eliminación de pelos y acondicionamiento de fibras de colágeno, que genera efluentes con altos valores de DBO .

Figura 2: Huella hídrica gris (HH_{gris}) en cada subetapa de la ribera.

La $HH_{indirecta}$ de los fulones fue de 0,06 l/kg. Debido a que la empresa cuenta con 5 fulones, la huella hídrica total correspondiente a estos equipos, fue de 0,28 l/kg y la de la máquina de dividir fue de 0,15 l/kg. Para el consumo eléctrico la HH fue de 0,0012 l/kg.

Si se comparan los valores de HH_{total} del proceso con el consumo de agua de la planta, se observa que la ribera es la etapa que presentó el valor más alto (Figura 3), debido principalmente a la contribución de la HH_{rie} (Figura 2).

Figura 3: Huella hídrica total (HH_{total}) y consumo de agua total en las etapas del proceso.

Por otro lado, en las etapas de curtido y recurtido, la HH_{gris} es menor al consumo de agua porque la carga de DBO en los efluentes es inferior a la carga máxima admitida en la legislación vigente.

Dado que este tipo de industrias no incluyen una gran variedad de materias primas e insumos ni equipamiento, el componente indirecto de la HH resulta insignificante en comparación a los otros. Esta situación difiere de otras industrias que sí utilizan mayor cantidad de recursos. Particularmente en una industria de agua embotellada, pudo observarse que la $HH_{indirecta}$ aportó cerca del 65% a la HH_{total} de todo el proceso [18]. Sin embargo, en este mismo trabajo, la HH_{gris} fue la que menos contribuyó a la total (15%), ya que los efluentes que se generan presentan una carga contaminante muy baja [18]. Así, las industrias que producen efluentes con alta carga contaminante suelen tener una elevada HH_{gris} como consecuencia de la baja calidad del efluente. En una industria de elaboración de cerveza, se observó que la demanda química de oxígeno (DQO) fue el parámetro que más contribuyó en la HH_{gris} [19]. Para obtener un efluente en condiciones adecuadas para su disposición final, la industria cervecera debía disminuir un 80-90% el valor de DQO [19].

Por lo tanto, si se pretende reducir la HH_{gris} de las curtiembres, se deberán analizar las concentraciones de los distintos contaminantes presentes en los efluentes que tienen elevada carga orgánica.

CONCLUSIONES

En este trabajo se analizó el proceso de elaboración de cuero natural de una industria de la provincia de Salta. Los resultados mostraron que, en términos de huella hídrica, el proceso requiere mayor cantidad de agua dulce de la que consume desde que ingresa la piel a la curtiembre hasta que se obtiene el producto final. El componente gris fue el que más pesó sobre la huella hídrica total, debido principalmente a la gran generación de efluentes con elevada carga orgánica, propia del tipo de materia prima que manipulan estos procesos. Esta información será de gran utilidad para que estas industrias puedan tomar acciones más concretas a la hora de realizar el tratamiento de los efluentes generados y así evitar la posible contaminación cuerpos acuáticos. La aplicación del indicador huella hídrica como herramienta para identificar los diferentes usos del agua dentro de la industria, es indispensable para conocer las etapas críticas dentro del proceso y tomar medidas tendientes a utilizar el recurso de manera eficiente.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló dentro del marco del Proyecto Tipo B N° 2571 (Uso del agua en las industrias de la Provincia de Salta. Cálculo de la Huella Hídrica) financiado por el Consejo de investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSA). Sebastián Hubaide Restom tuvo una beca Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional (EVC-CIN- 2020-2021). El Ing. Juan Martín Mainardi Remis es becario doctoral de CONICET (2017-2023).

REFERENCIAS

- [1] Giaccherini, F.; Munz, G.; Dockhorn, T.; Lubello, C., Rosso, D. (2017). Carbon and energy footprint analysis of tannery wastewater treatment: A Global overview. *Water Resources and Industry*, 17 43–52.
- [2] Valerie M. (2006). Guía práctica e ilustrada de los trabajos en cuero. Ed. Ancanto. ISBN: 978-84-95376-64-0. Barcelona, España.
- [3] Laurenti, R.; Redwood, M.; Puig, R.; Björn, F. (2016). Measuring the Environmental Footprint of Leather Processing Technologies. *Journal of Industrial Ecology*, 21 (5).
- [4] Nagi, M.; He, M.; Li, D.; Gebreluel, T.; Cheng, B.; Wang, C. (2020). Utilization of tannery wastewater for biofuel production: new insights on microalgae growth and biomass production. *Scientific Report*, 10, 1530.
- [5] Romero-Dondiz, E.M.; Almazán, J.E.; Rajal, V.B.; Castro-Vidaurre, E.F. (2015). Removal of vegetable tannins to recover water in the leather industry by ultrafiltration polymeric membranes. *Chemical Engineering Research and Design*, 93, 727-735.
- [6] FAO, Food and agriculture organization of the United Nations. (2015). Towards a water and food secure future. Critical Perspectives for Policy-makers. Marsella, Roma.
- [7] Aylward, B.; Seely, H.; Hartwell, R.; Dengel, J. (2010). The economic value of water for agricultural, domestic and industrial uses: a global compilation of economic studies and market prices. Report prepared for FAO, USA.
- [8] Hoekstra, A.Y. (2003). Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, The Netherlands. Value of Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE, Delft. The Netherlands. Disponible en: www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf
- [9] Allan, J.A. (1993). Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible. ODA, Priorities for Water Resources Allocation and Management, ODA, London, 176 p.
- [10] Hoekstra, A.Y.; Chapagain, A.K.; Aldaya, M.M.; Mekonnen, M.M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual, Setting the Global Standard. Earthscan. London, Washington, DC. 199 p.
- [11] Ministerio de Obras y servicios Públicos, Administración General de Obras Sanitarias. (1998). Resolución (AGOSBA) 389/98. Del 17/7/1998. Aprobar la reglamentación que establece normas de calidad de los vertidos de los efluentes líquidos residuales y/o industriales a los distintos cuerpos receptores de la provincia de Buenos Aires. Disponible en: <https://www.ecofield.net/Legales/BsAs/res389-98-AGOSBA.htm>
- [12] Liberal, V.I.; Domingo, G.I.B.; Lagarde, M.T.; Iribarregaray, M.A.; Seghezze, L. (2010). Una alternativa de optimización del sistema de tratamiento de efluentes de una curtiembre en Salta, Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, N° 14.
- [13] Gerbens-Leenes, P.W.; Hoekstra, A.Y.; Bosman, R. (2018). The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass. *Water resources and industry*, 19, 1-12.
- [14] Observatorio UAM-Vía Célere para la sostenibilidad ambiental de la edificación residencial. (2019). Estimación de la huella hídrica de una promoción residencial. Disponible en: https://eventos.uam.es/_files/_event/_33229/_editorFiles/file/Informe_UAM-ViaCelere_WEB.pdf
- [15] Industrias Huls. (2011). Tamaño y Capacidad de los Fulones. Disponible en: <http://www.industrias-huls.com/productos/productos.html>
- [16] Atencia, M.E. (2003). Densidad de maderas (kg/m³) ordenadas por nombre común. INTI, CITEMA, Argentina.
- [17] Castro, M.; Agualimpia, G.G.O.; Conza, A. (2015). Análisis de huella hídrica en la central termoelectrónica "Aguaytia" acorde a la norma ISO 14046. Disponible en: https://www.shareweb.ch/site/EI-AguaNosUne/Documents/15_SuizAgua%20PE-Evaluacion_huella_hidrica_Termoelectrica_DukeE_Peru.pdf
- [18] Mainardi-Remis J.M.; Gutiérrez-Cacciabue D.; Romero D.S.; Rajal V.B. (2021). Setting boundaries within a bottled water plant aid to better visualize the water use: An approach through the water footprint indicator. *Journal of Water Process and Engineering*, 43, 102199. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102199>
- [19] Mainardi-Remis J.M.; Gutiérrez-Cacciabue D.; Rajal, V.B. (2020). Aplicación de indicadores para evaluar la calidad de efluentes de una industria cervecera. VIII Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del agua p.358-366, ISBN: 978-987-1930-54-8