



Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia

ISSN: 0120-2952

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
Universidad Nacional de Colombia

Zambrano, M. A.; Montenegro, J. P.; Reyes, H.
Estimación de la huella hídrica asociada al proceso de beneficio bovino de la cadena cárnica en los frigoríficos Vijagual y Jongovito (Colombia)
Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia,
vol. 65, núm. 3, 2018, Septiembre-Diciembre, pp. 235-251
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia Universidad Nacional de Colombia

DOI: <https://doi.org/10.15446/RFMVZ.V65N3.76462>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=407658494004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Estimación de la huella hídrica asociada al proceso de beneficio bovino de la cadena cárnica en los frigoríficos Vijagual y Jongovito (Colombia)

M. A. Zambrano^{1,2}, J. P. Montenegro^{1,3*}, H. Reyes¹

Artículo recibido: 11 de agosto de 2017 · Aprobado: 29 de octubre de 2018

RESUMEN

La huella hídrica es un indicador de la apropiación de los recursos de agua dulce y aporta una valiosa información sobre el impacto ambiental que ocasiona un bien o servicio. Por ello, es interesante conocer el consumo de agua y los niveles de contaminación detrás de todo proceso productivo. El objetivo de este estudio fue dar una primera aproximación a la estimación de la huella hídrica en el proceso de beneficio bovino en el Frigorífico Vijagual S.A.S. de la ciudad de Bucaramanga y en el Frigorífico Jongovito S.A de la ciudad de San Juan de Pasto. Para el cálculo de la huella hídrica azul se hizo necesario conocer el volumen de agua empleada en el proceso y el del agua que retorna a la fuente hídrica después de su tratamiento. Para el cálculo de la huella hídrica gris se tomó como indicador la carga contaminante de materia orgánica expresada en DQO, por ser el parámetro de mayor concentración. La huella hídrica verde no se determinó por no tratarse de un proceso agroforestal. Para el Frigorífico Vijagual se obtuvo como resultado una huella hídrica total de 2.583 l/res, mientras que para el Frigorífico Jongovito se obtuvo una huella hídrica de 1.358 l/res. Si bien es cierto estos valores son inferiores a datos nacionales e internacionales, en términos de sostenibilidad es muy importante disminuir el consumo de agua, mejorar cada vez más los sistemas de tratamiento y realizar un esfuerzo en concienciar respecto al uso responsable del agua a sus operarios, en beneficio de las generaciones presentes y futuras.

Palabras clave: huella hídrica, etapa de beneficio, cadena cárnica.

Estimation of the water footprint associated with the bovine benefit process of the network of meat in the Vijagual and Jongovito meat plant (Colombia)

ABSTRACT

The water footprint is an indicator of the appropriation of freshwater resources that contributes a valuable information on the environmental impact caused by a good and/or service. Therefore, it is interesting to know the water consumption and the

¹ Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas, Universidad de Manizales. Cra. 8 nro. 8-3. Manizales (Colombia).

² Grupo de investigación Biotics, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Transversal 31 (Autosur) nro. 12-38 sur. Bogotá (Colombia).

³ Grupo de Investigación Giidop, Programa de Ingeniería de Procesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana. Cll. 18 nro. 34-104. San Juan de Pasto (Colombia).

* Autor para correspondencia: jmontenegro@umariana.edu.co.

pollution behind all productive processes. The objective of this study was to give a first approximation to the accounting of the water footprint in the process of bovine benefit in the Vijagual S.A.S. meat processing plant in Bucaramanga city and the Jongovito S.A. meat plant in San Juan de Pasto City. To calculate the blue water footprint it was necessary to know the volume of water used in the process and the water that returns to the water source after its treatment. For the calculation of the gray water footprint, the pollutant load of organic matter expressed in DQO was taken as indicator, since it is the parameter with the highest concentration. The green water footprint was not determined because it was not an agroforestry process. As a result, the Vijagual meat plant the water footprint is 2.583 l/bovine, while the Jongovito meat plant the water footprint of 1.358 l/bovine was obtained. Although it is true that these values are lower than national and international data, in terms of sustainability, it is very important to reduce water consumption, improve treatment systems more and more, and make an effort to raise awareness about the responsible use of water by its operators, for the benefit of present and future generations.

Key words: water footprint, stages of benefit, network of meat.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el agua, recurso de mayor importancia que garantiza el bienestar y el desarrollo económico y social de los seres humanos (Manzardo *et al.* 2014; Jefferies *et al.* 2012; Suttayakul *et al.* 2016) ha presentado niveles de contaminación por compuestos orgánicos que se producen en cantidades variables e ingentes (UNEP 2013). Además, el aumento de la población y con ello, el posterior aumento de la apropiación y deterioro de la calidad del agua (Chapagain *et al.* 2005) amenaza con su extinción (Jefferies *et al.* 2012; UNEP 2013; Ercin *et al.* 2012; Jeswani y Azapagic 2011; Deurer *et al.* 2011; Gerbens-Leenes *et al.* 2013). A su vez, la reducción del volumen de agua dulce de lagos, ríos y acuíferos como consecuencia de los vertimientos generados por las prácticas de producción de alimentos cárnicos genera efectos en el ecosistema hídrico no solo por el uso irracional, sino también por la

contaminación generada a lo largo de la cadena productiva, en especial en la etapa de beneficio, al presentarse cambios físicos, químicos, morfológicos y biológicos en el agua (Gerbens-Leenes *et al.* 2013; Rivas *et al.* 2017; Zonderland-Thomassen *et al.* 2014). Según el Fondo Mundial para la Naturaleza (AgroDer 2012) se estima que el 22% de la huella hídrica anual en el mundo corresponde a la generada por la producción de carne, valor que justifica una práctica ambientalmente insostenible, razón por la cual algunos países han optado por la exportación del ganado para engorde y la importación de la carne lista para consumo, garantizado con ello la protección y el uso racional del recurso hídrico por factores de incidencia antrópica (Ocak *et al.* 2013).

Según Gonzalez *et al.* (2010), la cadena de consumo de agua agregada en el sector de bovinos da cuenta de una extracción del orden de 1.618 Mm³/año, con las siguientes participaciones: a) consumo vital en la

fase de cría, levante y terminación, 45%; b) consumo en la fase de sacrificio, 31%; y c) consumo en los lugares de manejo y beneficio en unidades de alojamiento animal, 24%. Si bien es cierto que el mayor porcentaje de “consumo” de agua se da en la fase de cría, levante y terminación, es necesario cuantificarlo más allá del consumo directo únicamente, es decir, más allá del volumen de agua consumida por operaciones propias, está el volumen de agua de todos los bienes y servicios que conforman los componentes de producción, además del agua que retorna a las fuentes hídricas después de su tratamiento y asimilación de carga contaminante.

De esta manera, y como consecuencia de la búsqueda por satisfacer las necesidades del hombre y del Estado desde lo político, económico e industrial, nace el concepto de huella hídrica (Parada-Puig 2012; Manzardo *et al.* 2016; Vanham y Bidoglio 2015) como un indicador cuya principal aplicación es contabilizar el volumen de agua dulce involucrada en la generación de un producto consumido por un individuo, grupo de consumidores, empresa o país (Jefferies *et al.* 2012; Parada-Puig 2012; Bosire *et al.* 2015; Bonamente *et al.* 2016), y su aplicación derivada se enfoca a los procesos productivos y a todas sus etapas previas (Chapagain *et al.* 2005; Pérez *et al.* 2011; Castilla 2013; Rudenko *et al.* 2013). Ahora bien, alrededor del 92% de la huella de la humanidad se relaciona con el sector agrícola y un tercio de ella está asociada con la cría de animales (Gerbens-Leenes *et al.* 2013; Miguel *et al.* 2015). En este contexto surge el concepto de “agua virtual” pues la cantidad de agua contenida en el producto final es insignificante en comparación con la cantidad usada en su producción (Rodríguez *et al.* 2015; Aviso *et al.* 2011).

La evaluación de huella hídrica se desarrolla en cuatro fases según metodología desarrollada por la *Water Footprint Network* (Hoekstra *et al.* 2011): establecimiento de metas y alcance, contabilidad de la huella hídrica, evaluación de la sostenibilidad y formulación de respuesta.

La aplicación de la metodología propuesta a nivel nacional la desarrolló Uribe (2014) con la cuantificación de la huella hídrica azul y gris de un proceso de generación de energía. Por su parte, Echeverri (2014) realizó la estimación de la huella hídrica en el proceso de extracción de caliza a cielo abierto en la planta Rioclaro de Cementos Argos. A su vez, en el sector agroalimenticio Arevalo *et al.* (2011) realizaron un estudio nacional de huella hídrica en Colombia.

A nivel latinoamericano, Ríos *et al.* (2013) presentaron un estudio donde se estimó la huella hídrica en el proceso productivo de 1 litro de leche en zonas rurales de Nicaragua; Di Rienzo y Fogolin (2017) realizaron sus aportes a la gestión de la huella hídrica en la producción de carnes de cerdo y evaluaron el uso del agua en un criadero intensivo de Argentina y Montalván *et al.* (2010) emplearon el concepto de huella hídrica para evaluar el impacto de la contaminación industrial sobre los recursos hídricos en siete industrias alimenticias de Cuba.

El presente estudio se centra en la cuantificación de la huella hídrica directa azul y gris en las diferentes etapas del proceso de beneficio en los Frigoríficos Vijagual S.A.S. y Jongovito S.A. en las ciudades de Bucaramanga y San Juan de Pasto (Colombia), respectivamente; teniendo en cuenta las dos primeras fases de la metodología desarrollada por la *Water Footprint Network* (Hoekstra *et al.* 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Fase 1. Establecimiento de metas y alcance

Teniendo en cuenta los interrogantes planteados para definir las metas y alcances según la metodología de Hoekstra *et al.* (2011), se analizó la huella hídrica directa azul y gris teniendo como foco la etapa de contabilidad para un año de estudio, específicamente en el proceso de beneficio de la cadena cárnica bovina en los Frigoríficos Vijagal S.A.S. y Jongovito S.A., teniendo en cuenta procesos que contribuyen significativamente a este indicador y truncando el consumo de agua indirecto debido a operarios, administrativos y transporte, como el agua empleada en el lavado de las respectivas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

Fase 2. Contabilidad de la huella hídrica

Para el caso de estudio se relacionó únicamente la huella hídrica azul y gris, ya que la huella hídrica verde se asocia directamente al agua de lluvia almacenada como humedad del suelo que es evapotranspirada por las plantas y que se convierte en el requerimiento hídrico de cultivos que necesitan procesos de riego para su crecimiento, por lo que este indicador se asocia únicamente al tema agrícola y forestal (Mohammad *et al.* 2017; González *et al.* 2012).

Huella hídrica azul: para la estimación de la huella hídrica del proceso (Vasilaki 2016) de beneficio se empleó la Ecuación (1).

$$HHA_{(proceso)} = \text{agua de consumo} \left(\frac{m^3}{mes} \right) - \text{agua de retorno} \left(\frac{m^3}{mes} \right) \quad (1)$$

Para el caso del Frigorífico Vijagal, los datos fueron suministrados por la empresa ya que dentro de sus informes ambientales

cuentan con la información mensual del consumo de agua en las diferentes fases del proceso y del lavado de la planta. Por su parte, el Frigorífico Jongovito, cuenta con datos de consumo de agua total del proceso, por lo que se hizo necesario tomar caudales de consumo mediante aforos volumétricos y registro de tiempos en cada una de sus etapas, con tres repeticiones mensuales durante el año de estudio debido a la imposibilidad de instalar caudalímetros en cada una de las llaves de abastecimiento.

Con el fin de analizar la información de los dos frigoríficos se unificaron seis líneas donde hay consumo de agua de la siguiente manera: *Corrales*, en esta área el animal se abastece con agua dispuesta en bebederos y se hace el lavado de los mismos. *Bañadera*, antes de la insensibilización los animales entran limpios y escurridos. *Faenado*, donde se unificaron los procesos de insensibilización, partido de esternón, corte canal y oreo. *Vísceras*, se optó por analizar esta línea por separado debido al alto consumo registrado, incluye vísceras rojas y blancas. *Subproductos*, hace referencia al corte de cabezas, manos, patas y el cuero del animal. *Lavado de planta*, correspondiente al lavado de pisos, paredes, equipos, canastillas, etc.

Los datos de agua de retorno y el número de reses beneficiadas fueron suministrados por parte de los dos frigoríficos para el año de estudio. El Frigorífico Vijagal retorna el agua después de su tratamiento a la Quebrada El Aburrado, mientras que el Frigorífico Jongovito hace su retorno de agua a la Quebrada La Loreana.

Huella hídrica gris: la estimación de huella hídrica gris en el proceso se realizó aplicando la Ecuación (2):

$$HHG = \frac{L}{C_{m\acute{a}x} - C_{nat}} \quad (2)$$

L = carga contaminante

$C_{\text{máx}}$ = Concentración máxima permitida

C_{nat} = Concentración natural fuente receptora

La carga contaminante se calculó teniendo en cuenta el valor del caudal promedio anual del vertimiento a la salida de la PTAR, que para el caso del frigorífico Vijagual fue de 7,314 l/s y para el frigorífico Jongovito fue de 0,772 l/s. Los resultados de la caracterización fisicoquímica de las aguas vertidas y la concentración natural de la fuente receptora (aguas arriba) se obtuvieron de los informes de actividades y gestión ambiental del año en estudio en cada uno de los frigoríficos. Además, se identificaron los valores límites máximos permisibles de estos parámetros en vertimientos puntuales generados por actividades de beneficio en ganadería, regulados en la Resolución 0631 de 2015 (Minambiente 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta las metas y alcances planteados en la sección metodológica (*Fase 1*), se muestran a continuación, los resultados de la cuantificación de la huella hídrica.

Fase 2. Contabilidad de la huella hídrica

En las Tablas 1 y 2 se muestra el consumo de agua en cada una de las líneas del proceso. Se puede observar que las sesiones de corrales, bañadera, faenado y subproductos no superan el 11% del consumo total, sin embargo, en la etapa de evisceración y lavado de planta es donde hay mayor consumo de agua para los dos Frigoríficos.

En la línea de vísceras este consumo es alto debido a que, en las mesas de lavado, especialmente en la sesión de vísceras blancas, las llaves de agua se encuentran

abiertas la mayor parte del tiempo del proceso con el fin de retirar la materia fecal de cada uno de los compartimentos gástricos. De hecho, los desagües de estas mesas permanecen libres para que el agua de lavado se evacue libremente. Adicional a esto, el lavado de los uniformes de los operarios y la esterilización de cuchillos también es constante debido a la elevada contaminación de los mismos. Sin embargo, si se tiene en cuenta el número de reses beneficiadas en el año, este dato para el Frigorífico Jongovito es de 62,7%, lo que obedece a llaves abiertas en todo el proceso y a que no hay manejo de flotadores para el llenado de piletas con el que sí cuenta el Frigorífico Vijagual.

Como es de esperar, el lavado de la planta después de terminar la jornada de beneficio requiere un alto consumo de agua, siendo este valor superior para el Frigorífico Vijagual (63,4%). Si bien es cierto este frigorífico posee una mayor tecnología en cuanto al uso de hidrolavadoras, cabe resaltar que así mismo cuenta con mucha más maquinaria y la extensión de la planta de beneficio es mayor por lo que habrá mayor consumo de agua, sin embargo, para el caso de los dos frigoríficos es necesario reajustar algunas prácticas como la limpieza en seco, que consiste en que todos los restos cárnicos que hayan podido quedar en la maquinaria, zonas de trabajo o suelo, sean retirados mediante escobas, aspiradoras o espumas, sin utilizar agua como mecanismo de ayuda (Bustamante 2013).

Igualmente, en las Tablas 1 y 2 se puede apreciar el consumo de agua en relación a las reses beneficiadas en cada frigorífico durante el periodo de estudio. En el Frigorífico Vijagual se presentó un consumo total de agua de 190.114 m³ y beneficio de 97.475 reses, por lo que se puede establecer que el requerimiento hídrico para cada res fue

de 1,95 m³/res (1.950 l/res). Mientras que para el Frigorífico Jongovito se presentó un consumo total anual de agua de 14.719 m³ y beneficio de 22.513 reses que representa un requerimiento hídrico de 0,65 m³/res (650 l/res).

La ubicación geográfica de los Frigoríficos es un factor importante ya que la hidrología, el clima y la raza del bovino influyen directamente en el requerimiento hídrico. Para el caso del Frigorífico Vijagual, las razas que se benefician en respuesta a las condiciones de hábitat corresponden en gran parte al ganado Cebú y en una minoría al ganado Brahama, Holstein y Normando, debido a los diferentes pisos térmicos próximos a la ciudad de Bucaramanga; mientras que para el Frigorífico Jongovito, las razas que se benefician por sus características y adaptabilidad climática son Holstein y Normando. En relación al proceso de beneficio, para el Frigorífico Vijagual el consumo de agua en la línea de corrales y bañadera es mayor por las condiciones climáticas y el tamaño del animal, mientras que para el Frigorífico Jongovito el consumo de agua para esta actividad es menor ya que las condiciones climáticas no requieren un volumen de agua constante para mantener regulada la temperatura corporal del animal y por la raza de ganado beneficiado, el animal es de menor tamaño. Lo anterior, concuerda con Almeriense y Becerra (2013) quienes afirman que las zonas donde la evaporación es elevada el requerimiento hídrico por unidad de producto es mayor.

Según el artículo sobre la calidad del agua de la Resolución 240 de 2013 (Minsalud 2013), las plantas de beneficio animal deben usar máximo 500 litros por animal, o una cantidad menor si cumple el objetivo de inocuidad del proceso y del producto. Con esto, se puede concluir que los dos frigoríficos no cumplen con esta normatividad, por lo

que en términos de consumo hídrico es necesario tomar medidas al respecto.

Cálculo huella hídrica azul: en la Tabla 3 se encuentran los resultados de huella hídrica azul del proceso cárnico en reses para el Frigorífico Vijagual, en ella, se puede apreciar que los meses de marzo y julio se presentó la mayor y menor huella hídrica, respectivamente. Por su parte, en la Tabla 4 se evidencia que para el Frigorífico Jongovito los meses de septiembre y enero presentaron mayor y menor huella hídrica, respectivamente.

Teniendo en cuenta estos resultados se observa que el elevado consumo de agua en estos meses no es proporcional a las reses beneficiadas ni al agua que retornó a las correspondientes quebradas receptoras, lo cual muestra que dentro del proceso se pueden ajustar actividades de ahorro y reintegro del agua. A partir de estos datos se puede deducir que el agua de retorno no superó el 31% para el Frigorífico Vijagual, ni el 47% para el Frigorífico Jongovito.

Según Hoekstra *et al.* (2011) la huella hídrica azul involucrada en un proceso industrial no se puede evitar cuando del proceso requiera explícitamente de la incorporación del agua dulce al producto, pero sí se puede remediar a través de la reducción de agua evaporada en dicho proceso (Ruini *et al.* 2013; Okadera *et al.* 2014 Gu *et al.* 2015), por lo que es necesario hacer esta disminución de agua evaporada en los procesos de refrigeración, digestores, redes de drenaje y las plantas de tratamiento de aguas residuales.

En términos generales, la huella hídrica azul anual para el Frigorífico Vijagual es de 1.448 l/res, superior a la huella hídrica del Frigorífico Jongovito de 388 l/res. Si bien es cierto que Vijagual emplea técnicas de recirculación de agua en los cuartos fríos, en

TABLA 1. Reses beneficiadas y consumo de agua en las diferentes áreas del proceso - Frigorífico Vijagual.

	Número de reses	Consumo de agua (m³/mes)					Lavado de planta	Consumo de agua total
		Corrales	Bañadera	Faenado	Visceras	Subproductos		
Enero	1.828	1.004	2.409	445	2.831	1.377	12.421	20.487
Febrero	1.734	657	2.053	422	2.276	507	11.089	17.004
Marzo	1.738	478	1.650	250	1.918	899	9.372	14.567
Abril	1.826	995	1.382	158	2.792	680	10.196	16.203
Mayo	1.891	829	2.148	176	2.191	770	8.909	15.023
Junio	1.911	978	2.484	87	1.676	334	9.638	15.197
Julio	1.853	552	1.605	70	1.979	890	9.185	14.281
Agosto	2.053	699	1.445	107	1.785	1.074	9.628	14.738
Septiembre	1.912	814	1.768	89	1.677	1.136	9.483	14.967
Octubre	1.863	929	1.100	383	1.792	1.134	9.851	15.189
Noviembre	1.963	1.095	1.464	80	1.890	1.501	9.716	15.746
Diciembre	1.941	1.013	1.459	104	1.964	1.090	11.082	16.712
Total anual	97.475	10.043	20.967	2.371	24.771	11.392	120.570	190.114
		5,3%	11,0%	1,2%	13,0%	6,0%	63,4%	

TABLA 2. Reses beneficiadas y consumo de agua en las diferentes áreas del proceso - Frigorífico Jongovito.

	Número de reses	Consumo de agua (m³/mes)					Lavado de planta	Consumo de agua total					
		Corrales	Bañadera	Faenado	Visceras	Subproductos							
Enero	1.828	59	3	87	750	34	265	1.199					
Febrero	1.734	51	3	83	712	32	252	1.133					
Marzo	1.738	44	3	83	713	32	252	1.128					
Abril	1.826	58	3	87	749	34	265	1.196					
Mayo	1.891	57	4	90	776	35	275	1.236					
Junio	1.911	61	4	91	784	35	278	1.252					
Julio	1.853	66	3	88	760	34	269	1.220					
Agosto	2.053	58	4	98	842	38	298	1.337					
Septiembre	1.912	58	4	91	781	35	278	1.246					
Octubre	1.863	58	3	89	764	34	271	1.219					
Noviembre	1.963	57	4	93	806	36	285	1.281					
Diciembre	1.941	63	4	92	796	36	282	1.272					
Total anual	22.513	689	42	0,3%	1.072	7,3%	9.233	62,7%	413	2,8%	3.270	22,2%	14.719

TABLA 3. Huella Hídrica azul - Frigorífico Vijagual.

Agua de consumo (m ³)	Agua de retorno (m ³)	Huella hídrica azul (m ³ /mes)	Huella hídrica azul (L/res)
20.487	5.500	14.987	1.482
17.004	4.510	12.494	1.464
14.567	2.042	12.525	1.847
16.203	4.617	11.586	1.321
15.023	4.311	10.712	1.340
15.197	4.353	10.844	1.301
14.281	4.381	9.900	1.259
14.738	4.186	10.552	1.351
14.967	3.803	11.164	1.491
15.189	3.869	11.320	1.533
15.746	3.870	11.876	1.499
16.712	4.102	12.610	1.488
HHA promedio		11.714	1.448
HHA total (m³/año)		140.570	

TABLA 4. Huella Hídrica azul - Frigorífico Jongovito.

Agua de consumo (m ³)	Agua de retorno (m ³)	Huella hídrica azul (m ³ /mes)	Huella hídrica azul (L/res)
1.199	569	629	344
1.133	506	627	362
1.128	470	657	378
1.196	453	743	407
1.236	502	735	389
1.252	518	733	384
1.220	559	661	357
1.337	524	813	396
1.246	387	860	450
1.219	477	741	398
1.281	498	783	399
1.272	498	774	399
HHA promedio		730	388
HHA total (m³/año)		8.758	

los digestores, en el clarificado del sistema de deshidratación de lodos y parte del vertimiento de aguas residuales, es necesario que utilice un proceso de recirculación para el lavado de la planta, que involucre el lavado de pisos, paredes, equipos, canastillas, etc., donde según esta investigación se presenta mayor consumo de agua y así contrarrestar los valores de agua retornada.

Pese a que la huella hídrica azul para el Frigorífico Jongovito es menor, y teniendo en cuenta los resultados aquí presentados, es necesario la adquisición de hidrolavadoras industriales con alta potencia y un bajo caudal de consumo. Así mismo, incluir tecnología que emplee vapor de agua en gran parte del proceso de evisceración y el manejo de flotadores para el llenado de piletas, con un alto índice de rendimiento, mínimo consumo hídrico y que garantice la desinfección del producto.

Además, si bien es cierto que los dos frigoríficos realizan capacitaciones del uso adecuado del recurso hídrico para los operarios involucrados en el proceso, es necesario la evaluación y seguimiento de los mismos.

Ahora bien, si se hace un análisis en relación al sector pecuario en Colombia, según el informe de Campuzano *et al.* (2015) el sacrificio de ganado bovino genera una huella hídrica azul de 20,5 millones de m³/año. Según el DANE (2016), en 2015 se sacrificaron 3.986.680 cabezas de ganado, lo que equivale a 5.147,5 L/res. De esta forma, se puede concluir que pese al elevado consumo de agua en los procesos de beneficio de los dos frigoríficos, sus valores están por debajo de la huella hídrica azul nacional para este sector.

Cálculo huella hídrica gris: en la Tabla 5 se encuentran algunos valores de la caracterización fisicoquímica de los parámetros regulados por la Resolución 0631

(Minambiente 2015) para los vertimientos generados por los dos Frigoríficos. Se puede evidenciar que ambos frigoríficos cumplen con la normatividad de vertimientos vigente y que la huella hídrica gris se ve afectada en una mayor proporción por la carga contaminante de materia orgánica expresada en DQO. Estos resultados concuerdan con Pabón y Suárez (2009) quienes expresan que las aguas residuales provenientes de los frigoríficos tienen concentraciones altas de DBO₅ y DQO debido a la presencia de materia orgánica, como grasas, proteínas y celulosa. Además, Zonderland-Thomassen *et al.* 2014 y Muñoz 2005 expresan que este tipo de contaminación se debe a las heces, la orina, la sangre, pelusas y residuos de carne y grasas en las canales, suelos, cuchillos y alimentos no digeridos por el animal, por lo que se hace necesario que en los frigoríficos se regule la cantidad de animales beneficiados, la dieta del animal, la forma de recolección de productos y subproductos y la concientización del uso del recurso dentro del proceso cárnico. De esta manera, estas empresas siguen teniendo una responsabilidad ambiental importante en el tratamiento residual del vertimiento que realizan las aguas contaminadas.

Según lo anterior, para efectos del cálculo de la huella hídrica gris, se tomó como referencia la DQO por ser el parámetro más crítico en este proceso (Montalván 2010). En la Tabla 6 se puede apreciar que, para el año de estudio, en el Frigorífico Vijagual la DQO es de 111.251 m³/año y de 21.814 m³/año en el Frigorífico Jongovito.

Ante la escasa información para Colombia acerca de la huella hídrica en un proceso de beneficio de ganado en general y ya que en el informe de Campuzano *et al.* (2015) previamente mencionado no se incluyeron los cálculos de huella hídrica gris, debido a las limitaciones de información

sobre la calidad del agua a nivel nacional, se hace referencia al estudio de Montalván *et al.* (2010) sobre huella hídrica gris en siete industrias alimenticias de Camagüey (Cuba), en cada una de las cuales se obtuvieron como resultado valores de 31.746, 14.133.333, 4.720.000, 396.552, 93.333, 346.552 y 221.333 m³/año en terminos de DQO, respectivamente. A partir de estos datos se pudo inferir que son procesos diferentes, en regiones diferentes; los dos frigoríficos muestran valores de huella hídrica gris inferiores a otras industrias del sector alimenticio en Latinoamérica.

Cálculo huella hídrica total: la huella hídrica total para los dos Frigoríficos se

presenta en la Tabla 7. Según Corantioquia (2016) el peso vivo del ganado sacrificado en Colombia para la producción de carne tiene un promedio de 400 Kg, ya que éste depende de la edad y raza del animal. Además, el rendimiento promedio del proceso de beneficio es del 40% de carne, es decir, se obtienen aproximadamente 160 Kg de carne a partir de unas res de 400 Kg de peso vivo, por lo que se obtienen valores de 16,14 y 8,49 l/Kg de res para los frigoríficos Vijagual y Jongovito, respectivamente.

Al comparar estos valores con la huella hídrica global promedio de carne de vacuno de 15.500 l/Kg de producto (Jeswani y Azapagic 2011; Mellano 2010), donde se

TABLA 5. Reporte de parámetros regulados por la Resolución 0631* para los vertimientos generados por los Frigoríficos Vijagual y Jongovito.

Parámetro	Unidades	Límite permisible*	Valor de salida PTAR - Vijagual	Cumplimiento normatividad	Valor de salida PTAR - Jongovito	Cumplimiento normatividad
pH	Unidades de pH	6 a 9	6,68	SI	7,4	SI
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	900	378	SI	672,0	SI
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	450	154	SI	276,0	SI
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	225	<10	SI	50,8	SI
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/L	5	<0,1	SI	<0,1	SI
Grasas y Aceites	mg/L	30	<6,3	SI	<10	SI
Sustancias activas (Tensoactivos)	mg SAAM/L	Análisis y reporte	0,32		1,4	

* Resolución 0631 de 2015 (Minambiente 2015).

TABLA 6. Huella hídrica gris Frigorífico Vijagual y Jongovito.

	Generales	Unidad	Valor	Q(l/s)	L (mg/s)	Cmax (mg/L)	Cnat (mg/L)	Huella hídrica gris (L/s)	Huella hídrica gris (m³/ año)
Frigorífico Vijagual	Demanda Química de	mg	378	7,314	2.765	800	16,3	3,53	111.251
Frigorífico Jongovito	Oxígeno (DQO)	O ₂ /L	672	0,772	518,784	800	50	0,69	21.814

TABLA 7. Huella hídrica total Frigorífico Vijagual y Jongovito.

	Huella Hídrica azul (m³/año)		Huella hídrica gris (m³/año)		Huella hídrica total (m³/ año)	Huella hídrica total (L/ res)	Huella hídrica total (L/ kg)
Frigorífico Vijagual	140.570	56%	111.251	44%	251.821	2.583	16,15
Frigorífico Jongovito	8.758	29%	21.814	71%	30.572	1358	8,49

incluye la huella hídrica directa e indirecta y no se trunca ningún proceso en la obtención del producto desde su cría hasta su comercialización (Northey *et al.* 2014), se puede analizar que la mayor participación de huella hídrica en la producción de carne de res se encuentra en el proceso de pasto y levante de ganado y no en el proceso de beneficio, lo que coincide con los resultados de estudios similares como el de Martínez-Mamian *et al.* (2016) quienes demostraron que para producir un litro de leche se necesita de 1,9 m³ de agua, de los cuales, el 97,4% es requerido por el cultivo (forraje) para su ciclo productivo, representado en el agua verde o el requerimiento hídrico que tienen los pastos para un buen crecimiento, el cual se obtiene mediante las lluvias que se presentan en la zona. Así mismo, el estudio

de Jeswani y Azapagic (2011) mostró que en comparación con el consumo de agua agrícola, el consumo de agua industrial es insignificante (Gerbens-Leenes *et al.* 2013; Okadera *et al.* 2014; Herath *et al.* 2013; Noya *et al.* 2016; Huang *et al.* 2014; Feng y Chen 2016; Munro *et al.* 2016).

CONCLUSIONES

En términos de consumo de agua y teniendo en cuenta la Resolución 240 de 2013 (Minsalud 2013), los dos frigoríficos exceden el uso máximo de 500 litros de agua por animal, por lo que es necesario tomar medidas al respecto.

En el Frigorífico Jongovito se identificó que la línea de vísceras es donde se presenta mayor consumo de agua, en donde

se propone el manejo de flotadores para el llenado de las piletas. En el Frigorífico Vijagual se identificó que el proceso de lavado de la planta es donde mayor consumo de agua existe, si bien es cierto que esta empresa cuenta con mayor tecnología con el uso de hidrolavadoras, es necesario que utilice un proceso de recirculación para el lavado de la planta. Además, se evidenció que la ubicación geográfica de los Frigoríficos es un factor importante ya que la hidrología, el clima y la raza del bovino influyen directamente en el requerimiento hídrico.

Según los informes de Campuzano *et al.* (2015) y del DANE (2016) se pudo deducir que la huella hídrica azul es de 5.147,5 L/res, por lo que los valores de huella hídrica azul de los dos frigoríficos están por debajo de la huella hídrica azul nacional para este sector. Con el cálculo de huella hídrica azul para los dos frigoríficos se muestra que el consumo de agua no es proporcional a las reses beneficiadas, ni al agua que retornó a las correspondientes quebradas receptoras, lo que muestra que dentro del proceso se pueden ajustar actividades de ahorro y reintegro del agua.

Respecto a la huella hídrica gris, los dos frigoríficos cumplen con la normatividad de vertimientos vigente e igualmente sus valores son menores respecto a industrias del sector alimenticio.

A partir del valor obtenido de huella hídrica total se puede apreciar que la mayor participación de huella hídrica en la producción de carne de res se encuentra en el proceso de pasto y levante de ganado en y no en el proceso de beneficio.

En términos de huella hídrica los dos frigoríficos presentan valores inferiores con referencia a datos nacionales e internacionales y en términos de sostenibilidad es muy importante cumplir con la resolución

240 de 2013 (Minsalud 2013) con el fin de recuperar el equilibrio entre el consumo de agua dulce y su renovación natural, mejorar los sistemas de tratamiento y realizar un esfuerzo en concienciar a sus operarios respecto al uso responsable del agua, en beneficio de las generaciones presentes y futuras.

RECOMENDACIONES

Se recomienda complementar el presente estudio involucrando el uso indirecto del agua con el fin de no truncar la información que involucra el concepto de huella hídrica. Además, es necesario evaluar la sostenibilidad, cuarta etapa de la propuesta de Hoekstra *et al.* (2011), para establecer si realmente esta práctica es sostenible a nivel no solo ambiental, sino social, económico y político, como un conjunto integrador del desarrollo sostenible, permitiendo garantizar las condiciones mínimas de vida actuales y de las futuras generaciones.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los frigoríficos Vijagual en la ciudad de Bucaramanga y Jongovito en la ciudad de San Juan de Pasto por los permisos de acceso a la planta y por los datos suministrados.

BIBLIOGRAFÍA

- AgroDer. 2012. Huella Hídrica en México en el contexto de Norteamérica [Internet]. México D.F: WWF México/Sab Miller/AgroDer; [citado 2018 ene. 11]. Disponible en: <https://bit.ly/1NOdTgq>.
- Almeriense P, Becerra AT. 2013. Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos water footprint and sustainability of water resources use. Moa-Revista Electrónica de Medio Ambiente. 14(1): 56–86.
- Arevalo D, Lozano JG, Sabogal J. 2011. Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector

- Agrícola. Sostenibilidad Tecnología y Humanismo. (6): 101–126.
- Aviso KB, Tan RR, Culaba AB, Cruz, JB. 2011. Fuzzy input-output model for optimizing eco-industrial supply chains under water footprint constraints. *J Cleaner Production*. 19(2–3): 187–196. Doi: 10.1016/j.jclepro.2010.09.003.
- Bonamente E, Scrucca F, Rinaldi S, Cleofe M, Asdrubali F, Lamastra L. 2016. Environmental impact of an Italian wine bottle: Carbon and water footprint assessment. *Sci of the Total Environment*. 560–561: 274–283. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.026.
- Bosire CK, Ogutu JO, Said MY, Krol MS, Leeuw J De, Hoekstra AY. 2015. Trends and spatial variation in water and land footprints of meat and milk production systems in Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 205: 36–47. Doi: 10.1016/j.agee.2015.02.015.
- Bustamante A. 2013. Eficacia de normativa de vertimientos en el sector cárnico [Internet]. Universidad de Medellín; [citado: 2018 ene. 11]. Disponible en: <https://bit.ly/2Ga4e6q>.
- Campuzano CP, González JE, Guzmán AC, Rodríguez CM, Arévalo D, Parada G, Zárate E, Kuiper D. 2015. Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia. Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014 [Internet]. Medellín (CO): CTA; GSI-LAC; COSUDE; IDEAM; [citado 2018 ene. 11]. Disponible en : https://rds.org.co/documentos/evaluacion_multisectorial_huella_hidrica-colombia_2014.
- Castilla F. 2013. Recursos naturales en su mesa. *Rev Invest Agrop*. 39(3), 222–228.
- Chapagain AK, Hoekstra AY, Savenije HHG, Gautam R. 2005. The water footprint of cotton consumption. Value of Water Research Report Series No. 18 [Internet]. Delft(Paises Bajos): UNESCO-IHE; [citado 2018 ene. 11]. Disponible en: <https://waterfootprint.org/media/downloads/Report18.pdf>.
- Corantioquia. 2016. Plantas de beneficio animal–Manual de producción y consumo sostenible gestión del recurso hídrico [Internet]. Medellín (CO): Corantioquia; [citado 2018 ene. 11]. Disponible en: <https://bit.ly/2C4u5ZD>.
- [DANE] Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2016. Encuesta de sacrificio de ganado–IV trimestre de 2015 [Internet]. Bogotá (CO): DANE, Gobierno de Colombia; [citado 2017 ene. 11]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/sacrificio/bol_sacrif_IVtrim15.pdf.
- Deurer M, Green SR, Clothier BE, Mowat A. 2011. Can product water footprints indicate the hydrological impact of primary production?–A case study of New Zealand kiwifruit. *J Hydrology*. 408(3–4): 246–256. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.08.007.
- Di Rienzo M, Fogolin G. 2017. Aportes a la gestión de la huella hídrica en la producción de carnes de cerdo: Evaluación del uso del agua en un criadero intensivo [tesis]. [Buenos Aires (AR)]: Pontificia Universidad Católica Argentina.
- Echeverri X. 2014. Estimación de la huella hídrica en la extracción de caliza a cielo abierto y propuesta de una política de integración sostenible del recurso hídrico – caso planta Rioclaro, Argos [tesis de maestría]. [Medellín (CO)]: Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- Ercin AE, Aldaya MM, Hoekstra AY. 2012. The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products. *Ecological Indicators*. 18: 392–402. Doi: 10.1016/j.ecolind.2011.12.009.
- Feng L, Chen B. 2016. Scarce Water footprint of energy production in China. *Energy Procedia*. 88: 176–181. Doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.043.
- Gerbens-Leenes PW, Mekonnen MM, Hoekstra AY. 2013. The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. *Water Resources and Industry*. 1–2: 25–36. Doi: 10.1016/j.wri.2013.03.001.
- González JE, Montoya LJ, Botero BA, Arévalo D, Valencia V. 2012. Aproximación a la estimación de la Huella Hídrica de la minería del oro en el Municipio de Segovia, Antioquia (Colombia) [Internet]. Segovia (CO); [citado 2018 ene. 11]. Disponible en: <https://goo.gl/SngUvW>.
- Gonzalez M, Sladarriga G, Jaramillo O. 2010. Estimación de la demanda del agua. Concep-

- tualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial [Internet]. En: Estudio Nacional Del Agua 2010. Bogotá (CO): IDEAM. p. 169–228; [citado 2018 ene. 11]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP5.pdf>.
- Gu Y, Xu J, Keller AA, Yuan D, Li Y, Zhang B, Weng Q, Zhang X, Deng P, Wang H, Li F. 2015. Calculation of water footprint of the iron and steel industry: A case study in Eastern China. *Journal of Cleaner Production*. 92: 274–281. Doi: 10.1016/j.jclepro.2014.12.094.
- Herath I, Green S, Singh R, Horne D, Van Der Zijpp S, Clothier B. 2013. Water footprinting of agricultural products: A hydrological assessment for the water footprint of New Zealand's wines. *J Cleaner Production*: 41: 232–243. Doi: 10.1016/j.jclepro.2012.10.024.
- Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM. 2011. The water footprint assessment manual: setting the global standar [Internet]. London/Washington: Earthscan; [citado 2018 ene. 11]. Disponible en: https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf.
- Huang J, Xu C-C, Ridoutt BG, Liu J-J, Zhang H-L, Chen F, Li Y. 2014. Water availability footprint of milk and milk products from large-scale dairy production systems in Northeast China. *J Cleaner Production*. 79: 91–97. Doi: 10.1016/j.jclepro.2014.05.043.
- Jefferies D, Muñoz I, Hodges J, King VJ, Aldaya M, Ertug A, Hoekstra AY. 2012. Water Footprint and Life Cycle Assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine. *Journal of Cleaner Production*. 19(12): 1288–1299. Doi: 10.1016/j.jclepro.2011.04.003.
- Jeswani HK, Azapagic A. 2011. Water footprint : methodologies and a case study for assessing the impacts of water use. *Journal of Cleaner Production*, 19(12), 1288–1299. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.003>
- Manzardo A, Loss A, Fialkiewicz W, Rauch W, Scipioni A. 2016. Methodological proposal to assess the water footprint accounting of direct water use at an urban level : A case study of the Municipality of Vicenza. *Ecological Indicators*. 69: 165–175. Doi: 10.1016/j.ecolind.2016.04.016.
- Manzardo A, Ren J, Piantella A, Mazzi A, Fedele A, Scipioni A. 2014. Integration of water footprint accounting and costs for optimal chemical pulp supply mix in paper industry. *Journal of Cleaner Production*, 72, 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.014>
- Martínez-Mamian CA, Ruiz-Erazo XA, Morales-Velasco S. 2016. Huella hídrica de una finca ganadera lechera bajo las condiciones agroecológicas del Valle del Cauca. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 14(2): 47–5647. Doi: 10.18684/BSAA(14)47-56.
- Mellano A. 2010. La huella del agua. Chile: Asociación Técnica de la Celulosa y el Papel ATCP.
- Miguel Á. De, Hoekstra AY, García-Calvo E. 2015. Sustainability of the water footprint of the Spanish pork industry. *Ecological Indicators*. 57: 465–474. Doi: 10.1016/j.ecolind.2015.05.023.
- [Minsalud] Ministerio de Salud y Protección Social. 2013. Resolución 240 de 2013 [Internet]. Bogotá (CO): República de Colombia; [citado 2018 ene. 11]. Disponible en: <https://bit.ly/2L9qkVA>.
- [Minambiente] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. Resolución 0631 de 2015. Bogotá (CO): República de Colombia; [citado 2018 ene. 11]. Disponible en: https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf.
- Mohammad NS, Zainon Noor Z, Kanniah KA, Kamaruddin SN, Mohamed Rusli N. 2017. Developing a methodology for water footprint of palm oil based on a methodological review. *J of Cleaner Production*. 146: 173–180. Doi: 10.1016/j.jclepro.2016.06.149
- Montalván A, Martínez F, Veitia E, Brígido O, Caparrós Y. 2010. Huella hídrica gris en industrias alimenticias Camagüeyanas. *Rev Cubana de Química*. 22(2): 44–50.
- Muñoz D. 2005. Sistema de tratamiento de aguas residuales de matadero: para una población menor 2000 habitantes. *Rev Biotecnología en el Sector Agropecuario y Rural*. 3(1): 87–98.
- Munro SA, Fraser GCG, Snowball JD, Pahlow M. 2016. Water footprint assessment of citrus production in South Africa: A case study of

- the Lower Sundays River Valley. *J of Cleaner Production*. 135: 668–678. Doi: 10.1016/j.jclepro.2016.06.142.
- Northey SA, Haque N, Lovel R, Cooksey MA. 2014. Evaluating the application of water footprint methods to primary metal production systems. *Minerals Engineering*. 69: 65–80. Doi: 10.1016/j.mineng.2014.07.006.
- Noya I, Aldea X, Gasol CM, González-García S, Amores MJ, Colón J, Ponsá S, Roman I, Rubio MA, Casas E, Moreira MT, Boschmonart-Rives J. 2016. Carbon and water footprint of pork supply chain in Catalonia: From feed to final products. *J of Environmental Management*. 171: 133–143. Doi: 10.1016/j.jenvman.2016.01.039.
- Ocak S, Ögün S, Emsen E. 2013. Turkey's animal production water footprint; Heading in the wrong direction. *Procedia Technology*. 8: 255–263. Doi: 10.1016/j.protcy.2013.11.035.
- Okadera T, Chontanawat J, Gheewala SH. 2014. Water footprint for energy production and supply in Thailand. *Energy*. 77: 49–56. Doi: 10.1016/j.energy.2014.03.113.
- Pabón S, Suárez J. 2009. Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas residuales de matadero. *Rev Ingeniería e Investigación*. 29(2): 53–58.
- Parada-Puig G. 2012. El agua virtual: conceptos e implicaciones. *Orinoquia*. 16(1): 69–76. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v16n1/v16n1a08.pdf>
- Pérez MA, Peña MR, Alvarez P. 2011. Agro Industria Cañera y uso del agua: análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles en Colombia. *Ambiente & Sociedad*. 14(2): 153–178. Doi: 10.1590/S1414-753X2011000200011.
- Ríos N, Lanuza E, Gámez B, Montoya A, Díaz A, Sepúlveda C, Ibrahim M. 2013. Cálculo de la huella hídrica para producir un litro de leche en fincas ganaderas en Jinotega y Matiguás, Nicaragua. En: *Memorias VII Congresso Latinoamericano de Sistemas Agroflorestais Para a Produção Pecuária Sustentável*. p. 722–726.
- Rivas G, Molina JM, Román MI, Casas JL. 2017. A corporate water footprint case study: The production of Gazpacho, a chilled vegetable soup. *Water Resources and Industry*. 17: 34–42. Doi: 10.1016/j.wri.2017.04.001.
- Rodríguez CI, Galarreta VAR De, Kruse EE. 2015. Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. *J of Cleaner Production*. 90: 91–96. Doi: 10.1016/j.jclepro.2014.11.075.
- Rudenko I, Bekchanov M, Djanibekov U, Lamers JPA. 2013. The added value of a water footprint approach : Micro- and macroeconomic analysis of cotton production , processing and export in water bound Uzbekistan. *Global and Planetary Change*. 110: 143–151. Doi: 10.1016/j.gloplacha.2013.09.007.
- Ruini L, Marino M, Pignatelli S, Laio F, Ridolfi L. 2013. Water footprint of a large-sized food company: The case of Barilla pasta production. *Water Resources and Industry*. 1–2: 7–24. 10.1016/j.wri.2013.04.002.
- Suttayakul P, H-Kittikun A, Suksaroj C, Mungkalasiri J, Wisansuwanakorn R, Musikavong C. 2016. Water footprints of products of oil palm plantations and palm oil mills in Thailand. *Science of the Total Environment*. 542: 521–529. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.10.060.
- [UNEP] United Nations Environment Programme. 2013. Agua dulce [Internet]. ONU-Medio Ambiente; [citado 2018 ene. 11]. Disponible en: <http://web.unep.org/environmentassembly/es/agua-dulce>.
- Uribe M. 2014. Evaluación de la Huella Hídrica azul y gris de la Central Hidroeléctrica Miel I de Isagen S.A E.S.P. Universidad EAFIT.
- Vanham D, Bidoglio G. 2015. A review on the indicator water footprint for the EU28. *Ecological Indicators*. 26: 61–75. Doi: 10.1016/j.ecolind.2012.10.021.
- Vasilaki V, Katsou E, Ponsá S, Colón J. 2016. Water and carbon footprint of selected dairy products: A case study in Catalonia. *J of Cleaner Production*. 139: 504–516. Doi: 10.1016/j.jclepro.2016.08.032.
- Zonderland-Thomassen MA, Lieffering M, Ledgard SF. 2014. Water footprint of beef cattle and sheep produced in New Zealand: Water scarcity and eutrophication impacts. *J of Cleaner Production*. 73: 253–262. Doi: 10.1016/j.jclepro.2013.12.025.

Article citation

Zambrano MA, Montenegro JP, Reyes H. 2018. Estimación de la huella hídrica asociada al proceso de beneficio bovino de la cadena cárnica en los frigoríficos Vijagual y Jongovito (Colombia). [Estimation of the water footprint associated with the bovine benefit process of the network of meat in the Vijagual and Jongovito meat plant (Colombia)]. Rev Med Vet Zoot. 65(3): 235-251. Doi: 10.15446/rfmvz.v65n3.76462.