



Evaluación de la sostenibilidad ambiental generada por la huella hídrica en el proceso de beneficio de la cadena cárnica en las ciudades de Bucaramanga y San Juan de Pasto

**Marcela Andrea Zambrano Bothía
Jhoana Patricia Montenegro Córdoba**

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2017

Evaluación de la sostenibilidad ambiental generada por la Huella Hídrica en el proceso de beneficio de la cadena cárnica en las ciudades de Bucaramanga y San Juan de Pasto

**Marcela Andrea Zambrano Bothía
Jhoana Patricia Montenegro Córdoba**

Tesis presentada como requisito para optar al título de:
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director (a):
Ph.D. Henry Reyes Pineda

Línea de Investigación:
Biosistemas Integrados
Grupo de Investigación:
Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2017

*A Dios, a nuestras familias y a las personas
que nos apoyaron y confiaron en nosotras.*

Agradecimientos

Queremos expresar nuestros agradecimientos por darnos la oportunidad de desarrollar esta investigación, al Dr Henry Reyes Pineda por la dedicación, orientación, corrección y seguimiento en el desarrollo de la investigación; agradecemos también su constante asesoría y el tiempo dedicado a la corrección textual del proyecto, y por todo el esfuerzo, labor, experiencia, paciencia, profesionalismo y conocimiento puesto en nuestro proyecto, porque gracias a ello nuestra motivación por la investigación creció cada día, ayudado a fortalecer nuestro conocimiento y práctica profesional.

Al Frigorífico Vijagual S.A.S en la ciudad de Bucaramanga, en especial al Dr. Julio Cesar Robles, Gerente General, por autorizar el desarrollo de la propuesta metodológica en las instalaciones de la organización y a la Ingeniera Ambiental de la planta, Ing. Yoana Monsalve por el tiempo, la orientación y la disposición brindada en la atención de las visitas técnicas. Al Frigorífico Jongovito de la ciudad de San Juan de Pasto, a su Gerente General Dr. Carlos Serrano Watner por los permisos para desarrollar las visitas técnicas; al Ing. James Rosero por brindarnos la información requerida para desarrollar la propuesta metodológica. Se hace un agradecimiento especial a las estudiantes Alejandra Cantillo y Gabriela Santacruz de Ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana por su colaboración en la recolección de información en el Frigorífico Jongovito.

Agradecemos también a cada uno de los profesores que hicieron parte de nuestra formación como Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, porque directa o indirectamente ayudaron al desarrollo de nuestra investigación, especialmente al Dr. Jhon Fredy Betancur, director de la Línea de Investigación en Biosistemas Integrados por su acompañamiento en el avance investigativo.

A Dios por permitirnos alcanzar este importante logro académico, a nuestros padres y familiares por su apoyo y motivación incondicional, a la Universidad de Manizales por permitirnos formarnos como Magíster con fortalezas humanísticas y éticas, y a cada una de las personas que el momento no recordamos, pero que con su ayuda aportaron a nuestro crecimiento y fortaleza académica y personal. A todos ustedes, muchas gracias y mil bendiciones.

Resumen

Se realizó la evaluación de la sostenibilidad ambiental generada por la huella hídrica azul y gris en las diferentes etapas del proceso de beneficio de reses del Frigorífico Vijagual S.A.S. de la ciudad de Bucaramanga y del Frigorífico Jongovito S.A de la ciudad de San Juan de Pasto; teniendo en cuenta la metodología desarrollada por la *Water Footprint Network* donde se establecen cuatro pasos; definición de metas y alcances, cuantificación de la huella hídrica, análisis de la sostenibilidad ambiental y formulación de respuesta. Para el Frigorífico Vijagual se obtuvo como resultado una huella hídrica total de 11 L/Kg res para el año 2015 y de 4 L/Kg res para el año 2016, mientras que para el Frigorífico Jongovito se obtuvo una huella hídrica de 2 L/Kg res para el año 2016; este cálculo se aplicó considerando el agua de consumo, lavado y retorno. El agua de consumo y lavado en 2015 y 2016 para el Frigorífico Vijagual fue de 180.670 m³ y 115.177 m³, respectivamente y para el Frigorífico Jongovito fue de 8.850 m³ para el año 2016. Por su parte, el agua de retorno presentó vertimientos a la salida de cada PTAR en la quebrada El Aburrido del Frigorífico Vijagual de 58.610 m³ para 2015 y de 49.544 m³ para 2016 y a la quebrada La Loreana del Frigorífico Jongovito fue de 5.916 m³ para 2016; con los valores de agua de consumo, lavado y retorno se obtuvo una huella hídrica azul para el Frigorífico Vijagual de 122.060 m³ y 65.633 m³ para los años 2015 y 2016, respectivamente y de 2.889 m³ para el Frigorífico Jongovito en 2016. En términos de asimilación de contaminantes, la huella hídrica gris para el Frigorífico Vijagual fue de 508.687 m³ para el año 2015 y de 111.251 m³ 2016, mientras que el Frigorífico Jongovito reportó un valor de 21.814 m³ para la huella hídrica gris en 2016.

Estas cifras muestran que aunque hay un alto consumo del recurso hídrico dentro del proceso cárnico en bovinos, los índices de sostenibilidad para el periodo de estudio muestran un impacto poco significativo a nivel de cuenca, según las condiciones hidrológicas de las quebradas El Aburrido y La Loreana, cuya oferta hídrica neta anual es 22.075.200 m³ y 1.713.669 m³, y en donde los parámetros de grasas y aceites, y Demanda Química de Oxígeno (DQO) son los de mayor dilución en la quebrada El Aburrido para los años 2015 y 2016, y para la quebrada La Loreana es el parámetro de DQO en el año 2016.

Palabras clave: Huella hídrica, consumo de agua, evaluación sostenibilidad, etapa beneficio, cadena cárnica

Abstract

It has been made evaluation of the environmental sustainability generated by the blue and gray water footprint in the different stages of the process of benefit cattles the Vijagual S.A.S. meat procesing plant in Bucaramanga city and the Jongovito S.A. meat plant in San Juan de Pasto City; taking into account the methodology developed by the Water Footprint Network, where four steps are establishes; definition of goals and scope, quantification of the water footprint, analysis of environmental sustainability and formulation of response. As a result, the Vijagual meat plant the water footprint is 11 L/Kg in 2015 and 4 L/Kg in 2016, while the Jongovito meat plant the water footprint of 2 L/Kg was obtained for the year 2016. The consumption water and washing water in 2015 and 2016 for the Vijagual meat plant was 180.670 m³ and 115.177 m³ respectively, and for the Jongovito meat plant was 8.850 m³ in the year 2016. Otherwise, the return wáter discharges at the exit of each WWTP in the ravine El Aburrido of Vijagual of 58.610 m³ for 2015 and 49.544 m³ for 2016, and the ravine La Loreana of Jongovito was 5.916 m³ for 2016; With the values of consumption wáter, washing water and return, blue water footprint was obtained for the Vijagual of 122.060 m³ and 65.633 m³ for the years 2015 and 2016, respectively; and of 2.889 m³ for the Jongovito in 2016. In terms of assimilation of pollutants agents, the gray water footprint for the Vijagual was 508.687 m³ for the year 2015 and 111.251 m³ for 2016, while the Jongovito reported a value of 21.814 m³ for the gray water footprint in 2016.

These numbers show that there is a high consumption of water resources within the meat process cattle, the sustainability indexes for the study period show a low impact a watershed level, taking into account the hydrological conditions of the Aburrido ravine and Loreana ravine, Whose total annual water supply is 22'075.200 m³ and 1'713.669 m³, and where the parameters of fats and oils, and Chemical Oxygen Demand (COD) are the ones with the highest dilution in the Aburrido ravine for the years 2015 and 2016 , and for the Loreana ravine it is the parameter of COD for the year 2016.

Keywords: water footprint, water consumption, sustainability assessment, stages of benefit, network of meat.

Contenido

	Pág.
Introducción.....	XXVII
Capítulo 1. Planteamiento del problema	5
Capítulo 2. Marco teórico	9
Capítulo 3. Método	11
Capítulo 4. Resultados y análisis.....	15
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones	52
ANEXOS	15
Bibliografía	15

Lista de figuras

	Pág.
CAPÍTULO 1	
Figura 1-1. Corral de recibo en el Frigorífico Vijagual	15
Figura 1-2. Corrales de comercialización en el Frigorífico Vijagual	15
Figura 1-3. Corrales de beneficio en el Frigorífico Vijagual	16
Figura 1-4. Quebrada El Aburrido, punto de bocatoma de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Frigorífico Vijagual	17
Figura 1-5. Sedimentador, canaleta Parshall y tanques de almacenamiento de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable del Frigorífico Vijagual.....	18
Figura 1-6. Caudal de saluda de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Frigorífico Vijagual.....	19
Figura 1-7. Tanque de coagulación y de sedimentación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Frigorífico Vijagual	20
Figura 1-8. Estructura organizacional del Frigorífico Jongovito.	21
Figura 1-9. Diagrama de uso de agua en el Frigorífico Jongovito	24
Figura 1-10. Diagrama de flujo sacrificio de Bovinos - Frigorífico Jongovito	25
Figura 1-11. Rejilla interna de retención de sólidos en el Frigorífico Jongovito	27
Figura 1-12. Laguna de aireación en el Frigorífico Jongovito.....	27
Figura 1-13. Laguna anaerobia en el Frigorífico Jongovito	27
Figura 1-14. Laguna de estabilización	28
CAPÍTULO 2	
Figura 2-1. Uso total de agua en Colombia para el año 2012	13
Figura 2-2. Huella hídrica azul, verde y gris.....	17
Figura 2-3. Fases de evaluación de la huella hídrica	29

Lista de tablas

	Pág.
CAPÍTULO 2	
Tabla 2-1. Usos del agua en Colombia	13
Tabla 2-2. Clasificación del índice de escasez hídrico	23
Tabla 2-3. Rangos de impacto ambiental sobre una cuenca	24
Tabla 2-4. Parámetros, unidades y valores máximos permisibles descritos en el Decreto 0631 de 2015 para actividad de beneficio bovino	27
CAPÍTULO 4	
Tabla 4-1. Consumo de agua anual y promedio anual por res en el Frigorífico Vijagual .19	
Tabla 4-2. Estimación huella hídrica azul en m ³ para las etapas del proceso en reses en el periodo de estudio para el Frigorífico Vijagual	21
Tabla 4-3. Estimación huella hídrica azul para el proceso cárnico en reses en m ³ /mes en el periodo de estudio - Frigorífico Vijagual.....	25
Tabla 4-4. Cálculo huella hídrica gris (m ³ /año) para el proceso cárnico en reses en el periodo de estudio - Frigorífico Vijagual.....	27
Tabla 4-5. Huella hídrica total del proceso cárnico en reses para el Frigorífico Vijagual .28	
Tabla 4-6. Consumo de agua anual para el Frigorífico Jongovito.....	30
Tabla 4-7. Estimación huella hídrica azul en m ³ para las etapas del proceso en reses en el periodo de estudio para el Frigorífico Jongovito.....	33
Tabla 4-8. Estimación huella hídrica azul para el proceso cárnico en reses en m ³ /mes en el periodo de estudio - Frigorífico Jongovito	36
Tabla 4-9. Cálculo huella hídrica gris (m ³ /año) para el proceso cárnico en reses en el año 2016 - Frigorífico Jongovito	38
Tabla 4-10. Huella hídrica total del proceso cárnico en reses para el Frigorífico Jongovito	38
Tabla 4-11. Huella hídrica azul y gris para los Frigoríficos Vijagual y Jongovito en 2016 40	
Tabla 4-12. Demanda hídrica anual en m ³ de la quebrada El Aburrido por los sectores agrícola, industrial y doméstico	43

Tabla 4-13. Situación hídrica de la quebrada El Aburrido	43
Tabla 4-14. Indicador de la sostenibilidad de la huella hídrica azul y gris con respecto a la oferta hídrica neta de la quebrada El Aburrido	44
Tabla 4-15. Indicador de la sostenibilidad para la huella hídrica azul y gris con respecto a la demanda hídrica de la de la quebrada El Aburrido	44
Tabla 4-16. Demanda hídrica anual en m ³ de la quebrada La Loreana por los sectores agrícola, industrial y doméstico	47
Tabla 4-17. Situación hídrica de la quebrada La Loreana	48
Tabla 4-18. Indicador de la sostenibilidad de la huella hídrica azul y gris con respecto a la oferta hídrica neta de la quebrada La Loreana	48
Tabla 4-19. Indicador de la sostenibilidad para la huella hídrica azul y gris con respecto a la demanda hídrica de la de la quebrada La Loreana.....	48

Lista de cuadros

Pág.

CAPÍTULO 1

Cuadro 1-1. Relación de los requisitos del Decreto 1036 con los procesos, etapas y línea del Frigorífico Vijagual 13

CAPÍTULO 4

Cuadro 4-1. Definición de meta y alcance para los Frigoríficos Vijagual y Jongovito 16

Lista de ecuaciones

	Pág.
CAPÍTULO 2	
Ecuación 2-1. Huella hídrica azul de un proceso.....	19
Ecuación 2-2. Huella hídrica verde de un proceso.	19
Ecuación 2-3. Huella hídrica gris del proceso.....	20
Ecuación 2-4. Cálculo para la determinación del índice escasez hídrico.....	22
Ecuación 2-5. Cálculo para la determinación de oferta hídrica	22
Ecuación 2-6. Cálculo para determinar la demanda total del recurso hídrico en cuenca	23
Ecuación 2-7. Cálculo de la sostenibilidad de huella hídrica azul	24
Ecuación 2-8. Cálculo de la sostenibilidad de huella hídrica gris	24
CAPÍTULO 3	
Ecuación 3-1. Cálculo de huella hídrica azul para las etapas del proceso	14

Lista de gráficas

	Pág.
CAPÍTULO 2	
Gráfica 2-1. Consumo de agua para el sector agrícola, doméstico e industrial, por continentes y a nivel mundial.....	10
CAPÍTULO 4	
Gráfica 4-1. Consumo de agua mensual para 2015 y 2016 en el Frigorífico Vijagual	19
Gráfica 4-2. Relación de reses beneficiadas por mes para los años 2015 y 2016 en el Frigorífico Vijagual.....	20
Gráfica 4-3. Resultados del cálculo de huella hídrica azul en m ³ /mes para las etapas de beneficio, desposte, vísceras y subproductos en el año 2015 - Frigorífico Vijagual.....	22
Gráfica 4-4. Resultados del cálculo de huella hídrica en m ³ /mes para las etapas de beneficio, desposte, vísceras y subproductos en el año 2016 - Frigorífico Vijagual.....	23
Gráfica 4-5. Resultados del cálculo de huella hídrica azul en m ³ /mes para el proceso cárnico en reses en los años 2015 y 2016 para el Frigorífico Vijagual.....	26
Gráfica 4-6. Huella hídrica total para el año 2015 en el Frigorífico Vijagual	29
Gráfica 4-7. Huella hídrica total para el año 2016 en el Frigorífico Vijagual	29
Gráfica 4-8. Consumo de agua mensual para 2015 y 2016 en el Frigorífico Jongovito ...	31
Gráfica 4-9. Relación de reses beneficiadas por mes para los años 2015 y 2016 en el Frigorífico Jongovito	32
Gráfica 4-10. Resultados del cálculo de huella hídrica azul en m ³ /mes para las etapas de beneficio, desposte, vísceras y subproductos en el año 2015 - Frigorífico Jongovito	34
Gráfica 4-11. Resultados del cálculo de huella hídrica en m ³ /mes para las etapas de beneficio, desposte, vísceras y subproductos en el año 2016 - Frigorífico Jongovito	35
Gráfica 4-12. Resultados del cálculo de huella hídrica azul en m ³ /mes para el proceso cárnico en reses en los años 2015 y 2016 para el Frigorífico Jongovito	37
Gráfica 4-13. Huella hídrica total para el año 2016 en el Frigorífico Jongovito.....	39
Gráfica 4-14. Participación de la huella hídrica azul y gris para los Frigoríficos Vijagual y Jongovito en 2016	41

Lista de Anexos

	Pág.
ANEXO A. Agua de consumo y lavado en m ³ para las etapas del proceso cárnico en reses en el año 2015 para el Frigorífico Vijagual	15
ANEXO B. Agua de consumo y lavado en m ³ para las etapas del proceso cárnico en reses en el año 2016 para el Frigorífico Vijagual	16
ANEXO C. Agua de consumo total (consumo y lavado) en m ³ por etapas del proceso cárnico en reses en los años 2015 y 2016 para el Frigorífico Jongovito	17
ANEXO D. Agua de consumo y lavado y agua de retorno en m ³ / mes para el proceso cárnico en reses en los años 2015 y 2016 en el Frigorífico Vijagual	18
ANEXO E. Agua de consumo y lavado y agua de retorno en m ³ /mes para el proceso cárnico en reses en los años 2015 y 2016 en el Frigorífico Jongovito	18
ANEXO F. Valores de concentración de cada parámetro fisicoquímico aguas arriba del vertimiento en la quebrada El Aburrido en los años 2015 y 2016.	15
ANEXO G. Valores de concentración de cada parámetro fisicoquímico aguas arriba del vertimiento en la quebrada La Loreana en el año 2016.	16
ANEXO H. Reporte de parámetros regulados por la Resolución 0631 para el vertimiento generado por el Frigorífico Vijagual en los años 2015 y 2016.....	17
ANEXO I. Reporte de parámetros regulados por la Resolución 0631 para el vertimiento generado por el Frigorífico Jongovito en el año 2016	18
ANEXO J. Consumos mensuales y número de reses beneficiadas en 2015 y 2016 para el Frigorífico Vijagual.....	19
ANEXO K. Consumos mensuales y número de reses beneficiadas en 2015 y 2016 para el Frigorífico Jongovito	19

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
°C	Unidad de temperatura	°C	<i>Grados Celsius</i>
m^3	Unidad de volumen	m^3	<i>Metro cúbico</i>
s	Unidad de tiempo	S	<i>Segundos</i>
Km^2	Unidad de área	Km^2	<i>Kilómetro cuadrado</i>
mm	Unidad de medida	mm	<i>Milímetro</i>
L	Unidad de volumen	L	<i>Litro</i>
°	Grados	$1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$	<i>Grado</i>
"	Unidad de tiempo	$1'' = (1/60)' = (\pi/648.000) \text{ rad}$	<i>Minuto</i>
Km	Unidad de longitud	Km	<i>Kilómetro</i>
Ton	Unidad de peso	Ton	<i>Tonelada</i>
Kg	Unidad de peso	Kg	<i>Kilogramo</i>
h	Unidad de tiempo	H	<i>hora</i>
Ha	Unidad de longitud	Ha	<i>Hectárea</i>

Abreviaturas

Abreviatura	Término
pH	Medida de acidez y alcalinidad de una solución
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
SST	Sólidos Suspendido Totales
SSED	Sólidos Sedimentables

Abreviatura	Término
S.A.S	Sociedad por Acciones Simplificada
S.A	Sociedad Anónima
INVIMA	Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos
HACCP	<i>Hazard Analysis and Critical Control Points</i>
ISO	International Organization for Standardization
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
PTAR	Planta de Tratamiento de Agua Residual
<i>m.s.n.m.</i>	Metros Sobre el Nivel del Mar
%	Porcentaje
L	Carga contaminante
$C_{máx}$	Concentración máxima permitida
C_{nat}	Concentración natural del cuerpo receptor del vertimiento
<	Menor
PTAP	Planta de Tratamiento de Agua Potable
EMPO	Empresa de Obras Sanitarias de S.A. E.S.P
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
$L.s/Km^2$	Litros por segunda sobre kilómetros cuadrados
<i>m.s.n.m</i>	Metros sobre el nivel del mar.
PRPBA	Plan de Racionalización de Plantas de Beneficio Animal
WFN	Water Footprint Network
GWT	Global Water Tool

Introducción

En los últimos años, el agua, recurso de mayor importancia para los seres vivos, ha presentado niveles de contaminación por compuestos orgánicos que se producen en cantidades variables e ingentes cada año y su amenaza de extinción radica en los usos que se le da para abastecer necesidades no prioritarias de la sociedad (Alfaro, Marín, & Aragües, 1991). Gracias a la necesidad de evaluar la calidad de agua y la búsqueda por generar propuestas de uso racional, nace esta idea de investigación en torno a la contabilidad de la huella hídrica en las etapas de la cadena cárnica de res en las ciudades de Bucaramanga y San Juan de Pasto, para así determinar el volumen total de agua dulce empleada, su impacto en el ambiente y la contaminación generada, respondiendo a un análisis de producción más limpia y de responsabilidad social hacia un desarrollo sostenible, en donde se proponen acciones para mejorar la producción del bien consumible en cuanto al consumo de agua.

El recurso hídrico, es uno de los más empleados, no solo para la producción de un bien o servicio, sino para el proceso de obtención de materia prima necesaria para el proceso de producción. 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 el cual es un indicador, cuya finalidad es contabilizar el agua dulce involucrada en un proceso productivo o el agua dulce contenida en productos consumidos por un individuo, grupo de consumidores, empresa o país (Parada-Puig, 2012) (Pérez, Peña, & Alvarez, 2011); es decir, la huella hídrica es una medida del consumo de agua empleada en los procesos de producción y en todas sus etapas previas (Castilla, 2013); ese consumo de agua dulce requerido para las etapas previas, es conocido como Agua Virtual.

La escasez del volumen de agua dulce de lagos, ríos y acuíferos como consecuencia de las prácticas de producción de alimentos cárnicos, aporta efectos en el ecosistema

hídrico no solo por el uso irracional, sino por la contaminación que se genera a lo largo de su cadena, en especial en la etapa de beneficio, al presentarse cambios físicos, químicos, morfológicos y biológicos en el agua. En los procesos de la cadena de suministro, se presenta consumo de agua cuyo uso está regulado por el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura (hoy Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural), que establece siete usos de agua en orden prioritario como bienes públicos (Senado de la República de Colombia, 1887), encabezado por el uso del agua para consumo humano y doméstico el cual es empleado para la “fabricación o procesamiento de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución (Ministerio de Agricultura, 1984)”. Por su parte la Resolución 0631 de 2015, establece las características de los vertimientos puntuales realizados a cuerpos de aguas superficial y a los realizados al sistema de alcantarillado, en este caso, los vertimientos generados en los procesos de cadena de suministro de carne y vísceras, están regulados con parámetros de referencia la calidad del agua, por su nivel de contaminación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015a).

Según el Fondo Mundial para la Naturaleza (Sab Miller & World Wildlife Fund - WWF, 2012), estima que el 22% de la huella hídrica anual en el mundo corresponde a la producción de carne, valor que justifica una práctica ambientalmente insostenible (Nosetti *et al.*, 2002), razón por la cual algunos países han optado por la exportación del ganado para engorde e importar la carne lista para consumo por los altos niveles de demanda que se han reportado y por ser la proteína de mayor consumo en la sociedad. Esta medida busca garantizar la protección y uso racional del recurso hídrico por factores de incidencia antrópica provocados por el gasto de agua en la limpieza de vísceras, la contaminación de aguas residuales con trozos de grasa, carne y vísceras, olores ofensivos, y la no tecnificación del proceso de sacrificio, distribución y comercialización del producto (World Wildlife Fund - WWF, 1986).

El no cumplimiento de la normatividad nacional e internacional sobre la distribución, uso y consumo del agua dulce, puede generar un desequilibrio no solo ambiental sino social por la demanda del líquido empleada en la cadena de suministro y no para satisfacer las

necesidades básicas. A futuro, como implicación social puede generar el aumento del costo de vida por la baja disponibilidad de agua dulce superficial y subterránea; por modificaciones en el ecosistema y como aporte al cambio climático por alteraciones en el ciclo biogeoquímico del agua.

El presente trabajo se centra en la evaluación 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, respectivamente; teniendo en cuenta la metodología desarrollada por la *Water Footprint Network* (Arjen Y Hoekstra *et al.*, 2011), donde se establecen cuatro pasos; definición de metas y alcances, cuantificación de la huella hídrica, análisis de la sostenibilidad ambiental y formulación de respuesta a la huella hídrica. En este sentido, la huella hídrica azul se calculó teniendo en cuenta datos de consumo de los años 2015 y 2016 suministrados por las empresas objeto de estudio, además de la obtención experimental de ciertos datos en el Frigorífico Jongovito por su limitada información sobre consumos y contaminación del agua; para el cálculo de la huella hídrica gris en los dos Frigoríficos se aplicó para los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Sedimentables (SSED), y grasas y aceites; para el caso del Frigorífico Vijagual, el cálculo de huella hídrica gris también se aplicó para los parámetros de cloruros y sulfatos. Todos los datos fueron suministrados por las empresas para el año 2015 y 2016.

Para el presente estudio se desprecia la huella hídrica verde, ya que al ser un proceso industrial no se ve involucrado el volumen de agua lluvia que se incorpora en la capa de vegetación.

Capítulo 1. Planteamiento del problema

Este primer capítulo enmarca los aspectos referenciales que dan respuesta al por qué fue necesario realizar la evaluación de la sostenibilidad ambiental generada por huella hídrica en los Frigoríficos, relacionando la definición del problema, el cual se centraliza en los altos volúmenes de consumo de agua que requiere la práctica de beneficio de ganado bovino para satisfacer la demanda del producto, por los hábitos de consumo de la población, en donde un diagnóstico aproximado relata que para los Frigoríficos Vijagual S.A.S. y Jongovito S.A., la media de consumo de agua en 2015 y 2016 fue de 180.670 m³ y 115.177m³ para el primer Frigorífico; y de 7.527 m³ y 8.850 m³ para el segundo. También se encontrará en este primer capítulo la definición de los objetivos, los cuales enmarcan la finalidad y los pasos desarrollados en esta investigación para cumplir con los propósitos de los mismos y así articular la hipótesis y justificación del proyecto, acompañada de un marco contextual que responde a las características propias de cada Frigorífico, en relación a su ubicación geográfica y estructura organizacional.

Contenido

	Pág.
1.1 Definición del problema	6
1.2 Diagnóstico.....	7
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivo general	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	10
1.4 Hipótesis	10
1.5 Justificación.....	10
1.6 Marco contextual	12
1.6.1 Frigorífico Vijagual.....	12
1.6.2 Frigorífico Jongovito	20

1.1 Definición del problema

Aunque Colombia es un país rico en recursos hídricos (Ojeda, Orlando, & Arias, 2000), no tiene presente el impacto que genera en el ambiente la práctica de actividades en industrias de alimentos como el de carne, apostando sus cifras económicas a los altos porcentajes de exportación a países vecinos y no a un desarrollo sostenible desde el cuidado y preservación del medio ambiente. En el ámbito social, el recurso hídrico es de vital importancia porque garantiza el desarrollo humano, animal y ecosistémico donde se desarrollan todos los procesos físicos, químicos, y biológicos entre el hombre, la fauna y la flora. Aunque el agua es un recurso irremplazable (Merkel, 2003) para el desarrollo de dichos procesos, garantizar su existencia depende no solo de las condiciones naturales, sino de la influencia antrópica al permitir que se den las condiciones necesarias para el desarrollo del ciclo biogeoquímico del agua y evitar así la limitación del recurso.

El consumo de agua empleada en los procesos de beneficio de los Frigoríficos, hace que la práctica no sea ambientalmente sostenible, pues el gasto de agua para la extracción de productos secundarios como vísceras, sebo, huesos poroso y piel, son irracionales con la actual situación ambiental que afronta el planeta, minimizando la cantidad de agua dulce con la que puedan contar las futuras generaciones.

La cantidad de reses sacrificadas está directamente relacionada con los hábitos de consumo de la población demandante del producto, generando un aumento en la capacidad de oferta, aportando impactos en el ambiente no solo por la baja conciencia ambiental, sino por el uso irracional del recurso hídrico, y el impacto que la práctica pueda tener en los ecosistemas y en cambio climático. La mayor participación de levante y ceba de ganado bovino en Colombia, los realiza el departamento de Antioquia, Casanare, Meta y Córdoba con una cifra cercana al 11%, mientras que el departamento

de Santander tiene una participación de tan solo el 6%. Para el año 2011, el número total de cabezas de ganado fue cerca de 22'000.000 de los cuales el 47% representan hembras y un 53% representan machos; para el mismo año, el 48% se destinó para la producción de carne y el 36% para doble propósito (producción de carne y leche) (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012). En relación a las regiones de estudio, se reportan cifras de participación de ganado existente de 1'278.205 para el departamento de Santander, mientras que para Nariño es de 323.709 cabezas de ganado bovino (Superintendencia de Industria y Comercio, n.d.). En el marco del estudio nacional del agua, para el año 2011 se presentó un inventario de 23'340.148 bovinos con la mayor participación de huella hídrica con respecto al sector pecuario con cerca de 20'500.000 m³ anuales equivalentes a un 62% de participación con respecto al beneficio de porcinos y aves (Campuzano Ochoa *et al.*, 2013).

Aunque Colombia es un país rico en recursos hídricos gracias a su ubicación geográfica en la zona tropical cerca de la línea del Ecuador, y al tener una precipitación media anual de 3'153.754 millones de m³ equivalentes a cerca de 2.762 mm y un caudal específico de escorrentía superficial de 58 L.s/Km² (valores por encima del promedio en América Latina) (Ojeda *et al.*, 2000) (Campuzano Ochoa *et al.*, 2013), no tiene presente el impacto que genera en el ambiente la práctica de actividades en industrias de alimentos cárnicos, partiendo desde la demanda y oferta de recursos hídricos del país, al tener en cuenta que para 2016, el estimado de escasez del recurso fue de un 20% en donde el 70% de la población presentaron problemas de abastecimiento de agua.

1.2. Diagnóstico

La ciudad de Bucaramanga, y su zona metropolitana que comprende los municipios de Floridablanca, Girón, Piedecuesta, está localizado sobre el Valle del Río de Oro al oriente del país, tiene una temperatura promedio de 23 °C y sus ríos principales son el Río de Oro, Río Tona, Río Frío y el Río Suratá, y las quebradas de La Flora, Seca, Las Navas, La Rosita, entre otras. Bucaramanga tiene una población aproximada de 510000 habitantes (Gobernación de Santander, 2015), de los cuales se presenta un consumo

residencial promedio mensual de 19,84 m³ (Granada C, 2011) (correspondientes casi a un 194,17 m³ anual) de los cuales el mayor aporte se hace en los estratos seis y dos y valor que está por encima del consumo promedio de las ciudades ubicadas a menos de 1.000 m.s.n.m.; mientras que a nivel no residencial, se presenta un consumo de 507,22 m³, de los cuales el sector industrial representa 339.282 m³ (Observatorio Municipal de hábitat y la vivienda de Bucaramanga, 2014). El agua potable tratada de la ciudad de Bucaramanga tiene sus bocatoma en el río Tona, río Suratá y río Frío y ésta es suministrada a su área metropolitana rural y urbana (AMB, 2013).

Por su parte, el Frigorífico Vijagual S.A.S., quien tiene ubicada su bocatoma en la quebrada El Aburrido con una concesión dada por la autoridad ambiental competente de 50 L/s, la cual es tratada en la Planta de Tratamiento de Agua Potable y quien genera el vertimiento aguas abajo con una capacidad instalada de 28 L/s (previamente tratada en la Planta de Tratamiento de Agua Residual), registrando en su proceso un consumo de agua de 310.283 m³ para el año 2015 y de 233.099 m³ para el año 2016.

El abastecimiento que realiza el acueducto de la ciudad de San Juan de Pasto, se deriva de cinco fuentes de agua superficial las cuales se encuentran en dos cuencas hidrográficas. Este acueducto cuenta con tres concesiones de agua en las mencionadas fuentes, las cuales llegan a tres Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), que se relacionan a continuación:

- PTAP El Centenario: cuenca hidrográfica del río Bobo, río Pasto, quebrada Lope o Puente Tabla.
- PTAP Mijitayo: cuenca hidrográfica del río Bobo, río Pasto, quebrada Mijitayo y quebrada Miraflores o Chapal.
- PTAP San Felipe: cuenca hidrográfica del río Pasto, río Bobo y quebrada Mijitayo.

El consumo anual promedio de agua en la ciudad de San Juan de Pasto es de alrededor de 12'300.000 m³, en donde más del 77%, evidencia un consumo de los estratos

subsidiables (uno, dos y tres) y el 13% al consumo doméstico de los estratos cinco y seis, al igual que los usos industrial, comercial, oficial y especial; de esta manera, el uso residencial está representado en un 90,39% y el uso no residencial al 9,61% (EMPO, 2016).

El Frigorífico Jongovito S.A se abastece del recurso hídrico de la PTAP Mijitayo y se estima que el consumo mensual de agua fue en promedio de 1.627 m³ para el año 2015, incrementando a 2.075 m³ para el año 2016 según informes de actividades del manejo ambiental de la empresa, siendo equivalente para el año 2015 un consumo anual de 19.530 m³ y para 2016 de 24.900 m³ (Frigovito, 2015, 2016a).

De esta manera, se espera que el uso indiscriminado del recurso hídrico afectará a mediano y largo plazo el sustento de actividades básicas de su población por su disminución y las posibles campañas de racionamiento del servicio. Los vertimientos realizados en los procesos de la cadena de suministro de carne (en especial en la etapa de beneficio) al sistema de alcantarillado de las ciudades en estudio, generan obstrucción en el tipo de tratamiento de la planta de aguas residuales, por las concentraciones de grasas y material orgánico del agua no tratada, aumentando los olores ofensivos con los terrenos urbanos colindantes.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la sostenibilidad ambiental generada por la huella hídrica en el proceso de beneficio de la cadena cárnica de res en las ciudades de Bucaramanga y San Juan de Pasto.

1.3.2. Objetivos específicos

- Calcular el consumo de agua en el proceso de beneficio de la cadena cárnica de res.
- Analizar la sostenibilidad ambiental en el proceso de beneficio de la cadena cárnica de res.
- Formular métodos sostenibles hacia el consumo de agua en el proceso de beneficio de la cadena cárnica de res.

1.4. Hipótesis

El consumo de agua medido a través de los indicadores de huella hídrica azul y huella hídrica gris, en el proceso de beneficio de la cadena cárnica de res en los Frigoríficos Vijagual S.A.S. y Jongovito S.A. en las ciudades de Bucaramanga y San Juan de Pasto, respectivamente, evidencian un alto impacto ambiental con un rango superior a 4.0 a nivel de cuenca según clasificación de la Waterfootprint (2002b), por lo que esta práctica no es ambientalmente sostenible.

1.5. Justificación

El sector pecuario usa 3049,4 millones de m³ de agua equivalentes al 8,5% del volumen total del recurso hídrico que se utiliza en el país (IDEAM, 2015). Si bien no es el sector de mayor consumo de agua en Colombia, el estudio de la huella hídrica junto a la aplicación y puesta en marcha de métodos sostenibles buscan disminuir el consumo de este recurso, apostándole al progreso y desarrollo de procesos industriales ambientalmente amigables con el uso adecuado y controlado del agua empleado para la producción de 1 Kg de carne y para su cadena de suministro (Samaniego & Schneider, 2010); y que a su vez está asociada a la huella hídrica, que responde a una pertinencia ambiental que puntea no solo al cálculo del volumen de agua requerido para la producción de bienes y

servicios, sino a darle un uso adecuado y racional al recurso, que permitan darle prioridad al abastecimiento de necesidades básicas, así como minimizar la contaminación por alta concentración de materia orgánica representada en DQO, DBO₅; SST; SSED; y grasas y aceites, que por lo general tiene las aguas residuales de los Frigoríficos (Isasa, 2000).

El impacto ambiental que puede generar el estudio de huella hídrica para determinar el volumen total de agua dulce empleada en el proceso de beneficio de la cadena cárnica de res, es el estudio de la hidrósfera empleada en dicho proceso, como nueva matriz de análisis, que busquen no solo aportar a la integración y conservación del medio ambiente.

El estudio de la huella hídrica para determinar el volumen total de agua dulce empleada en el proceso de beneficio de la cadena cárnica de res, tendrá un resultado positivo en el ámbito social y ambiental, por su impacto directo e indirecto en la conservación, cuidado y buen uso del recurso hídrico empleado para el desarrollo de su práctica en los Frigoríficos Vijagual S.A.S. y Jongovito S.A., en las ciudades de Bucaramanga y San Juan de Pasto, respectivamente.

El cálculo de huella hídrica del proceso servirá como insumo para la planeación en términos del uso del recurso hídrico, lo cual se puede vincular con otros indicadores para tener una visión más detallada que integre diferentes componentes y así poder generar políticas y planes estratégicos para ejecutar acciones en pro del consumo hídrico y de las necesidades de cada región, teniendo en cuenta que en Colombia solo 6'000.000 de hectáreas están destinadas al uso agrícola mientras que cerca de 37'000.000 de hectáreas se usan para prácticas ganaderas, indicando el potencial uso del suelo para prácticas pecuarias como el beneficio de bovinos, porcinos y aves, cuyo impacto en términos de huella hídrica es cinco veces la huella hídrica del sector agrícola (IDEAM, 2015) (Campuzano Ochoa *et al.*, 2013).

1.6. Marco contextual

La evaluación de la sostenibilidad ambiental generada por la huella hídrica en el proceso de beneficio de la cadena cárnica de res se realizará en dos Frigoríficos: Vijagual S.A.S y Jongovito S.A ubicados en las ciudades de Bucaramanga y San Juan de Pasto, respectivamente.

1.6.1. Frigorífico Vijagual

El Frigorífico Vijagual, es una organización dedicada al beneficio y comercialización de ganado bovino y porcino, con alto nivel nutritivo y rigurosamente seleccionado, capaz de aplicar los más altos estándares de procesos industriales para exportar a mercados mundiales como Rusia y Perú, en cumplimiento a la clasificación otorgada por el Ministerio de Salud (Ministerio de Salud, 1991) y vigilada por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), en donde Vijagual S.A.S. se reconoce como un Frigorífico Clase I, cuya capacidad de beneficio está por encima de las 480 reses en turnos de 8 horas y cuenta con autorización para tener procesos de exportación y de comercialización de productos cárnicos, siendo uno de los Frigoríficos más importantes a nivel nacional por sus características técnicas de operación, por el cumplimiento de las normas técnico – sanitarias y por su comercialización en importantes almacenes de cadena, industrias de alimentos y plazas de mercado (L. F. Muñoz, 2016). A su vez, es importante destacar que el Frigorífico cuenta con una certificación ISO 9001 por su siglas en inglés (*International Organization for Standardization*) de ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación) y una certificación de Análisis de Riesgo y Puntos Críticos de Control, HACCP por sus siglas en inglés (*Hazard Analysis and Critical Control Points*); esta última relacionada a la seguridad alimentaria y su compromiso para identificar y disminuir a un nivel aceptable, los factores de riesgo y peligro potencial en el proceso productivo.

En el Frigorífico Vijagual, el proceso de beneficio se divide en tres líneas, una es la línea “L” de limpieza, en donde se incorporan los procesos de identificación de bovinos,

inspección, estaba en corrales y lavado; la segunda línea denominada “B”, corresponde a los procesos de beneficio; y la tercera línea llamada “D” involucra procesos de desposte, empacado al vacío, rotulado y almacenamiento del producto cárnico. Cuando la res pasa de la línea “B” a la “D”, el Frigorífico cuenta con 13 cavas de refrigeración que funcionan a una temperatura igual o inferior a los -4°C y pH regulado; las cuales tiene una capacidad de albergar 120 canales (una res equivale a 2 canales: derecho e izquierdo), en donde la res permanece de 3 a 4 días y máximo 6 días por su vida útil.

Según el Decreto 1036 de 1991, los 35 requisitos asociados a las áreas, dependencias y equipos básicos que debe tener el Frigorífico para ser Clase I, deben estar articulados al diagrama de procesos además de las áreas administrativas y de calidad como la implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), un tanque de almacenamiento de agua potable y un plan para el manejo de residuos como el estiércol (Ministerio de Salud, 1991). En el Cuadro 1-1, se relacionan los requisitos establecidos por dicho Decreto con las tres líneas de operación del Frigorífico, sus etapas y cada proceso asociado:

Cuadro 1-1. Relación de los requisitos del Decreto 1036 con los procesos, etapas y línea del Frigorífico Vijagual

Línea	Etapas	Proceso	Requisito Decreto 1036 de 1991
“L” Limpieza	A	Llegada de bovinos	Área de protección sanitaria;
			Vías de acceso y patios de maniobra, cargue y descargue.
			Zona de lavado y desinfección de vehículos.
		Planillaje de bovinos	Corrales de llegada.
			Corrales de observación.
			Báscula para ganado en pie.
		Inspección ante-mortem	Corral de sacrificio.
Baño para ganado en pie.			
“B” Beneficio	B	Insensibilización	Sala de oreo y cuarteo.
		División de canal	Sala aislada para lavado y preparación de vísceras blancas.

		Limpieza y preparación de vísceras	Sala refrigerada para almacenamiento de vísceras blancas y rojas.
			Área para proceso y almacenamiento de cabezas.
			Área para escaldado y almacenamiento de patas.
	C	Corte de extremidades y cabeza	Sala de sacrificio, según especies.
"D" Desposte	D	Desposte	Sala de deshuese y empaque, cuando estas acciones se realicen en la planta.
	E	Almacenamiento de canales	Sistema de refrigeración.
			Área para canales retenidas.
F	Empaque al vacío y termoencogido	Sección para procesamiento y empaque de subproductos.	

Fuente: autoras.

En la Línea "L", se realiza el proceso de recepción de ganado, y se lleva a cabo la limpieza, verificación y marcado cada res según la información que se encuentre en la guía de movilización del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) la cual tiene una vigencia de tres días. En el Frigorífico y en cumplimiento con los procesos de calidad, en la línea "L" buscan garantizar el bienestar del animal, el cual es un aspecto directamente asociado a la calidad del producto final, por lo que tiene organizada esta primera etapa en tres corrales:

- **Corral de recibo**

El Frigorífico cuenta con 24 corrales y un corral de observación para animales con alguna anomalía. En estos corrales, se eliminan las secreciones de las reses y pasan al proceso de pesaje antes de realizar la inspección ante-mortem (Figura 1-1); y la estadía de los animales en estos corrales es de 12 horas. Las instalaciones cuentan con un estercolero deshidratador para producir abono, en donde se aprovechan los residuos de la línea "L"

Figura 1-1. Corral de recibo en el Frigorífico Vijagual



Fuente: autoras.

- **Corral de comercialización**

Existen 86 corrales, los cuales se caracterizan por tener bebederos de 25cm de profundidad. Además de tener el ganado en exhibición para comercialización, se realizan procesos de lavado por una hora en la mañana y en la tarde, y lavado de cada corral una vez al día con el fin de bajar el nivel de estrés del animal, lo que se ve reflejado en la fisiología del animal y del producto (Figura 1-2). La estadía de los animales en estos corrales oscila entre los 4 a 10 días.

Figura 1-2. Corrales de comercialización en el Frigorífico Vijagual



Fuente: autoras.

- **Corrales de beneficio**

El Frigorífico cuenta con 36 corrales y en esta etapa se suspenden las actividades de limpieza y bebederos ya que vienen en condiciones de bienestar desde el corral de

comercialización (Figura 1-3). La estadía de los animales en estos corrales es mínima (máximo 4 horas) ya que después pasan a la línea “B”.

Figura 1-3. Corrales de beneficio en el Frigorífico Vijagual



Fuente: autoras.

En la Línea “B”, hay dos etapas B y C, y en las que ocurre el proceso de beneficio. En la primera etapa se tiene una zona de limpieza de operarios con 9 duchas; como requisito para ingresar al cuarto de beneficio el cual funciona con una temperatura de 18°C, en donde se encuentra una zona de noqueo con pistola, una zona de insensibilización en donde se hace un pequeño lavado para dejar desangrar el animal entre 5 y 7 minutos, y posteriormente se realiza un anudado de esófago y el corte de cabeza. El proceso continúa con la etapa C, en donde se separan las vísceras rojas y blancas (la cual debe ocurrir máximo media hora después de iniciar el proceso de beneficio, con el fin de evitar procesos de fermentación), junto con el corte de la cabeza, manos y patas, se corta el cuero del animal y se separa el recto para eliminar contaminación cruzada. Se destaca en esta línea el constante consumo de agua para limpiar las reses por el sangrado en la etapa B y la limpieza de vísceras en la etapa C, también se hace la anotación que en cada paso de la línea “B” y “D” hay agua caliente para esterilizar los cuchillos y hay constante lavado del suelo. El tiempo que transcurre en el beneficio de cada res es de aproximadamente 15 minutos.

Finalmente, en la Línea “D”, se presentan tres etapas: en la etapa D se realiza el lavado de vísceras, el corte de esternón para dividir la res en canales, y su respectiva limpieza, para seguir con la revisión ante-mortem; la línea E corresponde a la zona de tolerancia cero en donde se retiran hematomas, cebo, tendones, riñones y la médula; y el proceso continúa con un nuevo lavado y desinfección de cada canal con ácido orgánico para bajar la carga microbiana y llevarlas a las cavas de almacenamiento. Finalmente en la etapa F se realiza el cuarteo, deshuese, empaque al vacío con termoencogido, proceso que se realiza con agua caliente (83 a 84°C), y rotulado.

En respuesta a procesos de sostenibilidad ambiental, el Frigorífico cuenta con dos Plantas de Tratamiento de Agua Potable y una PTAR. El proceso de potabilización de agua, se realiza con una concesión de 50L/s en la quebrada El Aburrido (Figura 1-4); las dos plantas tienen una capacidad de tratamiento de 20L/s a las cuales se les realiza un lavado semanal con proceso de purga en forma alterna ya que los 7 días de la semana y las 24 horas del día se está realizando proceso tratamiento de agua potable. El sistema de potabilización se realiza con cloro y al agua tratada se les realiza análisis diario de pH, turbiedad, color, alcalinidad, cloro residual y dureza; y una vez a la semana se les realiza análisis de hierro, nitritos, nitratos y sulfatos; y los análisis biológicos se realizan una vez al mes en la corporación ambiental competente.

Figura 1-4. Quebrada El Aburrido, punto de bocatoma de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Frigorífico Vijagual



Fuente: autoras.

Las PTAP cuenta con un sistema de automatización, las cuales controlan e indican las condiciones de funcionamiento de cada etapa; las plantas se constituyen de válvulas de entrada y salida, macromedidor de entrada, una caja de aducción para retirar los sólidos, un desarenador con proceso natural, una canaleta *Parshall* de 40L/s en donde se realiza la dosificación del coagulante, rejillas que responden al proceso de filtración, un sedimentador, un colmena de filtración, y un tanque de cloración; el agua tratada se almacena en dos tanques, uno con capacidad de 700 m³ y el otro con capacidad de 1000 m³ (Figura 1-5).

Figura 1-5. Sedimentador, canaleta *Parshall* y tanques de almacenamiento de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable del Frigorífico Vijagual



Fuente: autoras.

Por su parte, la PTAR tiene una capacidad de tratamiento de 28 L/s y tiene un funcionamiento de 24 h todos los días de la semana y el vertimiento que se realiza a la quebrada El Aburrado (aguas muy debajo de la bocatoma) se hace todos los días entre las 8:00 a las 11:00 a.m., haciendo análisis de grasas y aceites, DBO₅, DQO, SST y pH (Figura 1-6).

Figura 1-6. Caudal de saluda de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Frigorífico Vijagual



Fuente: autoras.

La PTAR cuenta con un sistema de Cribado con dos rejillas capaces de retirar sólidos del agua y un tanque de igualación en donde se suministra aproximadamente 30% de cloro y el restante se adiciona en el punto de dosificación según los resultados de pruebas de jarras, SST y pH. La planta también cuenta con un biodigestor y una caja de vertimiento con un caudal aproximado de 22 L/s máximo y 12 L/s mínimo. Entre los desperdicios, se generan lodos los cuales se sedimentan en dos piscinas con sistema aerobio y se les regula el pH y temperatura para pasarlos a un tambor rotatorio para deshidratarlo y generar un subproducto; también se tratan los lechos de secado que se deshidratan con prensa mecánica (Figura 1-7).

Figura 1-7. Tanque de coagulación y de sedimentación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Frigorífico Vijagual



Fuente: autoras.

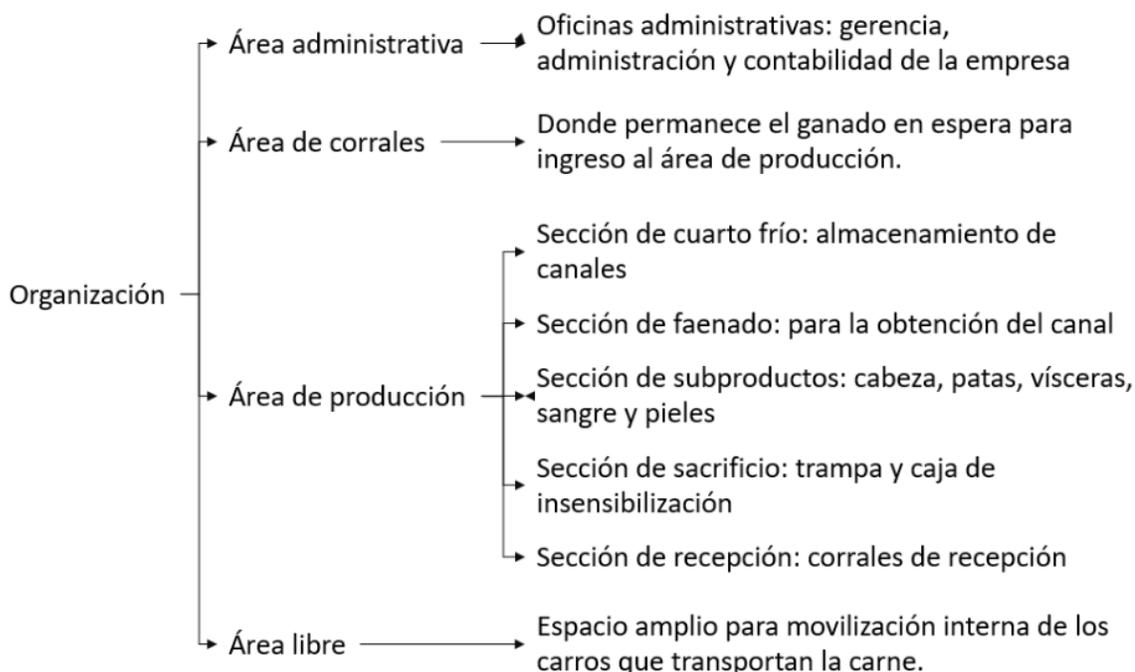
1.6.2. Frigorífico Jongovito

La ciudad de San Juan de Pasto capital del Departamento de Nariño, ubicada sobre las faldas del Volcán Galeras, tiene una latitud de 2.534 m.s.n.m. caracterizándose por tener una temperatura media de 14°C (EMPO, 2016). En esta ciudad existe la presencia de una planta de beneficio animal Frigorífico Jongovito S.A (Frigovito S.A.), el cual se encuentra ubicado en el corregimiento de Jongovito, a 5 Km al sur occidente de la ciudad a una altura de 2750 m.s.n.m. Es una planta de sacrificio de tipo mixto con un promedio de beneficio de 90 reses diarias provenientes de los departamentos de Nariño, Putumayo, Valle del Cauca, Cauca y Risaralda, con una jornada diaria (Daza & Hidalgo, 2009).

La empresa Frigovito S.A., está organizada como se muestra en la Figura 1-8, presta el servicio de beneficio de ganado bovino y porcino, con la finalidad de facilitar el suministro de carne de buena calidad a la población de San Juan de Pasto y a municipios aledaños desde el año 1997 (Frigovito, 2016b). Este Frigorífico se constituye en la Planta de Beneficio Animal más importante del departamento y la que más ha avanzado en el

cumplimiento de las condiciones sanitarias y ambientales para su funcionamiento, como lo establece el diagnóstico realizado en el Plan de Racionalización de Plantas de Beneficio Animal (PRPBA) adelantado por la Gobernación de Nariño (Frigovito, 2016b).

Figura 1-8. Estructura organizacional del Frigorífico Jongovito.



Fuente: Modificado por las autoras (Frigovito, 2016b)

El horario de trabajo es de 6:00 a.m. a 2:00 p.m. los días lunes a sábado, salvo eventualidades de producción en los cuales se inicia la jornada laboral a las 5:00 a.m. El tiempo de producción diario es de 8 horas, las cuales se dividen en tres actividades principales: sacrificio de bovinos, sacrificio de porcinos y limpieza de la planta (Frigovito, 2016b).

La población a abastecer con el servicio, es principalmente el municipio de San Juan de Pasto, sin embargo en la actualidad se presta servicio a los municipios cercanos que requieren de ser atendidos. De la demanda departamental Frigovito S.A. procesa un promedio de 23.300 bovinos/año y 24.500 porcinos/año, lo cual se traduce en una

producción diaria aproximada de 75 bovinos y 80 porcinos. Entendiendo que la planta surte al mayor centro poblado del departamento y algunos municipios cercanos, la demanda podría proyectarse al 45% del departamento en los próximos años, contando con la capacidad en infraestructura para lograr este objetivo (Frigovito, 2016b).

Para la obtención de los productos cárnicos se tiene en cuenta las siguientes etapas:

- **Ingreso a la empresa:** una vez el ganado se ha comercializado en la plaza de ferias, contigua a la Frigovito S.A., inicia la responsabilidad del manejo y control por parte del personal, ya que al ganado que se le da ingreso a corrales se le hace un pesaje y registro, antes de que permanezcan como mínimo 12 horas, tiempo en el cual se le hace una inspección de tipo sanitaria *ante – mortem* por parte del personal profesional del INVIMA. En el área de corrales, el animal se abastece únicamente con agua, dispuesta en bebederos.
- **Aturdimiento y sacrificio:** el ganado es llevado por senderos de conducción hasta las puertas de acceso a las trampas de aturdimientos, donde los animales son insensibilizados por medio de una pistola neumática en el caso de los bovinos. La muerte del animal, se hace por desangrado, lo cual se logra cuando al animal aturdido e insensible se le propicia cortes en puntos específicos para lograr que la muerte sea con la mayor celeridad posible. Este tiempo es de aproximadamente 8 minutos.
- **Actividad de corte:** se realizan varios cortes: rayado de brazos, corte de cabeza, corte de manos, corte de patas, corte de esternón, desuelle mecánico, eviscerado (vísceras blancas y vísceras rojas), y finalmente el cuarteo.

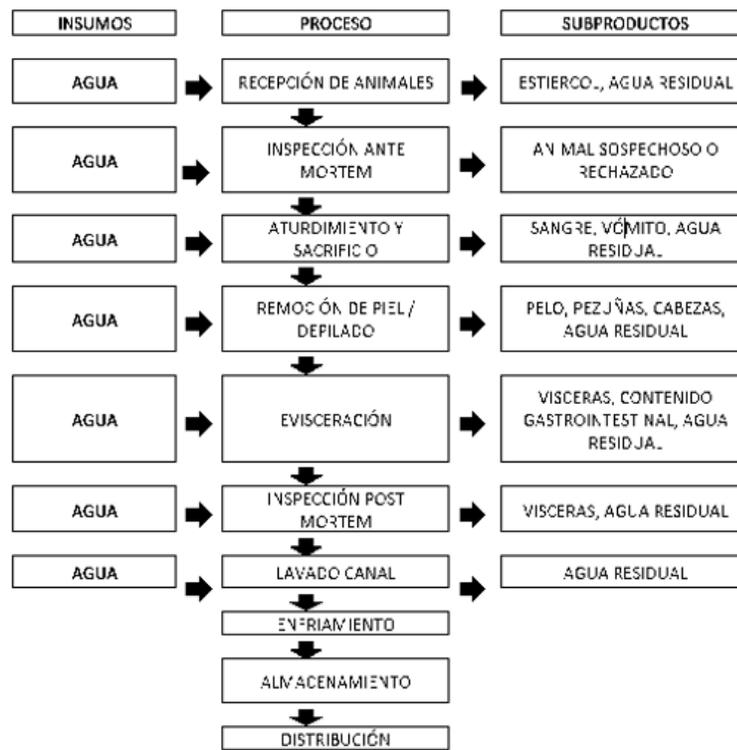
El agua por ser el disolvente universal, es el principal insumo, pues permite manejar eficientemente todos los subproductos del proceso de sacrificio animal. La zona de establos, en donde los animales permanecen un periodo en el cual usualmente se

deposita estiércol y orina, conlleva a un proceso de barrido en seco, antes de hacer un pulimento final con agua. En época de lluvias, la empresa cuenta con un tanque de almacenamiento, que permite el reúso del agua lluvia para esta actividad de limpieza, sin embargo, cuando hay tiempo seco, se utiliza agua potable suministrada por la Empresa de Obras Sanitarias de S.A. E.S.P (EMPOPASTO) desde la planta de Mijitayo, para lo cual se cuenta con un bombeo exclusivo para la empresa (Frigovito, 2016b).

En las operaciones de sacrificio y proceso de generación de los productos cárnicos, se utiliza agua potable como el principal insumo de dilución y limpieza. Cabe anotar que se cuenta con una caldera, con la cual se genera vapor de agua, para utilizarse en diferentes actividades internas de la planta. Con esto se ha logrado minimizar el gasto de agua, disminuyendo así también, la existencia de áreas con acumulación de agua en forma de charcos o superficies con excesos de humedad, brindando así mayor seguridad a los operarios en planta, y bajando en gran cantidad el gasto del vital líquido.

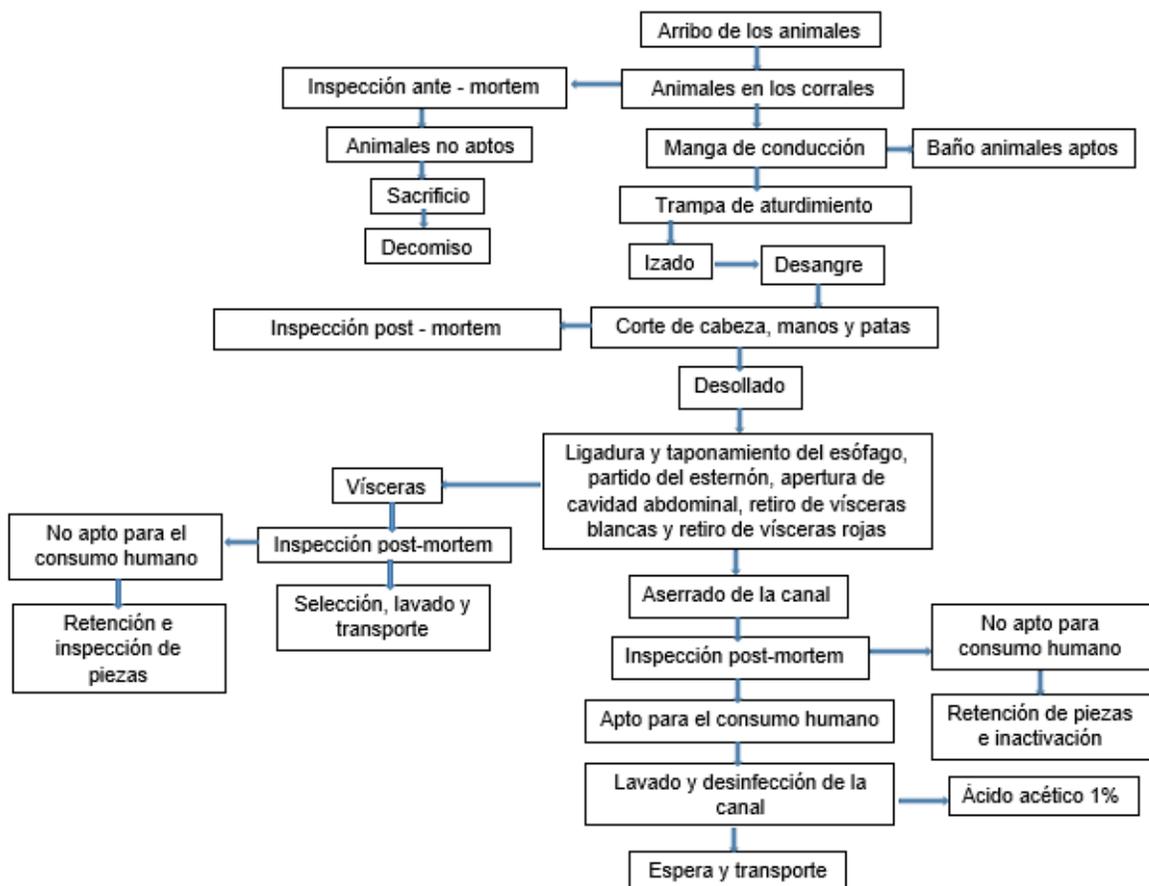
Los consumos mensuales de agua, según reportes de medición de EMPOPASTO, se estiman en un promedio de 1.450 m³/mes, lo cual se relaciona con un consumo aproximado de 360 L/animal; incluyendo en este dato, las diferentes actividades que también presentan un gasto de agua, como las de mantenimiento y las que se vinculen al área administrativa.

En la Figura 1-9 y Figura 1-10, se presenta en diagramas el resumen del proceso, considerando como principal insumo para todas las actividades el recurso agua.

Figura 1-9. Diagrama de uso de agua en el Frigorífico Jongovito

Fuente: Frigovito, (2016b)

Figura 1-10. Diagrama de flujo sacrificio de Bovinos - Frigorífico Jongovito



Fuente: Modificado por las autoras (Frigovito, 2016b)

El Frigorífico Jongovito en su documento Plan de Ingeniería, contiene los elementos técnicos acordes a los términos de referencia para actualización del permiso de vertimientos según el Decreto 0631 de 2015, en el cual se realiza una descripción general del proceso de beneficio animal bovino y porcino, como principal actividad generadora de vertimientos líquidos en la empresa, y de igual manera se hace una descripción de las diferentes operaciones unitarias que conforman la PTAR, relacionándolas con una revisión de la caracterización de aguas vertidas después de ser tratadas y su comportamiento después, sobre la quebrada La Loreana como fuente receptora de los vertimientos tratados (Frigovito, 2016b).

Las aguas residuales vertidas por la planta de sacrificio se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica, sólidos suspendidos, grasas y nutrientes, entre otros. Al ser vertidas, generan el deterioro de estas, ya que tienen una alta demanda de oxígeno, generando una grave alteración al ecosistema; de ahí la importancia de incluir un sistema de tratamiento de estas, que permita minimizar la carga contaminante y cumplir con la normatividad vigente. Para esto se cuenta con una serie de estructuras encaminadas a realizar un proceso de retención de carga contaminante.

Desde su construcción la empresa, existe un sistema de manejo de aguas residuales conjuntas, que incluyen tanto las provenientes del área de producción, así como las que tienen características domiciliarias; de esta manera, la planta cuenta con un sistema conjunto de manejo de aguas residuales y un único punto de vertimiento, por lo cual, se debe aclarar que en el presente documento se describe de manera integral el proceso de producción, manejo, tratamiento y vertimiento de las aguas residuales (Frigovito, 2016b)

En la actualidad la PTAR cuenta con las siguientes estructuras: sistema de rejillas (interno en la planta) (Figura 1-11), cámaras de recolección, rejillas de desbaste, trampas de grasas y flotantes, tanque de sedimentación primaria (digestión anaerobia), sistema de bombeo de aguas residuales, sistema de bombeo de lodos, lechos de deshidratación, laguna aireada (Figura 1-12), laguna anaerobia (Figura 1-13), laguna de estabilización (Figura 1-14) y cajillas de muestreo.

Figura 1-11. Rejilla interna de retención de sólidos en el Frigorífico Jongovito



Fuente: Frigovito, (2016b)

Figura 1-12. Laguna de aireación en el Frigorífico Jongovito



Fuente: Frigovito, (2016b)

Figura 1-13. Laguna anaerobia en el Frigorífico Jongovito



Fuente: Frigovito, (2016b)

Figura 1-14. Laguna de estabilización



Fuente: Frigovito, (2016b)

Capítulo 2. Marco teórico

En este capítulo se expone una breve revisión bibliográfica que respalda la teoría en la que se sustenta la presente investigación, en cuanto al consumo de agua, huella hídrica y normatividad vigente, así como los estudios de carácter científico que se han adelantado al respecto.

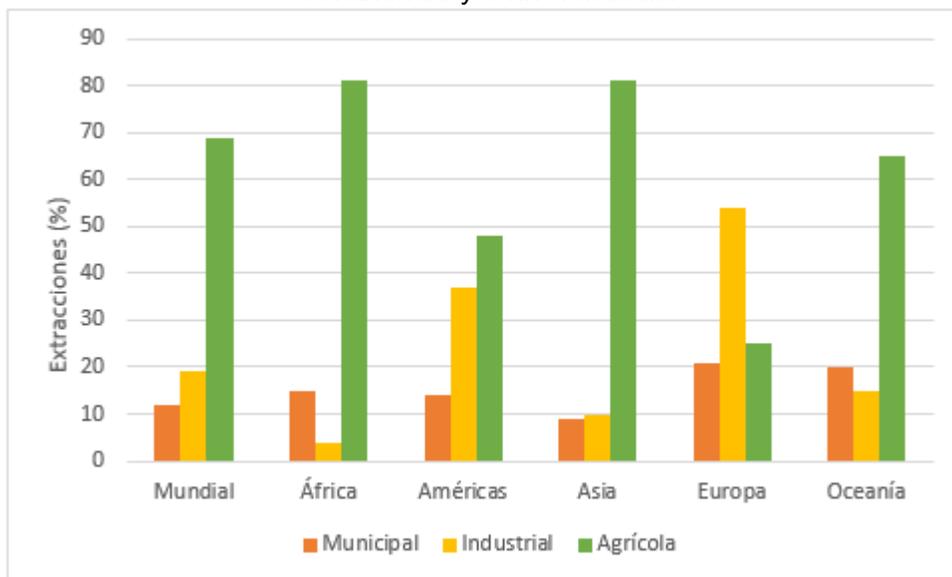
Contenido

	Pág.
2.1 Estado del arte	10
2.1.1 Distribución y consumo de agua	11
2.1.2 Huella hídrica y huella virtual	14
2.1.3 Las cuatro fases en la evaluación de la huella hídrica	16
2.1.3.1 Establecimiento de metas y alcance	16
2.1.3.2 Contabilidad de la huella hídrica	17
2.1.3.3 Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica	21
2.1.3.4 Formulación de respuesta de la huella hídrica	25
2.1.4 Normatividad	25
2.2 Antecedentes	30

2.1 Estado del arte

Desde el principio de la humanidad, el recurso hídrico ha sido un factor fundamental y determinante para el desarrollo mundial en el campo social, económico, agrícola, industrial y político (Merkel, 2003). Se estima que el mayor consumo de agua dulce se da en los procesos agrícolas (Parada-Puig, 2012), más específicamente en el riego de cultivos con una participación del 69%, que representan aproximadamente 2.769 Km³ de consumo al año; luego se ubica el sector industrial con un consumo del 19% (768 Km³ de consumo al año); y finalmente un 12% que representa el consumo humano para uso doméstico, que equivale a 464 Km³ por de consumo anual (FAO, 2016); cifras generales para los países en desarrollo y en vía de desarrollo, sin importar la distribución hídrica mundial se muestran en la Gráfica 2-1.

Gráfica 2-1. Consumo de agua para el sector agrícola, municipal e industrial, por continentes y a nivel mundial



Fuente: Modificado por las autoras

La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura, estima que el agua necesaria para la producción de alimentos consumidos al día, bajo una dieta de 1.570 calorías, es de 4,3 m³ (Parada-Puig, 2012) (World Wildlife Fund - WWF, 1986) (FAO, 2003)

La influencia antrópica, sin duda ha sido un factor determinante para la variación, calidad, y distribución del caudal y flujo del agua en el planeta, alterando directamente el ciclo hidrológico con la disposición de materiales que alteran el cauce del agua en sistemas lénticos y la contaminación por residuos sólidos y líquidos en sistemas lóticos; y en general, por la disposición de desechos tóxicos (L'vovich *et al.*, 1995). Cuando se genera el ciclo del agua, ocurren tres procesos tras la evaporación, condensación y precipitación (Nebel & Wright, 2003):

1. Escorrentía: cuando el agua se condensa, cae como precipitación, la cual se desplaza por la superficie terrestre hasta llegar y hacer parte de las aguas superficiales.
2. Evapotranspiración: cuando el agua cae por precipitación, ésta penetra en los poros del suelo, y de dispone en forma capilar para iniciar una nueva evaporación a la atmósfera y acumularse en la flora tras el proceso de transpiración.
3. Nivel freático: ocurre después del proceso de precipitación, y corresponde a la infiltración del agua por los conductos acuíferos que finalmente se intersectan con fuentes de agua superficial.

2.1.1 Distribución y consumo de agua

El 70% de la superficie del planeta representa el recurso agua, y el restante 30% corresponde al suelo, cada uno con sus diferentes características y distribuciones. De ese 70%, solo el 2,5% representa el agua dulce que es apta para consumo humano, de la cual solo el 1% es de fácil acceso a la población y a la fauna, ya que el restante 1,5% se encuentra en suelos, rocas y en capas de hielo (UNEP, 2013). El 2.5% de agua dulce apta para consumo humano, depende el ciclo del agua del cual se ha reportado que anualmente precipitan cerca de 458.000 Km³ en la zona marítima y 119.000 Km³ en la zona territorial, de los cuales 71.000 Km³ se evapora como parte del ciclo hidrológico, y

los restantes 42.000 Km³ son dispuestos en los cuerpos de agua salada y agua dulce; esta última denominada como “*Recurso acuático renovable* (Toledo, 2002)” solo representa entre 9.000 a 14.000 Km³ de los 42.000 Km³ que precipitan y se incluyen en los cuerpos de agua mundiales (Toledo, 2002).

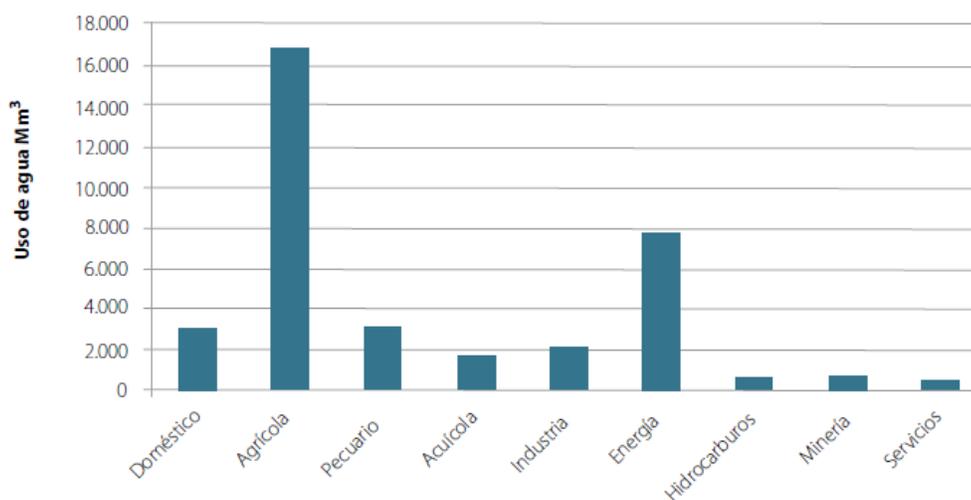
Desde el complejo y perfecto proceso del ciclo del agua y su integración como sistema importante para el desarrollo del hombre y la naturaleza, surgió la necesidad de generar desde lo político y económico un proceso regulador sobre la demanda y uso del recurso hídrico, lo que ha generado a nivel mundial diferentes opiniones sobre la prioridad de los usos de agua para abastecer las necesidades no solo básicas sino secundarias, con premisas como la responsabilidad de administración del recurso, su tratamiento y calidad, así como el volumen demandante para diferentes actividades como la industria y la agricultura. En Colombia, está regulado como usos del agua el consumo humano y doméstico; el agua destinada para la preservación de flora y fauna; para uso agrícola y pecuario; con fines recreativos; y para uso Industrial (Ministerio de Agricultura, 1984). Esos usos del agua en Colombia, no definen ni estiman el volumen necesario para realizar las actividades que encierran dichos usos, generando un desequilibrio social y ambiental desde el punto de vista del nulo control y contaminación del recurso hídrico, que muchas veces se hace sin tener en cuenta las características cualitativas de los productos, bienes, servicios y/o consumidores; como el consumo de agua requerido para el proceso de manufactura de un producto, desde la elaboración y obtención de la materia prima, hasta que el producto, bien o servicio es consumido y finalmente desechado por su consumidor (Forero Casas, 2012) (Parada-Puig, 2012).

En el año 2012, la demanda hídrica nacional alcanzó 35.987 millones de metros cúbicos. En la Tabla 2-1 y en la Figura 2-1 **Uso total de agua en Colombia para el año 2012** se presentan los estimativos por sector usuario del recurso y su participación porcentual. Se muestran en la misma tabla los volúmenes que retornan y las pérdidas en el proceso de uso de agua. El sector agrícola usa 16.760,33 millones de m³ equivalentes al 46,6% del total del volumen de agua que se utiliza en el país. El uso para generación de energía participa con el 21,5%, el sector pecuario con el 8,5% y el uso doméstico con el 8,3% (IDEAM, 2015).

Tabla 2-1. Usos del agua en Colombia

Usos del agua	Uso total de agua 2012	Participación (%)	Flujos de retorno	Pérdidas
	Mm ³		Mm ³	Mm ³
Doméstico	2.963,4	8%	1.670,5	921,6
Agrícola	16.760,3	47%	s.l	s.l
Pecuario	3.049,4	9%	s.l	563,4
Acuícola	1.654,1	5%	1.654,1	s.l
Industrial	2.106,0	6%	2.000,7	493,5
Energía	7.738,6	22%	1.273,6	364,4
Hidrocarburos	592,8	2%	s.l	s.l
Minería	640,6	2%	s.l	s.l
Servicios	481,8	1%	433,6	137,7
Total nacional	35.987,0	100%	7.032,5	2.480,6

s.l: sin información

Mm³ = millones de metros cúbicos**Fuente:** Modificado por las autoras (IDEAM, 2015)**Figura 2-1.** Uso total de agua en Colombia para el año 2012**Fuente:** (IDEAM, 2015)

Se estima que se retorna a las fuentes hídricas el 20% del agua extraída y usada en procesos específicos de los sectores usuarios del recurso. El concepto de uso de agua

supone la extracción, pero también el agua almacenada no disponible para otros usos (IDEAM, 2015).

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) basada en los estudios realizados por la Cámara de Comercio de Bogotá, sobre el consumo hídrico de diferentes sectores industriales del departamento de Cundinamarca, reportó que los índices de consumo hídrico en el sector industrial dedicado al beneficio de ganado bovino, preparación y conservación de carnes, tiene un módulo de consumo (cantidad de agua en caudal o volumen, necesaria para la obtención de un producto) es de 5.000 L/Ton de animal vivo (Hidroplan Ltda & CAR, 1993), cuyo recurso hídrico es obtenido de las cuencas de los ríos Bogotá, Ubaté y Suárez (CAR, 2007); por su parte, la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, reportó un índice de consumo de 5,2 m³/Ton para la producción de carnes frías y embutidos (Corantioquia & Universidad Pontificia Bolivariana, 2003).

2.1.2 Huella hídrica y huella virtual

Las grandes, medianas y pequeñas industrias, requieren del uso de servicios públicos como agua, luz y gas, para obtener como resultado un producto que responda a las necesidades y demanda de la población. El recurso hídrico, es uno de los más empleados, no solo para la producción de un bien o servicio, sino para el proceso de obtención de materia prima necesaria para el proceso de producción. Como consecuencia de las demandas del hombre por satisfacer las necesidades, y del Estado, nace el concepto de huella hídrica como un indicador, para contabilizar el agua dulce contenida en los productos consumidos por un individuo, empresa o país, antes y después de su producción (Parada-Puig, 2012) (Pérez *et al.*, 2011); es decir, es una medida del consumo hídrico empleado no solo en su producción, sino en todas las etapas previas al proceso (agua virtual) (Castilla, 2013).

En términos generales, la huella hídrica tiene una aplicación principal en los productos y una aplicación derivada en los procesos, y su importancia radica en que todos los bienes y servicios que se emplean en el diario vivir tienen un impacto asociado al recurso hídrico, por lo que conocer el impacto antrópico por los hábitos de vida y consumo, resulta una apuesta interesante para tomar decisiones en pro del medio ambiente, en donde la apropiación del recurso conduzcan a la disminución del impacto ambiental. Por lo anterior, el estudio de huella hídrica puede aplicarse a un producto, a un proceso, a una cuenca o a un grupo de consumidores o productores, y a su vez no solo se relaciona a la cantidad de agua consumida, sino a sus diferentes dimensiones como la ubicación geográfica, el comercio (oferta- demanda), las condiciones climáticas, las condiciones de uso de suelo, los hábitos de vida y consumo de la población, y al tiempo de estudio. En cuanto al agua consumida que no retorna a las fuentes de agua de donde se hizo la extracción, puede deberse a tres causas: 1) procesos de evaporación o evapotranspiración, 2) procesos industriales en donde el agua queda incorporada en un producto y a 3) fenómenos de trasvase, es decir cuando la ubicación geográfica cambia.

La cantidad de agua dulce requerida para la producción de alimentos es aproximadamente mil veces el peso de la comida (UNEP, 2011a). Para el caso de la producción de 1 Kg de carne de res, la huella hídrica dependerá del consumo de agua requerida para el beneficio de las reses, distribución y comercialización del producto; y los procesos de agua virtual como la demanda de agua necesaria para el cultivo de pasto, la cantidad de agua que consumen las reses, y el agua que el ganadero emplea para bajar los niveles de calor en tierras cuyas temperaturas sean muy superiores; por su parte, la ubicación geográfica y las condiciones climáticas donde se realiza el proceso de levante y ceba de ganado, son un factor determinante en el cálculo de huella hídrica y agua virtual, pues el consumo de agua dulce, en una región con clima caliente puede ser tres o cuatro veces mayor al consumo de agua dulce requerida en una región con clima templado o frío (A.Y. Hoekstra, 2003).

2.1.3 Las cuatro fases en la evaluación de la huella hídrica

La evaluación de la huella hídrica puede dividirse en cuatro fases, de acuerdo con la guía práctica proporcionada por Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, (2011):

1. Establecimiento de metas y alcance.
2. Contabilidad de la huella hídrica.
3. Evaluación de sostenibilidad de la huella hídrica.
4. Formulación de respuesta de la huella hídrica.

De acuerdo con esta guía, en la fase de contabilidad se recogen los datos y se realizan las cuentas en función del alcance establecido. En la fase de evaluación de la sostenibilidad, la huella hídrica es evaluada desde las perspectivas ambiental, económica y social; en la última fase, se formulan estrategias o políticas como acción de respuesta (UNEP, 2011b).

2.1.3.1 Establecimiento de metas y alcance

En la primera fase de estudio de huella hídrica, se deben establecer los diversos fines y aplicación en el contexto en que se esté trabajando; al establecer la meta y alcance se trabaja con un objetivo que responda al qué, para qué, por qué, cuándo y dónde se realizará el ámbito de análisis. Por lo anterior, se debe tener en cuenta que el estudio de huella hídrica se puede realizar a varias entidades por lo que se debe dar completa importancia a la definición de aquellos aspectos que se interesa como la huella hídrica directa o indirecta. Por su parte, Hoekstra *et al.*, (2011), plantea para el desarrollo de la primera fase realizar una lista de verificación para definir el objetivo, en donde se pueda evidenciar una serie de elementos importantes para la evaluación de la huella hídrica, la cual no es exhaustiva. Todo se basa en establecer si se requiere un informe detallado o no.

2.1.3.2 Contabilidad de la huella hídrica

Para realizar el cálculo de huella hídrica, es importante tener en cuenta que ésta se clasifica en huella hídrica azul, verde y gris (Sab Miller & World Wildlife Fund - WWF, 2012) (Samaniego & Schneider, 2010), las cuales participan en los procesos de producción de bienes y servicios, en donde las dos primeras generan un impacto en términos de cantidad de agua y la última, genera un impacto en términos de calidad de agua. La aplicación de estas tres huellas ha sido progresiva: inicialmente solo se estimaba la extracción de agua (huella hídrica azul), posteriormente se incluyó en los estudios la cantidad de agua por precipitación y su almacenamiento en el suelo (huella hídrica verde), y actualmente se estudia también la cantidad de agua que se requiere para la dilución de contaminantes (huella hídrica gris) y dar cumplimiento a límites permisibles de la normatividad que se aplique en la región de estudio (Figura 2-2).

Figura 2-2. Huella hídrica azul, verde y gris.



Fuente: Modificado por las autoras (Sab Miller & World Wildlife Fund - WWF, 2012)

- Huella hídrica azul

La huella hídrica azul es un indicador de uso consuntivo de agua¹ llamada agua azul, es decir, agua dulce de fuentes superficiales o subterráneas, y se refiere a la captación de la escorrentía que no vuelve a la cuenca como flujo de retorno, entendiéndose como la "capacidad de apropiación del suministro" (Hoekstra *et al.*, 2011). Lo anterior no hace referencia a que el agua desaparezca, ya que ésta se mantiene en el ciclo del hidrológico y siempre regresará a alguna parte, respondiendo así a la ley de conservación de la materia, teniendo en cuenta que el agua es un recurso renovable, pero no se puede garantizar por tiempo indefinido su disponibilidad es ilimitada (Hoekstra *et al.*, 2011).

El indicador de la huella hídrica azul responde a una medida de la cantidad de agua que se encuentra disponible en un periodo de tiempo determinado y que se consume (no vuelve a la misma fuente o cuenca hidrográfica), proporcionando una medida de volumen de agua azul, por lo general en metros cúbicos (m³) que se encuentra disponible para consumo humano. Las aguas no consumidas tanto de origen superficial o subterráneo, se emplean para garantizar la vida del ecosistema que depende de esa fuente hídrica, lo cual se conoce como caudal ecológico (Hoekstra *et al.*, 2011).

En una fase de un proceso de producción, la huella hídrica azul se calcula relacionando el volumen de agua con el periodo de tiempo [volumen / tiempo], como se muestra en la Ecuación 2-1, en donde el último componente (agua de retorno) hace referencia a la parte devuelta a un cuerpo de agua receptor, la cual no está disponible para su reutilización en el mismo periodo de tiempo (Hoekstra *et al.*, 2011).

¹ Uso consuntivo del agua se refiere a alguno de los cuatro siguientes casos: 1) el agua se evapora, 2) el agua se incorpora a un producto, 3) el agua no vuelve a la misma cuenca y 4) el agua no vuelve en el mismo período.

Ecuación 2-1. Huella hídrica azul de un proceso.

$$HH_{(proceso)} = \text{agua de consumo} \left(\frac{m^3}{mes} \right) + \text{agua de lavado} \left(\frac{m^3}{mes} \right) - \text{agua de retorno} \left(\frac{m^3}{mes} \right)$$

- Huella hídrica verde

La huella hídrica verde indica el uso humano del agua verde, la cual se refiere a la precipitación como agua que se mantiene en el suelo (superficie o vegetación) y que no se suma a las aguas superficiales ni se convierte en escorrentía, de esta manera el agua verde se considera como agua de precipitación que genera procesos de evapotranspiración como evaporación y transpiración de las plantas (Hoekstra *et al.*, 2011).

En un proceso de producción, la huella hídrica verde hace referencia al volumen de agua de lluvia consumida, por lo que se hace relevante para procesos asociados a productos agrícolas y forestales (a base de cultivos), donde se involucra la evapotranspiración del agua de lluvia total tanto de campos como de plantaciones, así como al agua incorporada en procesos de cosecha o de plantaciones arbóreas. Por lo anterior, para un proceso productivo, la huella hídrica verde es igual a la relación de volumen de agua con el periodo de tiempo [volumen / tiempo], como se indica en la Ecuación 2-2 (Hoekstra *et al.*, 2011).

Ecuación 2-2. Huella hídrica verde de un proceso.

$$HHV_{(proceso)} = \text{agua verde evaporada} + \text{agua verde incorporada} \left(\frac{m^3}{tiempo} \right)$$

- Huella hídrica gris

Por su parte, la huella hídrica gris es el producto de agua contaminada generada en los procesos de producción, ya que hace referencia a la cantidad de agua contaminada no como índice de calidad de agua, sino como índice del volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga contaminante (desechos) al finalizar los procesos industriales, en cumplimiento con los estándares de calidad de agua de vertimientos a sistemas de alcantarillado o cuerpos de agua, en donde se garantice un volumen de agua superior al límite permisible (Arjen Y Hoekstra *et al.*, 2011).

La información que se obtiene con esta huella, asociada a los impactos en términos de calidad de un cuerpo de agua receptor, se obtienen con la relación que existe en la asimilación de carga contaminante y los límites máximos permisibles de calidad ambiental y junto con la huella hídrica azul y la huella hídrica verde (cuando aplique) realizar una caracterización de un proceso o actividad antrópica, desde el punto de vista del consumidor o del productor.

Desde la aplicación de la huella hídrica gris, el estudio de impacto a la calidad del agua, donde se conozca una contaminación puntual, se puede determinar si se conoce el efluente y el cuerpo receptor, al igual que la caracterización del mismo aguas arribas. Por lo anterior, la huella hídrica gris relaciona la cargas contaminante (L) que se presenta después de la intervención antrópica, con la diferencia entre la cocentración máxima permitida ($C_{m\acute{a}x}$) y la concentración natural de la fuente receptora (C_{nat}); dada en la relación [volumen / tiempo] (Ecuación 2-3).

Ecuación 2-3. Huella hídrica gris del proceso

$$HHG = \frac{L}{C_{m\acute{a}x} - C_{nat}}$$

Un factor a tener en cuenta en el cálculo de huella hídrica gris, es el realizar el cálculo para parámetros medidos después del tratamiento de aguas residuales en el caso que existan, debido a que esta huella se asocia directamente a la calidad del agua vertida en el cuerpo de agua superficial o subterránea.

2.1.3.3 Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica

La tercera fase de la evaluación de huella hídrica corresponde a la evaluación de sostenibilidad cuyo pilar se base en la determinación espacio – temporal de un proceso, producto consumidor o productor.

Dentro de la evaluación de sostenibilidad de la huella hídrica sea de un consumidor, productor, proceso, etapa de un proceso o producto, se pueden explorar factores como: 1) si la huella hídrica aporta superflamente a la huella hídrica mundial; para ello es suficiente realizar una comparación con la huella hídrica par que actuaría como punto de referencia mundial, si es que este índice ya existe. En ausencia de ella, la evaluación tendría que ser ampliada de manera que incluya un estudio que le sirva como un patrón de referencia razonable y 2) Si la huella hídrica favorece a la presencia de *Hot Spots* específicos; lo que requiere una base de datos de *Hot Spots* de todo el mundo con características espaciales y temporales. Cuando estos datos no están disponibles se debe ampliar el estudio desde una perspectiva geográfica, incluyendo todas las cuencas involucradas donde se encuentren los elementos de la huella hídrica que se esté estudiando (Hoekstra *et al.*, 2011).

Determinar el nivel de sostenibilidad de la huella hídrica depende de varios factores entre los cuales se encuentra identificar el nivel de cuenca o proceso; en el primero, se obtiene información de procesos en la gestión de cuenca y el segundo brinda información sobre la eficiencia del proceso; de esta manera, para los dos casos, se debe desarrollar cálculo que permitan no solo cualificar sino cuantificar la sostenibilidad, uno de esos cálculos responde a la disponibilidad de la huella hídrica que da respuesta a los flujos horizontales del recurso hídrico como las quebradas, ríos, lagos o acuíferos, a la oferta total de agua ya sea de origen natural o regulada y **al caudal ecológico**, el cual se define como el

caudal mínimo requerido para que el ecosistema acuático mantenga de forma natural sus funciones o necesidades ecológicas en un área de influencia antrópica que pueda modificar su naturaleza, respondiendo de esta manera a una provisión permanente de recursos hídricos para mantener la integridad del ecosistema aunque exista la intervención antrópica (Hoekstra *et al.*, 2011) (Parra & Carvajal, 2012). Por su parte el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el caudal ecológico se puede interpretar como un factor del 0.25 el cual se basa en la restricción que se da por calidad del agua de fuentes de abastecimiento (CDMB, 2014).

La evaluación de la sostenibilidad se realiza aplicando un cálculo que relaciona la demanda hídrica de la cuenca y la oferta hídrica neta de la misma, dada en la relación [m³/año] para determinar el índice de escasez (I_e) (Ecuación 2-4).

Ecuación 2-4. Cálculo para la determinación del índice escasez hídrico

$$I_e = \frac{\text{Demanda hídrica}}{\text{Oferta hídrica}} \times 100$$

Al momento de realizar un estudio, la oferta hídrica se puede determinar con la diferencia entre la escorrentía natural y el caudal ecológico cuya relación está dada en [m³/año] (Ecuación 2-5)

Ecuación 2-5. Cálculo para la determinación de oferta hídrica

$$\text{Oferta hídrica} \left(\frac{m^3}{\text{año}} \right) = \text{escorrentía natural} - \text{caudal ecológico}$$

Por su parte, el índice de escasez hídrica, relaciona a su vez cinco categorías por color, según su resultado porcentual, clasificando la cuenca a nivel de demanda en alta, apreciable, baja, muy baja y no significativa como se aprecia en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2. Clasificación del índice de escasez hídrico

Categoría del índice de escasez	Rango (%)	Color	Explicación
Alto	> 50	Rojo	Demanda alta
Medio alto	21 – 50	Naranja	Demanda apreciable
Medio	11 – 20	Amarillo	Demanda baja
Mínimo	1 – 10	Verde	Demanda muy baja
No significativo	< 1	Azul	Demanda no significativa

Fuente: IDEAM, (2004).

Con el resultado del índice de escasez hídrico, se puede afirmar que si el resultado se clasifica en la categoría de color azul, significa no se ha generado un uso completo de la oferta hídrica; si el resultado se ubica en la categoría amarilla y verde, significa que la demanda y la oferta hídrica son iguales, por lo que se entiende que se ha empleado completamente la capacidad de la cuenca para cubrir las necesidades antrópicas; y finalmente si el resultado corresponde a la categoría naranja y roja, significa que se ha excedido la capacidad que tiene la cuenca en términos de demanda, la cual se calcula como la suma de todas las demandas de agua dada en m³ en el mismo lugar y periodo de tiempo (CDMB, 2004), y se realizan en diferentes sectores como el industrial (DUI), pecuario (DUP), agrícola (DUA), el uso doméstico rural y urbano (DUD) y el sector de servicios (DUS) (Ecuación 2-6).

Ecuación 2-6. Cálculo para determinar la demanda total del recurso hídrico en cuenca

$$Demanda\ Total = DUI + DUP + DUA + DUD + DUS$$

La evaluación de la sostenibilidad para la huella hídrica azul, además de poder calcularse como se describe en la Ecuación 2-4, existe una relación entre la huella hídrica azul

anual determinada y la oferta hídrica neta anual que se conocería como agua azul (Ecuación 2-7) (Waterfootprint, 2002b)

Ecuación 2-7. Cálculo de la sostenibilidad de huella hídrica azul

$$Sostenibilidad\ HH_{azul} = \frac{HH_{azul} (m^3/año)}{Oferta\ hídrica (m^3/año)}$$

Los resultados obtenidos de la anterior ecuación, se deben clasificar según su nivel de impacto ambiental sobre la cuenca como se describe en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3. Rangos de impacto ambiental sobre una cuenca

Rango	Color	Impacto
> 4.0		Muy alto
> 2.0		Alto
> 1.5		Moderado
> 1.0		Bajo

Fuente: Waterfootprint, 2002b.

En términos de contaminación hídrica, ésta se calcula relacionando la huella hídrica gris anual con la oferta hídrica neta anual como se indica en la Ecuación 2-8. (Waterfootprint, 2002a).

Ecuación 2-8. Cálculo de la sostenibilidad de huella hídrica gris

$$Sostenibilidad\ HH_{gris} = \frac{HH_{gris} (m^3/año)}{Oferta\ hídrica (m^3/año)}$$

Con el desarrollo de la anterior ecuación, el agua gris se relaciona en términos de la asimilación de contaminantes; es decir si el resultado es menor a uno, significa que no se ha generado un uso completo de la capacidad de asimilación de contaminantes que tiene la cuenca o el cuerpo receptor del vertimiento. Por su parte, si el resultado es igual a uno, significa que se ha empleado completamente la capacidad de asimilación de contaminantes que tiene la cuenca, pero si el resultado es mayor a uno, se deben encender las alarmas ya que se ha excedido la capacidad de asimilación de contaminantes que tiene la cuenca o el cuerpo receptor del vertimiento (Hoekstra *et al.*, 2011) (Arjen Y Hoekstra *et al.*, 2011) (Waterfootprint, 2002a).

2.1.3.4 Formulación de respuesta de la huella hídrica

La formulación de respuesta obedece a la clase de huella hídrica que se encuentre en estudio, que puede ser de un consumidor o consumidores, un producto, un proceso, una etapa de un proceso, de una empresa, de un país, etc. Inclusive, se puede involucrar a terceros, como las empresas y los gobiernos si éstos pueden aportar en la generación y aplicación de estrategias. Por lo general se buscan tipos de respuestas que puedan desarrollarse, pero no se descartan propuestas que requieran un ámbito a niveles más altos (Hoekstra *et al.*, 2011).

2.1.4 Normatividad

La parte operativa de los Frigoríficos se regulan por Decreto 1036 de 1991, en razón a su capacidad, dotación, requisitos técnicos y proceso de beneficio, clasificándolos en cuatro grupos. Para el caso del Frigorífico Vijagual, cuenta con características como tener una capacidad instalada para el beneficio de 480 reses en turnos de 8 horas, cuenta con 34 áreas: área de protección sanitaria; vías de acceso y patios de maniobra, cargue y descargue; corrales de llegada; corrales de sacrificio; corrales de observación; zona de lavado y desinfección de vehículos; báscula para ganado en pie; sala de oreo y cuarteo; sala de sacrificio; sala de deshuese y empaque; sistema de refrigeración; área para

canales retenidas; sala de necropsia o matadero sanitario; horno crematorio o incinerador; sección especial para procesamiento y empaque de subproductos; sección de calderas y compresores; depósito para decomiso; sistema aéreo para sacrificio y faenado; sala aislada para lavado y preparación de vísceras blancas; sala refrigerada para almacenamiento de víscera blancas y rojas; área de proceso y almacenamiento de cabezas; área para escalado y almacenamiento de patas; sala para pieles; bascula de riel para pesaje de las canales; sistema para almacenamiento de estiércol; oficina de inspección médico-veterinario; sistema de tratamiento de aguas residuales; tanque de reserva de agua potable; almacén y bodega; oficinas o dependencias administrativas; área para servicios varios y mantenimiento; servicios sanitarios y vestideros; y cafetería. (Ministerio de Salud, 1991).

El Frigorífico Jongovito (Frigovito S.A.) se constituye en la planta de beneficio animal más importante del departamento y la que más ha avanzado en el cumplimiento de las condiciones sanitarias y ambientales para su funcionamiento, como lo establece el diagnóstico realizado en el Plan de Racionalización de Plantas de Beneficio animal PRPBA adelantado por la Gobernación de Nariño. Actualmente, se encuentra en la categoría 1 pero se encuentra en gestión para ascender a la categoría dos.

La empresa está dividida en las siguientes áreas: *Área administrativa*: en la planta de sacrificio existe una oficina administrativa en la cual se manejan todas las actividades de gerencia, administración y contabilidad de la empresa. *Área de producción*: la cual se divide en diferentes secciones como la sección de recepción (comprende corrales de recepción en concreto), sección de sacrificio (comprende la trampa o caja de insensibilización), sección de faenado (comprende un pasillo donde se realizan las diferentes operaciones para la obtención de la canal, el equipo e implementos que se utilizan son; cuchillos, recipientes para el sangrado y elementos mecánicos de corte), sección de subproductos (los subproductos que se obtienen en el proceso de faenado son; cabeza, patas, vísceras blancas y rojas, sangre y pieles), sección de cuarto frío (existen un cuarto frío ubicado en la zona limpia de la planta, en este cuarto frío se almacena la carne en canal). *Área libre*: es un espacio relativamente amplio,

esencialmente para movilización interna de los carros y camiones que transportan la carne, además de un área verde perimetral. *Área de Corrales*: donde permanece el ganado en espera para ingreso al área de producción.

El horario de trabajo es de 6 a.m. a 2 p.m. los días lunes a sábado, salvo eventualidades de producción en los cuales se inicia la jornada laboral a las 5:00 a.m. El tiempo de producción diario es de 8 horas, las cuales se dividen en tres actividades principales: sacrificio de bovinos, sacrificio de porcinos y limpieza de la planta (Frigovito, 2016b)

El cálculo de huella hídrica gris se asocia directamente a los parámetros y límites permisibles de contaminantes de interés en vertimientos puntuales a sistemas de alcantarillado o cuerpos de agua superficiales, que en Colombia son regulados por el Decreto 0631 de 2015, los cuales establecen los límites por sectores industriales y domésticos según la naturaleza del vertimiento: agua residual no doméstica y agua residual doméstica (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015b). Para el caso de estudio, el sector que aplica la normatividad es el beneficio de ganadería de bovino, como vertimiento de agua no doméstico en donde se regulan parámetros generales, compuestos de fósforo, compuesto de nitrógeno, iones y otros parámetros para análisis y reporte (Tabla 2-4).

Tabla 2-4. Parámetros, unidades y valores máximos permisibles descritos en el Decreto 0631 de 2015 para actividad de beneficio bovino

Parámetro	Unidades	Límite permisible
Generales		
pH	Unidades de pH	6 a 9
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	800
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	450
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	225
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5
Grasas y Aceites	mg/L	30

Sustancias activas al azul de metileno	mg SAAM/L	Análisis y reporte
Compuestos de Fósforo		
Ortofosforados	mg PO ₄ ³⁻ - P/L	Análisis y reporte
Fósforo total	mg P/L	Análisis y reporte
Compuestos de Nitrógeno		
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ - N/L	Análisis y reporte
Nitritos	mg NO ₂ ⁻ - N/L	Análisis y reporte
Nitrógeno amoniacal	mg NH ₃ - N/L	Análisis y reporte
Nitrógeno total	mg N/L	Análisis y reporte
Iones		
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	600
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	500
Otros parámetros para análisis y reporte		
Acidez total	mg CaCO ₃ /L	Análisis y reporte
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	Análisis y reporte
Dureza cálcica	mg CaCO ₃ /L	Análisis y reporte
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	Análisis y reporte
Color real (436 nm, 525 nm y 620 nm)	m ⁻¹	Análisis y reporte

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, (2015b)

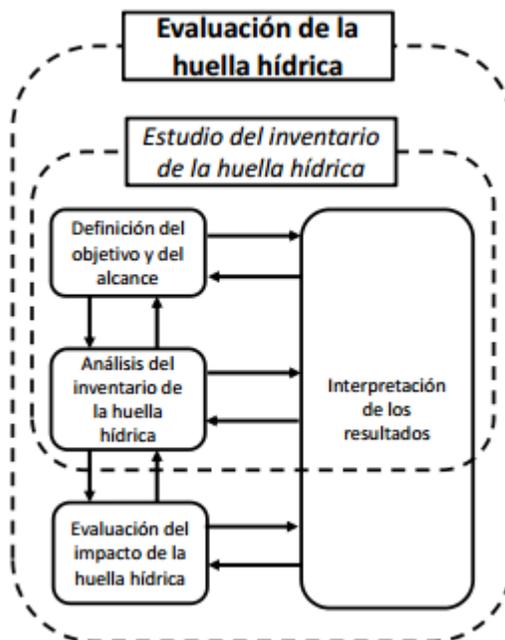
Los parámetros empleados para el cálculo de huella hídrica gris son aquellos que presenta un valor límite como los parámetros generales y los iones que se presentan en la Tabla 2-4 y no aquellos que indican un límite de “análisis y reporte”, ya que no se podría aplicar el cálculo para tener un resultado cuantitativo.

Por su parte, la huella hídrica está estandariza a nivel mundial con la ISO 14046 de 2014, y se define como: “*la recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua utilizada o afectada por un producto, proceso u organización (ISO, 2014)*”; esta norma brinda información en términos de reproducibilidad, aplicación y coherencia para evaluar y generar informes en resultados

de huella hídrica aplicados a procesos y/o productos, basados en las etapas de ciclo de vida a partir de principios, directrices y requisitos. De esta manera la norma busca que se identifique el impacto ambiental asociado al consumo y a la calidad del agua, con el fin de verificar la viabilidad de procesos que permitan reducir los impactos potenciales y mejorar el uso eficiente y la optimización en términos de gestión hídrica (ISO, 2014).

La metodología que desarrolla esta norma (ISO14016) y las definiciones, se basan en lo propuesto por Arjen Y Hoekstra *et al.*, (2011) con el desarrollo de cuatro fases: 1) definición del objetivo y del alcance, 2) análisis del inventario de la huella hídrica; 3) evaluación del impacto de la huella hídrica y 4) interpretación de los resultados Figura 2-3.

Figura 2-3. Fases de evaluación de la huella hídrica



Fuente: Ferrer, (2014), ISO, (2014)

2.2 Antecedentes

Entre las publicaciones sobresalientes acerca del tema a nivel nacional e internacional, se pueden destacar los siguientes estudios como el de Forero Casas, (2012), quien realizó una estimación del consumo de agua que requiere un sector agroalimentario en la ciudad de Bogotá, con el cálculo de módulos de consumo óptimos, por lo que se requirió el desarrollo de un modelo matemático cuya variable se basa en el módulo de consumo y en la producción de cada una de las etapas del proceso de producción originado del beneficio de aves y del procesamiento de productos cárnicos. Con el modelo matemático, se logró estimar los módulos de consumo no solo de cada etapa de los procesos involucrados, sino para procesos de otros sistemas productivos del mismo sector agroalimentario.

Por su parte, Arevalo, Lozano, y Sabogal, (2011), realizaron un estudio nacional de huella hídrica en Colombia en el sector agrícola, cuyo propósito se basó en el concepto de huella hídrica como indicador, en donde se logró organizar el posicionamiento de sectores como el industrial, el gobierno y la sociedad, en relación a la sostenibilidad del recurso hídrico como eje articulador del desarrollo socioeconómico del país. Con el desarrollo de este objetivo de cuantificación de la huella hídrica, azul, verde y gris, se logró identificar la información asociada a cada huella en término de impacto ambiental, social y económico de actores productivos y consumidores de cada región geográfica estudiada.

En relación a la cuantificación de la huella hídrica azul y gris de un proceso de generación de energía, en la central hidroeléctrica Miel I de ISAGEN, se evaluó la sostenibilidad ambiental a partir del cálculo de cada una de las huellas. En este estudio realizado por Uribe (2014) se tomó la metodología de cálculo de huella hídrica del Manual de Evaluación de Huella Hídrica propuesto por Hoekstra *et al.* Finalmente, se determinó que la central hidroeléctrica es ambientalmente sostenible, sin presentar impacto en la oferta hídrica de la cuenca del río La Miel, ni en la calidad de la misma ya

que para la huella hídrica gris se realizaron análisis de DBO₅, DQO y SST, cuyos resultados mostraron una completa asimilación de contaminantes en el tramo analizado de la cuenca.

Según Echeverri, (2014), la estimación de huella hídrica en el proceso de extracción de caliza a cielo abierto en la planta Rioclaro de cementos Argos, permitió concluir un elevado valor de huella hídrica azul para el proceso de producción de cemento debido a la alta demanda energética, mostrando de esta manera la importancia de calcular la huella hídrica verde en las materias primas empleadas para el proceso productivo de la planta, el cual considera etapas como la extracción de minerales, la producción de cemento, la autogeneración de energía y los procesos auxiliares. Tras la estimación de la huella hídrica, se propuso crear la propuesta de una política de integración sostenible al recurso hídrico, cuya metodología se basó en la elaborada por la *Water Footprint Network* (WFN). Con el cálculo de huella hídrica azul y gris, se realizó una caracterización del nivel de estrés hídrico y *Hot Spots*, el cual se realizó empleando una herramienta desarrollada por el *Global Water Tool* (GWT), mientras que para la identificación y calificación de impactos generados por el consumo hídrico se aplicó la metodología propuesta por Conesa Fernández en 2006.

Otro estudio realizado por Parada-Puig, (2012), presenta una revisión de los conceptos y aplicación de agua virtual y huella hídrica, como indicadores de estimación y cuantificación de la apropiación que realiza el ser humano al recurso hídrico, mostrando un panorama del consumo que se genera a nivel mundial cuyas consecuencias se basan en sectores como el económico, la globalización, los gobiernos y las políticas de desarrollo, de uso y disposición de recursos naturales, aumentando la discusión sobre el debate que tiene el uso del agua para diferentes sectores según la distribución y disponibilidad hídrica a nivel mundial.

Desde el contexto de América Latina, Ríos y col., (2013), presentaron un estudio donde se estimó la huella hídrica en el proceso productivo de 1 L de leche en zonas rurales de los municipios de Matiguás y Jinotega en Nicaragua, cuyos resultados se basaron en una

base de datos existente de 30 fincas productoras de leche de los dos municipios. Los resultados mostraron que el consumo directo de agua dado para la huella hídrica directa, que realiza el ganado lechero es de aproximadamente el 7,5% de su peso vivo mientras que la huella hídrica para la producción de 1 L de leche en las fincas Matiguás y Jinotega fue de 950 L y 1.500 L, respectivamente. Con este estudio, se logró establecer que el periodo estimado para el cálculo de huella hídrica debía aplicarse en un periodo de tiempo amplio al igual que aumentar la muestra como unidad de análisis.

En Europa, Sotelo N., Olcina C., García Q., y Sotelo P., (2012), estudiaron la actual realidad del agua en España, partiendo del indicador huella hídrica de ese país y sus implicaciones a nivel social, económico, ambiental y por su distribución geográfica. Este estudio se realizó en los años 2000 a 2010 (primer decenio del siglo XXI), en donde se analizó la oferta y demanda del recurso hídrico para satisfacer las necesidades de la población en términos de bienes y servicios, en donde se analizaron dos componentes: 1) la huella hídrica interna: agua producida y consumida en España y 2) la huella hídrica externa: agua empleada fuera del país, en el caso de la producción de bienes en el exterior y que fueron importados para satisfacer las necesidades básicas.

Finalmente, Di Rienzo y Fogolin, (s.f.), mediante un estudio de caso en un establecimiento agropecuario ubicado en la zona rural de Oliveros (Provincia de Santa Fé, Argentina), que combina la actividad agrícola con la producción porcina, se realizó la medición del uso de agua (directo e indirecto) en todo el sistema, y se propuso acciones que tiendan a hacer eficiente al uso del recurso desde la perspectiva de la Ingeniería Ambiental.

Capítulo 3. Método

La metodología empleada para el cálculo de la huella hídrica en los Frigoríficos Vijagual y Jongovito en el periodo de estudio 2015 y 2016, es la propuesta por Hoekstra *et al.*, 2011., la cual establece cuatro fases:

- Fase 1. Establecimiento de objetivos y alcance.
- Fase 2. Contabilidad de la huella hídrica.
- Fase 3. Evaluación de la sostenibilidad.
- Fase 4. Formulación de la respuesta

A continuación, se presenta la metodología empleada para el estudio de cada fase. Se puede evidenciar que para la fase dos, contabilidad de la huella hídrica, se utilizó una metodología diferente para cada Frigorífico, esto debido a la disponibilidad de datos en cada empresa.

Contenido

	Pág.
3.1 Establecimiento de metas y alcance.....	12
3.2 Cálculo de la huella hídrica.....	13
3.2.1 Huella hídrica azul.....	13
3.2.1.2 Huella hídrica gris.....	15
3.3 Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica	16
3.4 Formulación de respuesta de la huella hídrica.....	17

3.1 Establecimiento de metas y alcance

El establecimiento de metas y alcance es importante realizarlos y definirlos en objetivos, ya que la evaluación de la huella hídrica puede aplicarse para diferentes contextos y propósitos. Con el establecimiento de metas y alcance se puede buscar un fin particular como la sensibilización tras la identificación de un problema para poder generar una formulación de respuesta con políticas o con la fijación de metas medibles para la reducción de la huella hídrica.

En esta tercera etapa se determinó el espacio y tiempo donde se desarrolló la evaluación de huella hídrica, su escala de análisis, los tipos de huella azul, verde o gris, el alcance de estudio como huella hídrica directa o indirecta y definir las fases que se van a desarrollar de la evaluación de la huella hídrica propuestas por Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, (2011) como contabilidad, evaluación de la sostenibilidad o formulación de respuesta (Echeverri, 2014). Para el caso de este trabajo que hace referencia a un proceso, Arjen Y. Hoekstra *et al.*, (2011) proponen una lista de verificación que se basa en la respuesta de los siguientes interrogantes: ¿Cuál es el objetivo final?, ¿Hay un foco en una etapa en particular?, ¿Cuál es el alcance del estudio?, ¿Qué periodo de datos?, ¿Cómo afecta la dimensión del tiempo?, ¿Qué proceso se debe considerar?, ¿A qué escala?, ¿Qué nivel de clarificación espaciotemporal?, Para los consumidores y las empresas: ¿considerar la huella hídrica directa o indirecta?, ¿En qué momento se debe truncar el análisis al remontarse a lo largo de la cadena de suministro?, ¿Cuál es la contribución de la huella hídrica a la sostenibilidad ambiental?, ¿Cuál es la formulación de respuesta?.

3.2 Cálculo de la huella hídrica

Como se mencionó anteriormente la metodología empleada para el cálculo de la huella hídrica en los Frigoríficos Vijagual y Jongovito en los años 2015 y 2016, es la propuesta por Hoekstra *et al.*, 2011., la cual se puede aplicar tanto para una etapa de un proceso como para un proceso en general. Para el caso de estudio, se relaciona 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 desarrollo, por lo que este indicador se asocia únicamente al tema agrícola y forestal, convirtiéndose en un cálculo nulo para el proceso de estudio de esta investigación (González, Montoya, Botero, Arévalo, & Valencia, n.d.).

Cabe mencionar que para la obtención de los datos necesarios para el cálculo de la huella hídrica se contó con información secundaria referente a informes de gestión ambiental y del recurso hídrico con los que cuenta cada uno de los Frigoríficos. Sin embargo, el Frigorífico Jongovito de la ciudad de Pasto, no cuenta con datos de consumo en cada una de las etapas del proceso cárnico, por lo que se realizó una aproximación de ellos mediante información primaria, midiendo los caudales de consumo y lavado en cada etapa, por lo que no corresponden exactamente a los años 2015 y 2016. Igualmente, no cuenta con datos de caracterización fisicoquímica aguas arriba de la quebrada La Loreana del año 2015, por lo que solo fue posible estimar la huella hídrica gris y la huella hídrica total del año 2016.

3.2.1 Huella hídrica azul

La determinación de la huella hídrica azul de cada etapa del proceso en el Frigorífico Vijagual y Jongovito, se estimó teniendo en cuenta el agua de consumo total, que equivale al agua de consumo y agua lavado, ya que no es posible cuantificar la porción

de agua retornada para cada etapa del proceso. Por lo que la Ecuación 2-1 se reduce a la Ecuación 3-1.

Ecuación 3-1. Cálculo de huella hídrica azul para las etapas del proceso

$$HHA_{(etapa)} = \text{agua de consumo} \left(\frac{m^3}{mes} \right) + \text{agua de lavado} \left(\frac{m^3}{mes} \right)$$

El agua de consumo total se dividió en agua de consumo y agua de lavado. Entendiéndose por agua de consumo, el agua que se emplea directamente sobre el proceso de beneficio en las diferentes etapas y agua de lavado, el agua empleada para la limpieza de pisos, canales, maquinaria, etc. El agua de retorno, es el agua residual vertida a la microcuenca después de su tratamiento.

Los datos de agua de consumo y agua de lavado dado en relación m^3/mes en el periodo de estudio y requeridos para el cálculo de huella hídrica azul para las etapas del proceso en el Frigorífico Vijagual, se relacionan en el ANEXO A y ANEXO B, mientras que para el Frigorífico Jongovito se relacionan en el ANEXO C donde se muestra un solo dato de consumo de agua total, ya que aquí se encuentra incorporada el agua de consumo y el agua de lavado pues no fue posible obtenerlas por separado.

Por el contrario, para la estimación de la huella hídrica del proceso de beneficio si fue posible conocer la porción de agua retornada por lo que se calculó teniendo en cuenta la Ecuación 2-1

Los datos de agua de consumo, agua de lavado y agua de retorno, dado en la relación $[m^3/mes]$ en el periodo de estudio y requeridos para el cálculo de huella hídrica azul, se relacionan en el ANEXO D y ANEXO E para los Frigoríficos Vijagual y Jongovito respectivamente.

3.2.1.2 Huella hídrica gris

Para el cálculo de huella hídrica gris, se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos y los valores límites máximos permisibles en vertimiento puntual de aguas residuales no domésticas generadas por actividades de beneficio en ganadería, los cuales están regulados por el Decreto 0631 de 2015. Se destaca que la estimación de huella hídrica gris se presenta para los dos periodos anuales de estudio (2015 y 2016), por disposición de información en el Frigorífico Vijagual, mientras que para el Frigorífico Jongovito solo fue posible realizar el cálculo de huella hídrica gris para el año 2016, ya que no se cuenta con datos de agua de retorno y caracterización fisicoquímica aguas arriba del frigorífico para el año 2015.

La estimación de huella hídrica gris en el proceso se realizó aplicando la Ecuación 2-3, en donde “L” representa la carga contaminante², “C_{máx}” la concentración máxima permitida según lo establecido por la Resolución 0631 de 2015, y “C_{nat}” la concentración natural del cuerpo receptor del vertimiento,³ para este último, se tuvo en cuenta los valores de concentración de cada parámetro aguas arriba del vertimiento en la quebrada El Aburrido para el Frigorífico Vijagual (ANEXO F) y los mismos parámetros en la quebrada La Loreana para el Frigorífico Jongovito (ANEXO G)

Los parámetros evaluados en la estimación de la huella hídrica gris corresponden a los regulados por la Resolución 0631 de 2015, en donde se precisan las siguientes aclaraciones:

- En el caso del cálculo de los SSED, el Frigorífico Vijagual no presenta reporte de la concentración natural aguas arriba del vertimiento, por lo que por simplicidad y

² La carga contaminante (L) se calculó multiplicando el caudal promedio anual del vertimiento a la salida de la PTAR [L/s], con la concentración de cada contaminante (DQO, DBO₅, SST, SSED, grasas y aceites, cloruros y sulfatos) en la relación [mg/L].

³ La concentración natural del cuerpo receptor (C_{nat}) hace referencia al cuerpo de agua libre de manipulación antrópica, pero se debe tener en cuenta que no siempre se encontrará en su estado netamente natural, ya que se pueden presentar procesos antrópicos aguas arriba que influyan en el reporte realizado.

al estimar que es una concentración baja, el valor de C_{nat} para ese parámetro será cero.

- Solo se realizó el cálculo para los parámetros de: DQO, DBO_5 , SST, SSED, grasas y aceites, cloruros y sulfatos, los demás parámetros que regula la normatividad, no se tomaron en cuenta, ya que no establecen un límite máximo permisible, sino que hacen referencia a un análisis y reporte de los resultados a la autoridad ambiental competente.
- Para todos los parámetros que reporten valores con la condición de “menor” (<), se tomó exactamente el valor reportado.
- El parámetro de pH no se tuvo en cuenta para calcular la huella hídrica gris, ya que no representa un contaminante sino una característica fisicoquímica del vertimiento.

En el ANEXO H se encuentran los valores del análisis de cada parámetro fisicoquímico en la salida de la PTAR con la que cuenta el Frigorífico Vijagual para los años 2015 y 2016. En el ANEXO I se encuentran igualmente estos valores para el Frigorífico Jongovito para el año 2016, en ambos se comparan con los límites permisibles de la normatividad vigente.

3.3 Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica

El análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica se realizó en cuatro pasos:

- **Paso 1.** Identificar la localización de la cuenca hidrográfica y de los procesos analizados por cada Frigorífico, con el fin de afirmar si los procesos son geográfica y temporalmente explícitos, es decir si se desarrollan en un lugar tiempo determinado. Para el caso de estudio se afirma un tiempo determinado: años 2015 y 2016; y un lugar definido: Frigorífico Vijagual en la ciudad de

Bucaramanga y Frigorífico Jongovito en la ciudad de San Juan de Pasto, cuyas fuentes hidrográficas son la quebrada El Aburrido y la quebrada La Loreana, respectivamente.

- **Paso 2.** Identificar qué tan sostenible es la situación hídrica en cada cuenca de los Frigoríficos y relacionarlos con la existencia (si la hay) de *Hot Spots*, conocidos como puntos críticos, los cuales se clasifican en base a: 1) si la huella hídrica es significativa en el lugar y periodo de estudio y 2) si el nivel de contaminación es significativo en relación a la escasez de agua en el lugar y periodo de estudio.
- **Paso 3.** Con el desarrollo del paso uno, realizar un análisis que responda a qué tan sostenible es la huella hídrica del proceso cárnico y qué métodos o procesos aplicaría para reducirla o evitarla en un gran porcentaje.
- **Paso 4.** Con el desarrollo del paso dos, realizar un análisis del nivel de sostenibilidad según los *Hot Spots*. En caso de tener datos disponibles hacer un comparativo entre la huella hídrica azul con el agua azul y la huella hídrica gris con el agua gris, y finalizar con un análisis en la participación de actores de la cuenca y el impacto a nivel ambiental.

3.4 Formulación de respuesta de la huella hídrica

Al realizar la evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica relacionada con la participación y el impacto a nivel ambiental, se pueden generar estrategias a corto, mediano y largo plazo, no solo a nivel de cuenca por la sostenibilidad hídrica, sino a nivel del proceso para optimizarlo y hacerlo más eficiente buscando la participación y responsabilidad de los actores involucrados, como estrategia que fundamente el conocimiento, adaptación y regulación al cambio climático.

Capítulo 4. Resultados y análisis

El cuarto capítulo enmarca los aspectos relacionados a los resultados y análisis en donde se presentan por separado la contabilidad de la huella hídrica en razón a la estimación y evaluación de la huella hídrica de los dos Frigoríficos, al igual que la familia de las dos huellas (azul y gris); también se encuentran los restantes pasos como el establecimiento de metas y alcance, la evaluación de la sostenibilidad y la formulación de respuesta.

Contenido

	Pág.
4.1 Establecimiento de metas y alcance.....	16
4.2 Cálculo de la huella hídrica.....	18
4.2.1 Frigorífico Vijagual.....	18
4.2.1.1 Huella hídrica azul.....	21
4.2.1.2 Huella hídrica gris.....	26
4.2.1.3 Huella hídrica total del proceso cárnico de reses.....	27
4.2.2 Frigorífico Jongovito.....	30
4.2.2.1 Huella hídrica azul.....	32
4.2.2.2 Huella hídrica gris.....	37
4.2.2.3 Huella hídrica total del proceso cárnico de reses.....	38
4.2.3 Huellas hídricas de los Frigoríficos para 2016.....	39
4.3 Análisis de evaluación de la sostenibilidad ambiental.....	41
4.3.1 Frigorífico Vijagual.....	42
4.3.1.1 Paso 1: Ubicación espacio temporal.....	42
4.3.1.2 Paso 2: Situación hídrica de la cuenca – quebrada El Aburrido.....	42
4.3.2 Frigorífico Jongovito.....	46
4.3.2.1 Paso 1: Ubicación espacio temporal.....	46
4.3.2.2 Paso 2: Situación hídrica de la cuenca – quebrada La Loreana.....	47
4.4 Formulación de respuesta.....	50

4.1 Establecimiento de metas y alcance

Teniendo en cuenta los interrogantes planteados para esta fase de estudio según metodología Arjen Y. Hoekstra *et al.*, (2011), se obtuvo como resultado las metas y alcances que se puede evidenciar en Cuadro 4-1.

Cuadro 4-1. Definición de meta y alcance para los Frigoríficos Vijagual y Jongovito

Indicador	Meta	Alcance
Ámbito de aplicación de la contabilidad de la huella hídrica		
¿Cuál es el objetivo final?	Cálculo de la huella hídrica en los Frigoríficos de estudio	Realizar una estimación de consumo de agua a través del indicador de la huella hídrica
¿Hay un foco en una etapa en particular?	Estudio de las fases de evaluación de huella hídrica	Contabilidad Evaluación de la sostenibilidad ambiental Formulación de respuesta
¿Cuál es el alcance del estudio?	Evaluación de la huella hídrica	Huella hídrica directa Huella hídrica azul y gris
¿Cómo afecta la dimensión del tiempo?	Evaluación de dos años en concreto	Años 2015 y 2016
¿Qué proceso se debe considerar?	Proceso específico	Proceso de beneficio de la cadena cárnica de reses
¿A qué escala?	El mismo proceso en diferentes lugares.	Proceso de beneficio en Frigorífico Vijagual (Bucaramanga) y Frigorífico Jongovito (San Juan de Pasto).
¿En qué momento se debe truncar el análisis al remontarse a lo largo de la cadena de	Se estiman procesos que contribuyan "significativamente" a la huella hídrica en	Se trunca el consumo de agua debido a operarios, administrativos y transporte

suministro?	general	
¿Qué nivel de clarificación espacio-temporal?	Nivel C	Captación en un campo específico
Ámbito de aplicación de la evaluación de la sostenibilidad huella hídrica		
¿Cuál es la contribución de la huella hídrica a la sostenibilidad ambiental?	Aspectos a analizar	Sostenibilidad de la huella hídrica azul y gris Dimensión ambiental Identificación de <i>Hot Spots</i> específicos (si los hay).
Ámbito de aplicación para la formulación de respuestas		
¿Qué se puede hacer y por qué personas para conseguir reducir la huella hídrica de esa zona, por cuánto tiempo y en qué medida?	Sensibilización	Formular propuestas que permitan reducir el impacto en los sistemas de agua y en la cadena de suministro por parte de los operarios a corto, mediano y plazo.

Fuente: modificado por las autoras (Arjen Y Hoekstra *et al.*, 2011).

4.2 Cálculo de la huella hídrica

Los resultados de la estimación del cálculo de la huella hídrica tanto para el Frigorífico Vijagual y el Frigorífico Jongovito se presentan a continuación:

4.2.1 Frigorífico Vijagual

El Frigorífico Vijagual tiene ubicada su bocatoma en la quebrada El Aburrido con una concesión de 50 L/s la cual es tratada en la PTAR y en donde se genera el vertimiento de aguas residuales aguas abajo. Dadas las condiciones de toma y vertimiento de agua, para el cálculo de huella hídrica del proceso, se tomó el agua de vertimiento como agua retornada y no como uso consuntivo de agua, ya que no se presenta trasvase porque la porción de agua de consumo no retorna al mismo efluente en el mismo periodo de tiempo.

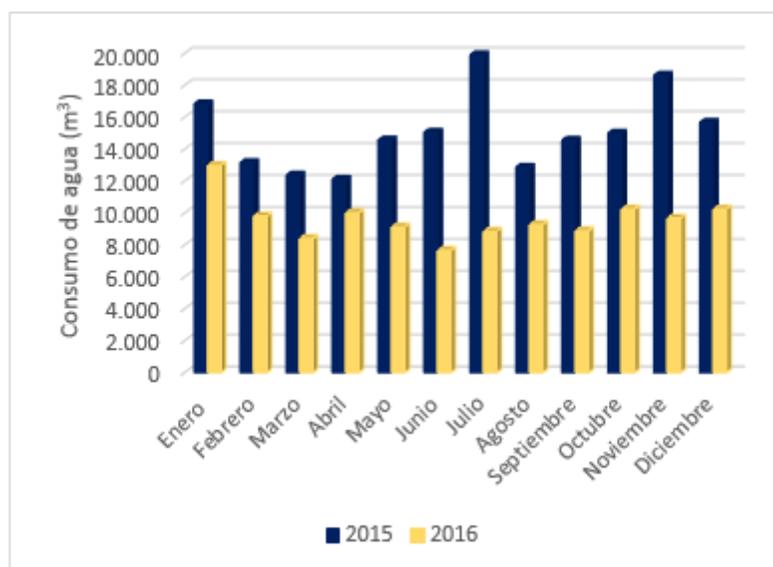
Para el periodo de estudio, en el Frigorífico se presentaron consumos totales de agua de 180.670 m³ y de 115.177 m³ y beneficio de 117.304 reses y 97.475 reses para los años 2015 y 2016 respectivamente, por lo que se puede establecer que para el año 2015 el requerimiento hídrico de cada res fue mayor con respecto al año 2016, en donde se evidencia un consumo por unidad de masa de cada res de 3,08 L/Kg y 2,36 L/Kg para 2015 y 2016 respectivamente, asumiendo que el promedio de peso vivo de un animal es de 500 Kg, peso óptimo de una res para beneficio por su rendimiento de producto (Tabla 4-1).

Tabla 4-1. Consumo de agua anual y promedio anual por res en el Frigorífico Vijagual

	Consumo de agua		Reses	Consumo anual por Kg de res
	m ³ /año	L/año	Unidades	L/Kg
2015	180.670	180.670.070	117.304	3,08
2016	115.177	115.177.240	97.475	2,36
Promedio	147.924	147.923.655	107.390	2,72

Fuente: autoras.

Según los reportes de consumo de agua y número de reses beneficiadas al mes (ANEXO J), y la Gráfica 4-1 se puede evidenciar que para el año 2015, el mayor consumo de agua en su orden se presentó para los meses de julio y noviembre con 19.902 m³ y 18.627 m³ de consumo respectivamente. Para el año 2016 se presenta la misma tendencia en los meses de enero, diciembre y octubre con consumos de 12.985 m³, 10.251 m³ y 10.250 m³, respectivamente.

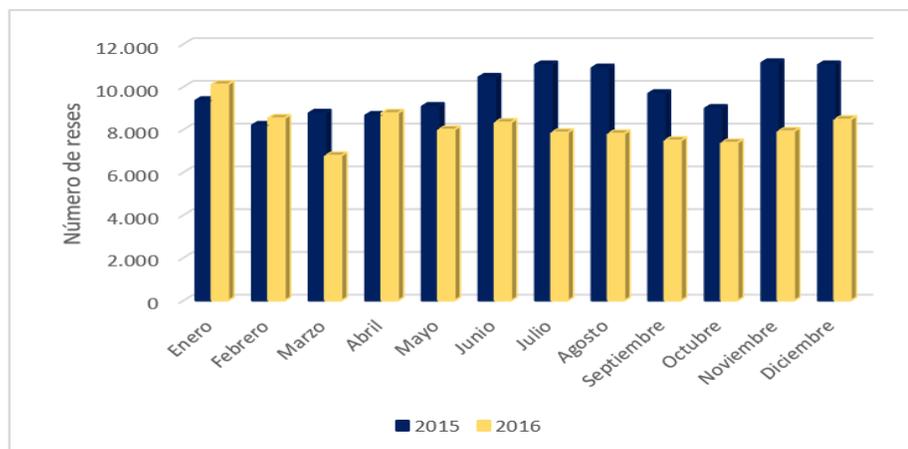
Gráfica 4-1. Consumo de agua mensual para 2015 y 2016 en el Frigorífico Vijagual

Fuente: autoras.

La significativa disminución del consumo de agua de 2015 a 2016 en el Frigorífico, obedece a dos aspectos: 1) disminución del número de reses beneficiadas y 2) mejoras en la planta que se realizaron para cumplir la meta establecida por la organización, como adecuaciones en los micromedidores y mangueras; en la parte de corrales se realizó una adaptación en la profundidad de los bebederos con el fin de evitar que el agua se estanque por periodos de tiempo prolongados, incorporando a su vez dosificadores automáticos.

Por su parte, el beneficio de reses para el año 2015 fue superior al año 2016, en donde se disminuyó a 19.829 reses. En la Gráfica 4-2, se evidencia que para el año 2015, los meses con mayor número de reses beneficiadas fue en julio, noviembre y diciembre; mientras que para el año 2016 fue en el mes de enero. Meses en los cuales en su mayoría hubo igualmente mayor consumo de agua (excepto diciembre 2015). Por lo que se podría decir y como sería lógico que hay una relación directa entre estas dos variables. Sin embargo, los datos muestran que en meses como octubre de 2016 hay un uso indiscriminado de agua respecto al número de reses beneficiadas.

Gráfica 4-2. Relación de reses beneficiadas por mes para los años 2015 y 2016 en el Frigorífico Vijagal



Fuente: autoras.

4.2.1.1 Huella hídrica azul

A continuación se presenta la huella hídrica azul en cada una de las etapas del proceso cárnico en reses:

- Huella hídrica azul para las etapas del proceso

Las etapas de beneficio del Frigorífico corresponden a cuatro: beneficio, desposte, vísceras y subproductos; para el cálculo se empleó la Ecuación 3-1, en donde se relacionó mensualmente el volumen de agua consumida y de agua de lavado. Los resultados de la estimación de la huella hídrica azul por cada proceso se muestran en la Tabla 4-2.

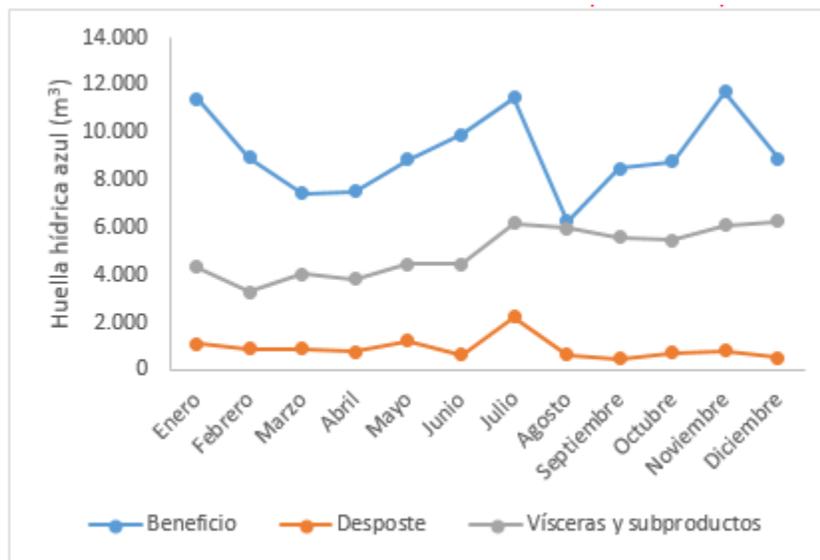
Tabla 4-2. Estimación huella hídrica azul en m³ para las etapas del proceso en reses en el periodo de estudio para el Frigorífico Vijagual

	Beneficio		Desposte		Visceras y subproductos	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Enero	11.415	5.542	1.086	1.190	4.337	6.253
Febrero	8.972	4.636	902	1.042	3.278	4.135
Marzo	7.446	3.596	897	621	4.021	4.186
Abril	7.510	4.383	768	470	3.822	5.159
Mayo	8.866	4.205	1.239	519	4.458	4.400
Junio	9.923	4.368	648	296	4.477	2.986
Julio	11.481	4.368	2.227	223	6.193	4.262
Agosto	6.260	4.710	633	318	5.964	4.248
Septiembre	8.510	4.281	455	423	5.584	4.180
Octubre	8.790	5.097	736	805	5.471	4.348
Noviembre	11.724	4.294	790	343	6.113	5.038
Diciembre	8.905	5.290	523	423	6.247	4.537
Huella Hídrica Azul (m³/año)						
2015	109.801	61%	10.905	6%	59.964	33%
2016	54.771	48%	6.673	6%	53.733	47%
Huella Hídrica Azul (m³/periodo de estudio)						
2015 - 2016	164.572		17.578		113.697	

Fuente: autoras.

Teniendo en cuenta el reporte de la Tabla 4-2 y la Gráfica 4-3, se puede evidenciar que la mayor huella hídrica azul para el año 2015 se presenta en la etapa de beneficio, con una participación del 61%; en esta etapa el consumo de agua es significativo respecto a los demás, debido al constante lavado tanto de reses como de pisos por el sangrado generado tras la muerte del animal, además de la limpieza de los operarios y la esterilización de cuchillos.

Gráfica 4-3. Resultados del cálculo de huella hídrica azul en m^3 /mes para las etapas de beneficio, desposte, vísceras y subproductos en el año 2015 - Frigorífico Vijagual



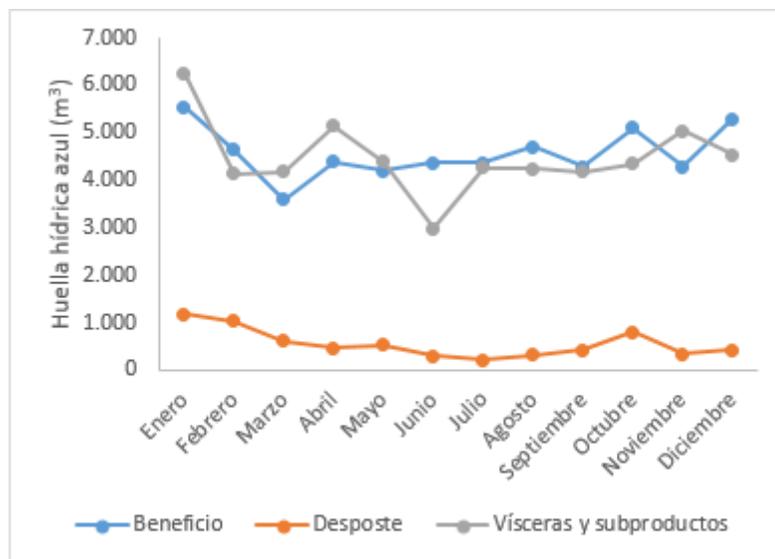
Fuente: autoras.

La segunda etapa con mayor huella hídrica azul es la etapa de vísceras y subproductos, que representa el 33%; si bien en esta etapa no hay sangrado como en la etapa anterior, el consumo de agua para el lavado de vísceras es contante, ya que las mangueras en este proceso permanecen abiertas la mayor parte de tiempo.

La etapa de desposte presenta menor huella hídrica azul pues el consumo de agua representa tan solo el 6% del consumo total.

En el caso del año 2016, la huella hídrica azul para cada etapa del proceso se puede apreciar en la Gráfica 4-4. Teniendo en cuenta esta gráfica y la Tabla 4-2 se muestra que hay una mayor huella hídrica azul en las etapas de beneficio, vísceras y subproductos, representadas con un 48% y 47%, respectivamente de la huella hídrica azul total. Datos muy similares para dos etapas diferentes, donde según las actividades realizadas en cada una de ellas se evidencia un posible consumo de agua excesivo en la etapa de vísceras y subproductos.

Gráfica 4-4. Resultados del cálculo de huella hídrica en m³/mes para las etapas de beneficio, desposte, vísceras y subproductos en el año 2016 - Frigorífico Vijagual



Fuente: autoras.

Teniendo en cuenta la información de la Tabla 4-2 y la Gráfica 4-2, Es posible hacer una comparación entre las huellas hídricas de los años 2015 y 2016 en cada una de las

etapas del proceso, se puede apreciar que en la etapa de beneficio durante todos los meses del año 2015 el consumo de agua fue mayor respecto al año 2016, esto posiblemente a que en este periodo el número de reses sacrificadas fue mayor, siendo 19.829 reses más que para el año 2016.

En cuanto a la etapa de desposte, se puede observar que el consumo de agua en los meses de enero y septiembre es similar para los dos años de estudio, sin embargo el número de reses sacrificadas no lo es, especialmente para el mes de septiembre. Además, es sobresaliente el consumo de agua en el mes de julio para el año 2015, donde si bien fueron sacrificadas un buen número de reses respecto a los otros meses del mismo año, no es justificable dicho consumo de agua en términos operativos.

En cuanto al consumo de agua en la etapa de vísceras y subproductos, se puede evidenciar que en la mayoría de meses este indicador es superior para el año 2016, incrementando en un 14%.

- Huella hídrica azul para el proceso cárnico de reses

En la Tabla 4-3, se encuentran los resultados de huella hídrica azul en el proceso cárnico en reses, las cuales se calcularon empleando la Ecuación 2-1.

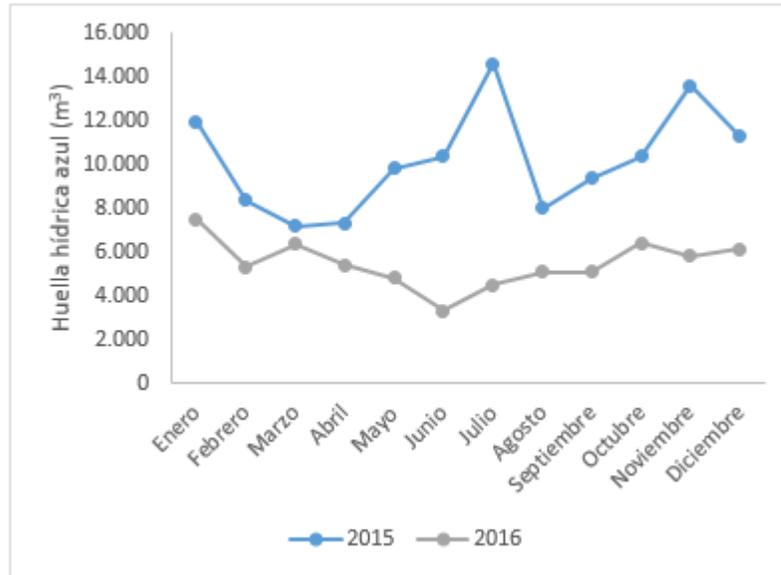
Tabla 4-3. Estimación huella hídrica azul para el proceso cárnico en reses en m³/mes en el periodo de estudio - Frigorífico Vijagual

	2015	2016
Enero	11.939	7.485
Febrero	8.362	5.303
Marzo	7.152	6.361
Abril	7.290	5.395
Mayo	9.802	4.813
Junio	10.372	3.297
Julio	14.586	4.473
Agosto	7.986	5.090
Septiembre	9.364	5.082
Octubre	10.361	6.381
Noviembre	13.585	5.806
Diciembre	11.262	6.149
Huella Hídrica Azul (m³/año)		
2015	122.060	
2016	65.633	
Huella Hídrica Azul (m³/periodo de estudio)		
187.693		

Fuente: autoras.

Con los datos de la Tabla 4-3, se elaboró la Gráfica 4-5, en ella se evidencia que para todo el proceso cárnico en reses teniendo en cuenta el agua de consumo, agua de lavado y agua retornada, coincide que para el año 2015 la huella hídrica es superior en comparación a la del año 2016, como se estimó en análisis anteriores. Se puede apreciar que para el año 2015 los meses con mayor huella hídrica son en su orden julio, noviembre y enero, mientras que para el año 2016 el mes con mayor huella hídrica es enero, lo cual está relacionado de manera directa con el número de reses sacrificadas.

Gráfica 4-5. Resultados del cálculo de huella hídrica azul en m³/mes para el proceso cárnico en reses en los años 2015 y 2016 para el Frigorífico Vijagal



Fuente: autoras.

4.2.1.2 Huella hídrica gris

Para determinar la huella hídrica gris del proceso cárnico en reses, al momento de calcular la carga contaminante se tomaron los caudales promedio anuales del vertimiento a la salida de la PTAR, que corresponden a 13,228 L/s y 7,314 L/s para los años 2015 y 2016, respectivamente. En la Tabla 4-4 se hace el reporte de los resultados por parámetro.

Tabla 4-4. Cálculo huella hídrica gris ($m^3/año$) para el proceso cárnico en reses en el periodo de estudio - Frigorífico Vijagual

Parámetro	Unidades	2015	2016
Generales			
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	188.651	111.251
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	189.067	79.876
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	19.403	10.728
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	8.343	4.613
Grasas y Aceites	mg/L	508.687	61.313
Iones			
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	202.470	103.370
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	10.044	10.891

Fuente: autoras.

En la Tabla 4-4 se evidencia que la huella hídrica gris es mayor para el año 2015 en relación al año 2016. Para el año 2015 este indicador se ve afectado por la carga contaminante de grasas y aceites, mientras que para el año 2016 este valor se ve afectado por la materia orgánica expresada en DQO, siendo estos parámetros los que determinan la huella hídrica gris para cada año. Estos resultados concuerdan con Pabón & 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. La concentración depende de la cantidad de animales sacrificados, de la dieta del animal, la forma de recolección de productos y subproductos y la concientización del uso del recurso dentro del proceso cárnico. Además, expresa 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 (D. Muñoz, 2005).

4.2.1.3 Huella hídrica total del proceso cárnico de reses

La huella hídrica del proceso cárnico en reses en el Frigorífico se asocia la huella hídrica azul y gris, las cuales se representan en Tabla 4-5 y se esquematizan en la Gráfica 4-6 y

Gráfica 4-7 con una relación porcentual de las mismas para el año 2015 y 2016, respectivamente.

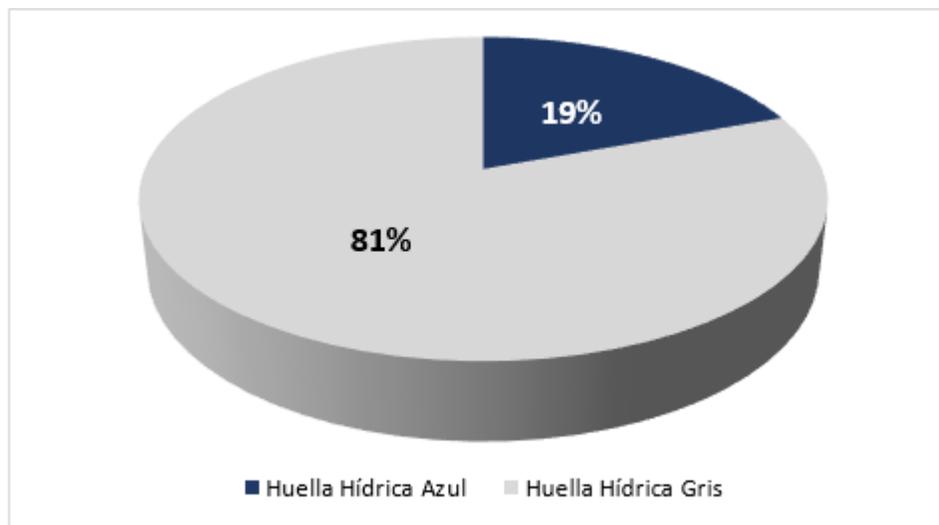
Tabla 4-5. Huella hídrica total del proceso cárnico en reses para el Frigorífico Vijagual

	Huella Hídrica Azul		Huella Hídrica Gris		Huella Hídrica Total		Número de reses año	HH Total por Kg res L/Kg res
	m ³ /año	%	m ³ /año	%	m ³ /año	%		
2015	122.060	19%	508.687	81%	630.747	100%	117.304	11
2016	65.633	37%	111.251	63%	176.884	100%	97.475	4
Periodo de estudio	93.847	23%	309.969	77%	403.815	100%	107.390	7

Fuente: autoras.

Una vez realizada la totalidad de los diferentes colores de la huella hídrica (azul y gris) para el año 2015, en la Gráfica 4-6 se revela que la huella hídrica gris es la más relevante con el 81% del total, mientras que la huella hídrica azul representa el 19%, pudiendo afirmar que el proceso cárnico en reses en el frigorífico Vijagual se ve afectado por el nivel de contaminación en el vertimiento y a la asimilación del mismo en el cuerpo receptor (quebrada El Aburrido). Finalmente se evidencia una huella hídrica de 11 L/Kg res. Cabe mencionar que para obtener este resultado se tuvo en cuenta como peso promedio de una res, 500 Kg.

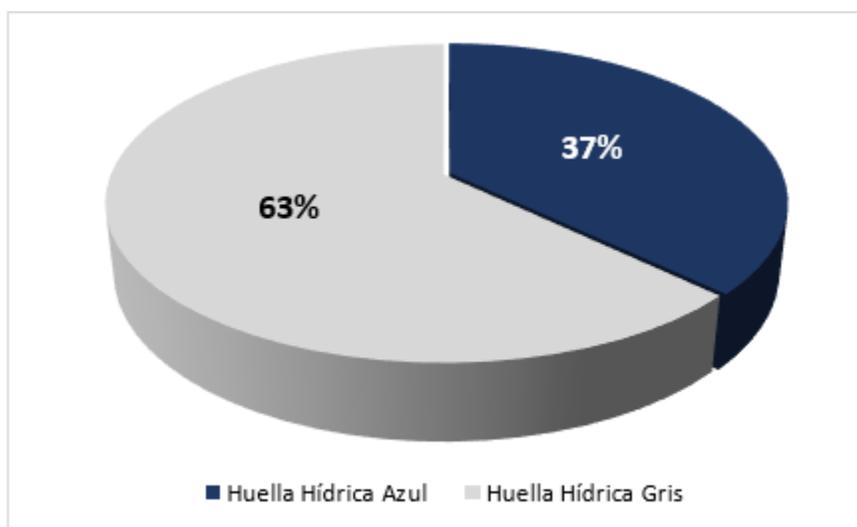
Gráfica 4-6. Huella hídrica total para el año 2015 en el Frigorífico Vijagual



Fuente: autoras.

En la Gráfica 4-7 se muestra similar comportamiento para el año 2016, siendo la mayor proporción la huella hídrica gris con el 63% del total, seguida por la huella azul con el 37% y una huella hídrica de 4 L/Kg res. De este modo, se puede evidenciar al igual que para el año 2015, una huella gris de alto impacto por el grado de contaminación generado tras el proceso cárnico en reses y al previo tratamiento residual.

Gráfica 4-7. Huella hídrica total para el año 2016 en el Frigorífico Vijagual



Fuente: autoras.

4.2.2 Frigorífico Jongovito

El Frigorífico Jongovito cuenta con el servicio de agua potable, proporcionado por un bombeo específico desde la planta de potabilización de Mijitayo perteneciente a EMPOPASTO, cuenta con un sistema de alcantarillado construido desde la empresa hasta la quebrada La Loreana con una longitud de 1282 m, fuente receptora de los vertimientos después de ser tratados en la PTAR.

Para el periodo de estudio, en el Frigorífico se presentaron consumos totales de agua de 7.527 m³ y de 8.850 m³ y beneficio de 23.256 reses y 22.513 reses para los años 2015 y 2016 respectivamente, por lo que se puede establecer que para el año 2016 el requerimiento hídrico de cada res fue mayor con respecto al año 2015, en donde se evidencia una diferencia de 0.14 L de consumo por unidad de masa de res (Kg), al presentarse un consumo por kilogramo de res de 0.65 L y 0.79 L para los años 2015 y 2016, respectivamente (Tabla 4-6). Para este cálculo, se tomó como peso promedio de cada res 500 Kg, ya que estimar en planta es complejo cuantificar el agua de consumo de cada res con diferente peso vivo.

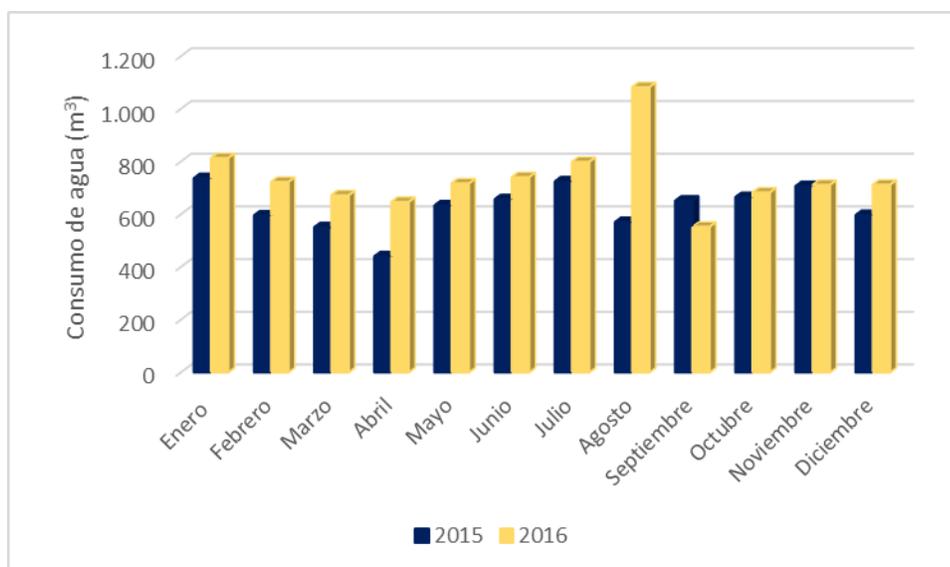
Tabla 4-6. Consumo de agua anual para el Frigorífico Jongovito

	Consumo de agua		Reses Unidades	Consumo anual por Kg de res L/Kg
	m ³ /año	L/año		
2015	7.527	7.527.194	23.256	0,65
2016	8.850	8.849.710	22.513	0,79
Promedio	8.188	8.188.452	22.885	0,72

Fuente: autoras.

Según los reportes de consumo de agua y número de reses beneficiadas al mes (ANEXO K), para el año 2015, el mayor consumo de agua se presentó para los meses de enero, julio y noviembre con 737 m³, 725 m³ y 706 m³, respectivamente, para el año 2016 se presenta la misma tendencia en los meses de enero, julio y agosto con consumos de 813 m³, 799 m³ y 1.082 m³, respectivamente. Particularmente en el mes de abril de 2015 se presentó un consumo muy bajo de 440 m³ en relación a la tendencia que se mantuvo durante todo el año, mientras que para el año 2016, el mes con menor consumo fue en septiembre con 552 m³ (Gráfica 4-8).

Gráfica 4-8. Consumo de agua mensual para 2015 y 2016 en el Frigorífico Jongovito

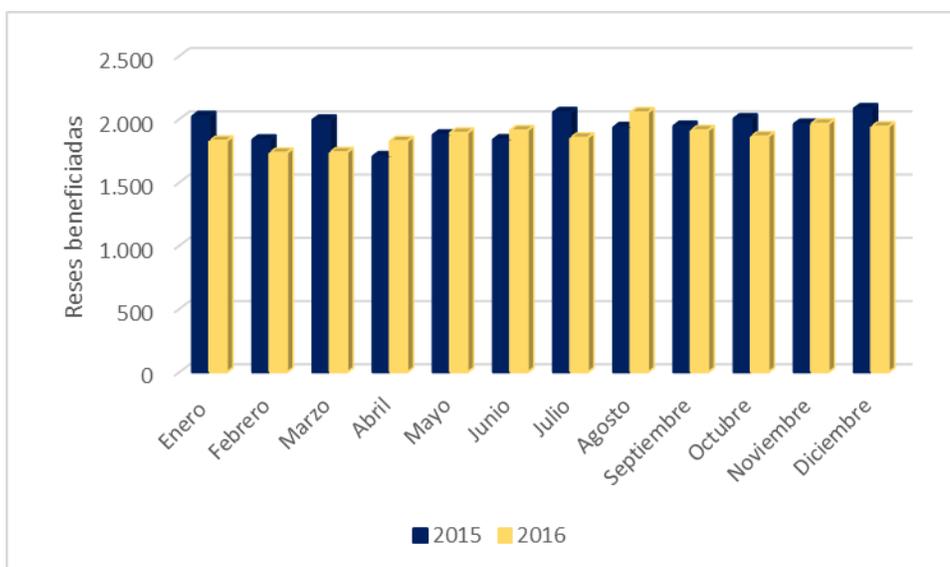


Fuente: autoras.

Por su parte, el beneficio de reses para el año 2015 fue superior al año 2016, en donde se disminuyó a 743 reses. En la Gráfica 4-9, se evidencia que para el año 2015, los meses con mayor número de reses beneficiadas fueron en enero, julio, octubre y diciembre, de los cuales los meses de enero y julio concuerdan con el mayor consumo de agua; mientras que para el año 2016, se tiene como dato significativo en el mes de agosto en el que se puede evidenciar la relación directa entre el número de reses y el

consumo de agua. Sin embargo, esta proporcionalidad no se muestra en todos los meses, existiendo meses en los que si bien no se sacrifican mayor número de reses, el consumo del recurso hídrico es alto, razón por la cual se puede predecir un excesivo e injustificado consumo de agua.

Gráfica 4-9. Relación de reses beneficiadas por mes para los años 2015 y 2016 en el Frigorífico Jongovito



Fuente: autoras.

4.2.2.1 Huella hídrica azul

A continuación se presenta la huella hídrica azul en cada una de las etapas del proceso cárnico en reses:

- **Huella hídrica azul para las etapas del proceso**

Para el Frigorífico Jongovito se agruparon las etapas del proceso general de beneficio de reses en: beneficio, desposte, vísceras y subproductos; para el cálculo se empleó la Ecuación 3-1, en donde se relacionó mensualmente el volumen de agua consumida y lavado. Los resultados de la estimación de la huella hídrica azul por cada proceso se muestran en la Tabla 4-7.

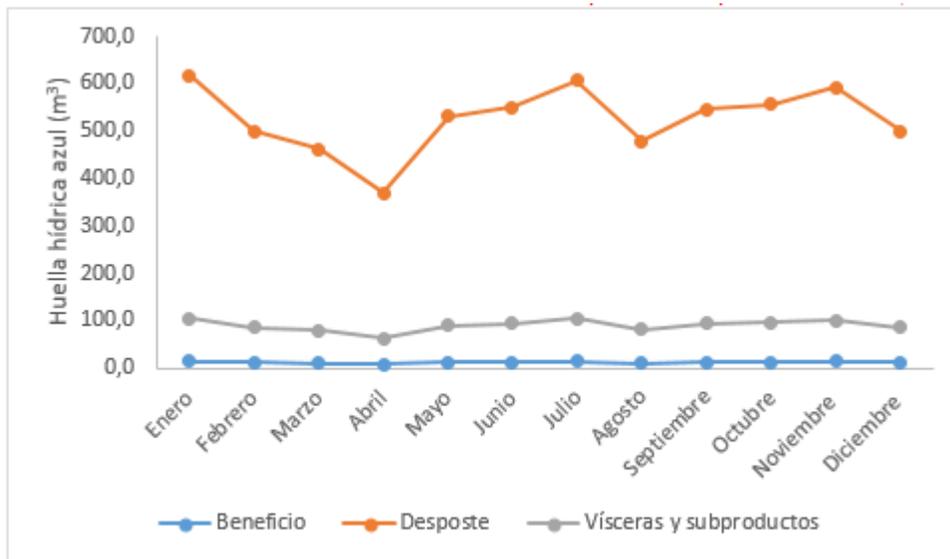
Tabla 4-7. Estimación huella hídrica azul en m³ para las etapas del proceso en reses en el periodo de estudio para el Frigorífico Jongovito

	Huella Hídrica Azul (m ³ /mes)					
	Beneficio		Desposte		Vísceras y subproductos	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Enero	14,0	17,2	617,4	665,5	105,4	130,4
Febrero	11,2	15,2	499,1	590,8	85,1	116,5
Marzo	10,5	14,2	461,2	549,2	78,7	108,3
Abril	8,2	13,7	369,2	529,3	62,9	103,7
Mayo	12,0	15,1	531,2	587,0	90,6	114,6
Junio	12,4	15,6	550,6	606,5	93,9	118,3
Julio	13,8	16,9	607,1	653,9	103,6	128,0
Agosto	10,8	15,8	477,9	947,6	81,5	118,7
Septiembre	12,3	11,7	545,9	452,5	93,1	88,2
Octubre	12,6	14,4	556,9	558,5	95,0	109,2
Noviembre	13,4	15,0	591,9	582,8	101,0	113,3
Diciembre	11,4	15,0	500,1	583,4	85,4	113,6
	Huella Hídrica Azul (m ³ /año)					
2015	143	2%	6.308	84%	1.076	14%
2016	180	2%	7.307	83%	1.363	15%
	Huella Hídrica Azul (m ³ /periodo de estudio)					
2015 - 2016	322		13.615		2.439	

Fuente: autoras.

Teniendo en cuenta el reporte de la Tabla 4-7 y llevando estos resultados a la Gráfica 4-10, se puede evidenciar que la mayor huella hídrica azul para el año 2015 se presenta en la etapa de desposte, con una participación del 84%; en esta etapa el consumo de agua es significativo respecto a los demás, posiblemente a que ésta comprende más procesos respecto a las etapas de beneficio y vísceras. Además, en la etapa de desposte hay mayor cantidad de mangueras que son manipuladas por un mayor número de operarios y que entre una y otra de estas manipulaciones estas quedan con goteo. Igualmente, existe una constante limpieza de los operarios y la esterilización de cuchillos.

Gráfica 4-10. Resultados del cálculo de huella hídrica azul en m³/mes para las etapas de beneficio, desposte, vísceras y subproductos en el año 2015 - Frigorífico Jongovito



Fuente: autoras.

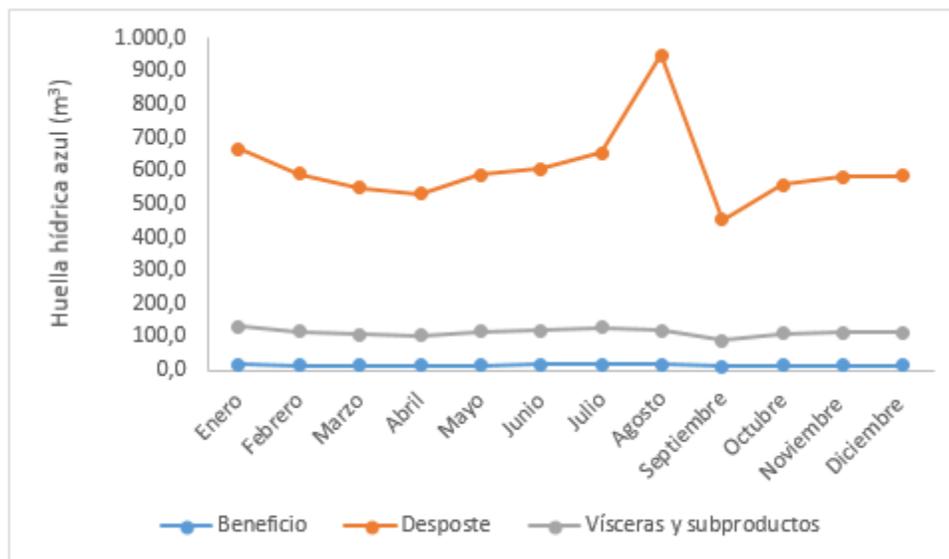
La segunda etapa con mayor huella hídrica azul es la etapa de vísceras, que representa el 14% del consumo total; en esta etapa se presenta mayor consumo de agua respecto a la etapa de beneficio ya que existen una micromangueras que están alimentando los tanques donde son lavadas las vísceras que permanecen abiertas todo el tiempo del proceso.

La etapa de beneficio presenta la menor huella hídrica azul pues el consumo de agua representa tan solo el 2% del consumo total; además se puede evidenciar que durante todo el año este consumo es similar, no difiere entre un mes y otro.

La huella hídrica azul para cada etapa del proceso en el año 2016 se puede apreciar en la Gráfica 4-11, en donde se muestra que al igual que para el año 2015, hubo un mayor

consumo de agua y por ende una mayor huella hídrica azul en la etapa de desposte, seguida de las etapas de vísceras y beneficio.

Gráfica 4-11. Resultados del cálculo de huella hídrica en m³/mes para las etapas de beneficio, desposte, vísceras y subproductos en el año 2016 - Frigorífico Jongovito



Fuente: autoras.

Para el caso del Frigorífico Jongovito no es posible hacer una comparación entre los periodos 2015 y 2016 de las huellas hídricas en cada etapa del proceso, ya que estos datos se tratan de una aproximación y por tanto no corresponden exactamente a los periodos de estudio.

- Huella hídrica azul para el proceso cárnico de reses

En la Tabla 4-8, se encuentran los resultados de huella hídrica azul en el proceso cárnico en reses, las cuales se calcularon empleando la Ecuación 2-1.

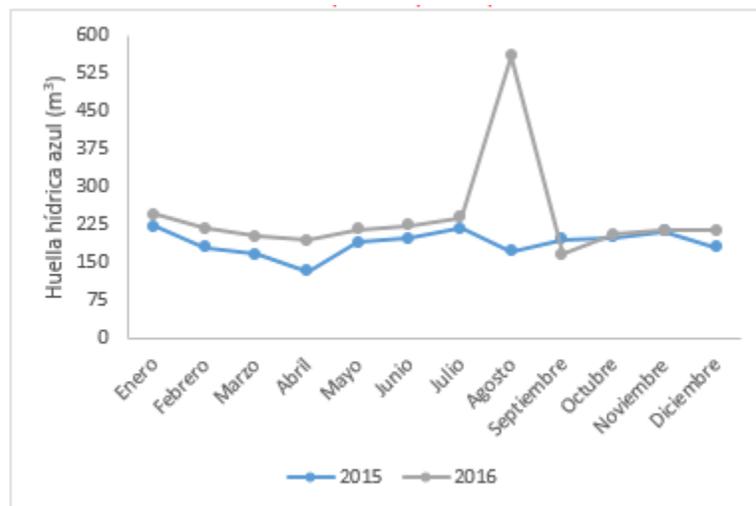
Tabla 4-8. Estimación huella hídrica azul para el proceso cárnico en reses en m³/mes en el periodo de estudio - Frigorífico Jongovito

	2015	2016
Enero	221	244
Febrero	179	217
Marzo	165	201
Abril	132	194
Mayo	190	215
Junio	197	222
Julio	217	240
Agosto	171	558
Septiembre	195	166
Octubre	199	205
Noviembre	212	213
Diciembre	179	214
Huella Hídrica Azul (m³/año)		
2015	2.258	
2016	2.889	
Huella Hídrica Azul (m³/periodo de estudio)		
5.147		

Fuente: autoras.

Con los datos de la Tabla 4-8, se elaboró la Gráfica 4-12, en ella se evidencia que para todo el proceso cárnico en reses para el año 2016 la huella hídrica azul es superior en comparación a la del año 2015. Se puede apreciar que para el año 2015 los meses con mayor huella hídrica son en su orden enero, julio y noviembre, mientras que para el año 2016 el mes con mayor huella hídrica es agosto, seguido de enero y julio, lo cual está relacionado con el número de reses sacrificadas. Sin embargo, meses como marzo y diciembre para el 2015 y marzo, octubre y diciembre para el 2016, se sacrificaron similar número de reses y el consumo de agua fue menor. Lo que da a estimar que hay periodos de tiempo donde el uso de agua es desaprovechado dentro del proceso cárnico de reses.

Gráfica 4-12. Resultados del cálculo de huella hídrica azul en m³/mes para el proceso cárnico en reses en los años 2015 y 2016 para el Frigorífico Jongovito



Fuente: autoras.

Según Arjen Y 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 si se puede remediar a través de la reducción de agua evaporada en dicho proceso, como por ejemplo con la reutilización del recurso hídrico.

4.2.2.2 Huella hídrica gris

Cabe recordar que para el Frigorífico Jongovito la huella hídrica gris se pudo determinar únicamente para el año 2016, debido a la falta de información de la caracterización fisicoquímica de aguas arriba del frigorífico para el año 2015.

Para determinar la huella hídrica gris del proceso cárnico en el año 2016, se calculó la carga contaminante teniendo en cuenta el valor del caudal promedio anual del vertimiento a la salida de la PTAR, que corresponde a 0.772 L/s. En la Tabla 4-9 se hace el reporte de los resultados por parámetro.

Tabla 4-9. Cálculo huella hídrica gris ($m^3/año$) para el proceso cárnico en reses en el año 2016 - Frigorífico Jongovito

Parámetro	Unidades	2016
Generales		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O_2/L	21.814
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg O_2/L	15.053
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	5.909
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	497
Grasas y Aceites	mg/L	12.173
Iones		
Cloruros	mg Cl/L	2.381
Sulfatos	mg SO_4/L	4.051

Fuente: autoras.

En la Tabla 4-9 se evidencia que la huella hídrica gris para el año 2016 se ve afectado por la DQO. Por lo que la huella hídrica gris para el año 2016 en el Frigorífico Jongovito es de 21.814 $m^3/año$. Al igual que para el Frigorífico Vijagual estos resultados concuerdan con Pabón & Suárez, (2009) quienes expresan que las aguas residuales provenientes de los frigoríficos, se caracterizan por presentar altas concentraciones de materia orgánica expresadas en DQO y DBO_5 .

4.2.2.3 Huella hídrica total del proceso cárnico de reses

La huella hídrica del proceso cárnico en reses en el Frigorífico se asocia la huella hídrica azul y gris, las cuales se representan en la Tabla 4-10 y se esquematiza en la Gráfica 4-13.

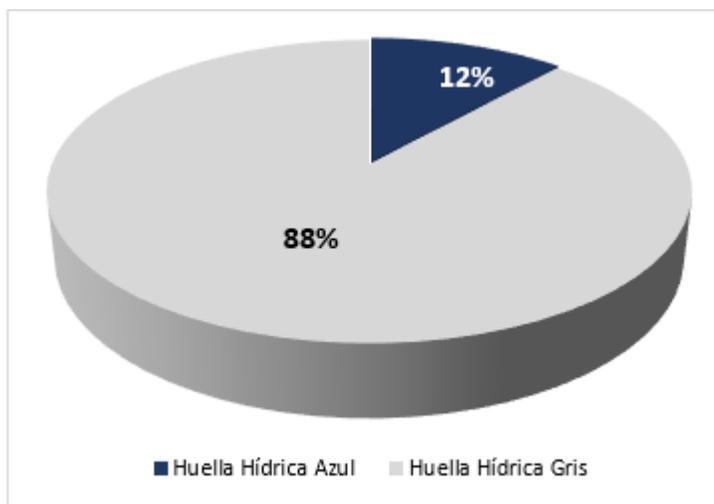
Tabla 4-10. Huella hídrica total del proceso cárnico en reses para el Frigorífico Jongovito

	Huella Hídrica Azul		Huella Hídrica Gris		Huella Hídrica Total		Número de reses año	HH Total por Kg res L/Kg res
	$m^3/año$	%	$m^3/año$	%	$m^3/año$	%		
2016	2.889	12%	21.814	88%	24.703	100%	22.513	2

Fuente: autoras.

La Gráfica 4-13 revela que la huella hídrica gris es la más relevante con el 88% de la huella hídrica total, por lo que la huella hídrica azul representa solo el 12%, de esta manera se puede afirmar que el nivel de contaminación en el vertimiento y la asimilación del mismo en el cuerpo receptor (quebrada La Loreana) es lo que más le aporta a este indicador. Finalmente se evidencia una huella hídrica total es de 2 L/Kg res.

Gráfica 4-13. Huella hídrica total para el año 2016 en el Frigorífico Jongovito



Fuente: autoras.

4.2.3 Huellas hídricas de los Frigoríficos para 2016

La huella hídrica azul y gris calculada para los Frigoríficos se muestra en la Tabla 4-11, en donde solo se pudo hacer la comparación para el año 2016 ya que para el Frigorífico Jongovito no fue posible realizar el cálculo de la huella hídrica gris en 2015.

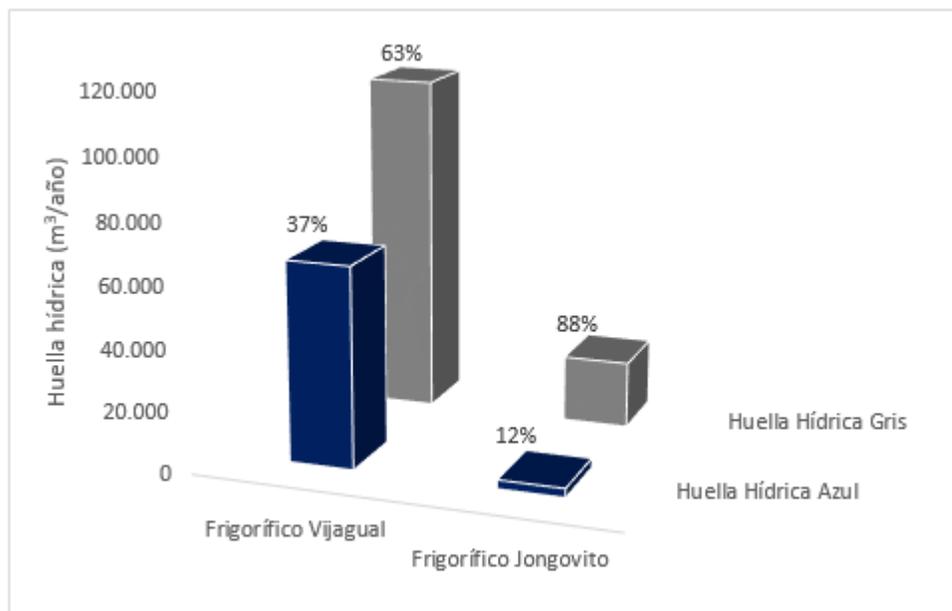
Tabla 4-11. Huella hídrica azul y gris para los Frigoríficos Vijagual y Jongovito en 2016

	Huella Hídrica Azul		Huella Hídrica Gris		Huella Hídrica Total		Número de reses	HH Total por Kg res
	m ³ /año	%	m ³ /año	%	m ³ /año	%	año	L/Kg res
Frigorífico Vijagual	65.633	19%	111.251	63%	176.884	100%	97.475	4
Frigorífico Jongovito	2.889	12%	21.814	88%	24.703	100%	22.513	2

Fuente: autoras.

De la tabla anterior, se puede apreciar que la mayor huella hídrica azul la lidera el Frigorífico Vijagual, lo cual puede deberse al mayor consumo hídrico (115.177 m³) y al número de reses beneficiadas para ese año (97.475 reses), mientras que para el Frigorífico Jongovito el consumo hídrico fue de 8.850 m³ para el beneficio de 22.513 reses. En cuanto a la huella hídrica gris, se presenta el mismo comportamiento ya que el volumen de agua consumido es proporcional al vertimiento generado por cada Frigorífico después del tratamiento realizado en la PTAR, por lo que se puede concluir que para los dos Frigoríficos la mayor huella hídrica corresponde a la huella hídrica gris y no a la huella hídrica azul. Para el caso de los dos Frigoríficos hay cumplimiento de los límites permisibles de los parámetros establecidos en la Resolución 0631 de 2015, a pesar de generar una huella hídrica gris en el ecosistema, por lo que cada Frigorífico sigue teniendo una responsabilidad ambiental importante en el tratamiento residual del vertimiento que realizan de las aguas contaminadas. Por su parte, el porcentaje de participación de la huella hídrica azul y gris de cada Frigoríficos se relaciona en la Gráfica 4-14.

Gráfica 4-14. Participación de la huella hídrica azul y gris para los Frigoríficos Vijagual y Jongovito en 2016



Fuente: autoras.

De la gráfica anterior, se puede identificar claramente que el Frigorífico Vijagual tiene una participación del 37% de la huella hídrica azul versus un 63% de la huella hídrica gris; en cuanto al Frigorífico Jongovito, se presenta la misma tendencia, pero en menor porcentaje de participación para la huella hídrica azul y mayor para la huella hídrica gris, con un 12% y 88% respectivamente.

4.3 Análisis de evaluación de la sostenibilidad ambiental

De los pasos descritos en el apartado “3.3 Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica”, a continuación, se describen para cada Frigorífico los resultados para los pasos uno y dos; los pasos tres y cuatro se desarrollarán en el apartado de Conclusiones ya que son respuesta a modo de análisis de los resultados obtenidos en los dos primeros pasos.

4.3.1 Frigorífico Vijagual

4.3.1.1 Paso 1: Ubicación espacio temporal

Para el cálculo de la huella hídrica del Frigorífico Vijagual, se estudiaron los años de 2015 y 2016. Este Frigorífico está ubicado en el Km 8 vía Bucaramanga – Río Negro, el cual emplea el agua proviene de la quebrada El Aburrido con un área aproximada de 3.210 Ha (32.1 Km²) y está clasificada por el IDEAM por una cuenca media, al tener un valor que oscila entre los 20 a 40 L.s/Km². Esta cuenca se ubica en un corregimiento del norte de la ciudad, la cual genera vertimientos de aguas residuales domésticas aguas abajo del vertimiento que hace el Frigorífico. En el cauce de la quebrada se ubican 11 veredas con una población de 1.869 habitantes distribuidas en 426 viviendas (CDMB, 2004).

La precipitación media anual de la cuenca es de 1.220 mm, y los periodos de tiempo con mayor precipitación son abril – mayo y septiembre – noviembre, con precipitaciones que oscilan entre los 66.4 mm y 193 mm, mientras que los periodos con menor precipitación son los meses de junio – julio con precipitaciones inferiores a los 66.4 mm (CDMB, 2004)

4.3.1.2 Paso 2: Situación hídrica de la cuenca – quebrada El Aburrido

La quebrada El Aburrido, cuenta con un rendimiento hídrico de 1.400 L/s, lo que se traduce en una oferta hídrica anual de 44'150.400 m³ para una demanda total de 274.085 m³ de los cuales tiene participación el sector agrícola, industrial y doméstico (Tabla 4-12)

Tabla 4-12. Demanda hídrica anual en m³ de la quebrada El Aburrido por los sectores agrícola, industrial y doméstico

Sector agrícola e industrial (m ³ /año)	Sector doméstico (m ³ /año)	Total (m ³ /año)
128.304	145.781	274.085

Fuente: modificado por las autoras (CDMB, 2014).

En términos de caudal ecológico y calidad del agua, se estima un 50% como valor de disminución por caudal, por lo que la oferta hídrica neta anual de la cuenca corresponde a 22'075.200 m³, ubicándose con estos resultados en la categoría no significativa: demanda muy baja (Tabla 2-2), al presentar un índice de escasez de 1.24% (Ecuación 2-4) (IDEAM, 2004b) (CDMB, 2014)

La relación de la oferta hídrica de la quebrada El Aburrido, su demanda y el índice de escasez (Tabla 4-13), indica que es una fuente hídrica que mantiene su equilibrio ambiental (en términos de oferta – demanda) y está en la capacidad de recibir la demanda que se genera desde diferentes sectores, al presentarse un índice de escasez hídrico muy bajo, dado que aún no se ha completado el máximo uso que pueda dar la quebrada.

Tabla 4-13. Situación hídrica de la quebrada El Aburrido

Área	Oferta Hídrica		Caudal ecológico	Oferta hídrica neta	Demanda hídrica	Índice de escasez	Categoría
	L/s	m ³ /año	%	m ³ /año	m ³ /año	%	
3.210	1.400	44.150.400	50	22.075.200	274.085	1,24	No significativo: demanda muy baja

Fuente: autoras.

Al aplicar la Ecuación 2-7 y la Ecuación 2-8, se obtuvo un indicador de sostenibilidad de la huella hídrica azul y gris, cuyos resultados se presentan en la Tabla 4-14, de donde se

logró establecer la existencia de una relación no solo entre el agua de consumo del Frigorífico para el periodo de estudio con la oferta hídrica neta sino también con la demanda de la cuenca, ya que es poco representativa, por lo que se aplicó la Ecuación 2-7 y la Ecuación 2-8 relacionando las huella hídricas azul y gris con la demanda hídrica, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4-15.

Tabla 4-14. Indicador de la sostenibilidad de la huella hídrica azul y gris con respecto a la oferta hídrica neta de la quebrada El Aburrido

Año	Indicador		
	HH Azul	HH Gris	HH Total
2015	0,006	0,023	0,029
2016	0,003	0,005	0,008

Fuente: autoras.

Tabla 4-15. Indicador de la sostenibilidad para la huella hídrica azul y gris con respecto a la demanda hídrica de la de la quebrada El Aburrido

Año	Indicador		
	HH Azul	HH Gris	HH Total
2015	0,45	1,86	2,30
2016	0,24	0,41	0,65

Fuente: autoras.

Para el caso de la huella hídrica azul y gris, al ubicar su indicador de sostenibilidad en la Tabla 2-3, se puede afirmar que el impacto es poco significativo para cada año de estudio (2015 y 2016), por tener un valor inferior a uno para el indicador que relaciona la huella hídrica azul y gris con la oferta hídrica neta de la cuenca (Tabla 4-14). En relación al indicador que se calculó relacionando las mencionadas huellas hídricas con la demanda hídrica de la cuenca (Tabla 4-15), se presenta una variación en el comportamiento, en donde el impacto generado por la huella hídrica azul no es significativo, mientras que la huella hídrica gris para el año 2015 presenta un impacto

ambiental moderado sobre la cuenca por encontrarse el resultado en un rango que oscila entre 1.5 y 2 unidades, mientras que para el año 2016, no es significativo.

En cuanto a los indicadores de sostenibilidad de huella hídrica azul para 2015 y 2016, cuyos resultados fueron inferiores a 1.0, se asocia a un impacto ambiental bajo – casi nulo, debido a que el índice de escasez de la quebrada El Aburrido es de 1.24% (Ecuación 2-4), en donde el consumo de agua realizado por el Frigorífico Vijagual, en relación a la demanda total de la cuenca (Tabla 4-12) es del 45%, lo que quiere decir que de los 274.085 m³ de la demanda hídrica anual, la participación del frigorífico es de 122.060 m³ para 2015, mientras que para 2016 la participación que tiene el frigorífico sobre la demanda del recursos en la quebrada es del 24% representados en 65.633 m³; en relación a la oferta hídrica de la cuenca, el consumo del Frigorífico para 2015 fue de tan solo 0.6%, mientras que para 2016 fue menor, con un porcentaje de participación de solo 0.3%, lo que quiere decir que de los 22'075.200 m³ de oferta hídrica neta anual de la quebrada El Aburrido, el frigorífico consumió 122.060 m³ y 65.633 m³ para los años 2015 y 2016, respectivamente. Aunque se conoce en la literatura que la práctica de beneficio bovino para la obtención de 1 Kg de carne corresponde a una práctica no sostenible, para el caso de estudio los resultados contradicen la afirmación presentada, debido a que la oferta hídrica de la cuenca es muy alta y el consumo del Frigorífico muy bajo, que el impacto ambiental no es significativo, mientras que para el sector doméstico el impacto es superior ya que de la quebrada El Aburrido, se extraen 145.781 m³ de los 274.085 m³ del total de demanda (Tabla 4-12).

Por su parte, la evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica gris al tener un valor inferior a 1.0 para el año 2015 y 2016 en donde se relacionó la oferta hídrica neta de la cuenca (Tabla 4-14), se concluye que la asimilación de contaminantes del vertimiento que realiza el Frigorífico después de su tratamiento en la PTAR es óptima, ya que al relacionarlo con los rangos de la Tabla 2-3, indica que hay una completa asimilación de contaminantes. Para el caso de los datos reportados en la Tabla 4-15 que se relaciona con la demanda hídrica de la cuenca, y al tener un impacto moderado para el año 2015, se concluye que la asimilación de contaminantes del vertimiento a la salida de la PTAR

no es completo generando efectos en la flora y fauna del ecosistema hídrico, aumentando su naturaleza hídrica. Finalmente, el cálculo de huella hídrica azul y gris, permitió identificar la nula presencia de *Hot Spots* ya que el impacto ambiental no relaciona puntos críticos de contaminación ni de consumo de agua que supere el caudal ecológico.

4.3.2 Frigorífico Jongovito

4.3.2.1 Paso 1: Ubicación espacio temporal

La planta de sacrificio Frigovito S.A. se encuentra ubicada en el corregimiento de Jongovito, a 5 kilómetros del casco urbano por la vía Niza. Las coordenadas de ubicación son 1°10'35,85" N y 77°17'41,46" W, con una altura sobre el nivel del mar de 2767 m. El frigorífico cuenta con servicio de agua potable, proporcionado por un bombeo específico desde la planta de potabilización de Mijitayo perteneciente a Empopasto, cuenta con un sistema de alcantarillado construido desde la empresa hasta la quebrada la Loreana con una longitud de 1282 m, sistema que además de conducir las aguas tratadas de FRIGOVITO S.A., recibe aguas de la plaza de ferias y de aproximadamente 15 viviendas que se han conectado a la misma (Frigovito, 2016b). La quebrada nace en las faldas del volcán Galeras resultado de escurrimientos superficiales, reboses y canalizaciones naturales. En la parte alta atraviesa predios privados cuya actividad principal es la agricultura de subsistencia. En la parte media pasa por un costado del centro poblado del corregimiento de Jongovito, la central de sacrificio, urbanizaciones de carácter privado y ladrilleras. En la parte baja la quebrada es canalizada mediante tubería de concreto atravesando viviendas urbanas y la vía panamericana hasta desembocar en la quebrada Miraflores. En la zona urbana la Quebrada actualmente no cuenta con conexiones domiciliarias o tuberías de alcantarillado sanitario. Su uso es netamente pluvial (Corponariño, n.d.).

4.3.2.2 Paso 2: Situación hídrica de la cuenca – quebrada La Loreana

La quebrada La Loreana, cuenta con un rendimiento hídrico de 108,36 L/s, lo que se traduce en una oferta hídrica anual de 3'417.241 m³ para una demanda total anual de 1'545.735 m³ de los cuales tiene participación el sector agrícola, industrial y doméstico (Tabla 4-16)

Tabla 4-16. Demanda hídrica anual en m³ de la quebrada La Loreana por los sectores agrícola, industrial y doméstico

Sector agrícola (m ³ /año)	Sector Industrial (m ³ /año)	Sector doméstico (m ³ /año)	Total (m ³ /año)
1.241.961	303.447	327	1.545.735

Fuente: modificado por las autoras (Corponariño, n.d.).

En términos de caudal ecológico y calidad del agua, se estima un 50,15% como valor de disminución por caudal, por lo que la oferta hídrica neta anual de la cuenca corresponde a 1'713.669 m³, ubicándose con estos resultados en la categoría alta: demanda alta (Tabla 2-2), al presentar un índice de escasez de 90.20% (Ecuación 2-4) (IDEAM, 2004b) (Corponariño, n.d.)

La relación de la oferta hídrica de la quebrada La Loreana, su demanda y el índice de escasez (Tabla 4-17), indica que es una fuente hídrica que presenta problemas para mantener su equilibrio ambiental (en términos de oferta – demanda) y no tiene la capacidad de recibir la demanda que se genera desde diferentes sectores, al presentarse un índice de escasez hídrico muy alto, dado que ya se completó el máximo uso que pueda dar la quebrada.

Tabla 4-17. Situación hídrica de la quebrada La Loreana

Área	Oferta Hídrica		Caudal ecológico	Oferta hídrica neta	Demanda hídrica	Índice de escasez	Categoría
	Ha	L/s					
852	108,36	3.417.241	50,15%	1.713.669	1.545.735	90,20	Alto: demanda alta

Fuente: autoras.

Al aplicar la Ecuación 2-7 y la Ecuación 2-8, se obtuvo un indicador de sostenibilidad de la huella hídrica azul y gris, cuyos resultados se presentan en la Tabla 4-18, de donde se logró establecer la existencia de una relación no solo entre el agua de consumo del Frigorífico para el periodo de estudio con la oferta hídrica neta sino también con la demanda de la cuenca, ya que es poco representativa, por lo que se aplicó la Ecuación 2-7 y la Ecuación 2-8 relacionando las huella hídricas azul y gris con la demanda hídrica, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4-19.

Tabla 4-18. Indicador de la sostenibilidad de la huella hídrica azul y gris con respecto a la oferta hídrica neta de la quebrada La Loreana

Año	Indicador		
	HH Azul	HH Gris	HH Total
2015	0,001		
2016	0,002	0,013	0,015

Fuente: autoras.

Tabla 4-19. Indicador de la sostenibilidad para la huella hídrica azul y gris con respecto a la demanda hídrica de la de la quebrada La Loreana

Año	Indicador		
	HH Azul	HH Gris	HH Total
2015	0,001		
2016	0,002	0,014	0,016

Fuente: autoras.

Para el caso de la huella hídrica azul y gris, al ubicar su indicador de sostenibilidad en la Tabla 2-3, se puede afirmar que el impacto no es significativo para cada año de estudio (2015 y 2016), por tener un valor inferior a cero para el indicador que relaciona la huella hídrica azul y gris con la oferta hídrica neta de la cuenca (Tabla 4-18) y con la demanda hídrica de la cuenca (Tabla 4-19). En relación al indicador de la huella hídrica gris para 2015, no fue posible calcularla ya que por disponibilidad de información del Frigorífico Jongovito, no fue posible calcular la huella hídrica gris, necesaria para aplicar la Ecuación 2-8.

En cuanto a los indicadores de sostenibilidad de huella hídrica azul para 2015 y 2016, cuyos resultados fueron inferiores a 1.0, se asocia a un impacto ambiental bajo – casi nulo, aunque el índice de escasez es muy alto con 90,20%, en relación a la demanda total de la cuenca (Tabla 4-17), el Frigorífico Jongovito tiene una participación de 0.1%, lo que quiere decir que del 1'545.735 m³ de la demanda hídrica anual, la participación del frigorífico es de solo 2.258 m³ para 2015, mientras que para 2016 la participación que tiene el frigorífico sobre la demanda del recursos en la quebrada es del 0.2% representados en 2.889 m³; en relación a la oferta hídrica de la cuenca, el consumo del frigorífico para 2015 fue de tan solo 0.1%, mientras que para 2016 fue mayor, con un porcentaje de participación de 0.2%, lo que quiere decir que del 1'713.669 m³ de oferta hídrica neta anual de la quebrada La Loreana, el frigorífico consumió 2.258 m³ y 2.889 m³ para los años 2015 y 2016, respectivamente. Aunque se conoce en la literatura que la práctica de beneficio bovino para la obtención de 1 Kg de carne corresponde a una práctica no sostenible, para el caso de estudio los resultados contradicen la afirmación presentada, debido a que la oferta hídrica de la cuenca es tan alta y el consumo del Frigorífico tan bajo, que el impacto ambiental es poco significativo.

Por su parte, la evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica gris al tener un valor inferior a 1.0 para el año 2015 y 2016 en donde se relacionó la oferta hídrica neta de la cuenca (Tabla 4-18) y la demanda hídrica de la cuenca (Tabla 4-19), se concluye que la asimilación de contaminantes del vertimiento que realizar el Frigorífico después de su tratamiento en la PTAR es óptima, ya que al relacionarlo con los rangos de la Tabla 2-3,

indica que hay una completa asimilación de contaminantes. Finalmente, el cálculo de huella hídrica azul y gris, permitió identificar la nula presencia de *Hot Spots* ya que el impacto ambiental no relaciona puntos críticos de contaminación ni de consumo de agua que supere el caudal ecológico.

4.4 Formulación de respuesta

Al realizar el cálculo de huella hídrica para evaluar la sostenibilidad de la práctica de beneficio bovino, y buscar mejorar y/o mantener su nivel de sostenibilidad, se debe realizar un conjunto de acciones que integre no solo a los agentes y procesos involucrados, sino aquellos que implícitamente influyen en el mismo, desde un ámbito social, económico, político y ambiental, ya que se debe entender como sostenibilidad, aquello que *"conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades"*(Congreso de Colombia, 1993).

Con base en los resultados y a las características operacionales del Frigorífico Vijagual, y del Frigorífico Jongovito, se proponen las siguientes acciones a corto, mediano y largo plazo que se pueden implementar según el presupuesto y la viabilidad en términos de operación, inspección sanitaria y de la dirección:

- Incorporar sensores de agua y evitar el desperdicio que se genera en el tiempo que se gasta cerrando el flujo de agua de las mangueras.
- Para el caso del Frigorífico Vijagual, emplear el agua de lavado de la PTAP y para el caso del Frigorífico Jongovito, emplear el agua lluvia recolectada para: lavado de corrales, la limpieza de operarios a la salida de la planta, lavado de

vehículos ganaderos en el cárcamo, lavado del piso donde se desarrolla el proceso de beneficio.

- En el proceso de beneficio, se propone realizar modificaciones a la infraestructura con el fin de incluir más canales con rejillas y así disminuir el agua de lavado del piso que se realiza de manera constante durante todo el proceso, para este mismo fin, también se propone la adquisición de hidrolavadoras industriales con alta potencia y un bajo caudal de consumo.
- Para la etapa de vísceras, incluir tecnología que emplee vapor de agua en gran parte del proceso desarrollado en esta etapa, con un alto índice de rendimiento y mínimo consumo hídrico, garantizando la desinfección del producto.
- Realizar un lavado en conjunto de las cabezas, optimizando no solo el tiempo que se invierte en esta acción, sino reduciendo considerablemente el volumen de agua empleado.
- Capacitar e incentivar a los actores involucrados del proceso, para destacar a los Frigoríficos por su uso adecuado del recurso hídrico.

Finalmente, se propone realizar un estudio de huella hídrica de las cuencas (quebrada El Aburrido y quebrada La Loreana) para mejorar la sostenibilidad de los procesos involucrados y así garantizar una armonía en términos de sostenibilidad de la acción antrópica no solo desde lo ambiental, sino desde lo económico y social; de esta manera la estimación de huella hídrica de la cuenca mejoraría los índices de sostenibilidad, con el fin de seguir garantizando el equilibrio que existe entre la demanda hídrica, el caudal ecológico y la oferta neta del recurso hídrico, al igual que tener las herramientas necesarias para determinar en forma cuantitativa el caudal ecológico de las cuencas mencionadas.

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

En este último capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones que se consideran a partir de los resultados obtenidos en este trabajo. Las conclusiones se establecen con base a los objetivos planteados y las recomendaciones pertinentes para la mejora y evolución de esta investigación.

Contenido

	Pág.
5.1 Conclusiones	53
5.2 Recomendaciones	55

5.1 Conclusiones

Con el cálculo de huella hídrica, en relación a los dos Frigoríficos, se logró identificar una mayor huella hídrica por parte del Frigorífico Vijagual para 2015 y 2016. Lo anterior se determinó al tener en cuenta que para el Frigorífico Vijagual el número de reses y la huella hídrica para 2016 disminuyó con respecto al año 2015 en donde se presentaron 19.829 reses y una huella hídrica total de 453.863 m³ menos. Con los datos de consumo y el número de reses, se estimó en promedio que el agua requerida y contaminada para el beneficio de cada res en unidad de masa para el año 2015 fue de 11 L/Kg, mientras que para el año 2016 el requerimiento hídrico fue menor, con 4 L/Kg de res; el requerimiento hídrico por unidad de masa de cada res para 2015 fue de 3.08 L/Kg y para 2016 fue de 2.36 L/Kg. Por su parte, el Frigorífico Jongovito también presentó mayor número de reses para el año 2015 que para 2016, con una diferencia de 743 reses menos, pero se empleó mayor consumo de agua en 2016 que en 2015 con una diferencia en volumen de 1.323 m³ estimándose que para 2016 aunque el número de reses fue menor, no hubo un consumo hídrico adecuado durante el proceso; en relación a la huella hídrica total de 2016, se estimó que el agua requerida y contaminada para el beneficio de cada res fue de 2 L/Kg, mientras que para 2015, solo se pudo estimar que el consumo hídrico por unidad de masa de cada res fue de 0.65 L/Kg y para 2016 de 0.79 L/Kg.

La ubicación geográfica de los Frigoríficos es un factor importante en el cálculo de huella hídrica 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 las condiciones de hábitat, corresponden en gran parte al ganado Cebú y en una minoría al ganado Brahma, 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 para lavado y mantenimiento del ganado en la sección de corrales

es mayor por las condiciones climáticas y el tamaño del animal, mientras que para el Frigorífico Jongovito, el consumo de agua para estas actividades es menor ya que las condiciones climáticas no requieren un volumen de agua constante para mantener regulada la temperatura corporal del animal y por las raza de ganado beneficiado, el animal es de menor tamaño.

Por otra parte, según Mellano (2010), la huella hídrica global promedio de carne de vacuno es de 15.500 L por kilogramo de producto, en donde se considera la huella hídrica directa e indirecta y los diferentes procesos involucrados en la obtención del producto como: levante y ceba, beneficio, centro de corte y centro de venta. Al tener en cuenta lo anterior y los resultados de las huellas hídricas calculadas del proceso de beneficio, se puede afirmar que para dicho proceso la huella hídrica tiene un valor muy elevado (en especial para el Frigorífico Vijagual en el año 2015) ya que presenta una huella hídrica de 11 L/Kg cuando el tiempo de este proceso no supera los dos días, mientras que para el producto (1 Kg de carne) y considerando todos los procesos únicamente hay un valor de huella hídrica de 15.500 L/Kg en donde el tiempo puede llegar a los 3 años antes de ingresar al proceso de beneficio, es decir la mayor participación de huella hídrica en la producción de 1 Kg de carne de res se encuentra en el proceso de pasto y levante de ganado y no en el proceso de beneficio.

Con los cálculos realizados de huella hídrica azul y gris, se logró identificar que la práctica de beneficio animal de ganado bovino en el Frigorífico Vijagual y Jongovito, y su respectivo vertimiento a la quebrada El Aburrido y a la quebrada La Loreana, no presenta *Hot Spots* (puntos críticos), ya que a partir de los resultados de la evaluación de la sostenibilidad realizados únicamente desde el ámbito ambiental, se puede afirmar que la huella hídrica a nivel de cuenca es sostenible y la contaminación que se genera en el vertimiento es asimilada, para el periodo de estudio (2015 y 2016), en donde el menor impacto para el Frigorífico Vijagual se presentó para el año 2016, ya que el volumen de agua anual empleado con respecto al año 2015 fue de 65.493 m³ menos, mientras que

para el Frigorífico Jongovito el volumen de agua empleado en 2016 fue mayor que en 2015, con una diferencia de 1.323 m³.

La evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica para los Frigoríficos estudiados, sirve de insumo para incluirlos en análisis adicionales con indicadores que permitan 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.

Finalmente, con los resultados obtenidos, se logró establecer acciones de respuesta frente a las condiciones actuales operativas y de infraestructura con las que cuenta cada Frigorífico estudiado, con el fin de mejorar los indicadores, optimizando el consumo hídrico del proceso cárnico, formulando una proyección en respuesta al desarrollo sostenible no solo de la cuenca hidrográfica ni del proceso, sino también de la acción antrópica en el ecosistema.

5.2 Recomendaciones

Los resultados que se presentan en este trabajo de investigación son una primera aproximación a la estimación del indicador de Huella Hídrica en el proceso de beneficio en los Frigoríficos de la ciudad de Bucaramanga y San Juan de Pasto, por lo tanto se deben realizar nuevas investigaciones para generar resultados con un mayor nivel de confiabilidad antes y después de las acciones emprendidas por cada empresa en términos de manejo ambiental.

Otra recomendación para garantizar una trazabilidad y confiabilidad de los resultados es aumentar el periodo de estudio y vincular el sector social asociado a los índices de

demanda a nivel comercial del producto cárnico, como proteína fundamental para el desarrollo vital del ser humano. También se recomienda hacer un estudio de cuenca inicialmente de actividades industriales y vincular con el tiempo la acción antrópica desde lo doméstico, con el fin de tener datos más precisos de todos los agentes que influyen directa e indirectamente en la calidad, en la oferta y la demanda del recurso hídrica en la cuenca de cada Frigorífico.

Con el fin de aproximarse a unos resultados que involucren no solo lo ambiental, se recomienda realizar el estudio empleando otros indicadores que articulen los ámbitos político, social y económico, para determinar una evaluación de la sostenibilidad integral, que permita mostrar en detalle la participación de cada actor.

ANEXOS

ANEXO A. Agua de consumo y lavado en m³ para las etapas del proceso cárnico en reses en el año 2015 para el Frigorífico
Vijagual

	Beneficio		Desposte		Visceras y subproductos	
	Agua consumo	Agua lavado	Agua consumo	Agua lavado	Agua consumo	Agua lavado
Enero	7.682	3.733	731	355	2.919	1.418
Febrero	6.038	2.934	607	295	2.206	1.072
Marzo	5.011	2.435	604	293	2.706	1.315
Abril	5.054	2.456	517	251	2.572	1.250
Mayo	5.967	2.899	834	405	3.000	1.458
Junio	6.678	3.245	436	212	3.013	1.464
Julio	7.727	3.754	1499	728	4.168	2.025
Agosto	4.213	2.047	426	207	4.014	1.950
Septiembre	5.727	2.783	306	149	3.758	1.826
Octubre	5.916	2.874	495	241	3.682	1.789
Noviembre	7.890	3.834	532	258	4.114	1.999
Diciembre	5.993	2.912	352	171	4.204	2.043
Total	73.896	35.905	7339	3.566	40.356	19.608

Fuente: autoras.

ANEXO B. Agua de consumo y lavado en m³ para las etapas del proceso cárnico en reses en el año 2016 para el Frigorífico Vijagual

	Beneficio		Desposte		Vísceras y subproductos	
	Agua consumo	Agua lavado	Agua consumo	Agua lavado	Agua consumo	Agua lavado
Enero	3.730	1.812	801	389	4.208	2.045
Febrero	3.120	1.516	701	341	2.783	1.352
Marzo	2.420	1.176	418	203	2.817	1.369
Abril	2.950	1.433	316	154	3.472	1.687
Mayo	2.830	1.375	349	170	2.961	1.439
Junio	2.940	1.428	199	97	2.010	976
Julio	2.940	1.428	150	73	2.869	1.394
Agosto	3.170	1.540	214	104	2.859	1.389
Septiembre	2.881	1.400	285	138	2.813	1.367
Octubre	3.430	1.667	542	263	2.926	1.422
Noviembre	2.890	1.404	231	112	3.391	1.648
Diciembre	3.560	1.730	285	138	3.054	1.484
Total	36.861	17.910	4.491	2.182	36.162	17.571

Fuente: autoras.

ANEXO C. Agua de consumo total (consumo y lavado) en m³ por etapas del proceso cárnico en reses en los años 2015 y 2016 para el Frigorífico Jongovito

	2015	2016
	Agua consumo y lavado	Agua consumo y lavado
Enero	737	813
Febrero	595	723
Marzo	550	672
Abril	440	647
Mayo	634	717
Junio	657	740
Julio	725	799
Agosto	570	1.082
Septiembre	651	552
Octubre	665	682
Noviembre	706	711
Diciembre	597	712
Total	7.527	8.850
Total año	16.377	
Total periodo	16.377	

Fuente: autoras.

ANEXO D. Agua de consumo y lavado y agua de retorno en m³/mes para el proceso cárnico en reses en los años 2015 y 2016 en el Frigorífico Vijagual

	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Consumos anuales
Agua de consumo y lavado	2015	16.838	13.152	12.364	12.100	14.563	15.048	19.902	12.857	14.548	14.997	18.627	15.675	180.670
	2016	12.985	9.813	8.403	10.012	9.124	7.650	8.854	9.276	8.885	10.250	9.676	10.251	115.177
Agua de retorno	2015	4.899	4790	5.212	4.810	4.761	4.676	5.316	4.871	5.184	4.636	5.042	4.413	58.610
	2016	5.500	4510	2.042	4.617	4.311	4.353	4.381	4.186	3.803	3.869	3.870	4.102	49.544
Consumos en el periodo de estudio (m³)														404.001

Fuente: autoras.

ANEXO E. Agua de consumo y lavado y agua de retorno en m³/mes para el proceso cárnico en reses en los años 2015 y 2016 en el Frigorífico Jongovito

	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Consumos anuales
Agua de consumo y lavado	2015	737	595	550	440	634	657	725	570	651	665	706	597	7.527
	2016	813	723	672	647	717	740	799	1.082	552	682	711	712	8.850
Agua de retorno	2015	516	417	385	308	444	460	507	399	456	465	494	418	5.269
	2016	569	506	470	453	502	518	559	524	387	477	498	498	5.961
Consumos en el periodo de estudio (m³)														27.607

Fuente: autoras.

ANEXO F. Valores de concentración de cada parámetro fisicoquímico aguas arriba del vertimiento en la quebrada El Aburrado en los años 2015 y 2016.

Parámetro	Unidades	Aguas arriba del vertimiento	
		2015	2016
Generales			
pH	Unidades de pH	7,29	7,61
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	<15	16,3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2,1	5,3
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	<10	<10
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	No hay reporte	No hay reporte
Grasas y Aceites	mg/L	<6,3	<6,3
Sustancias activas (Tensoactivos)	mg SAAM/L	<0,27	<0,27
Compuestos de Fósforo			
Ortofosforados	mg PO ₄ ³⁻ - P/L	0,08	0,07
Fósforo total	mg P/L	0,09	0,09
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ - N/L	0,30	0,32
Nitritos	mg NO ₂ ⁻ - N/L	0,005	0,009
Nitrógeno amoniacal	mg NH ₃ - N/L	0,67	0,90
Nitrógeno total	mg N/L	<0,1	1
Iones			
Cloruros	mg Cl/L	2,5	<2,0
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	5,77	8,66
Otros parámetros para análisis y reporte			
Acidez total	mg CaCO ₃ /L	5	43,2
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	48,6	47,1
Dureza cálcica	mg CaCO ₃ /L	27,4	26,2
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	43,6	39,8
Color real	Unid Pt - Co	15	4,69

Fuente: autoras.

ANEXO G. Valores de concentración de cada parámetro fisicoquímico aguas arriba del vertimiento en la quebrada La Loreana en el año 2016.

Parámetro	Unidades	Aguas arriba del vertimiento
		2016
Generales		
pH	Unidades de pH	No reporta
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	< 50
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	3,6
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	15,7
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	< 0,1
Grasas y Aceites	mg/L	< 10
Sustancias activas (Tensoactivos)	mg SAAM/L	0,580
Compuestos de Fósforo		
Ortofosforados	mg PO ₄ ³⁻ - P/L	0,216
Fósforo total	mg P/L	2,31
Compuestos de Nitrógeno		
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ - N/L	0,168
Nitritos	mg NO ₂ ⁻ - N/L	0,011
Nitrógeno amoniacal	mg NH ₃ - N/L	2,40
Nitrógeno total	mg N/L	5,179
Iones		
Cloruros	mg Cl/L	< 10
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	27,6
Otros parámetros para análisis y reporte		
Acidez total	mg CaCO ₃ /L	5,9
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	32,8
Dureza cálcica	mg CaCO ₃ /L	49,7
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	67,5
Color real	Unid Pt - Co	5,6

Fuente: autoras.

ANEXO H. Reporte de parámetros regulados por la Resolución 0631 para el vertimiento generado por el Frigorífico Vijagual en los años 2015 y 2016

Parámetro	Unidades	Límite permisible *	2015		2016		
			Valor salida PTAR	Cumplimiento	Valor salida PTAR	Cumplimiento	
Generales							
pH	Unidades de pH	6 a 9	6,49	SI	6,68	SI	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	800	355	SI	378	SI	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	450	203	SI	154	SI	
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	225	<10	SI	<10	SI	
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5	<0,1	SI	<0,1	SI	
Grasas y Aceites	mg/L	30	28,9	SI	<6,3	SI	
Sustancias activas (Tensoactivos)	mg SAAM/L	Reporte	<0,27		0,32		
Compuestos de Fósforo							
Ortofosforados	mg PO ₄ ³⁻ - P/L	Reporte	1,50		1,26		
Fósforo total	mg P/L	Reporte	1,75		2,04		
Compuestos de Nitrógeno							
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ - N/L	Reporte	0,37		0,21		
Nitritos	mg NO ₂ ⁻ - N/L	Reporte	0,034		0,034		
Nitrógeno amoniacal	mg NH ₃ - N/L	Reporte	29,7		33,9		
Nitrógeno total	mg N/L	Reporte	49,3		44,7		
Iones							
Cloruros	mg Cl/L	600	290	SI	268	SI	
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	500	11,9	SI	23,2	SI	
Otros parámetros para análisis y							
Acidez total	mg CaCO ₃ /L	Reporte	30		42,2		
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	Reporte	127		97,3		
Dureza cálcica	mg CaCO ₃ /L	Reporte	70,4		74,0		
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	Reporte	120		103		
Color real	Unid Pt - Co	Reporte	65		17		

* Resolución 0631 de 2015

Fuente: autoras.

ANEXO I. Reporte de parámetros regulados por la Resolución 0631 para el vertimiento generado por el Frigorífico Jongovito en el año 2016

Parámetro	Unidades	Límite permisible *	2016	
			Valor salida PTAR	Cumplimiento
Generales				
pH	Unidades de pH	6 a 9	7,40	SI
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	800	672,00	SI
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	450	276,00	SI
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	225	50,80	SI
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5	<0,1	SI
Grasas y Aceites	mg/L	30	<10	SI
Sustancias activas (Tensoactivos)	mg SAAM/L	Reporte	1,37	
Compuestos de Fósforo				
Ortofosforados	mg PO ₄ ³⁻ - P/L	Reporte	1,27	
Fósforo total	mg P/L	Reporte	4,58	
Compuestos de Nitrógeno				
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ - N/L	Reporte	0,376	
Nitritos	mg NO ₂ ⁻ - N/L	Reporte	0,09	
Nitrógeno amoniacal	mg NH ₃ - N/L	Reporte	18,30	
Nitrógeno total	mg N/L	Reporte	166,373	
Iones				
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	600	57,70	SI
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	500	78,60	SI
Otros parámetros para análisis y				
Acidez total	mg CaCO ₃ /L	Reporte	2,40	
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	Reporte	67,60	
Dureza cálcica	mg CaCO ₃ /L	Reporte	57,60	
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	Reporte	78,50	
Color real	Unid Pt - Co	Reporte	24,60	
* Resolución 0631 de 2015				

Fuente: autoras.

ANEXO J. Consumos mensuales y número de reses beneficiadas en 2015 y 2016 para el Frigorífico Vijagual

	2015		2016	
	m ³ /mes	Reses	m ³ /mes	Reses
Enero	16.838	9.361	12.985	10.114
Febrero	13.152	8.203	9.813	8.532
Marzo	12.364	8.772	8.403	6.780
Abril	12.100	8.667	10.012	8.770
Mayo	14.563	9.085	9.124	7.997
Junio	15.048	10.450	7.650	8.338
Julio	19.902	11.032	8.854	7.864
Agosto	12.857	10.886	9.276	7.809
Septiembre	14.548	9.689	8.885	7.490
Octubre	14.997	8.993	10.250	7.386
Noviembre	18.627	11.132	9.676	7.922
Diciembre	15.675	11.034	10.251	8.473
Total anual	180.670	117.304	115.177	97.475

Fuente: autoras.

ANEXO K. Consumos mensuales y número de reses beneficiadas en 2015 y 2016 para el Frigorífico Jongovito

	2015		2016	
	m ³ /periodo	Reses	m ³ /periodo	Reses
Enero	737	2.022	813	1.828
Febrero	595	1.837	723	1.734
Marzo	550	1.994	672	1.738
Abril	440	1.705	647	1.826
Mayo	634	1.876	717	1.891
Junio	657	1.838	740	1.911
Julio	725	2.054	799	1.853
Agosto	570	1.935	1.082	2.053
Septiembre	651	1.946	552	1.912
Octubre	665	2.004	682	1.863
Noviembre	706	1.961	711	1.963
Diciembre	597	2.084	712	1.941
Total	7.527	23.256	8.850	22.513

Fuente: autoras.

Bibliografía

- Alfaro, J. F., Marín, V., & Aragües, R. (1991). Uso de agua y energía para riego en América Latina. In *Calidad de agua para riego: IX Curso Internacional de Riego* (p. 162). Tenerife. Recuperado de http://unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/alfaro.html
- AMB. (2013). *Usos, oferta y demanda de agua potable. Informe de Sustentabilidad*. Bucaramanga, Santander. Recuperado de <http://www.amb.com.co/Indicadores/Archivos/1gestion2012usos.pdf>
- Arevalo, D., Lozano, J. G., & Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología Y Humanismo*, 7, 103–126.
- Campuzano Ochoa, C. P., González Valencia, J. E., Guzán Cabrera, A. C., Rodríguez Ortiz, C. M., Arévalo Uribe, D., Parada Puig, E., & Kuiper, D. (2013). *Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). Bogotá D.C. Recuperado de <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- CAR. (2007). *Acuerdo No. 21*. Bogotá D.C. Recuperado de https://rhes.ruralhorizon.org/uploads/documents/ac_21_modiacu_312005.pdf
- Castilla, F. (2013). Recursos naturales en su mesa. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 39(3), 222–228. Recuperado de <http://doi.org/1669-2314>
- CDMB. (2004). *Pla de Ordenamiento Ambiental. Microcuenca El Aburrido*. Bucaramanga, Santander.
- CDMB. (2014). *Plan de ordenamiento y manejo ambiental subcuenca lebrija alto*.

Bucaramanga, Santander. Recuperado de <http://www.cdmb.gov.co/web/ciudadano/centro-de-descargas/1183-pomca-subcuenca-lebrija-alto/file>

Congreso de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993. *Diario Oficial No. 41.146, 1993(41), 254.* Recuperado de <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Ley-99-de-1993.pdf>

Corantioquia, & Universidad Pontificia Bolivariana. (2003). *Demanda y usos del agua, índices de consumo y planes de acción para la implementación de la ley 373 de 1997 en la jurisdicción de CORANTIOQUIA.* Medellín, Colombia. Recuperado de <http://cia.corantioquia.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=10092>

Corponariño. (n.d.). *Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico Quebrada Miraflores.* Pasto.

Daza, C. A., & Hidalgo, V. L. (2009). *Aplicación de buenas prácticas de manufactura (BPM) e identificación de peligros y puntos críticos de control (PCC) durante el proceso de sacrificio en el Frigorífico Jongovito S.A.* Universidad de Nariño.

Di Rienzo, M., & Fogolin, G. (n.d.). *Aportes a la gestión de la Huella Hídrica en un criadero de Cerdos.* Pontificia Universidad Católica Argentina.

Echeverri, X. (2014). caliza a cielo abierto y propuesta de una política de integración sostenible del recurso hídrico – caso planta Rioclaro , Argos, 1–55. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/50091/1/39456260.2014.pdf>

EMPOPASTO. (2016). Empresa de Obras Sanitarias de Pasto. Recuperado el 11 de octubre de 2016, de http://www.empopasto.com.co/site/?page_id=10

FAO. (2003). Agua para la producción sostenible de alimentos; el alivio de la pobreza y el

-
- desarrollo rural. In *Descubrir el Potencial del Agua para la Agricultura*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/006/y4525s/y4525s00.HTM>
- FAO. (2016). *Extracción de agua por sectores*. Estados Unidos EE.UU. Recuperado de <http://www.fao.org/nr/aquastat>
- Ferrer, M. (2014). *Huella Hídrica: La nueva norma internacional ISO 14046:2014 y su implementación*. CONAMA 2014. Congreso Nacional del Medio Ambiente. Recuperado de <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT2014/1896712004.pdf>
- Forero Casas, A. M. (2012). Estimación del consumo requerido de agua para un subsector del sector agroalimentario de la ciudad de Bogotá. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/6498/1/300013.2012.pdf>
- Frigovito. (2015). *Informe de actividades del manejo ambiental*. San Juan de Pasto, Colombia.
- Frigovito. (2016a). *informe de actividades del manejo ambiental*. San Juan de Pasto, Colombia.
- Frigovito. (2016b). *Plan de Ingeniería*. San Juan de Pasto, Colombia.
- Gobernación de Santander. (2015). Bucaramanga, datos generales. Recuperado en octubre 11 de 2016, de <http://www.bucaramanga.gov.co/Contenido.aspx?Param=9>
- González, J. E., Montoya, L. J., Botero, B. A., Arévalo, D., & Valencia, V. (n.d.). *Aproximación a la estimación de la Huella Hídrica de la minería del oro en el Municipio de Segovia, Antioquia (Colombia)*. Segovia, Antioquia. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/13291/3.HuellaHidrica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Granada C, L. (2011). *Estimación del consumo básico de agua potable en Colombia. Facultad de Ciencias Sociales y Económicas*. Universidad del Valle. Recuperado de <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Hidroplan Ltda, & CAR. (1993). *Estudio para la determinación de módulos de consumo para beneficio hídrico*. Bogotá D.C. Recuperado de http://koha.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=4294494&shelfbrowse_itemnumber=5804258#shelfbrowser
- Hoekstra, A. Y. (2003). Virtual Water Trade. *International Expert Meeting on Virtual Water Trade*, 12(12), 1–244. Recuperado de <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. Recuperado de <http://doi.org/978-1-84971-279-8>
- Hoekstra, Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. Recueperado de <http://doi.org/978-1-84971-279-8>
- IDEAM. (2004a). *Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial*. Lima, Perú. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021143/metodologia-calculo.pdf>
- IDEAM. (2004b). *Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial*. Lima, Perú.
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Estudio Nacional del Agua 2014*.
- Isasa, S. G. (2000). Diagnóstico y evlauación de la situación del tratamiento de los

-
- efluentes líquidos de la industria frigorífica en Rosario y el Gran Rosario. *Invenio*, 3(4–5), 161–174. Recuperado de <http://doi.org/0329-3475>
- ISO. (2014). *Norma ISO 14046. Huella Hídrica*. Bogotá, Colombia.
- L'vovich, M., Belyaev, A., Kindler, J., Koronkevic, N., Lee, T., & Voropaev, G. (1995). *Use and Transformation of Terrestrial Water Systems*. (Cambridge). Cambridge, Londres.
- Mellano, A. (2010). *La huella del agua*. Chile: Asociación Técnica de la Celulosa y el Papel ATCP. Santiago de Chile, Chile.
- Merkel, W. (2003). El futuro de la industria de agua en el mundo. *Ingeniería Del Agua*, 10(3), 337–353. Recuperado de <http://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/download/2589/2571>
- Ministerio de Agricultura. (1984). Decreto 1594. *Ley 9 de 1979 - Ley 2811 1974*. Bogotá D.C. Recuperado de [http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/DECRETO 1594-1984 usos del agua y residuos liquidos.pdf](http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/DECRETO_1594-1984_usos_del_agua_y_residuos_liquidos.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2012). *La estructura de la producción de carne bovina en Colombia. Boletín mensual: Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria* (Vol. 4). Bogotá D.C. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_octubre_2012.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015a). Resolución 0631. Bogotá D.C. Recuperado de <http://www.andi.com.co/ambiental/siteassets/res631vertimientos.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015b). *Resolución No 0631 para vertimientos de aguas negras*. Bogotá D.C. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

- Ministerio de Salud. (1991). Decreto 1036, 1991, 1–6. Recuperado de https://www.invima.gov.co/images/stories/aliamentos/decreto_1036_1991.pdf
- Muñoz, D. (2005). Sistema de tratamiento de aguas residuales de matadero: para una población menor 2000 habitantes. *Biotecnología. Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 3(1), 87–98. Recuperado de <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/viewFile/23/15>
- Muñoz, L. F. (2016). Frigorífico Vijagual: portafolio corporativo. Recuperado en octubre 11 de 2016, de <http://frigorificovijagual.co/revistas/portafolio/>
- Nebel, B. J., & Wright, R. T. (2003). *Ciencias Ambientales: Ecología y Desarrollo Sostenible* (Pearson Ed). México.
- Nosetti, L., Herrero, M. A., Pol, M., Maldonado May, V., Iramain, M. S., & Flores, M. (2002). Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros I. Demanda de agua y manejo de efluentes 1. *InVet - Investigación Y Veterinaria*, 4(1), 37–43. Recuperado de <http://doi.org/1514-6634>
- Observatorio Municipal de hábitat y la vivienda de Bucaramanga. (2014). Consumo promedio per-cápita de agua anual. Recuperado en julio 20 de 2016, de <http://www.invisbu.gov.co/observatorio/eje-transversal/vivienda-y-entorno/servicios/item/74-consumo-promedio-per-capita-de-agua-anual>
- Ojeda, B., Orlando, E., & Arias, R. (2000). *Agua para el Siglo XXI para América del Sur. De la visión a la acción. CEPAL: Informe nacional sobre la gestión del agua en Colombia*. Río de Janeiro. Recuperado de <http://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23345/inco00200.pdf>

- Pabón, S., & Suárez, J. (2009). Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas residuales de matadero. *Ingeniería E Investigación*, 29(2). Recuperado de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/ingeinvt/printFriendly/15161/34395>
- Parada-Puig, G. (2012). El agua virtual : conceptos e implicaciones, 69–76. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v16n1/v16n1a08.pdf>
- Parra, E., & Carvajal, L. F. (2012). *Modelamiento y manejo de las interacciones entre la hidrología, la ecología y la economía en una cuenca hidrográfica para la estimación de caudales ambientales. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/9163/1/71194057.2013._Parte1.pdf
- Pérez, M. A., Peña, M. R., & Alvarez, P. (2011). Agro Industria Cañera y uso del agua: análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles en Colombia. *Ambiente & Sociedad*, XIV(2), 153–178. Recuperado de <http://doi.org/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. *VII Congreso Latinoamericano de Sistemas Agroflorestais Para a Produção Pecuária Sustentável*, 722–726.
- Sab Miller, & World Wildlife Fund - WWF. (2012). *Huella Hídrica en México en el contexto de Norteamérica*. México D.F. Recuperado de <http://www.huellahidrica.org/Reports/AgroDer>, 2012. Huella hídrica en México.pdf
- Samaniego, J., & Schneider, H. (2010). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. CEPAL República de Francia*. Santiago de Chile. Recuperado de <http://repositorio.cepal.org:80/handle/11362/3753>

- Senado de la República de Colombia. (1887). Código Civil Colombiano. Bogotá D.C.: República de Colombia. Recuperado de https://www.oas.org/dil/esp/Codigo_Civil_Colombia.pdf
- Sotelo N., J. A., Olcina C., J., García Q., F., & Sotelo P., M. (2012). Huella hídrica de España y su diversidad territorial. *Estudios Geográficos*, 73(272), 239–272. Recuperado de <http://doi.org/10.3989/estgeogr.201209>
- Superintendencia de Industria y Comercio. (n.d.). Estudio Sectorial Carne Bovina: Diagnóstico de Libre Competencia.
- Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo. *Gaceta Ecológica*, 64, 9–18. México D.F., México.
- UNEP. (2011a). Agua dulce. *PNUMA*, 4(1727–8902), 3–24.
- UNEP. (2011b). *Water Footprint and Corporate Water Accounting for Resource Efficiency*.
- UNEP. (2013). Agua dulce. *TUNZA PNUMA*, 10(4), 3–24. Recuperado de http://www.unep.org/pdf/Tunza_10.4-Spa-SMLR.pdf
- 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.
- Waterfootprint. (2002a). *Manual para la Evaluación de la Huella Hídrica*.
- Waterfootprint. (2002b). *Manual para la Evaluación de la Huella Hídrica*. Recuperado de <http://waterfootprint.org/media/downloads/ManualEvaluacionHH.pdf>
- World Wildlife Fund - WWF. (1986). Our food and clothes: eating up nature and wearing

out the environment? *Review for Religious*, 19, 5–11. Recuperado de <http://www.wwf.org.uk/filelibrary/pdf/thirstycrops.pdf>