



**Cálculo de huella de agua para las empresas de la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y
Cartón de la ANDI bajo la Norma NTC ISO 14046 de 2017**

Angie Lorena Martínez Cuervo
Luisa María Santofimio Varón

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 21 de octubre de 2020

**Cálculo de huella de agua para las empresas de la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y
Cartón de la ANDI bajo la Norma NTC ISO 14046 de 2017**

Angie Lorena Martínez Cuervo
Luisa María Santofimio Varón

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniera Ambiental

Directora:
Ingeniera Natalia Andrea Velásquez Robayo

Líneas de Investigación:
Gestión ambiental
Manejo integrado del recurso hídrico

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá
2020

Acta de sustentación

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por las investigadoras en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Nota de salvedad de la Cámara de Pulpa, Papel y Cartón de la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia

Los resultados de esta monografía, así como los análisis que se derivan de los mismos, corresponden a una aproximación teórica de la norma NTC ISO 14:046 de 2017 aplicada al sector papelerero, teniendo en cuenta el alcance limitado debido a que no incluye la totalidad las empresas afiliadas a la Cámara, ni la totalidad los procesos y plantas productivas de las empresas participantes en el ejercicio de cálculo.

Los resultados, conclusiones, opiniones, omisiones y errores son responsabilidad exclusiva de las investigadoras y no comprometen a la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón, sus empresas afiliadas ni a la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia - ANDI.

Agradecimientos

Reconocemos el apoyo de nuestra directora, la docente Natalia Velásquez, quien estuvo permanente con su apoyo, guía y comprensión. Además, resaltamos la asesoría del experto e ingeniero Carlos Toro, del Centro Nacional de Producción Más Limpia, quien nos instruyó en el proceso conceptual y del modelo de cálculo. A la Universidad El Bosque y todos nuestros docentes, que han sido clave en nuestro proceso de formación.

De otra manera, agradecemos a la Cámara de Pulpa, Papel y Cartón de la ANDI, al Centro Nacional del Agua y a las empresas afiliadas, por hacernos parte de este proceso en el cálculo de huella de agua, pionero en Latinoamérica.

De igual forma, agradecemos a nuestros padres, familia y amigos por su apoyo inigualable durante nuestro proceso de formación y, sobre todo, durante el desarrollo del presente proyecto. Su amor y comprensión han sido vitales para llegar a la meta.

A Dios, por ser mi acompañante, mi sabiduría y mi luz en este camino hacia el aprendizaje. Con amor y cariño para mi familia, en especial, mis padres Gabi y Javier, quienes me han apoyado y nunca han dudado en entregarme la educación como arma profesional y la superación como ejemplo de vida. En general, lo dedico a todo aquel que aportó en este genuino proceso.

A todos, los llevo en mi mente y en mi corazón.

Lorena Martínez (noviembre, 2020).

Para la única persona que siempre ha estado y va a estar toda mi vida.

Luisa María Santofimio Varón (noviembre, 2020).

Tabla de contenido

Resumen	11
Abstract	11
1. Planteamiento del problema	13
2. Justificación	14
3. Pregunta de investigación	14
4. Objetivos	15
4.1 Objetivo General	15
4.2 Objetivos específicos	15
5. Marco de referencia	15
5.1 Antecedentes	15
5.2 Estado del arte	16
5.2.1 Evolución de las metodologías de cuantificación del agua	16
5.2.2 Estudios con base en la huella hídrica	17
5.2.3 Estudios con base en la huella de agua	19
5.3 Marco teórico-conceptual	21
5.3.1 Huella hídrica	21
5.3.2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	22
5.3.3 Huella ambiental	23
5.3.4 Huella de agua	24
5.3.5 Normas Técnicas Colombianas (NTC)	25
5.3.6 Normas Internacionales ISO	25
5.3.7 Proceso general de producción de pulpa y papel	26
5.3.8 Especificaciones según el tipo de papel	30
5.3 Marco Geográfico	32
5.4 Marco Institucional	32
5.4.1 La Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón de la ANDI	32
5.4.2 Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML)	33
5.4.3 Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE	33
5.4.4 Centro Nacional del Agua (CNA)	34
5.5 Marco Normativo	34
6. Metodología	38
6.1 Diseño metodológico	38

6.1.1 Objetivo 1. Levantar la información para la producción de papel de acuerdo con los requisitos establecidos en la Norma NTC ISO14046 de 2017.	38
6.1.2 Objetivo 2. Elaborar el inventario de los datos para la medición de huella de agua según la Norma.	38
6.1.3 Objetivo 3. Calcular la huella de agua de la producción de papel a partir de la información primaria y secundaria otorgada por las empresas de la Cámara.	39
6.2 Plan de trabajo	41
7. Aspectos éticos	43
8. Resultados y discusión	43
8.1 Primer Objetivo: levantamiento de la información para la producción de papel de acuerdo con los requisitos establecidos en la Norma NTC ISO14046 de 2017.	44
8.1.1 Definición de Objetivo	46
8.1.2 Definición de Alcance	46
8.1.3 Análisis de resultados	49
8.2 Segundo Objetivo: elaboración del inventario de los datos para la medición de huella de agua según la Norma	50
8.2.1. Estudio de la disponibilidad de información	50
8.2.2. Datos constituyentes del inventario del sistema productivo	51
8.2.3 Análisis de resultados	56
8.3 Tercer Objetivo: cálculo de la huella de agua para el sector papelerero de acuerdo con tres tipos de papel	57
8.3.2 Modelo de cálculo de huella de agua por cada tipo de impacto	57
8.3.2 Creación de la herramienta de cálculo	59
8.3.3 Presentación individual a las empresas	68
8.3.4 Presentación de resultados para la Cámara.	68
8.3.5 Análisis de los impactos al agua	72
8.3.6 Informe de Sostenibilidad de la Cámara	75
8.3.7 Nuevos mercados sostenibles y Economía Circular en el sector papelerero	76
8.3.8 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	78
8.3.9. Iniciativa de visualización en portal web con la plataforma ArcGIS	78
9. Conclusiones	80
10. Recomendaciones	81
11. Referencias Bibliográficas	82
12. Anexos	86

Listado de Tablas

Tabla 1. Tipos de cuantificación del agua que anteceden a la huella de agua	17
Tabla 2. Trabajos investigativos que aportan al tema en cuestión - huella de agua	18
Tabla 3. Descripción de las principales etapas del proceso productivo de papel y cartón	27
Tabla 4. Residuos y/o vertimientos generados en las principales etapas del proceso productivo de papel y cartón	29
Tabla 5. Marco normativo	35
Tabla 6. Matriz metodológica.....	40
Tabla 7. Plan de trabajo.....	42
Tabla 8. Resultados de la encuesta para identificar el Objetivo de estudio	45
Tabla 9. Requisitos exigidos por la Norma para la definición del alcance	47
Tabla 10. Disponibilidad de información.....	51

Listado de Figuras

Figura 1. Etapas de un ACV.....	23
Figura 2. Proceso de producción de papel y pulpa.	27
Figura 3. Proceso general del papel hecho con material reciclado.	31
Figura 4. Proceso general del papel hecho con madera virgen	31
Figura 5. Proceso general del papel hecho con bagazo de caña de azúcar.....	32
Figura 6 Organigrama de la Cámara de Pulpa, Papel y Cartón.....	33
Figura 7 Fases de la evaluación de la huella de agua.....	44
Figura 8 Resultados de la pregunta para saber a quién va dirigido el estudio.....	45
Figura 9 Resultados de la pregunta para saber la aplicación del estudio	46
Figura 10 Diagrama de los límites del sistema general para cada empresa	49
Figura 11 Primera parte del inventario – datos generales	52
Figura 12 Segunda parte del inventario – generación de energía.....	53
Figura 13 Segunda parte del inventario – Materia prima.....	53
Figura 14 Segunda parte del inventario – cantidad de agua captada	54
Figura 15 Segunda parte del inventario – Calidad de agua captada	54
Figura 16 Segunda parte del inventario – Cantidad de agua vertida.	54

Figura 17 Segunda parte del inventario – Calidad de agua vertida	55
Figura 18 Tercera parte del inventario – Priorización de insumos, materias primas y su transporte	56
Figura 19 Modelo de cálculo-Diagrama de flujo.....	59
Figura 20 Información general sobre las empresas	60
Figura 21 Tabla para conversión de unidades para los combustibles	60
Figura 22 Cálculo para el impacto de acidificación indirecta.	61
Figura 23 Cálculo para el impacto de acidificación directa	61
Figura 24 Bases de datos con los factores de conversión según material e impacto	62
Figura 25 Obtención de la unidad para el cálculo (tkm) a partir de la distancia y las cantidades (datos traídos de la hoja de ingreso de datos)	63
Figura 26 Índice de escasez AWARE según subzona hidrográfica en Colombia	63
Figura 27 Factores de conversión para los parámetros de calidad de vertimientos según tipo de impacto	64
Figura 28 Cálculo de los impactos por cada parámetro de calidad en los vertimientos	65
Figura 29 Mix de energía anual en Colombia.	66
Figura 30 Tabla y Gráfica para el impacto de acidificación indirecta	66
Figura 31 Tabla y gráfica para el impacto de acidificación directa.....	67
Figura 32 Graficas finales para la presentación de resultados	67
Figura 33 Huella de agua anual sectorial	69
Figura 34 Huella de agua anual sectorial por tonelada de papel producido.....	69
Figura 35 Huella de agua según impacto de Toxicidad humana (CTU-H).....	70
Figura 36 Impactos más representativos en la huella de agua de degradación (PDF*m ² *yr)	71
Figura 37 Factores directos e indirectos que más aportan al impacto de degradación de agua marina (PDF*m ² *yr).....	71
Figura 38 Flujo de creación de la herramienta de visualización en ArcGIS	79

Resumen

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos del proyecto de cooperación entre la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón y la Universidad El Bosque. Aquí se evidencia el cálculo de huella de agua para las empresas de la Cámara, específicamente para los tipos de papel bond, kraft y suaves bajo los lineamientos de la Norma NTC ISO 14046 de 2017. Para tal fin, se identificaron los parámetros que la mencionada Norma exige, organizando el desarrollo del presente trabajo en tres fases. La primera fase consistió en la determinación de los requisitos que la Norma exige; la segunda fase en la creación de una matriz de inventario y la correspondiente recopilación de información (primaria y secundaria) y la última fase fue el desarrollo del cálculo de huella de agua junto con su debida interpretación y análisis por medio de indicadores de impacto al agua por tipo de papel. De esta manera, se creó un modelo de cálculo, a través del cual se obtuvo la huella de agua para cada empresa en términos de la escasez, consumo y degradación, y en específico, por cada tipo de papel. Así se generó un resultado global para la Cámara, en el que se dimensionan nuevas estrategias para la gestión integral del recurso hídrico.

Palabras clave: Huella de agua, huella directa, huella indirecta, papel, análisis de ciclo de vida, impactos ambientales, gestión ambiental.

Abstract

This work shows the results obtained from the cooperation project between the Chamber of the Pulp, Paper and Cardboard Industry and El Bosque University. Here is showed the water footprint calculation for the companies of the Chamber, specifically for bond, kraft and soft paper types under the guidelines of the NTC ISO 14046 of 2017. To this end, the parameters required by the Standard were identified, organizing the development of this work in three phases. The first phase consisted in determining the requirements that the standard demands; the second phase in the creation of an inventory matrix and the corresponding collection of information (primary and secondary) and the last phase was the development of the water footprint calculation along with its proper interpretation and analysis through water impact indicators by type of paper. In this way, a calculation model was created, through which the water footprint was obtained for each company in terms of scarcity, consumption and degradation, and specifically, for each type of paper. Thus, a global result was generated for the Chamber, in which new strategies for the integral management of the water resource are dimensioned.

Keywords: water footprint, direct footprint, indirect footprint, paper, life cycle assessment, environmental impacts, environmental management.

Introducción

Para la comprensión del enfoque base, se debe entender la huella de agua como concepto y método, originado a penas hasta el año 2014, con la incorporación de la Norma NTC ISO 14046:2017 en Colombia, que hace referencia a una forma más amplia de generar un estudio alrededor de la gestión del recurso hídrico y sus potenciales efectos o impactos ambientales y sociales; en los que la Norma busca generar e interpretar datos numéricos para así establecer recomendaciones que mejoren la gestión sobre el recurso hídrico (Agua Limpia, 2016). La huella de agua con su valor agregado de identificación de impactos ha sido el resultado del proceso evolutivo de otras herramientas de cuantificación de impactos; esto es el agua virtual (1998), huella hídrica (2002) y la evaluación de sustentabilidad, conceptos abordados en profundidad más adelante.

La Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) es una agremiación, sin ánimo de lucro centrada en “difundir y propiciar los principios políticos, económicos y sociales de un sano sistema de libre empresa”. Fue fundada el 11 de septiembre del año 1944 (ANDI, 2019). Esta organización incluye sectores como: industria, financiero, agroindustrial, alimentos, comercial, servicios, entre otros. Su sede principal se encuentra en Medellín, cuenta con 31 Cámaras Sectoriales (ANDI, 2019), dentro de las cuales se encuentra la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón (C.I.P.P.C.) que, a su vez, tiene adscritas nueve empresas del sector del total de 15 a nivel Colombia, es decir, representan el 85% de la producción nacional de este tipo de material, con una participación del 4.6% en el PIB industrial (ANDI, 2019).

Ahora bien, uno de los pilares para la gestión ambiental de la ANDI, es la innovación y, a su vez, el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible emitidos por la Organización de Naciones Unidas (ANDI, 2018) para lo cual, se reinventa en términos de mejora ambiental y, en este caso, no sólo busca cumplir con lo básico en torno a la Normativa, sino que, al querer ir más allá, también se ha propuesto realizar la medición de la huella de agua bajo los lineamientos de la Norma NTC ISO 14046 de 2017, con el fin de alcanzar un alto nivel en torno a la gestión del recurso hídrico, a través de un uso responsable del mismo. Además, es una de sus prioridades evidenciar con claridad impactos no sólo ecológicos, sino también generar cambios organizacionales para el mejoramiento de estos.

En el presente trabajo, se muestran los resultados del cálculo de la huella de agua bajo los lineamientos de la Norma NTC ISO 14046 de 2017, que permitieron cuantificar los impactos al agua dentro del proceso de elaboración del papel en las empresas de la Cámara. Además, se estableció una base metodológica que permitió crear la herramienta de cálculo para el desarrollo de un primer ejercicio, pero que, debido a su practicidad y estandarización, brinda la oportunidad de replicar en otros sistemas, generar oportunidades de mejora de los procesos productivos y, por ende, establecer indicadores y metas que garanticen la gestión integral del recurso hídrico y, en general en los procesos internos de cada empresa.

Cabe resaltar, que este es el producto de un ejercicio mucho más práctico con resultados totalmente concluidos, aunque tuvo un componente investigativo importante, debido a que fue necesario conocer los precedentes de la huella de agua y sus estudios pioneros que, aunque han sido pocos, aún más en el sector papelerero (por la naturaleza reciente de la Norma), fueron un punto comparativo en los resultados de los impactos, por ejemplo, para el papel kraft.

De esta manera, el presente documento contempla todo lo relacionado con la definición del problema de la huella de agua, la justificación y los Objetivos planteados luego de establecer la pregunta problema. Además, se creó un marco referencial que contempla los antecedentes, el estado del arte a nivel nacional y mundial por huella hídrica y huella de agua, haciendo mayor énfasis en la última; en adición a lo anterior, se considera el componente teórico – conceptual donde se aborda entre otros, las definiciones contextuales, los procesos y diagramas del proceso de papel (Kraft, Bond y Tisú).

Al seguir la línea documental, se encuentra el marco geográfico y el institucional, donde se menciona a la ANDI, la Cámara de Pulpa Papel y Cartón (CPPC), al Centro Nacional del Agua (CNA) y al Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML), seguido del componente Normativo más representativo. De esta manera, se encuentra la metodología dividida en dos apartados, el primero haciendo referencia al diseño metodológico, con su matriz respectiva y el segundo, con el plan de trabajo para 14 meses de trabajo continuo.

Finalmente, se muestran los resultados por cada Objetivo planteado, donde los del Objetivo tres son los más extensos, puesto que allí se consiguieron dos productos principales: la creación del modelo de cálculo y los resultados de los resultados obtenidos de las empresas en un solo conglomerado, es decir, por el sector de papel asociado a la Cámara. Lo anterior, se complementa con la sección de recomendaciones, las conclusiones bibliografía y anexos respectivos.

Este trabajo es una colaboración en el marco del convenio interinstitucional con la ANDI, donde, nuevamente se aclara que los datos específicos de cada empresa son manejados de manera confidencial, por esa razón, no se mencionan.

1. Planteamiento del problema

Desde la introducción del concepto de huella ecológica, se ha visto la necesidad de crear metodologías que describan cuantitativa y cualitativamente el impacto de las actividades humanas sobre el medio ecológico. Una forma de aportar al estudio de huella ambiental, especialmente en una organización o un sistema, es la medición de la huella de agua, donde la ISO (International Standardization Organization) recalca la importancia que se debe tener en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), junto con el volumen de agua que se usa de forma directa e indirecta (Celsia, 2016). También se tienen en cuenta la calidad del agua y la generación de impactos potenciales relacionados con la misma (ISO, 2014).

La Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón de la ANDI ha venido trabajando *en iniciativas para la gestión del recurso y para estar a la vanguardia del contexto ambiental nacional*. Actualmente, está formulando indicadores específicos para aportar al sector papelero, que demuestra su compromiso y esfuerzo por controlar los potenciales impactos que puede llegar a generar.

Con este trabajo se creó una *herramienta que permitiera la gestión integral del recurso hídrico para conocer puntos críticos dentro de la cadena productiva y categorizar los potenciales impactos que se generan al agua* y, así mismo, encontrar *estrategias de acción correctivas o preventivas para disminuir dichos impactos*. Esto responde a la necesidad de la Cámara (teniendo en cuenta la iniciativa de las empresas) y el Centro Nacional del Agua de seguir fortaleciendo la gestión ambiental dentro de los procesos productivos, en especial la del agua.

2. Justificación

En los últimos años, la industria y los mismos consumidores han querido saber cuáles son las **implicaciones ambientales** (ecológico, económico y social) **de los productos o servicios** que se adquieren. De la industria papelera, se tiene la errónea concepción que es uno de los sectores que más deforesta y consume agua, como se puede leer en las Guías para un consumo responsable de productos forestales de Greenpeace (2004) o como lo explica María Cristina Area (2008), argumentando que se pueden tratar de críticas basadas en información obsoleta o limitada. Sin embargo, la producción de papel trae consigo otros impactos indirectos que no se relacionan necesariamente con el uso del agua o de recursos forestales. Aquí se busca encontrar los **puntos críticos en la cadena de valor**, demostrando que los impactos ambientales asociados al agua no siempre se encuentran de manera directa en el uso de este recurso o por la obtención de las materias primas.

La medición de la huella de agua puede traer varias ventajas desde distintos niveles a las E.C.I.P.P.C.: empezando por el ámbito empresarial, donde se busca la **reducción de entradas, salidas y costos** al implementar estrategias adecuadas para la **gestión integral del recurso hídrico**. Igualmente, esta herramienta puede aumentar la **competitividad** y reconocimiento de las empresas al proyectarse como **organizaciones ambientalmente responsables** sobre la gestión de sus recursos, especialmente del agua.

Por otro lado, también se pueden “identificar oportunidades para reducir los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua asociados con productos en varias etapas de su ciclo de vida, así como con procesos y organizaciones” (ISO, 2014). Esta es una herramienta que permite **diagnosticar y gestionar las empresas en términos ambientales** para la toma de acciones correctivas, preventivas o de mitigación, de acuerdo con los puntos críticos que se pueden identificar.

Ahora bien, respecto al ámbito social se considera que, con este proyecto, se podrá garantizar la reducción de impactos asociados a la salud humana, pero además asegurar la disponibilidad y calidad de agua en un área determinada. Lo anterior, es debido a que en el presente trabajo se identificaron puntos críticos en el proceso general de producción de papel y, así mismo, se hicieron recomendaciones globales para que cada una de las empresas las tuvieran en cuenta y pudieran contribuir a mitigar los potenciales impactos asociados al recurso hídrico, tendiendo en consideración que aborda un aspecto social muy importante.

3. Pregunta de investigación

¿Cuáles serán los impactos más representativos identificados del cálculo de la huella de agua bajo la Norma NTC ISO 14046: 2017 en las empresas de la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón sobre la elaboración del papel?

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Analizar los impactos ambientales relacionados al cálculo de la huella de agua en el proceso de elaboración de papel bond, kraft y suaves.

4.2 Objetivos específicos

1. Levantar la información para la producción de papel de acuerdo con los requisitos establecidos en la Norma NTC ISO14046 de 2017.
2. Elaborar el inventario de los datos para la medición de huella de agua según la Norma.
3. Calcular la huella de agua de la producción de papel a partir de la información primaria y secundaria otorgada por las empresas de la Cámara.

5. Marco de referencia

En el marco de referencia se podrán encontrar apartados que van a argumentar y soportar el trabajo, desde la revisión bibliográfica, comenzando por los antecedentes.

5.1 Antecedentes

La Cámara y la Universidad El Bosque (UEB) vienen trabajando en conjunto desde el 2013, en distintos temas, como la vinculación de estudiantes para la pasantía, así como en proyectos colaborativos.

Por otro lado, el Centro Nacional del Agua (CNA), hizo una priorización de algunos sectores y algunas Cámaras con los que se podría trabajar temas de agua. La Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón, al tener un informe de sostenibilidad tan completo, permitió que se trabajara una nueva metodología como lo es la NTC ISO 14046 de 2017; además, se contó con el apoyo de la UEB desde el principio. Por esto, a mediados de 2019 surgió la propuesta por parte del CNA para hacer la medición de la huella de agua, con el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que propone la Norma, teniendo en cuenta el área de trabajo que maneja. Esto como una oportunidad para la ANDI en cuanto a demanda, oferta, uso del agua e indicadores hídricos y así identificar los procesos significativos, la consideración de aspectos geográficos y temporales, evaluando de igual modo los impactos al agua.

Así, se contactó a la UEB para participar como apoyo técnico en el proyecto. El programa de Ingeniería Ambiental, que expuso en primera instancia las principales diferencias entre la huella de agua y la huella hídrica (la metodología de cada una, sus principales características, su aplicabilidad) con base en los estándares de la Norma NTC ISO 14046 de 2017 y el Water Footprint Network, respectivamente.

Posteriormente, en agosto del año 2019 se integraron las autoras de este documento para apoyar el proyecto. En diciembre de ese mismo año, se hizo un último comité directivo en la ANDI, para definir

la etapa o los pasos a seguir del proyecto y surgió la oportunidad de anclarse a otro proyecto de huella de agua corporativa que estaba manejando la Vicepresidencia de Desarrollo Sostenible de la ANDI, donde se trabajaba en cooperación con la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y con el apoyo técnico del Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML). De este trabajo, quedaron algunos recursos para apoyar el proyecto sectorial, por lo que en enero de 2020 se incorporó la colaboración de Carlos Toro - director de proyectos- del CNPML, gracias al financiamiento de COSUDE.

En conclusión, el resultado del presente trabajo servirá como insumo para darle continuidad a la medición huella de agua anual en las empresas de la Cámara y seguir con su propósito de tener una adecuada gestión del recurso hídrico.

Para dar más fundamento teórico, se levantó el siguiente estado del arte.

5.2 Estado del arte

A continuación, se muestra la evolución del concepto de huella de agua, seguido de una recopilación de artículos y trabajos que se han desarrollado en torno a la cuantificación del recurso, en especial los que se comprenden en la Norma NTC ISO 14046 de 2017. En el ámbito nacional y mundial, resaltando que en lo regional no se registró ninguna información al respecto.

5.2.1 Evolución de las metodologías de cuantificación del agua

En desarrollo de la idea de la evolución del concepto de huella de agua, se identificaron cinco etapas propuestas por CADIS (2016). En primera instancia, se tiene como base fundamental de la medición de huellas, a la **huella ecológica (ha/crioap*año)**, surgida en el año 1992, con el fin de dar un dato numérico sobre la superficie de tierra necesaria para el desarrollo de las actividades humanas. Pone en manifiesto cuantitativamente las vinculaciones de los hábitos y formas de vida con los problemas ambientales. Uno de los beneficios al usar este tipo de herramientas de cuantificación, es el hecho de que, por medio de comparaciones nada complejas, por ejemplo, que una hectárea es equivalente a una cancha de fútbol, resulta ser una forma fácil de dar a entender el impacto que dicha actividad o producto genera (Martínez, 2007). Esta huella es considerada como la primera forma de cuantificar la relación entre impactos antropogénicos sobre el entorno ambiental y sus componentes.

La segunda fase en la evolución de la huella de agua es el **agua virtual**, que es la que tiene una relación más directa con la que atañe en el presente trabajo, puesto que aquí ya se aborda netamente el tema del recurso hídrico. Según Hoekstra (2003), “es el agua contenida en un producto, no en el sentido real sino en el sentido virtual. Se refiere al agua usada para elaborar un producto determinado” (p. 13). Su reconocimiento se da porque con esta, es posible identificar el paso de agua que se puede dar entre un país y otro, a través de sus exportaciones e importaciones, en especial, las de tipo agrícola (Parada, 2012). Además, ha presentado dos metodologías para su evaluación, la primera desde el punto de vista del productor, es decir, el agua que se usó para la elaboración de un producto (interviene el lugar, el tiempo y la eficiencia del agua); y la segunda es aquella que hace el cálculo del agua que se hubiera utilizada en

el lugar donde se necesita el producto (Hoekstra, 2003), lo que implica que incorpora implícitamente el ahorro posible de agua si se evitará usar los mecanismos de importación y exportación.

Siguiendo con el proceso evolutivo, se tiene la **huella hídrica**, que muestra un acercamiento más preciso de lo que hoy consideramos una cuantificación integral. Tanto la metodología de medición como el concepto, como fueron creados por el Dr. Allen Hoekstra en el año 2002. Por tanto, este término se define como: "el volumen de agua necesaria para producir los bienes y servicios consumidos por los habitantes de ese país, [...] y es un indicador del uso de agua en relación con el consumo de la población" (Hoekstra, 2002, p.55). Lo más relevante en este tipo de medición es que tiene en cuenta el agua que se gasta o usa de forma directa o indirecta (WFP, 2019).

Tabla 1
Tipos de cuantificación del agua que anteceden a la huella de agua.

Tipo de cuantificación	Característica fundamental
Huella ecológica	Cantidad de terreno usado para llevar a cabo un producto o servicio
Agua virtual	Cantidad de agua usada en la producción de un producto o la que se hubiera usado al producirlo en el lugar de la demanda.
Huella hídrica	Cantidad de agua directa o indirecta usada en la elaboración de un producto.
Huella de agua	Medición de huella de agua e identificación de impactos a partir del análisis de ciclo de vida, con proposición de mejoras.

Fuente: elaboración propia a partir de COSUDE (2016).

5.2.2 Estudios con base en la huella hídrica

Para comprender la evolución del concepto de huella de agua, se presentan artículos y proyectos de grado que sustentan las formas y dinámicas en que estos trabajos se llevaron a cabo; para este caso la huella hídrica propuesta por Hoekstra (2002).

1. Trabajo de grado: **“Estimación de la huella de agua hídrica, para la secretaría del agua, planta central Quito”**. En este estudio se realiza una crítica a la Norma planteada en el presente documento, en la cual se sustenta que la huella de agua por sí sola no es tan eficiente, por lo que se debe incorporar en ella los parámetros de huella azul, gris y verde¹. De esta manera, el autor define explícitamente en torno a las huellas mencionadas, y destaca los parámetros necesarios para el cálculo. Una de las herramientas usadas para el levantamiento de información, fueron

¹Componentes de la huella hídrica de Hoekstra. La huella hídrica azul es el agua consumida de recursos hídricos, superficiales y subterráneos; la verde es el agua obtenida por precipitación que se acumula en suelo y que es evaporada, transpirada o incorporada por las plantas y la gris es la cantidad de agua dulce necesaria para diluir los compuestos contaminantes de los vertimientos hasta cumplir con la calidad necesaria que estipulan las Normas locales. Se hará mayor explicación de estos conceptos en el Marco teórico-conceptual.

encuestas sobre los estilos de consumo de los trabajadores de la organización; se analizan recibos de luz, agua, compras de papel higiénico, de archivo y sus usos; datos que generan información directa e indirecta del uso del agua. Finalmente, se muestra la realización de pruebas de laboratorio con las cuales se determinó la DBO y DQO del agua antes de entrar al proceso y después (convertido en agua residual), para así hallar los tres tipos de huella, donde la suma representa la huella de agua total (Guaman, 2018).

2. Proyecto de grado: “**Estimación de la huella hídrica para la producción de leche en Tunja, Boyacá**”. Muestra a grandes rasgos el resultado final de la cuantificación de la huella hídrica total, de la huella gris, azul y verde. Razones por las que da una huella de agua alta, estas se comparan con la producción, el uso de fertilizantes, la carga animal, cantidad de vacas. Se dan datos de la demanda de agua en regiones del país. Se da la recomendación de implementar sistemas silvopastoriles y producir alimentos dentro de las fincas, en lugar de introducir concentrado a la dieta de los animales. En cuanto al aporte del documento, este da claridad en la clase de enfoque (cuantitativo). En torno a lo conceptual, el documento da un valor de disponibilidad de agua. Es un ejemplo para entender por qué el valor da un resultado bajo o alto, además de hacer una comparación con los valores estándares. Esta revisión nos permitió confirmar que nuestro estudio es de alcance descriptivo y cuantitativo. Se pueden relacionar los resultados con respecto al proceso de papel. El análisis es correlacional (Corredor, 2017).

A continuación, se muestran otros estudios relevantes que son fundamento literario para el cálculo de la huella hídrica.

Tabla 2

Trabajos investigativos que aportan al tema en cuestión - huella de agua.

Trabajo/proyecto	Año	Autor	Descripción/aporte
Evaluación de huella de agua hídrica generada por los sectores comerciales de vivienda del barrio La Florida (Bogotá D.C.)	2013	Isabel Nataly García Santana y Jennifer Toro Martínez	Se estudian las relaciones socio - ambientales relacionadas con el agua, específicamente, del volumen total de agua dulce utilizado para los bienes y servicios generados por una empresa o consumidos por un individuo o la población en general, es decir, entre el Barrio La Florida y el comercio.
Evaluación de la huella hídrica en la producción de rosas y habas en tres hectáreas del Municipio de Sesquilé	2014	Carmen Viviana Castro Lozano Nazlhy Jhoanna Barrera Ruiz	Definición de huella hídrica y sus clases (gris, azul y verde). Toca el tema de huella directa e indirecta. Además, identifica posibles fuentes de contaminación.
Medición huella hídrica corporativa de la empresa Celsia	2016	Celsia, Gaia	Definiciones huella hídrica, huella hídrica corporativa, huella azul, gris, verde

Fuentes: autoras, 2019.

5.2.3 Estudios con base en la huella de agua

Debido a la reciente promulgación del concepto de huella de agua, los estudios en cuanto a este tema no son abundantes. Sin embargo, se han ido incorporado investigaciones y algunos manuales metodológicos que permiten tener una base, no sólo conceptual, sino de ejecución, lo que resulta ser una gran ayuda para el proceso de innovación metódica, que se busca en el presente trabajo. A continuación, se muestran algunos artículos y trabajos a nivel nacional, latinoamericano y mundial que, sin duda alguna, son aporte y sustento de información:

- *Nacional*

1. Trabajo de grado: **“Estimación de la huella hídrica generada en el año 2016, bajo los lineamientos de la ISO 14046 para las plantas de concreto Argos ubicadas en la zona centro, Colombia”**. Allí se evidencia el uso del ACV (Análisis de Ciclo de Vida) el cual se en los lineamientos de la nueva Norma. Se realiza el cálculo de agua gris, verde y azul, puesto que así se garantiza la exploración del uso del agua por todo el ciclo de vida del producto. Además, es garante de la base de datos GRI como fuente de información sobre la captación de aguas lluvias. Otra de las evidencias en dicho trabajo, son la exploración de cuatro etapas del proceso para 13 empresas, en la elaboración del cemento, en las que se realiza un estudio de: captación de agua, caudal de salida, agua recirculada y pérdidas, a partir de los cuales se hace más completo el estudio sobre el uso del recurso. Como resultado final del estudio, se tuvo que la huella de agua total, al tener una huella azul elevada, se concluye que es alta la captación y el uso del agua en el proceso productivo del cemento. De esta manera, se hizo necesario identificar impactos a partir del índice de estrés hídrico calculado (Figueroa, 2018). Hay que aclarar que, aunque este trabajo dice basarse en la Norma ISO, en ella no se definen la huella azul, gris ni verde. Estos son conceptos solo de la huella hídrica de Hoekstra.
2. Revisión: **“Huella hídrica de un producto industrial: Una metodología adaptada”**. Se realiza un compendio de información sobre la huella de agua de la Norma ISO y la WFN. Se lleva a cabo una investigación que demuestra el cálculo de HH basado en el enfoque de ACV. Así mismo, se menciona que esta metodología deja de lado conceptos importantes para el análisis de huella de agua descritos por la WFN, que han demostrado ser de gran utilidad, como los conceptos de huella azul, verde, gris, interna, externa, directa e indirecta (Arroyo y Cervantes, 2018).
3. **Huella de agua en el Grupo Familia:**

“...participamos en el proyecto de medición y reducción de la Huella Hídrica ‘Suizagua Colombia’ con las plantas de Medellín y Rionegro durante los últimos tres años. Hemos implementado en los últimos años acciones de mejora que nos han permitido reducir en Medellín hasta el 15% en el consumo de agua por tonelada de papel” (Grupo Familia, 2015).

4. **Huella de agua corporativa de Papelsa:** se hace el cálculo de huella de agua a las 2 plantas de Barbosa, Antioquia: Planta Molino y Planta Corrugado. La primera de estas utiliza como materia prima un cien por ciento de papel reciclado para producir papel tipo container board, el cual es utilizado en las plantas corrugadoras para la producción de láminas de cartón. Los resultados se presentan en términos de impacto, estudiando los indicadores de eutrofización agua dulce y marina y ecotoxicidad. Así pues, se obtiene que el mayor impacto en la producción del papel Kraft de Papelsa es principalmente la eutrofización marina por emisión de nitrógeno, debido a la recolección y el transporte del papel hasta la fábrica luego de ser clasificado. Adicionalmente, se observa el impacto de eutrofización por la fabricación y quema de carbón en la planta. Para este último, se evidencia una reducción del uso de este combustible y su impacto asociado, gracias a la cogeneración de electricidad con gas natural. La tendencia se mantiene para la toxicidad humana (SuizAgua Colombia, 2019).

- *Mundial*

Para este caso, se acudió a la revisión en bases de datos más especializadas por medio de la fórmula de búsqueda más aproximada, esta fue: "water footprint" AND paper AND "ISO 14046". Esto debido a que la información sobre Huella de Agua para la industria papelera bajo la Norma NTC ISO 14046:2017 es muy escasa. Sin embargo, se hallaron cuatro estudios en la base de datos Science Direct, que ofrecieron un referente al presente trabajo, pero no se hallaron estudios en bases de datos como Scopus y Web of Science.

1. Estudio: **“Diseño de una metodología para reportar la huella de agua”**. La metodología propuesta para evaluar la huella de agua trata los impactos ambientales potenciales al agua dulce a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto o servicio, desde la extracción de materia prima, pasando por la producción, uso, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final. Es decir, de la cuna a la cuna, pues gran parte del volumen de agua utilizado por el ser humano regresa a los cuerpos superficiales, con una calidad diferente provocando impactos en la fuente de extracción y de retorno. La metodología consta de las cuatro fases requeridas para hacer un estudio de ACV, de acuerdo con la Norma mexicana NMX-SAA-14044-IMNC-2008 Gestión ambiental - Análisis de ciclo de vida – Requisitos y directrices, la cual cumple con los requisitos de la Norma ISO 14044 (Arroyo y Cervantes, 2018).
2. Artículo **“Energy and carbon coupled water footprint analysis for Kraft wood pulp paper production”**. Se realiza la medición de huella de agua bajo la Norma ISO NTC 14046 de 2014 del papel Kraft, elaborado a partir de pulpa virgen. Toman como referencia el método de análisis de ciclo de vida para el entendimiento del sistema y se toma como unidad funcional una tonelada de papel. Como alcance, se ocupa el sistema productivo y sus procesos indirectos (desde ingreso de la materia prima hasta la obtención de la tonelada de papel seco). Se evidencia que los impactos de eutrofización acuática y salud humana están influenciados por el proceso de blanqueo cloración-extracción, con un mejor resultado a partir del blanqueo sin cloro elemental. Además, se evidencia que es la huella indirecta la que más aporta a la huella de agua, por encima de los procesos directos, en donde algunos parámetros químicos como el DBO, cromo y otros, son los que más aportan a esta última. Finalmente, se dan consideraciones con respecto al

mejoramiento del tratamiento de agua residual y del uso del licor negro producido como combustible (Ma et al, 2018).

3. Artículo “**Energy and carbon coupled water footprint analysis for straw pulp paper production**”. En el presente estudio se tuvo en cuenta el cálculo de huella de agua de papel producido con pulpa de paja, abundante en China, ejercicio que pareció ideal debido a que, a diferencia de otras materias primas, ésta requiere de muchos más procesos de transformación. Para lo anterior, se recurrió a definir la unidad funcional como una tonelada de papel sin blanquear; los límites del sistema van desde la recolección de la paja en campo, las emisiones y la producción de residuos derivados del proceso. Se miden las huellas de degradación, toxicidad humana y escasez (estas dos últimas son las que más relevancia tuvieron). Por otro lado, se identificó que los combustibles fósiles son de los factores que más aportan a la huella indirecta y que las cargas contaminantes del cuerpo hídrico vienen aguas arriba de la empresa, por lo que el aporte directo es ligero (Ma et al, 2019).
4. Artículo: “**Comprehensive water footprint assessment of the dairy industry chain based on ISO 14046: A case study in China**”. Se evalúa el uso consuntivo y degradante del agua de un estudio de caso de una empresa láctea, proporcionando un análisis de los impactos ambientales relacionados con el recurso hídrico, guiando y verificando el desarrollo de la Norma nacional equivalente de China. Este documento ilustra una metodología para llevar a cabo la gestión sostenible del agua, desde la perspectiva de la cadena de suministro y utiliza estudios de casos específicos para mejorar la comprensión de la metodología de la WFA basada en la Norma ISO 14046 (Bai et al, 2018).

Con esta información, podemos continuar con el Marco teórico-conceptual para profundizar en los términos necesarios y así entender el proyecto de huella de agua.

5.3 Marco teórico-conceptual

Es necesario recalcar la diferencia entre la huella hídrica y la huella de agua, que son dos conceptos que tienden a confundirse o creer que son lo mismo. El primero se rige por The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard (WFAM), introducido por Hoekstra por primera vez en 2002; mientras que el segundo es un concepto de la ISO en la reciente Norma ISO 14046 de 2014.

5.3.1 Huella hídrica

En primera instancia, la **huella hídrica** se define como un indicador que mide la cantidad de agua, es decir, el volumen, que se utiliza durante el proceso de un producto o servicio. Según el WFAM “es un indicador multidimensional que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuente y los volúmenes contaminados por tipo de contaminación; todos los componentes de una huella total de agua se

especifican geográfica y temporalmente” (Hoekstra, 2011, p. 2). Esta se mide en unidades funcionales, de acuerdo con los Objetivos de estudio en un determinado proyecto. Por ejemplo, metros cúbicos por tonelada de producción o por hectárea de tierra de cultivo (WFN, s.f.).

The Water Footprint Network (WFN) explica que el uso puede ser de manera directa o indirecta y que este indicador cuenta con tres componentes: huella hídrica azul, verde y gris. La huella hídrica directa se considera como el agua utilizada directamente por los individuos; mientras que la huella hídrica indirecta es la suma de todas las huellas hídricas directas de los productos o servicios consumidos (WFN, s.f.). Por otro lado, la huella hídrica azul se define como el agua consumida de recursos hídricos, superficiales y subterráneos. Tal como dice el WFAM:

(...) el término ‘consumo’ se refiere a la pérdida de agua de la masa de agua subterránea o superficial disponible en una zona de captación. Las pérdidas se producen cuando el agua se evapora, regresa a otra zona de captación o al mar o se incorpora a un producto (Hoekstra, 2011, p. 2).

La huella hídrica verde es el agua obtenida por precipitación que se acumula en suelo y que es evaporada, transpirada o incorporada por las plantas. Se destaca principalmente en productos agrícolas, hortícolas y forestales (WFN, s.f.). La huella hídrica gris es la cantidad de agua dulce necesaria para diluir los compuestos contaminantes de los vertimientos hasta cumplir con la calidad necesaria que estipulan las Normas locales. Esta “considera la contaminación por fuentes puntuales descargada a un recurso de agua dulce directamente a través de una tubería o indirectamente a través de escorrentía o lixiviación del suelo, superficies impermeables u otras fuentes difusas” (WFN, s.f.).

Cabe aclarar que este trabajo no se basó en esta metodología, pero sí es necesario mencionarla para entender la diferencia con la huella de agua.

5.3.2 *Análisis de Ciclo de Vida (ACV)*

Cabe considerar, que el Ciclo de vida son las “etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de la materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final” (ICONTEC, 2007, p.2). De esta manera se puede entender que el ACV es un método para comprender y manejar los impactos ambientales asociados a los productos (bien o servicio), tanto manufacturados como consumidos. El ACV trata los aspectos ambientales y los potenciales impactos ambientales en el ciclo de vida de un producto.

La primera vez que la ISO incorporó el ACV entre las Normas de estandarización fue en 1998 con las Normas ISO 14040: 1997 (Principios y marco del ACV), ISO 14041:1998 (Definición de Objetivos y alcance), ISO 14042:2000 (Evaluación del impacto del ciclo de vida) e ISO 14043:2000 (Interpretación del ciclo de vida), que fueron reemplazadas y recopiladas posteriormente por las Norma ISO 14040 (Análisis del ciclo de vida-Principios y marco de referencia), junto con la Norma ISO 14044 (Análisis del ciclo de vida-Requisitos y directrices), ambas de 2006 (Bjørn, Owsianiak, Molin & Hauschild, 2018).

A pesar de que esta metodología se estandarizó en los 90’s, tiene una trayectoria más antigua. Desde mediados de 1960 se comenzó a trabajar el tema de ACV bajo el nombre de Análisis de Perfil Ambiental y de Recursos o Ecobalances. Estos primeros métodos se basaban en inventariar los materiales, energía, emisiones y generación de residuos. Sin embargo, con el paso del tiempo los inventarios se volvieron más complejos y surgió la necesidad de resumir los datos en impactos potenciales al ambiente.

Asimismo, fueron naciendo bases de datos para la recopilación de información como Ecoinvent y softwares que ayudaran a realizar este cálculo como SimaPro, OpenLCA y GaBi. (Bjørn, Owsianiak, Molin & Hauschild, 2018).

Según la Norma NTC ISO 14040: 2007, existen cuatro fases de estudio de ACV: la definición del Objetivo y alcance, en donde se incluyen los límites del sistema y el nivel de detalle del estudio; el análisis del inventario, que es un conjunto de los datos de entrada y salida en relación con el sistema bajo estudio para cumplir con los Objetivos establecidos; la evaluación del impacto ambiental, que proporciona información adicional para evaluar los resultados del inventario para comprender la importancia ambiental del producto; y la de interpretación, donde se resumen y discuten los resultados del inventario y la evaluación para llegar a conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones según el Objetivo y el alcance del estudio (Figura 1).

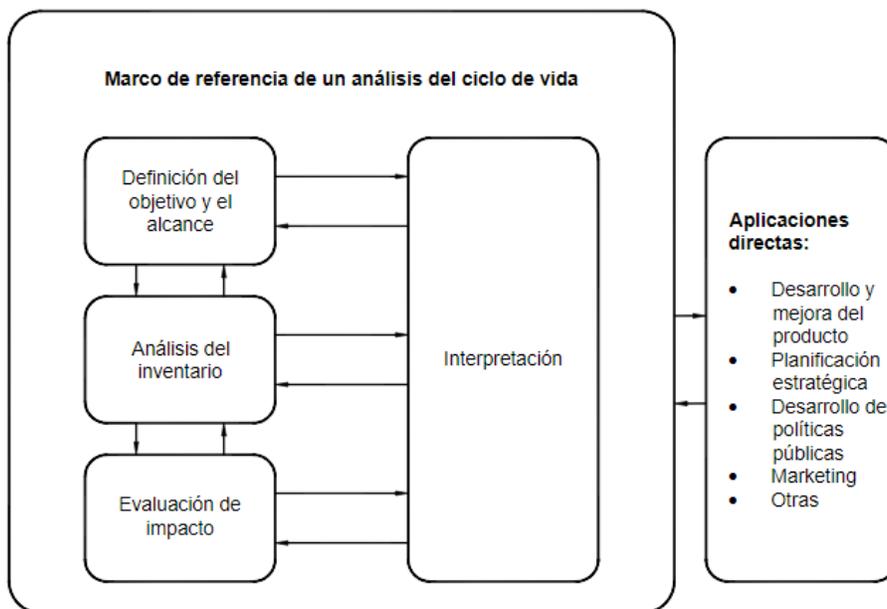


Figura 1. Etapas de un ACV. Fuente: NTC ISO 14040:2007.

5.3.3 Huella ambiental

De acuerdo con la explicación anterior, la huella ambiental se considera una medida multicriterio en donde se evalúan los potenciales impactos ambientales de un producto u organización, según un ACV. Los impactos ambientales analizan la calidad de varias esferas ambientales o geo-ecosistemas, como la atmósfera, el suelo o el agua.

Entre los impactos de huella ambiental se encuentran (Ihobe, 2017).

- Cambio climático
- Reducción de la capa de ozono
- Acidificación del medio terrestre
- Acidificación del medio acuático
- Eutrofización del agua dulce
- Eutrofización del medio marino
- Toxicidad humana (cancerígena y no cancerígena)
- Formación de oxidantes fotoquímicos
- Formación de partículas
- Ecotoxicidad terrestre
- Ecotoxicidad de agua dulce
- Ecotoxicidad del medio marino
- Radiación ionizante
- Ocupación de tierras agrícolas
- Ocupación de suelo urbano
- Transformación del terreno natural
- Agotamiento recursos hídricos
- Agotamiento del combustible fósil
- Agotamiento del recurso mineral

La huella ambiental tiene, además, dos componentes principales: la **huella directa** y la **indirecta**. La primera implica los impactos generados directamente por la producción, en este caso de cada tipo de papel. Es decir, aquí se incluye la combustión para la generación de energía en la planta y la calidad de los vertimientos de agua. La segunda incluye la creación y transporte de los materiales que se usan en la planta. En ella se abarcan los insumos, las materias primas y las fuentes de energía.

5.3.4 Huella de agua

La **huella de agua** es la “métrica o métricas con las que se cuantifican los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua”. Esta se realiza mediante el ACV considerando todas las etapas, desde la adquisición de las materias primas, hasta el fin de vida de un producto, servicio u organización (ICONTEC, 2017).

A mayor profundidad, la Evaluación de la Huella de Agua es una técnica para tener un mejor entendimiento sobre los impactos relacionados al uso del agua y, asimismo, mejorar la **gestión del agua** a nivel local, regional, nacional y global. Las principales características de la huella de agua de la ISO son: basarse en el análisis de ciclo de vida, como se ha mencionado anteriormente; es modular, es decir, que las distintas huellas de agua de distintas etapas del ciclo de vida pueden sumarse para representar una huella total; identifica los potenciales impactos relacionados con el agua; incluye dimensiones geográficas y temporales pertinentes; identifica la cantidad de consumo de agua y los cambios en la calidad del agua; y utiliza conocimientos de hidrología.

Según el ICONTEC (2017), la evaluación de la huella de agua tiene distintas aplicaciones, como evaluar la magnitud de los potenciales impactos ambientales relacionados al uso del agua en un producto, proceso u organización; identificar oportunidades para reducir dichos impactos; la gestión integral del riesgo relacionado con el agua; mejorar la **eficiencia** y la **optimización del agua y su gestión**; informar a los tomadores de decisiones sobre los potenciales impactos relacionados al agua; y proporcionar información coherente y fiable con base en evidencia científica para dar informe de los resultados de la huella de agua.

Por otro lado, el **Índice de escasez AWARE** (Agua remanente disponible - m^3 eq) representa el agua disponible relativa restante por área en una cuenca, una vez que se ha satisfecho la demanda de los seres humanos y los ecosistemas acuáticos. Este indicador tiene un rango desde 0,1 a 100, donde 1 corresponde

al promedio mundial, y un valor de 10, por ejemplo, que representa una región donde queda 10 veces menos agua disponible por área que el promedio mundial (WULCA, 2014). La **Degradación a ecosistemas** ($\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$) representa la fracción de especies potencialmente desaparecidas en un área y tiempo determinado, siendo esta la sumatoria de otros impactos como la acidificación al agua, la eutrofización de agua dulce y marina, la ecotoxicidad y el consumo de agua. Y el **consumo de agua** (m^3), directo e indirecto, representa la cantidad de agua que no retorna a las cuencas hídricas, es decir, el agua captada menos el agua vertida.

Al tener un enfoque de ciclo de vida, La huella de agua se diferencia significativamente de la huella hídrica de Hoekstra.

5.3.5 Normas Técnicas Colombianas (NTC)

Las NTC están definidas como documentos Normativos, como resultado de investigaciones científicas y tecnológicas que permiten concluir criterios para la ejecución de una amplia gama de procesos dentro de la industria, el aspecto social y el profesional. Así pues, lo que se busca es que todos aquellos que aspiran al seguimiento de una NTC, puedan tener garantías tanto para la organización, como para las personas que interactúan en pro de esta. Las NTC son el fruto del trabajo de la organización ICONTEC, entidad encargada de promover, desarrollar y guiar la aplicación de las Normas, buscando la mejora en la relación nacional e internacional de cliente-proveedor (Pérez, s.f.).

ICONTEC es una organización sin ánimo de lucro, que tiene como fin dar respuesta a la necesidad de las industrias y sectores económicos de mejorar la imagen de sus productos y servicios, lo que, a su vez, es un potenciador en el realce de los niveles de confianza. Principalmente, sus servicios son de carácter educativo, Normativo y certificador. Su alcance de actuación es nacional e internacional, por lo que busca estar a la vanguardia en términos de tecnología (ICONTEC, 2020).

5.3.6 Normas Internacionales ISO

ISO es la institución encargada de crear las Normas internacionales de estandarización y Normalización para la calidad, seguridad y eficiencia de productos y servicios, con la cual se abarca la gran mayoría de industrias. Se fundó oficialmente el 23 de febrero de 1947 y está presente en 193 países con sede principal en Ginebra-Suiza (ISO, 2020).

Dentro de las Normas ISO se encuentra cuatro principales familias, estas son: las ISO 9000, 14000, 22000 y 45000. Cada una de ellas se encarga de un tema en específico. La primera familia abarca los aspectos de calidad de productos y servicios y su certificación va orientada a la persuasión del cliente; la segunda está enfocada en la gestión ambiental de las empresas y su fin específico es el manejo de los riesgos ambientales, lo que trae como beneficios la reducción de costos, ventajas competitivas y cumplimiento de la Normatividad. El tercer grupo hace referencia a la seguridad y salud alimentaria desde el empaquetado hasta el transporte del producto lo que garantiza el control de riesgos y acierta en la confianza de los clientes y finalmente (ISO, 2020).

Para el presente caso, se trabaja con la Norma NTC ISO 14046:2017 que, como bien se identifica, hace parte de la familia de las ISO 14000, por lo que el **enfoque principal del estudio es la gestión ambiental** con una potencial verificación para la empresa. La aplicación de su metodología permitirá importantes

beneficios internos en términos económicos y productivos; además, mejorará la competitividad y, en general, la imagen externa de la empresa en aspectos como el cumplimiento legal de y la aceptación del mercado.

5.3.7 Proceso general de producción de pulpa y papel

El papel es un producto elaborado a partir de fibras de celulosa que provienen de fuentes renovables y son biodegradables y reciclables. Según Riveros (2019), son tres sus fuentes sostenibles que son la fibra virgen de madera de plantaciones forestales certificadas de pino y eucalipto; fibra virgen de bagazo de caña de azúcar, es decir, el residuo de la producción agroindustrial de azúcar, panela y etanol; y fibra reciclada de residuos posconsumo, enfocándose en un modelo de **economía circular**².

Dentro del proceso productivo en Colombia de 2010 a 2017, se ha logrado disminuir en un 7,23% la captación de agua por tonelada producida; en un 18,3% el consumo de energía; en un 4,6% las emisiones de dióxido de carbono; y aprovechamiento de residuos no peligrosos en un 68%, ya que la gran mayoría son residuos biodegradables (residuos de madera, papel, bagazo, entre otros). En ese mismo año, también se recogieron 819.211 toneladas de material para procesos de reciclaje, con un aumento del 17% con respecto al año 2010, lo que pone a Colombia sobre el promedio latinoamericano de reciclaje, que es de 55,2% (Riveros, 2019).

La producción de pulpa y papel es la tercera industria que más consume agua en el mundo (Bajpai, 2017). Según el Informe de Sostenibilidad de 2017 del sector, tan sólo en ese año, hubo una captación de agua total de 59'820.124 m³ de agua, mientras que el consumo fue de 4'837.124 m³. Esto provoca de igual manera altos consumos de energía para el bombeo y tratamiento. El agua es necesaria para muchos procesos como la preparación de las materias primas (por ejemplo, el lavado de las virutas de madera), la cocción, el lavado de la pulpa, el tamizado, el blanqueo, el transporte, la dilución, la formación, limpieza de equipos, enfriamiento y la producción de vapor para su uso en procesos y en la generación de energía in situ (Bajpai, 2017). En la Figura 2 se observa el proceso general del papel, mientras que la Tabla 3 explicada cada proceso descrito.

Ya que el 92% del agua captada es vertida de nuevo a los cuerpos hídricos, esta puede venir con altas cargas contaminantes de distintas sustancias tóxicas que afecta potencialmente la salud y dinámicas de los ecosistemas naturales acuáticos y terrestres, como se observa en la Tabla 4.

² Que busca optimizar el uso de recursos para disminuir la generación de residuos, actuando a lo largo de toda la cadena productiva.

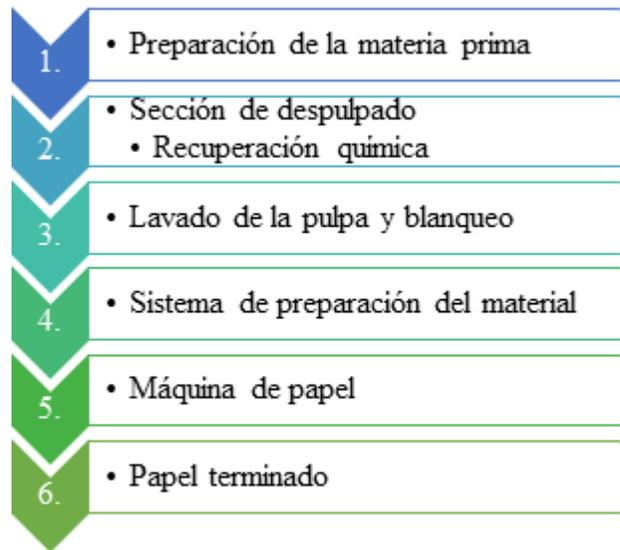


Figura 2. Proceso de producción de papel y pulpa. Fuente: autoras a partir de Bajpai, 2017.

Tabla 3

Descripción de las principales etapas del proceso productivo de papel y cartón.

Etapa	Descripción
Manipulación y descortezado de madera	Comienzo de la preparación de la materia prima, que viene como troncos enteros o astillas de aserradero. Se elimina la corteza de los troncos y se reducen a fragmentos de viruta. Se selecciona la viruta y las astillas de acuerdo con la uniformidad de su tamaño. El material que se descarta se utiliza como combustible para la generación de vapor.
Pulpa química	Las fibras son liberadas de la matriz de la madera con el uso de productos químicos en presencia de calor y presión. El proceso Kraft o proceso de sulfato, es el más utilizado y se basa en una solución alcalina de hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na ₂ S), que degrada los carbohidratos por hidrólisis alcalina y pelable, reaccionando hasta cierto grado predefinido de deslignificación (remoción de parte o toda la lignina ³ de la madera a través de un tratamiento químico). Este se expresa como el número de Kappa, que es la cantidad de lignina aún presente en la pulpa cocida.

³ Se define como un polímero orgánico que forma parte de la pared celular de muchas células vegetales, a las cuales da dureza y resistencia (Oxford Languages, s.f.).

Fabricación de pulpa

Pulpa mecánica	La madera se procesa para la desintegración de las fibras, de manera mecánica con el uso de energía eléctrica. Esto puede tener un 95% de rendimiento. Debido a que el sistema es más sencillo que el desulpado químico, la calidad de la pulpa es baja y contiene mucha lignina, lo que produce un amarillamiento ⁴ posterior. Las pulpas mecánicas representan el 20% de todo el material de fibra virgen. Sin embargo, el creciente uso de fibras recicladas puede disminuir el volumen de producción de pulpa mecánica.
Pulpa semiquímica	Se utiliza energía química y mecánica para extraer las fibras de la pulpa. Las astillas de madera primero se ablandan parcialmente en un digestor utilizando productos químicos, calor y vapor. Una vez que las astillas se ablandan, se utilizan métodos mecánicos para completar el proceso de desulpado. Después de la digestión, la pulpa se lava para eliminar los productos químicos del licor de cocción y los compuestos orgánicos, que se disuelven de las astillas de madera.
Pulpa de fibras recicladas	Este tipo de pulpa tiene distintas propiedades físicas, como menor resistencia y rigidez que las fibras vírgenes debido a los diferentes orígenes de estas. El papel reciclado es rehumedecido y convertido en pulpa, principalmente por métodos mecánicos. Las tintas, adhesivos y otros contaminantes pueden eliminarse mediante el destintado químico y la separación mecánica. En algunas ocasiones procede el blanqueo de la pulpa.
Pulpa de fibras no madereras	Las fuentes no madereras representan alrededor del 6% de la oferta total de fibras para la fabricación de papel. Estas fibras, como las de caña de azúcar, son más costosas de recolectar y procesar, pero son más fáciles de cocinar, por lo que emplea la cocción de soda en menor proporción que la cocción de Kraft.

Blanqueo

El blanqueo se realiza para darle un brillo específico al papel de acuerdo con la calidad requerida y limpiar la pulpa de impurezas indeseables en el acabado final. El potencial de blanqueo de las pulpas depende de su contenido de lignina, es decir, entre mayor contenido de esta, más difícil será el proceso y, por lo tanto, se necesitará de más productos químicos. Las sustancias más utilizadas son el cloro, el dióxido de cloro, hipoclorito de sodio, oxígeno, peróxido de hidrógeno y ozono.

Preparación del material En esta etapa se convierte el material en bruto en material terminado para la máquina de papel. Consiste en varios pasos, que son: desintegración de fibras, limpieza, modificación de fibras, almacenamiento y mezcla. Allí las fibras pasan por distintos tipos de refinados, dependiendo del tipo de papel que

⁴ Por oxidación al exponerse a la luz solar.

Fabricación de papel

se requiera. También se adhieren distintas sustancias químicas, como resinas (mejorar resistencia al agua), pigmentos (afectan el color) y rellenos (mejoran cualidades ópticas).

Formación	Se convierte el lodo (alto contenido de humedad, hasta de un 99,5%) formado anteriormente en el tipo de papel deseado. Se busca drenar el agua de la pulpa sobre una malla en la máquina de papel.
Prensado	Se somete el papel a compresión entre dos rodillos giratorios para exprimir más agua, este volumen depende del diseño de la máquina. Después de este proceso, el contenido de humedad se reduce a 65%.
Secado	El papel sigue a los secadores calentados por vapor, mientras sigue perdiendo humedad, donde se evaporan varias toneladas de agua, para llegar a un contenido de humedad de 4-6%. El papel no debe estar demasiado seco, sino puede volverse quebradizo. Finalmente, el papel es enrollado en el diámetro de rollo deseado. El papel puede someterse a otros procedimientos posteriores, dependiendo del tipo y presentación que se quiera producir.

Fuente: autoras a partir de Bajpai, 2017.

Tabla 4

Residuos y/o vertimientos generados en las principales etapas del proceso productivo de papel y cartón.

Etapas	Residuos y/o vertimientos
Manipulación y descortezado de madera	Virutas y astillas desechadas.
Fabricación de pulpa	Pulpa química Efluentes con ácidos carboxílicos, nutrientes, sólidos en suspensión, sales de la madera y sustancias colorantes, y se caracterizan por cierta toxicidad debido a la presencia de lignina, compuestos extractivos tóxicos tales como ácidos resínicos, compuestos clorados de la etapa de blanqueo (si se utilizan compuestos clorados) y metales.
	Pulpa mecánica Efluentes con sólidos suspendidos y bajo contenido de sustancias químicas.
	Pulpa semiquímica Efluentes con rastros de carbonatos, sulfitos, licor de kraft.

a

Pulpa de fibras recicladas	Casi no hay efluentes en algunas fábricas porque se usan ciclos cerrados de agua. En otras fábricas se generan lodos, que deben ser tratados como residuos sólidos o efluentes que se caracterizan por la presencia de sólidos en suspensión y sustancias orgánicas, como derivados de almidón, compuestos organoclorados (si el blanqueo se realiza con derivados del cloro), nutrientes, metales, sales y sustancias colorantes, siendo estos efluentes más biodegradables que los producidos en procesos que utilizan fibras vírgenes
Pulpa de fibras no madereras	Hay una recuperación limitada o nula de productos químicos y generación de desechos significativamente más altas por tonelada de producto en comparación con las fábricas modernas de kraft. Se puede contrarrestar con descargas con altos contenidos de cal.

Blanqueo Efluentes con contenidos de compuestos organoclorados, compuestos tóxicos clorados en bajas concentraciones.

Fabricación de papel Agua con bajas concentraciones de sustancias químicas.

Fuente: elaboración propia a partir de Bajpai, 2017.

5.3.8 Especificaciones según el tipo de papel

Existen tres grandes clasificaciones de tipo de papel: bond, que incluye todos los papeles de imprenta y escritura, en muchas ocasiones blanqueados; el kraft, que no corresponde al proceso químico, sino a los papeles y cartones para cajas y empaques, no blanqueados; y tisú, que corresponde a los papeles suaves de higiene y aseo. El proceso de cada empresa difiere por diversos factores, como el tipo de papel que fabrican y la materia prima que utilizan. Las tres fuentes principales de materia prima en el sector son papel reciclado (61%), bagazo de caña de azúcar (12%) y madera (27%) (ANDI, 2018).

En la Figura 3, se puede evidenciar el proceso general del papel a partir de material reciclado.

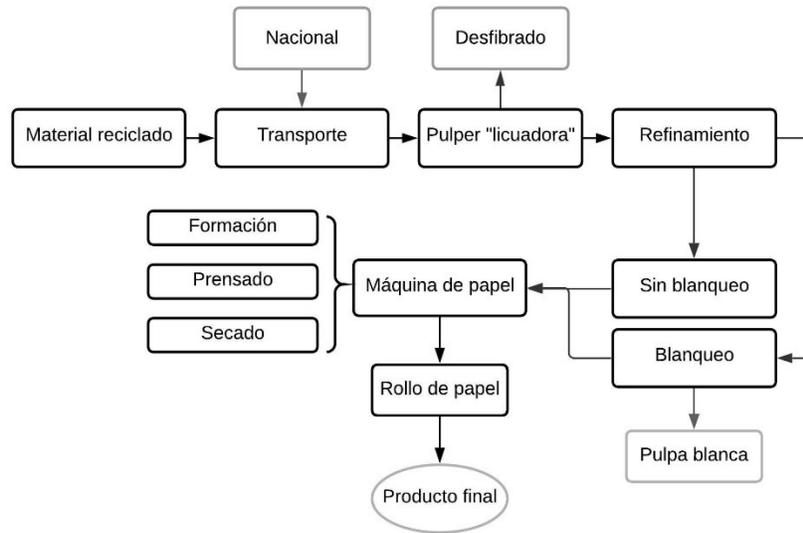


Figura 3. Proceso general del papel hecho con material reciclado. Fuente: las autoras, 2020.

En la Figura 4, se puede evidenciar el proceso general del papel a partir de fibra virgen de madera.

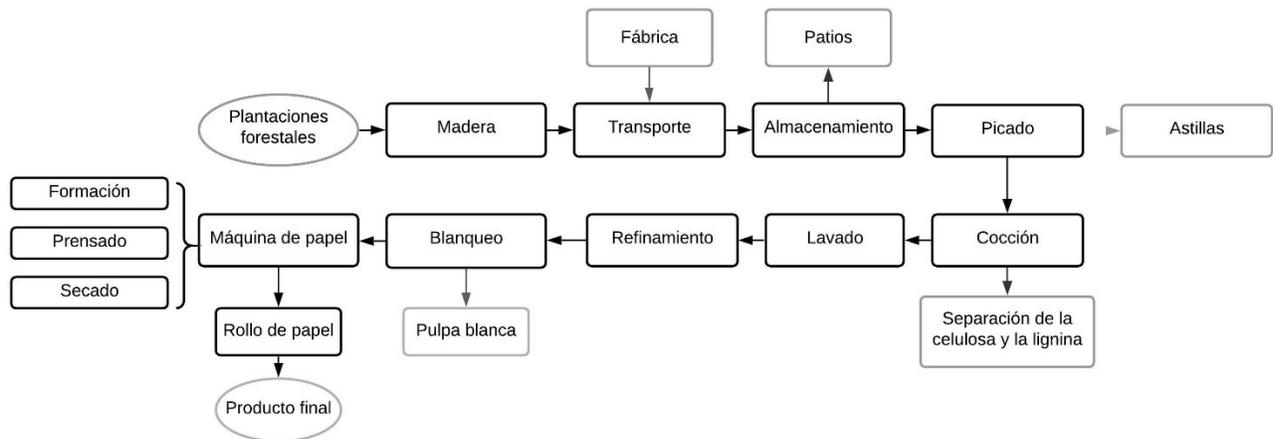


Figura 4. Proceso general del papel hecho con madera virgen. Fuente: las autoras, 2020.

En la Figura 5, se puede evidenciar el proceso general del papel a partir de bagazo de caña de azúcar.

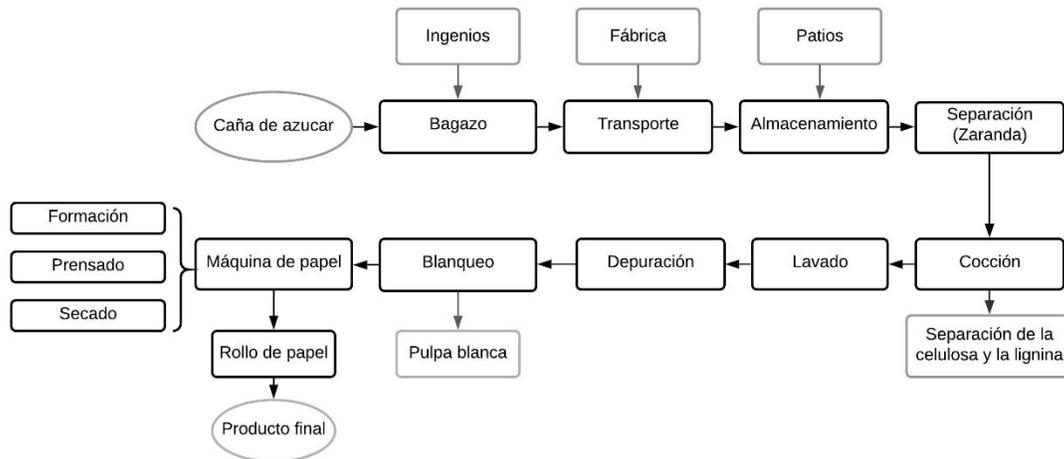


Figura 5. Proceso general del papel hecho con bagazo de caña de azúcar. Fuente: las autoras, 2020.

5.3 Marco Geográfico

El trabajo se realizó con las empresas de la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón de la ANDI, que están distribuidas en el país en los principales ejes papeleros: Atlántico, Antioquia, Valle y Cundinamarca.⁵

5.4 Marco Institucional

5.4.1 La Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón de la ANDI

La ANDI es la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. Fue fundada el 11 de septiembre de 1944 en Medellín como una agremiación sin ánimo de lucro que busca “difundir y propiciar los principios políticos, económicos y sociales de un sano sistema de libre empresa” (ANDI, s.f.). Es el gremio empresarial más importante del país, cuya sede principal está ubicada en Medellín, con sedes regionales en Barranquilla, Bogotá, Bucaramanga, Cali, Cartagena, Cúcuta, Ibagué, Manizales, Pereira, Santander de Quilichao y Villavicencio. LA ANDI cuenta con Cámaras sectoriales entre ellas la **Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón**.

La Cámara de Pulpa, Papel y Cartón se formó en 1992 para “desarrollar acciones que contribuyan en el progreso competitivo y sostenible de las empresas afiliadas, a partir del trabajo conjunto con: el Gobierno, academia, proveedores, clientes y asociaciones internacionales” (ANDI, s.f.). Estas empresas, como bien indica sus nombres, se dedican a la producción, conversión y comercialización de distintos tipos de papel y cartón, como los papeles para imprenta y escritura; los papeles y cartones para empaques; y los papales suaves de higiene y aseo.

⁵ Por razones de confidencialidad, no se presentan las ubicaciones exactas de las empresas de la Cámara.

Son nueve de las quince empresas productoras de papel, las que están afiliadas a la Cámara, con una representación el 85% de la producción nacional. Según el Informe de Sostenibilidad de 2017, el sector papelerero incrementó su producción un 3,3% y su exportación en un 24,3%, en países como Ecuador, Perú y la zona de Centroamérica. De igual manera, aportó al PIB nacional un 4,6%, generando más de 9000 empleos en ese año (Riveros, 2019), en comparación con el aporte de 2015, que fue de 2,5% (ANDI, s.f.) El organigrama de la Cámara se puede evidenciar en la Figura 7.

El compromiso ambiental y social de la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón ha sido relevante puesto que, en sus informes de sostenibilidad tanto de 2015 como de 2017, se ha evidenciado su accionar sostenible durante todo el proceso de producción del papel (con el principio: de la cuna a la tumba), es decir, desde que se ingresa la celulosa, hasta la reutilización, en la etapa de posconsumo (ANDI, 2018).

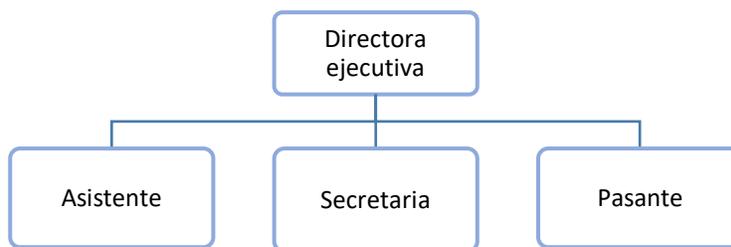


Figura 6 Organigrama de la Cámara de Pulpa, Papel y Cartón. Fuente: autoras, 2020.

5.4.2 Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML)

Fundada en 1998, con colaboración del Gobierno Suizo y organismos públicos y privados, esta organización, nace de la necesidad de apoyar a las empresas en el desarrollo empresarial sostenible, a través del fomento de mejores condiciones de productividad, competitividad y sostenibilidad. El Centro ha prestado variedad de servicios a más de dos mil empresas y capacitado a más de 20 mil profesionales en diferentes cursos. De igual manera ha sacado más de 150 publicaciones, lo que evidencia su apoyo al fortalecimiento del sector empresarial privado y público. Entre los servicios que maneja el Centro se encuentran: gestión ambiental empresarial (ACV, ecodiseño, huella de carbono, huella de agua, gestión del agua, economía circular, entre otros); gestión sostenible de sustancias químicas (química verde, soluciones químicas innovadoras, ‘chemical leasing’); gestión de residuos; gestión financiera ambiental (mecanismos de desarrollo limpio, incentivos tributarios, fuentes de financiación nacional e internacional); gestión gubernamental y programas sectoriales (movilidad y transporte, turismo sostenible, eficiencia energética y ambiental en edificaciones) (CNPML, s.f.).

5.4.3 Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE

Es la entidad encargada de la cooperación internacional de Suiza dentro del Departamento Federal de Asuntos Exteriores (DFAE). Esta es responsable de la coordinación de la cooperación para el desarrollo y de los programas de ayuda humanitaria suizos en distintos lugares del mundo (COSUDE, 2020).

COSUDE fomenta la autogestión económica y estatal, contribuye a la mejora de las condiciones de producción, ayuda a resolver problemas medioambientales y se ocupa de facilitar un mejor acceso a la formación y a los cuidados sanitarios de base. Entre los temas que se trabaja en América Latina y el Caribe están (COSUDE, 2020):

- Fomento de la paz, prevención de conflictos, promoción de los derechos humanos
- Educación básica y formación profesional
- Empleo y desarrollo económico
- Seguridad alimentaria y nutrición
- **Agua**
- Salud
- Migración
- Cambio climático
- Igualdad de género
- Gobernanza (democratización, descentralización, Estado de Derecho)

De aquí se desprende la iniciativa de El Agua Nos Une, que trabaja desde 2010 en proyectos para fomentar la **gestión responsable y comprometida del agua**. Para esto, tiene tres líneas de acción principales: I. **Huella de agua**; II. Compromiso con la cadena de valor; y III. Acciones colectivas en las cuencas hidrográficas (El Agua Nos Une, 2020).

5.4.4 Centro Nacional del Agua (CNA)

Es un área de trabajo transversal de la ANDI, que “trabaja con el Objetivo de incrementar la capacidad del sector empresarial para una competitividad basada en la sostenibilidad, a través la **gestión integral del recurso hídrico** y la **adaptación al cambio climático**” (ANDI, s.f.). El Centro tiene tres líneas estratégicas: gestión corporativa, que apoya el mejoramiento de la gestión hídrica corporativa, a través de temas como huella hídrica, uso eficiente, recirculación, entre otros; Agua, empresa y territorio, que incentiva a las empresas a participar en iniciativas de gestión integral del agua, recuperación de ciencias y adaptación al cambio climático, bajo un enfoque territorial y comunitario; e Información y capacidades, que busca diseminar información sobre la gestión del agua, a través de espacios de intercambio de experiencias (ANDI, s.f.).

Posteriormente, será necesario revisar el marco Normativo, bajo el cual se rige el sector papelerero y sus vertimientos, principalmente.

5.5 Marco Normativo

Con el fin de dar transparencia al presente proyecto, se desarrolló una indagación respecto a la Normativa de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón y sus límites máximos permisibles en torno a la gestión del recurso hídrico; lo que se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5
Marco Normativo.

Norma	Objeto	Artículo
Constitución Política de Colombia de 1991	Carta magna de la República de Colombia	<p><i>Artículo 8.</i> Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.</p> <p><i>Artículo 79.</i> Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.</p>
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINA y se dictan otras disposiciones	<p><i>Artículo 1.</i> La política ambiental colombiana seguirá los siguientes principios generales:</p> <p><i>Numeral 5.</i> En la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.</p> <p><i>Artículo 42.</i> Tasas Retributivas y Compensatorias. La utilización directa o indirecta de la atmósfera, del agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen, humos, vapores y sustancias nocivas que sean resultado de actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, o actividades económicas o de servicio, sean o no lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas.</p>
Ley 79 de 1986	Por la cual se provee a la conservación del agua y se dictan otras disposiciones	Aplicabilidad de toda la Ley
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.	<p><i>Artículo 4.</i> Reducción de pérdidas.</p> <p><i>Artículo 5.</i> Reúso obligatorio de agua.</p> <p><i>Artículo 8.</i> Incentivos tarifarios.</p>

Decreto 2667 de 2012	Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.	<p><i>Artículo 7.</i> Tasa retributiva por vertimientos puntuales.</p> <p><i>Artículo 8.</i> Meta global de carga contaminante.</p> <p><i>Artículo 19.</i> Elementos sustancias o parámetros contaminantes objetos del cobro de tasas retributivas.</p> <p><i>Artículo 22.</i> Monitoreo de vertimientos.</p>
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	<p><i>Artículo 3.</i> De acuerdo con los Objetivos enunciados, el presente Código regula: 2. Las aguas en cualquiera de sus estados.</p> <p><i>Artículo 8.</i> Se consideran factores que deterioran el ambiente, entre otros: d. Las alteraciones nocivas del flujo natural de las aguas.</p> <p><i>Artículo 80.</i> Sin perjuicio de los derechos privados adquiridos con arreglo a la ley, las aguas son de dominio público, inalienables e imprescriptibles.</p> <p>Cuando en este Código se hable de aguas sin otra calificación, se deberán entender las de dominio público.</p> <p>Título VI. Del uso, conservación y preservación de las aguas.</p>
Decreto 1541 de 1978	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.	<p><i>Artículo 36.</i> Toda persona natural o jurídica, pública o privada, requiere concesión para obtener el derecho al aprovechamiento de las aguas para los siguientes fines: [...] d. Uso industrial.</p> <p><i>Artículo 208.</i> Si como consecuencia del aprovechamiento de aguas en cualquiera de los usos previstos por el artículo 36 de este Decreto, se han de incorporar a las aguas sustancias o desechos, se requerirá permiso de vertimiento, el cual se tramitará junto con la solicitud de concesión o permiso para el uso del agua, o posteriormente si tales actividades sobrevienen al otorgamiento del permiso o concesión. Igualmente deberán solicitar este permiso los actuales titulares de concesión para el uso de las aguas.</p>

Decreto 948 de 1995	Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.	<i>Artículo 73.</i> Casos que requieren permiso de emisión atmosférica. Requerirá permiso previo de emisión atmosférica la realización de alguna de las siguientes actividades, obras o servicios, públicos o privados: [...] f. Operación de calderas o incineradores por un establecimiento industrial o comercial.
Decreto 1640 de 2012	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.	<i>Artículo 4.</i> De la estructura para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferos. Se establece la siguiente estructura hidrográfica: <ol style="list-style-type: none"> 1. Áreas Hidrográficas o Macrocuencas. 2. Zonas Hidrográficas. 3. Subzonas Hidrográficas o su nivel subsiguiente. 4. Microcuencas y Acuíferos.
Resolución 631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.	Parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.
Decreto 1090 de 2018	Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y se dictan otras disposiciones.	<i>Artículo 2.2.3.2.1.1.2.</i> Uso eficiente y ahorro del agua (UEAA). Es toda acción que minimice el consumo de agua, reduzca el desperdicio u optimice la cantidad de agua a usar en un proyecto, obra o actividad, mediante la implementación de prácticas como el reúso, la recirculación, el uso de aguas lluvias, el control de pérdidas, la reconversión de tecnologías o cualquier otra práctica orientada al uso sostenible del agua.

Fuente: autoras, 2019.

Cerrando con esto, se da continuidad a la metodología planteada para el proyecto.

6. Metodología

En el presente apartado, se encontrará una ampliación de la metodología, en donde se encontrará información sobre el diseño metodológico por Objetivo y el plan de trabajo.

6.1 Diseño metodológico

De manera general, se explican los aspectos más representativos y comunes de la metodología del presente trabajo. Inicialmente, el enfoque es mixto, ya que se busca medir distintos impactos al agua por la producción de papel, mediante la aplicación de la Norma NTC ISO 14046:2017 sobre huella de agua y posteriormente analizar sus resultados para generar recomendaciones de mejora a las empresas. El método es de tipo deductivo puesto que se parte de un conocimiento ya establecido, el de la huella de agua. Así mismo, existe un alcance descriptivo y correlacional: el descriptivo para los Objetivos I y II y correlacional para el Objetivo III.

Ahora bien, para dar más profundidad respecto al diseño metodológico, a continuación, se presenta la información discriminada por cada uno de los Objetivos abordados.

6.1.1 Objetivo 1. Levantar la información para la producción de papel de acuerdo con los requisitos establecidos en la Norma NTC ISO14046 de 2017.

En el primer Objetivo se identificó un tipo de **enfoque** cualitativo debido a que es aquí donde se inició el diagnóstico que la NTC ISO 14046:2017 solicitaba. En primera instancia, la definición del Objetivo, el alcance y los límites del sistema, lo que permitió la planeación del trabajo que consecuentemente se desarrolló. Así mismo, el **alcance** fue descriptivo debido a que se identificaron las variables necesarias para poder dar respuestas a los requisitos que la Norma exige. Además, se pudo iniciar con la investigación de conceptos referentes a la huella de agua, sus antecedentes y demás teorías referentes.

En términos de la **técnica** de este Objetivo, se evidenció que se fundamentó en la consulta bibliográfica de bases de datos, la recolección de información diagnóstica de las empresas con respecto al proceso productivo y datos que podían suministrar para el cálculo. Entre las fuentes de información consultadas estuvieron Redalyc, Science Direct, repositorios de universidades, buscadores virtuales y páginas web oficiales de organizaciones como CNPML, ANDI, COSUDE, entre otras. El **instrumento**, además de las bases de datos ya mencionadas, fue la NTC ISO 14046:2017 y una encuesta de 26 preguntas hecha a los representantes de las empresas (seis abiertas y siete de opción múltiple).

De esta manera, fue posible no solo realizar un trabajo en términos de planeación de los Objetivos 2 y 3, sino que, a su vez, se pudo definir información base del tema de huella de agua con la Norma en desarrollo, las aspiraciones y expectativas ejecutivas de la Cámara y sus empresas.

6.1.2 Objetivo 2. Elaborar el inventario de los datos para la medición de huella de agua según la Norma.

Para el presente Objetivo, se inició con la puesta en marcha del proyecto, a partir de la creación de un inventario de datos por empresa. Para el cumplimiento de dicho fin, se identificó el **enfoque** como mixto porque fue necesario el análisis de datos cualitativos. Es decir, el resultado de la encuesta desarrollada en el Objetivo 1, para la creación de un inventario en Excel que permitió la captación de información cualitativa y, en su mayoría, cuantitativa por cada empresa, como los datos relacionados a la producción, consumo y disposición de materiales.

Respecto al **alcance**, este fue de tipo descriptivo, porque se deseaba recolectar, verificar y procesar la información pertinente sobre los factores directos e indirectos del proceso productivo, para el logro del cálculo de la huella de agua por empresa.

La **técnica** se centró en el análisis del sistema de estudio con respecto a la información obtenida inicialmente con la indagación bibliográfica, que, posteriormente, fue confirmada por datos suministrados por técnicos de las empresas. Otra técnica empleada fue la herramienta de recopilación de datos, es decir, el inventario.

Referente a los **instrumentos**, fue clave acudir a la ayuda de diagramas para modelar el funcionamiento del sistema de los tres tipos de papel (Kraft, Bond y Suaves), además de tres Tablas de Excel que contienen la información que otorgaron las empresas para el cálculo. Finalmente, fue posible tener un instrumento de captación de datos que se mejoró con cada reunión entre la Cámara y las empresas, lo que fue útil para consolidar la información base para el modelo de cálculo desarrollado en el tercer Objetivo.

6.1.3 Objetivo 3. Calcular la huella de agua de la producción de papel a partir de la información primaria y secundaria otorgada por las empresas de la Cámara.

Luego de tener la información confiable y pertinente de cada empresa, se inició el Objetivo 3, que corresponde al cálculo de huella de agua por impactos y la muestra de resultados.

Para lo anterior, se consideró un **enfoque** mixto, por la característica del manejo y conversión de valores numéricos a unidades estándar, el procesamiento en gráficos y la creación de analíticas por empresa y por el sector en general. Además, se asumió el **alcance** de tipo correlacional, debido a que se acude a la medición de variables del sistema, tanto las indirectas como las directas que intervienen o son producto del proceso productivo, lo que luego, fue puesto a disposición de comparaciones para garantizar el adecuado análisis.

Respecto a las **técnicas** usadas, estas fueron el cálculo de huella de agua con los métodos EF Method e Impact 2000, resumidas en un modelo de cálculo propio adaptado por las autoras (Figura 8); también se tuvo en cuenta la búsqueda de datos y factores de conversión, y la presentación de resultados de manera técnica y gerencial.

Así pues, se tomó como **instrumentos** el modelo de cálculo creado en Excel, el software SimaPro con los valores para la conversión y la capa geográfica del Aware tipo KMZ de Google Earth; además de los gráficos de columnas apiladas para la creación del resumen técnico y ejecutivo.

Lo que finalmente se logró en este punto, fue la creación del modelo o herramienta de cálculo, el cálculo de huella de agua en términos de impactos y el resumen de los datos a través de gráficos de fácil

comprensión para todo aquel que acceda a ellos. Además de lo anterior, se usó como instrumento final herramientas tecnológicas de la plataforma ArcGIS para consulta libre online.

Con el fin de sintetizar y resumir la información anteriormente expuesta, se acudió a la creación de la matriz metodológica que se muestra a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6
Matriz metodológica.

Objetivos		Actividad	Metodología			Resultados esperados	
General	Específico		Actividad	Alcance	Técnica		Instrumento
			Cualitativo	Descriptivo	1.Revisión bibliográfica 2.Recopilación de información	1. NTC ISO 14046:2017. 2.Encuestas y bases de datos.	Definición del alcance y Objetivo, unidad funcional, sistema de producción de papel bond. Base de datos óptima con instructivo
			Mixto	Descriptivo	1.Análisis del sistema de estudio 2.Creación de herramienta de recopilación de datos.	1.Diagrama del sistema, entradas, procesos y salidas Revisión de cada inventario y cada dato proporcionado	Datos con un alto grado de confiabilidad Herramienta de recolección de datos.
	Calcular la huella de agua de la producción de papel a partir de la información primaria y secundaria otorgada por las empresas de la Cámara.	Analizar los impactos ambientales relacionados al cálculo de la huella de agua en el proceso de elaboración de papel bond, kraft y suaves.	Determinar los requisitos específicos exigidos por la Norma NTC ISO 14046:2017 para la producción papel.	Establecer los parámetros para las empresas de la Cámara: Objetivo, alcance e inventario Generación de preguntas a	1.Cálculo de huella de agua con métodos EF Method e Impact 2000. 2.Buscar datos y factores de conversión. 3.Presentación de resultados de manera técnica y gerencial.	1.Herramienta de cálculo en Excel. 2.Extracción de datos de SimaPro y capa Aware de Google Earth. 3.Gráficos y resumen ejecutivo en Excel.	Herramienta de cálculo automático. Cálculo de cada uno de los impactos ambientales del estudio. Identificación de los impactos más

las
empresas
sobre
proceso
productivo

4. Herramienta tecnológica con Plataforma ArcGIS significativos junto a los factores que lo generan.

Resumen ejecutivo para la presentación de los resultados junto a su respectivo análisis.

Creación de la herramienta tecnológica de consulta libre con la plataforma ArcGIS

Elaborar el inventario de los datos para la medición de huella de agua según la Norma. Envío de matriz a las empresas
Recopilación de datos
Verificación de la calidad de los datos
Completar datos para el inventario

Nota: La unidad de análisis en todo el ejercicio metodológico fueron las empresas de la Cámara de Pulpa, Papel y Cartón de la ANDI. Fuente: autoras, 2020.

6.2 Plan de trabajo

A continuación, se muestra el cronograma de actividades específicas correspondientes a los tres Objetivos específicos propuestos para el desarrollo del proyecto. Se muestra el tiempo por meses debido a que en cada una de las actividades se tuvo que acudir a tiempos superiores a cuatro semanas. Así mismo, se aclara que varias actividades pudieron realizarse de forma simultánea, por lo que se muestra el total de meses y no intervalos de tiempo, para evitar una herramienta compleja de tipo visual. Hubo

dos actividades que se desarrollaron durante todos los meses, estas son las reuniones de seguimiento y el avance escrito en la actual monografía. Lo anterior se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7
Plan de trabajo.

Objetivo general	Objetivos específicos	Actividades	Tiempo (meses)	
Analizar los impactos ambientales relacionados al cálculo de la huella de agua en el proceso de elaboración de papel bond, Kraft y Suaves.	FASE1 Determinar los requisitos específicos exigidos por la Norma NTC ISO 14046:2017 para la producción papel.	Estudio de la Norma y estado arte	4	
		Envío y llenado de Cuestionario para conocer información disponible de los procesos por empresas.	1	
		Definición alcance, unidad funcional y Objetivos (con modificaciones y arreglos continuos)	4	
		Investigación sobre análisis de ciclo de vida, indicadores de impacto y marcos de referencia	9	
		Redefinición de alcance, Objetivos y unidad funcional	1	
		Elaboración del sistema productivo de los sistemas de producción de papel (Bond, Kraft y Suaves)	2	
		Creación de inventario para consolidar la base de datos base para el cálculo	2	
		Verificación del diseño del inventario con las empresas	1	
		FASE2 Elaborar el inventario de los datos para la medición de huella de agua según la Norma.	Capacitación a empresas para el levantamiento de información en el inventario diseñado	1
		Lapso para el diligenciamiento de información por cada empresa	2	
	Reuniones con cada empresa para aclarar datos del inventario y temas del proceso productivo	1		
	Creación de modelo en Excel para realización del cálculo	5		
	FASE3 Calcular la huella de agua de la producción de papel a partir de la información primaria y secundaria otorgada por las empresas de la Cámara	Reuniones con Carlos Toro (Asesor del CNPML)	2	
	Procesamiento, transformación de unidades y puesta en marcha del modelo para cada empresa.	4		
	Creación de gráficos resumen de la huella de agua por empresa			
	Creación de herramienta web con plataforma ArcGIS para consulta libre	4		
	Análisis y recomendaciones	2		
		Trabajo en monografía	10	
	Reuniones de seguimiento	14		
Tiempo total invertido			14 meses	

Fuente: autoras, 2020.

Adicionalmente, se consideró la creación de un presupuesto que permitió la identificación de la demanda de los recursos económicos durante el desarrollo (planeación y ejecución) del mismo, es decir, por un lapso de 14 meses. Este insumo se encuentra como anexo (Anexo 1).

Luego de dar claridad con respecto a la metodología, se hace la presentación de los resultados por cada uno de los Objetivos específicos inicialmente definidos, se muestra a continuación, los aspectos éticos, los resultados generales y específicos, y la discusión pertinente.

7. Aspectos éticos

Para el tratamiento de los datos que proveyeron las empresas, se firmó un acuerdo de confidencialidad por todas las partes pertenecientes al proyecto: la Cámara, el CNPML, la UEB y las empresas participantes. Aquí se aclaró que los datos que se iban a manejar con un único propósito académico, para generar resultados sectoriales y que no se iba a publicar información específica.

8. Resultados y discusión

A continuación, se evidencian los resultados obtenidos de los Objetivos específicos, establecidos para lograr el análisis del cálculo de huella de agua.

El trabajo se basó en la utilización de la Norma NTC ISO 14046:2017 como guía metodológica para calcular la huella de agua durante el proceso productivo de papel, con el fin de identificar posibles oportunidades de mejora. Los pasos por seguir, que propone la Norma son los siguientes, que pueden ilustrarse en la Figura 8:

- I. Definición de Objetivo y alcance.
- II. Análisis del inventario de la huella de agua.
- III. Evaluación del impacto de la huella de agua.
- IV. Interpretación de los resultados.

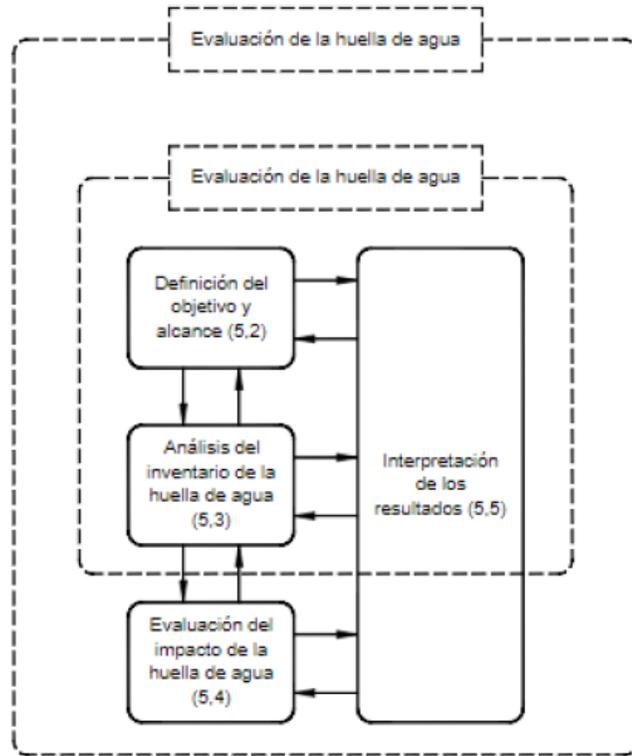


Figura 7 Fases de la evaluación de la huella de agua. Fuente: Norma NTC ISO 14046:2017.

Respecto a este trabajo, el primer Objetivo corresponde al numeral 1; el segundo Objetivo corresponde al numeral 2 y el tercer Objetivo corresponde al numeral 3 y 4.

Como material de apoyo para el desarrollo de los siguientes Objetivos, se estructuró una encuesta por parte del CNA que usó como insumo principal los requisitos de la NTC ISO 14046:2017. Esta fue revisada y ajustada por el grupo consultor de la Universidad El Bosque, en cabeza del programa de Ingeniería Ambiental, con apoyo de las estudiantes autoras. Se compuso de 23 preguntas: 6 fueron abiertas y 17 de opción múltiple.

Adicionalmente, se realizaron reuniones periódicas en las cuales se trataron temas como los avances de los resultados, mejoras, capacitaciones y asesorías por parte de expertos en el cálculo de Huella de agua, como el Ingeniero Carlos Toro del CNPML. Estas se realizaron de forma presencial en la sede principal de la ANDI en Bogotá y en la sede Usaquén de la Universidad El Bosque. A partir de marzo de 2020, se recurrió a reuniones de forma virtual para tratar temas específicos con cada empresa y hablar sobre la información solicitada en el inventario.

8.1 Primer Objetivo: levantamiento de la información para la producción de papel de acuerdo con los requisitos establecidos en la Norma NTC ISO14046 de 2017.

Para el levantamiento de los requisitos exigidos por la Norma se realizó, en primera instancia, la encuesta introductoria, dirigida a las empresas de la Cámara, para saber cuáles eran las intenciones de cada una de participar en el proyecto.

Tabla 8
Resultados de la encuesta para identificar el Objetivo de estudio.

¿Cuáles son las razones que motivarían a su empresa para realizar el cálculo de huella de agua?

Iniciar la medición de este indicador ambiental.

Conocer el impacto sobre el recurso hídrico que posee nuestras actividades en el proceso productivo, con el propósito de cumplir estándares de sostenibilidad.

Seguimiento a procesos y optimización a futuro, comunicación con stakeholders en un futuro.

Liderazgo y diferenciación, mejora de la imagen, posicionamiento de marca.

Evaluar el impacto general sobre el medio ambiente, por el uso de agua de nuestras operaciones; esto con el fin de asegurar la disponibilidad y gestión sostenible del agua.

Nota. Respuestas abiertas. Fuente: autoras, 2020.

¿Hacia quién estarían dirigidos los resultados?

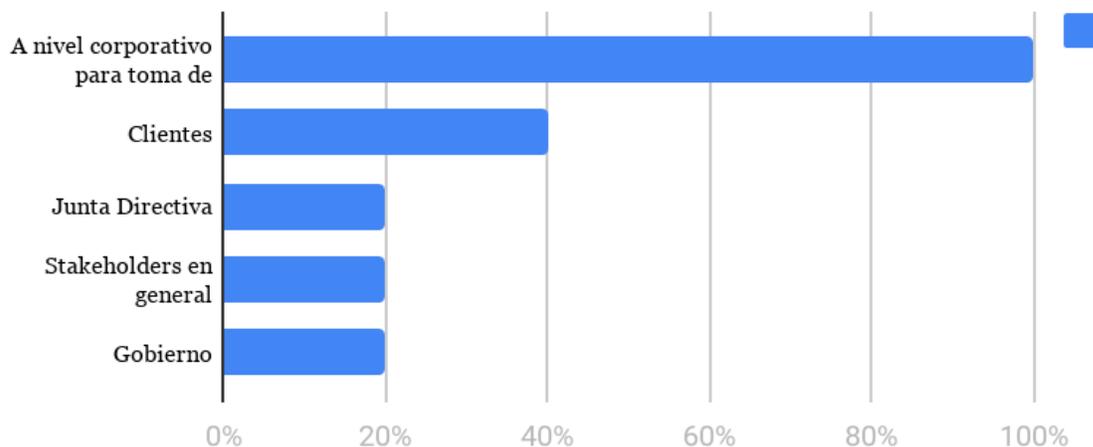


Figura 8 Resultados de la pregunta para saber a quién va dirigido el estudio. Fuente: autoras, 2020.

¿Cuál es la aplicación deseada de los resultados?

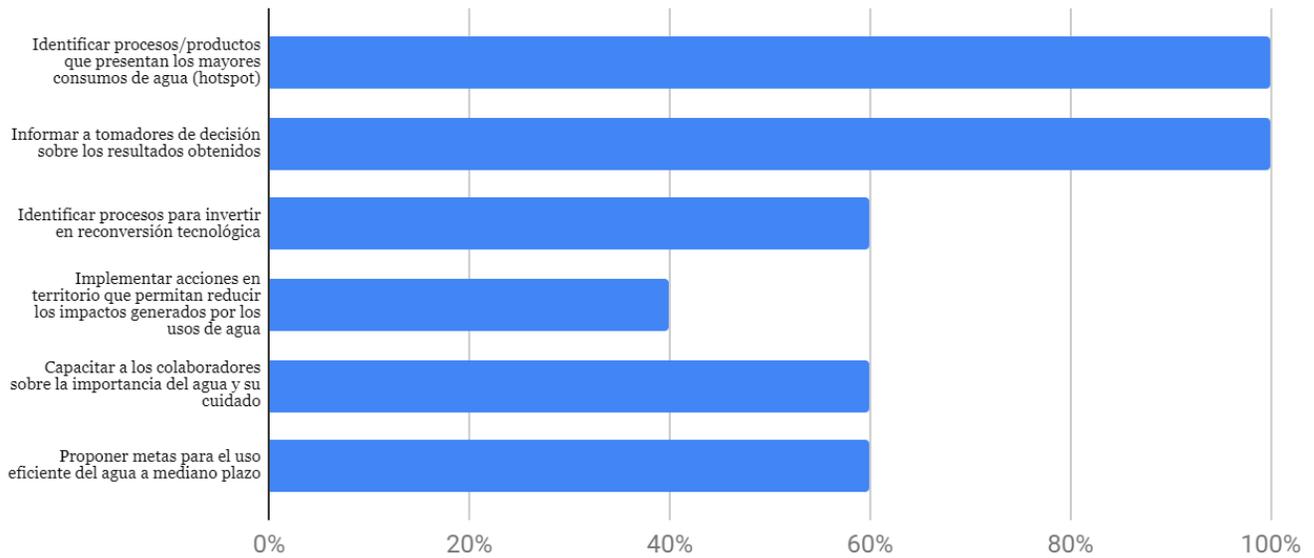


Figura 9 Resultados de la pregunta para saber la aplicación del estudio. Fuente: autoras, 2020.

Así, con los resultados de la Tabla 8 y las Figuras 9 y 10, el Objetivo se enfocó en la evaluación de los impactos ambientales para informar a los tomadores de decisiones dentro de las empresas, de acuerdo con la identificación de puntos críticos. Esto de forma general, de acuerdo con las respuestas obtenidas ya que se omitieron distintos aspectos de la encuesta.

8.1.1 Definición de Objetivo

Para establecer el Objetivo del cálculo de la huella de agua, debe estar bien definido y sin ambigüedades; las aplicaciones previstas; las razones por las que se realiza el estudio; a quién está dirigido el trabajo; y si el estudio va de la mano con el Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

De acuerdo con los lineamientos de la Norma, en consenso con la Cámara, el CNA y las empresas, y con los resultados anteriores, se estableció el siguiente Objetivo para el estudio:

“Evaluar los impactos ambientales relacionados con el uso del agua en el proceso de fabricación de papel en las empresas de la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón de la ANDI, con el fin de identificar puntos críticos (gasto, pérdida y recirculación) del proceso, que permitan priorizar medidas para disminuir estos impactos. De este modo, los resultados estarán enfocados a informar a tomadores de decisión al interior de la organización, así como a los grupos de interés”.

8.1.2 Definición de Alcance

Como un segundo parámetro en el desarrollo del primer Objetivo, se tiene el Alcance que la Norma lo contempla como aquel que va de la mano con el Objetivo, y que, a su vez, debe tener en cuenta los siguientes requisitos, explicados en la Tabla 9:

Tabla 9

Requisitos exigidos por la Norma para la definición del alcance.

Requisito	Norma	Resultado
Límites del Sistema	Son los procesos unitarios definidos que se van a tener en cuenta, al igual que las entradas y salidas de estos, los cuales se deben justificar. Igualmente, se debe establecer si la huella de agua va dirigida para un producto, proceso u organización. Se deben identificar claramente las omisiones de las etapas del ciclo de vida, los procesos y las entradas o salidas, y se deben explicar las razones e implicaciones de sus omisiones.	Se realizó el estudio desde la llegada de la materia prima (madera de cultivos forestales, bagazo del ingenio o papel reciclado) a la fábrica, hasta la salida del rollo de papel. Es decir, que la huella de agua del presente trabajo está enfocada a un producto: el rollo de papel (Figura 11).
Unidad funcional	Es la unidad de referencia con la cual se realizará todo el estudio.	Tonelada de papel producida/año.
Cobertura geográfica y temporal del estudio	Indicar claramente el lugar físico con coordenadas, puesto que este será relevante en términos del cálculo de escasez hídrica.	El estudio se realizó para las ocho de las nueve empresas que componen la Cámara. Los años de estudio son 2017, 2018 y 2019.
Datos y requisitos de calidad de los datos	Cantidad de agua utilizada (incluyendo liberación y extracción del agua). Tipos de recursos de agua utilizados (liberación y extracción). Datos de la calidad del agua (liberación y extracción). Formas de uso del agua.	Volúmenes de agua (m ³) en la extracción y el vertimiento. El agua utilizada puede ser superficial, subterránea, agua lluvia o de acueducto. Se deben tener en cuenta los siguientes parámetros para la entrada y la salida: DBO, DQO, SST, temperatura y pH. Los datos exclusivos para la salida son: nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, sulfatos totales y metales pesados (Al, Cd, n, Cu, Cr, Fe, Hg, Ni, Ag, Pb). Dentro del proceso productivo de papel se encuentra: uso del agua en los procesos unitarios, la evaporación, recirculación; estos dos últimos son para caracterizar el sistema, sin embargo, no aportan datos relevantes para el cálculo de la huella de agua.

	<p>Cambios en el drenado, flujo de corrientes, flujo subterráneo o evaporación del agua.</p> <p>Los lugares del uso del agua (extracción y liberación) para determinar algún indicador de condición ambiental.</p> <p>Se pueden utilizar categorías de datos adicionales con base en el alcance del estudio.</p> <p>Los datos primarios se deben recopilar cuando sea factible. Si no, se utilizan los datos secundarios y deben justificarse las razones para utilizarlos.</p>	<p>Se tuvo en cuenta las pérdidas de agua por evaporación como parte de la que no retorna a la cuenca.</p> <p>Si la empresa capta agua superficial, debía mencionar el nombre y las coordenadas geográficas del cuerpo de agua de donde extrae el agua, así como donde la vierten.</p> <p>Los principales insumos que utiliza la empresa para la elaboración del papel, así como los combustibles y las materias primas.</p> <p>Los datos primarios fueron los que provienen directamente de planta, mientras que las bases de datos fueron secundarios para el procesamiento de materia prima, insumos y combustibles.</p>
Criterios de corte	<p>Son los aspectos para tener en cuenta para omitir una o varias etapas del proceso por cuestiones de irrelevancia dentro del ejercicio.</p>	<p>No se tuvo en cuenta los equipos utilizados, ni los insumos utilizados para su mantenimiento. Se realizó una priorización de los insumos con criterio en masa y costo, para saber cuáles son los más representativos en cada proceso.</p>
Procedimiento de asignación	<p>Es necesario cuando los procesos producen múltiples productos o servicios (coproductos). Este proceso se utiliza para fijar entradas y salidas de los procesos a la función que se está estudiando.</p>	<p>En la elaboración de papel no existen coproductos, por lo tanto, no se requieren procesos de asignación.</p>
Metodología de evaluación del impacto de la huella de agua y las categorías de impacto seleccionadas.	<p>Los impactos relacionados con el agua se pueden representar por uno o más parámetros que cuantifiquen los potenciales impactos ambientales del sistema del producto, proceso u organización. Se deben establecer claramente cuáles son los parámetros que están previstos para ser determinados. Los métodos de evaluación y los indicadores deben seleccionarse de acuerdo con el Objetivo y el alcance del estudio. Asimismo, deben describirse claramente, en donde se incluyan los mecanismos ambientales que son considerados.</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Huella de agua según su disponibilidad: su propósito es dar una evaluación de la contribución de los productos, procesos u organizaciones a los potenciales impactos ambientales relacionados con la presión en la disponibilidad del agua. II. Huellas de agua que consideran la degradación del agua: su propósito es dar una evaluación de la contribución de 	<p>Los indicadores de categoría de impacto considerados son:</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Eutrofización en agua dulce (kg P eq). II. Eutrofización en agua marina (kg N eq). III. Ecotoxicidad (CTU-E). IV. Toxicidad humana (CTU-H). V. Acidificación (kg SO₂ eq). VI. Consumo de agua (m³). VII. Índice de escasez AWARE (m³ eq). VIII. Degradación de ecosistemas (PDF*m²*yr). <p>El perfil de huella de agua se hizo de manera directa e indirecta con los impactos en puntos medios, mientras que la degradación fue el punto final donde se agrupa la acidificación, eutrofización, ecotoxicidad y consumo.</p>

los productos, procesos u organizaciones a los potenciales impactos ambientales relacionados con la calidad del agua.

- III. Perfil de la huella de agua: considera un rango de potenciales impactos ambientales asociados al agua. Está hecho con varios resultados de indicadores de categorías de impacto.

Fuente: autoras con base en la NTC ISO 14046:2017.

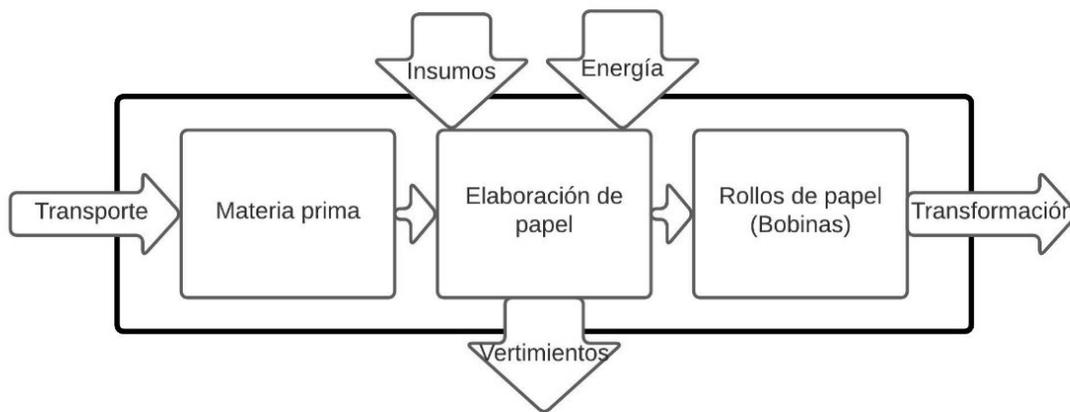


Figura 10 Diagrama de los límites del sistema general para cada empresa. Fuente: autoras, 2020.

8.1.3 Análisis de resultados

Se identificó que, previo a todo tipo de proyectos, es necesario establecer parámetros para su delimitación, es decir, puntualizar el foco del problema a solucionar. Es por lo que, en este caso, y por requerimiento de la Norma, se establecieron los límites del sistema como un mecanismo de señalización desde dónde inicia hasta dónde termina la aplicabilidad del cálculo de la huella de agua, lo que va relacionado con la dinámica de los impactos potenciales al recurso hídrico. Esto sucede porque no es lo mismo calcular la huella de agua de un subproceso, que calcularla para todo el sistema productivo; debido a que los impactos generados varían de acuerdo con los aspectos ambientales que, en cada caso particular, se producen.

Respecto al *alcance*, es pertinente que se delimite el proyecto en tiempo y espacio. Principalmente para el componente del tiempo, se debe considerar desde cuándo se tiene la información completa y verídica, lo que asegura el buen desarrollo del proyecto. Aquí es importante resaltar que, aunque el alcance de cada empresa es definido dentro de planta, el proyecto en su totalidad es muy amplio porque tiene en cuenta muchas variables diferentes que aportan a cada impacto de distintas maneras. Por ejemplo, las

materias primas, ya que cada una aporta diferentes magnitudes a los impactos estudiados. No es lo mismo hablar sobre papel de escritura hecho de bagazo o a partir de madera.

Finalmente, esta *unidad funcional* que se escogió es importante porque permite tener una mejor percepción sobre la huella de agua del producto a nivel sectorial. Como se va a observar más adelante, la huella de agua anual puede variar significativamente su comportamiento respecto a la huella de agua anual por tonelada de producto.

Esta unidad funcional es muy general, porque envuelve todos los tipos de papel que se producen en las empresas de la Cámara, lo que dificulta hacer una comparación con otros estudios de ACV, por ejemplo. Como exponen Lopes, Dias, Arroja, Capela & Pereira (2002), su unidad funcional fue una (1) tonelada de papel de impresión y escritura blanco, con un peso estándar de 80 g/m², producido a partir de pulpa de kraft de *Eucalyptus globulus* portugués. Como se puede ver, es muy específico para un tipo de papel, mientras que la unidad de este proyecto es una (1) tonelada de papel (lo que incluye todas las clases de papel de imprenta y escritura, cartones corrugados y suaves). Este aspecto se escogió de esta manera porque va acorde con el Objetivo y el alcance de estudio, donde se busca llegar a un resultado sectorial o corporativo y hacer recomendaciones generales para la Cámara.

Caso distinto sería realizar el estudio de huella de agua o ACV por cada tipo de papel específico, siendo un trabajo más extenso, pero que daría las bases para hacer una comparación entre productos para saber cuál es el que más aporta impactos al recurso hídrico.

Los requisitos que pide la Norma no sólo son la base para el cálculo, sino que también cumple el papel de ser un diagnóstico para saber el estado actual del sistema establecido, lo que es la base para cualquier sistema de gestión ambiental que busque identificar los aspectos e impactos ambientales más significativos, con el fin de poder adoptar estrategias de acción de prevención o mitigación de dichos impactos.

Al ser parte de la familia ISO 14000 sobre gestión ambiental, esta Norma se encuentra estrechamente relacionada con la 14001:2015, permitiéndole participar en el sistema de gestión ambiental de la empresa, para la toma de decisiones. Este diagnóstico sólo funciona con la cuantificación de los impactos ambientales, en este caso los impactos sobre el recurso hídrico, que son los resultados del tercer Objetivo.

Con lo anterior ya establecido, se puede dar paso al desarrollo del Objetivo 2.

8.2 Segundo Objetivo: elaboración del inventario de los datos para la medición de huella de agua según la Norma

Para la elaboración del inventario se tuvo en cuenta la información del objetivo, alcance y sistema. Además de considerar algunos datos arrojados por la encuesta presentada en el Objetivo 1, la cual se fundamentó en la consulta de los requisitos y metas planteadas en la Norma NTC ISO 14046:2017.

8.2.1. Estudio de la disponibilidad de información

Para identificar con qué información contaban las empresas, se consideraron algunas respuestas de la encuesta y se obtuvo, de forma general, un sustento sobre el producto en el cual se centrará el estudio, al igual que de la capacidad de las empresas para otorgar información primaria, en el marco de la realización del ejercicio analítico del consumo de agua y sus impactos respectivos.

Se muestran a continuación, los resultados de la encuesta considerados como los más relevantes para el Objetivo en desarrollo:

Tabla 10
Disponibilidad de información.

Nº	Pregunta	Respuesta
1	¿Su empresa estaría en la capacidad de identificar las entradas y salidas derivadas del proceso o producto que sea escogido para calcular su huella de agua?	Si (100%)
2	¿Cuenta con información actualizada sobre la calidad del agua utilizada antes y después del proceso o producto?	Si (100%)
3	¿Cuenta con la contabilidad detallada de entrada y salidas en materia de agua para sus líneas de negocio (impresión, empaques, papeles suaves)?	Si (100%)
4	¿Cuenta con información de energía (gas, carbón, electricidad, biocombustibles, combustibles líquidos)?	Si (100%)
5	¿Para qué periodo de tiempo?, ¿la empresa estaría interesada en calcular la huella de agua?	2 últimos años

Fuente: autoras, 2020.

Las anteriores preguntas (Tabla 10) se tuvieron en cuenta para asegurar que las variables que se incluirían en el inventario (que en su gran mayoría son requisito para el cálculo de huella de agua) estuvieran disponibles por parte de las empresas. Otras variables como la calidad del agua de entrada fueron incorporadas con fines de análisis interno para un mejor desarrollo de los resultados evidenciados en el Objetivo 3.

De esta manera, se realizó la identificación de la información específica, que fue preguntada a cada empresa. Con esta se creó una matriz de inventario para facilitar el ingreso de datos por parte de los operadores, y el posterior cálculo de la huella de agua por cada empresa y el sector papelerero en su totalidad.

8.2.2. Datos constituyentes del inventario del sistema productivo

A continuación, se relacionan los datos específicos en términos de fuente, cantidad y calidad tenidos en cuenta para la construcción de la matriz de inventario, creada y diseñada por las autoras.

- Composición del inventario

El inventario está compuesto por tres tablas diseñadas para facilitar el diligenciamiento de los datos solicitados. La primera corresponde a la información general sobre la captación del agua. La segunda trata sobre los datos de cantidad y calidad del agua captada y vertida. La tercera muestra los datos sobre materias primas, insumos (para su priorización) y combustibles. Cabe aclarar que se muestran las tablas como figuras, como medio para dar claridad de lo expuesto en los párrafos.

Tabla 1. Datos generales de la empresa y uso de agua

En esta primera sección se identifican datos **generales** como el nombre de la empresa, el tipo de papel, el tipo de fuente de obtención (acueducto, superficial, subterránea o agua lluvia) y el tipo de punto de vertimiento (alcantarillado, superficial). Incluye el nombre en caso de que la captación y el vertimiento se haga en un río específico. Así mismo, se aborda su ubicación en términos de municipalidad y las coordenadas geográficas para lograr precisión en su localización. En la Figura 12 se muestra la composición de este apartado.

PARTE 1.		
GENERALIDADES		
Empresa		
Tipo de Papel fabricado		
Ubicación planta		
CAPTACIÓN		
Ubicación captación (si aplica)		
Nombre cuerpo de agua		
Coordenadas geográficas	Norte (N):	Oeste (W):
VERTIMIENTO		
Ubicación vertimiento		
Nombre cuerpo de agua		
Coordenadas geográficas	Norte (N):	Oeste (W):
NOMBRE FUENTE	Nombre del receptor	
LATITUD	Latitud.	
LONGITUD	Longitud.	
ALTITUD	Altitud (msnm)	

Figura 11 Primera parte del inventario – datos generales. Fuente: autoras, 2020.

Tabla 2. Cantidades de insumos, materia prima, energías y agua

En esta Tabla se incluyen datos de energía y tipo de materia prima, además de las características **específicas** del agua de entrada para el proceso, así como de la que se vierte. Está compuesta por variables, unidades estandarizadas y el espacio por años para el diligenciamiento de la información. Dentro de las variables consideradas están:

- Generación de energía

Se tuvo en cuenta los siguiente siete elementos: la electricidad comprada a la red medida en Kwh, el carbón, el polvillo de bagazo en toneladas, el ACPM o Diesel, Biodiesel, el GLP, el combustóleo, crudo y la gasolina en galones y el gas natural junto con el licor negro, proveniente de la cocción de la pulpa para separar las fibras de celulosa de la lignina en m³ (Figura 13).

GENERACIÓN DE ENERGÍA				
Especificidad	Unidad	AÑO		
		2017	2018	2019
Electricidad	(kWh)			
Carbón	(ton)			
Gasolina	gal			
ACPM	gal			
Gas natural	m ³			
Licor negro	m ³			
Polvillo de bagazo	ton			
Otro ¿Cuál?				

Figura 12 Segunda parte del inventario – generación de energía. Fuente: autoras, 2020.

- Materia prima:

Teniendo en cuenta que la base de datos en términos de materia prima se puede presentar de diversas formas, en esta parte se tuvo en cuenta la madera (sin procesar aún), el bagazo de la caña de azúcar, el papel reciclado y la pulpa virgen (lista para incorporarse al proceso). En el caso de la pulpa virgen, se tuvo en cuenta que esta se puede clasificar en seis tipos: la primera es al Sulfato y Blanqueo libre de cloro elemental; la segunda es al Sulfato y blanqueo totalmente libre de cloro; la tercera es al sulfato sin blanqueo; la cuarta es al sulfito blanqueada con cloro; la quinta es termo mecánica y la sexta es al sulfato de eucalipto SFM sin blanquear (Figura 14).

MATERIA PRIMA					
Especificidad	Unidad	AÑO			
		2017	2018	2019	
Madera	(ton)	0	0	0	
Bagazo	(ton)	0	0	0	
Papel reciclado	(ton)	80715	122467	123635	
Pulpa virgen	Al Sulfato y Blanqueo libre de cloro elemental o Libre totalmente de cloro, o sin blanqueo	(ton)	0	0	0
	Al sulfito blanqueada con cloro	(ton)	0	0	0
	Termo mecánica o Químico - Termomecánica	(ton)	0	0	0
	al sulfato de eucalipto SFM sin blanquear.	(ton)	0	0	0

Figura 13 Segunda parte del inventario – Materia prima. Fuente: autoras, 2020.

- Cantidad de agua captada:

Para conocer la cantidad de agua que se obtiene o extrae, medida en m³, se tuvo en cuenta las siguientes fuentes: superficial, subterránea, agua lluvia y acueducto. De esta manera, se caracterizaron los tipos de agua captada (Figura 15).

CANTIDAD DE AGUA CAPTADA				
Especificidad	Unidad	AÑO		
		2017	2018	2019
Superficial	m ³	742.722	914.620	985.838
Subterránea	m ³	0	0	0
Agua lluvia	m ³	744	1.852	1.856
Acueducto	m ³	0	0	0

Figura 14 Segunda parte del inventario – cantidad de agua captada. Fuente: autoras, 2020.

- Calidad de agua captada:

Para los datos de calidad de agua captada, se consideraron únicamente cinco parámetros, estos fueron: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) (medidos en mg/L), temperatura (°C) y potencial de hidrógeno (pH). Son datos que, aunque no los contempla la Norma ISO NTC 14046:2017, sí son determinantes para una mejor claridad analítica con respecto a comparativos con la calidad del agua vertida. Fueron solo cinco teniendo en cuenta que son los más usuales para la determinación de la calidad del agua (Figura 16).

CALIDAD AGUA CAPTADA				
Especificidad	Unidad	AÑO		
		2017	2018	2019
DBO	(mg/L)	2	2	2
DQO	(mg/L)	12	12	12
SST	(mg/L)	51	51	51
T °C	°C	22	22	22
pH	-	7,2	7,2	7,2

Figura 15 Segunda parte del inventario – Calidad de agua captada. Fuente: autoras, 2020.

- Cantidad de agua vertida:

En términos de la cantidad del agua vertida, se tuvo en cuenta las formas en las que podía existir la salida del agua del sistema: cuerpo de agua, alcantarillado, por evaporación y recirculación (considerando que esta se produce y se reusa en el mismo sistema) (Figura 17).

CANTIDAD AGUA VERTIDA				
Especificidad	Unidad	AÑO		
		2017	2018	2019
Cuerpo de agua	m ³	634201	736544	843424
Alcantarillado	m ³	0	0	0
Evaporada	m ³			
Recirculada	m ³	199171	413028	590116

Figura 16 Segunda parte del inventario – Cantidad de agua vertida. Fuente: autoras, 2020.

- Calidad de agua vertida.

Para este caso se tomó en cuenta todos los valores requeridos por la Resolución 631 de 2015 en el Artículo 13 sobre Actividades de Fabricación y Manufactura de bienes. En términos generales, fueron SST, pH, temperatura, los compuestos del fósforo, los compuestos del nitrógeno, metales y metaloides, dureza, alcalinidad y demás. Los anteriores, medidos en mg/L a excepción del pH (valor adimensional) y la temperatura (°C). Como parámetro microbiológico se tuvieron en cuenta Coliformes totales medidas en NMP/100 mL (Número Más Probable) (Figura 18).

CALIDAD AGUA VERTIDA				
Especificidad	Unidad	AÑO		
		2017	2018	2019
DBO	(mg/L)	1.758	1811	1934
DQO	(mg/L)	4.162	4529	4547
SST	(mg/L)	647	607	768
T °C	°C	33,3	35,0	36,1
pH	-	7,2	7,0	7,0
Nitritos	(mg/L)			
Nitratos	(mg/L)			
Nitrógeno amoniacal	(mg/L)			
Nitrógeno total	(mg/L)	17,3	13,2	14,9
Ortofosfatos	(mg/L)			
Fósforo total	(mg/L)	1,6	1,9	0,8
Grasas y aceites	(mg/L)			
Aluminio	(mg/L)			
Niquel	(mg/L)			
Hierro	(mg/L)			
Cadmio	(mg/L)			
Cinc	(mg/L)			
Cobre	(mg/L)			
Cromo	(mg/L)			
Plomo	(mg/L)			
Mercurio	(mg/L)			
Hidrocarburos totales	(mg/L)			

Figura 17 Segunda parte del inventario – Calidad de agua vertida. Fuente: autoras, 2020.

Tabla 3. Origen y transporte de insumos, materias primas y combustibles.

Corresponde a los datos sobre el lugar de origen, las formas y el tipo de transporte en torno a las materias primas, los insumos y los combustibles usados para el proceso productivo. Se solicitó el costo y la cantidad por elemento, debido a que fueron consideradas como variables idóneas para realizar un ejercicio de priorización más efectivo. Se divide en tres secciones que corresponden a cada uno de los años de análisis (2017, 2018 y 2019).

A continuación, se muestra en la Figura 19 el ejemplo de la Tabla de recolección para el año 2017, teniendo en cuenta que para cada año (2017, 2018 y 2019) se solicitaba la misma información.

cualquier persona que tuviera a su cargo llenarla. Como complemento, se creó un pequeño instructivo con algunas claves y orientaciones, para garantizar que la información registrada fuera pertinente y que, además, correspondiera a lo esperado para el tratamiento de los datos.

De esta manera, se realizó el envío de la matriz de inventario a las empresas para que pudieran diligenciar la información correspondiente para realizar el cálculo de huella de agua.

Todos estos datos que se solicitaron fueron muy importantes para poder hacer el cálculo, aunque aparentemente no se muestre relación a este en primera instancia. Respecto a la huella indirecta, casi todos los datos son necesarios aquí, a excepción de los combustibles que se generan en planta como el licor negro y el polvillo de bagazo, y los vertimientos, porque estos tienen asociados unos impactos durante su procesamiento y transformación, además de su transporte. Mientras que para la huella directa se tuvieron en cuenta solamente los combustibles y los vertimientos (cantidad y calidad), que generan los impactos directamente en planta.

Ahora bien, considerando la información que se recolectó a través del inventario anteriormente diseñado, se identificó que es posible generar ventajas en términos de adquisición de la información puesto que la empresa podrá hacer uso de esta para estudios o proyectos posteriores. Así mismo, se espera que sea un ***insumo para los procesos de toma de decisión*** en los flujos de materia, en términos del ingreso y salida, tanto de agua como energía, es decir, permitirá que, al haberse identificado claramente las zonas donde se hace uso de estos, se pueda llevar a cabo un control mucho más específico en torno a los procesos que implican su uso.

Como ejemplo sobre el uso del presente apartado, es que la información recolectada se podrá traducir fácilmente en herramientas de análisis y estadísticas más precisas para los informes de sostenibilidad, muy usuales en la muestra de datos sobre la gestión ambiental de las empresas y la Cámara. Lo que, a su vez, conlleva a crear indicadores sobre el uso de materias primas e insumos.

Adicionalmente, se reconoce que el inventario funciona y funcionará como una herramienta estratégica en términos auto comparativos, donde se podrá evidenciar cambios en la demanda de insumos, materias primas y demás materiales que se usan en el proceso productivo, a lo largo del tiempo. Así pues, el inventario podrá ser de utilidad en el ***análisis interno, permitiendo mejoras o modificaciones*** de este desde el ámbito de los subprocesos específicos que, en términos generales, traería consigo ventajas competitivas ante otros mercados y, evidentemente, beneficios para los sistemas ecológicos que dejarían de ser presionados o demandados en la misma proporción inicial. Lo anterior, podría traducirse en mejoras en términos de eco y tecno innovación.

Una vez enviado los inventarios a las empresas, se pudo comenzar con el desarrollo del Objetivo 3.

8.3 Tercer Objetivo: cálculo de la huella de agua para el sector paplero de acuerdo con tres tipos de papel

8.3.2 Modelo de cálculo de huella de agua por cada tipo de impacto

El cálculo inició con la solicitud de información a las empresas por medio del inventario que está en unidades iniciales. Estos primeros datos tuvieron que ser analizados y verificados laboriosamente para que la información fuera coherente y no se viera afectado el posterior cálculo sectorial.

Sin embargo, al tener un componente directo e indirecto, para el cálculo de la huella de agua, se debieron convertir estas unidades a las requeridas. Los combustibles, fueron de mayor cuidado porque para la huella indirecta (transformación), el dato debía estar en Kg, por lo que se utilizó la densidad para cambiarla; mientras que para la huella directa (combustión), necesitaba en MJ, por lo que se recurrió al poder calorífico de esos combustibles.

Cuando ya se tuvieron las cifras en las unidades de medida correspondiente, se pudo hacer el cálculo de los impactos relacionados con esos materiales, denominados puntos medios, es decir, los preliminares a la presentación de los resultados definitivos. Finalmente, se hizo la conversión a puntos finales, donde la principal diferencia es que los impactos de acidificación, eutrofización, ecotoxicidad y consumo se agrupan en uno solo más grande denominado Degradación de ecosistemas, bajo la unidad de $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$. Esto significa la fracción potencialmente desaparecida de especies en un área y tiempo determinado. El anterior impacto, con el agua consumida y el índice de escasez, se denominaron puntos finales.

Este modelo, creado por las autoras, se puede ilustrar en la Figura 20.

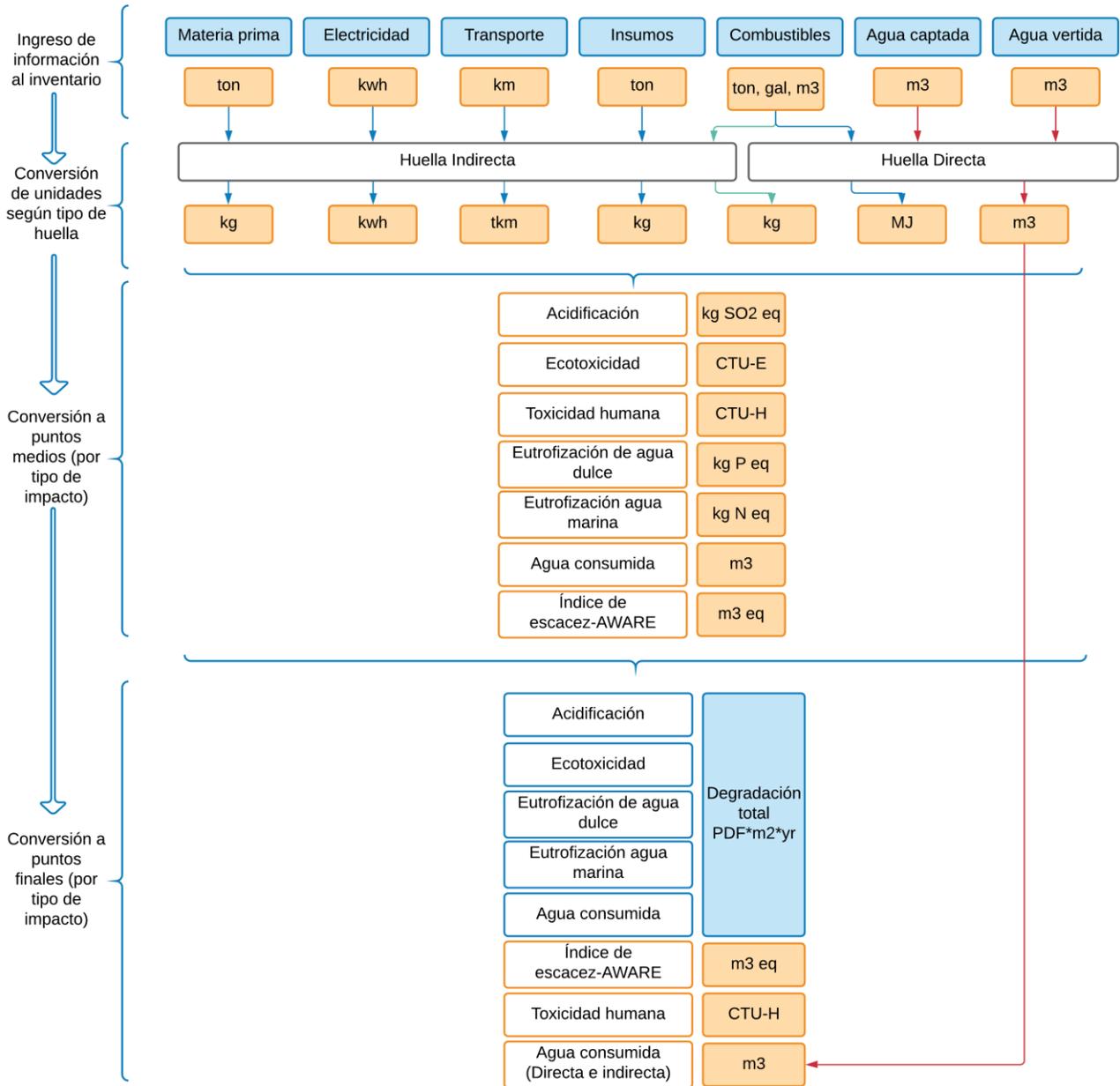


Figura 19 Modelo de cálculo-Diagrama de flujo. Fuente: autoras, 2020.

8.3.2 Creación de la herramienta de cálculo

Con base en el modelo anterior y para dar más amplitud en la explicación, se creó una herramienta de cálculo en Excel, que realizara las debidas operaciones de manera automática. Para esto, se comenzó un piloto con una única empresa que proveyó los datos de manera rápida y correcta. Así, la idea fue tener una plantilla lista para replicarla a las demás empresas y arreglar pequeños detalles, de acuerdo con las particularidades de cada una.

Esta plantilla tiene una página de presentación para cada empresa donde van distintos datos, como el nombre y la ubicación de las plantas de producción, el tipo de papel producido y las ubicaciones exactas de las captaciones y vertimientos de agua (Figura 21).

GENERALIDADES			
Nombre Empresa		Tipo de Papel fabricado	Ubicación planta
CAPTACIÓN			
Ubicación captacion (si aplica)	Nombre cuerpo de agua	Latitud	Longitud
VERTIMIENTO			
Ubicación vertimiento	Nombre cuerpo de agua	Latitud	Longitud

Figura 20 Información general sobre las empresas. Fuente: autoras, 2020.

En una hoja diferente, se realizaron las Tablas para la conversión de unidades, es decir, de las unidades que se pidieron en el inventario a las necesarias para hacer el cálculo, según los métodos EF Method e Impact 2000. Por ejemplo, los combustibles se solicitaron en galones (volumen), pero el cálculo lo requiere en kilogramos (masa) y mega Joules (energía) (Figura 22). Esta tarea se hizo con todos los datos que se ingresaron en el inventario.

GENERACIÓN DE ENERGÍA									
Especificidad	Unidad cálculo	Factor de conversión	2017	2018	2019	2020			
Electricidad comprada	kWh	-	4.514.940	11.226.221	12.885.417	0			
Carbón	kg	1.000	5.525.000	8.527.000	9.210.000	0			
Carbón	MJ	24.405	586.251	904.789	977.261	0			
Gasolina	kg	2.574	0	0	0	0			
ACPM/Diesel	kg	3.218	13.645.8352	18.189.0843	16.396.8820	0			
ACPM/Diesel	MJ	136.651	579.539	772.491	696.376	0			
Biodiésel	kg	2.000	0,00	0,00	0,00	0,00			
Gas natural	m3	-	12.787.373	14.081.078	13.495.731	0			
Gas natural	MJ	35,533	454.372.446	500.341.536	479.542.460	0			
Licor negro	MJ	0,5	0	0	0	0			
Polvillo de bagazo	MJ	14,740	0	0	0	0			
GLP	kg	2,120	51.836	91.772	96.800	0			
GLP	MJ	97,279	2.378.764,50	4.211.404,44	4.442.150,33	0,00			
Combustóleo (Fueloil)	kg	3,000	0,00	0,00	0,00	0,00			

Figura 21 Tabla para conversión de unidades para los combustibles. Fuente: autoras, 2020.

Posteriormente, se crearon las Tablas de cálculo para la huella directa e indirecta. En cada una de ellas se incluyeron todos los impactos del estudio con distintos factores para convertirlos a las unidades correspondientes de cada impacto. Por ejemplo, el combustible en la huella indirecta se coloca en Kg, mientras que en la huella directa en MJ, ya que es la combustión que se hace propiamente en la planta de producción. Además, se debió tener en cuenta que cada material del inventario puede o no ir en ambas Tablas (los insumos y las materias primas solo van en la huella indirecta, mientras que los vertimientos son propios de la huella directa). En cada uno de los impactos se totalizó la suma de los materiales (Figuras 23 y 24).

HUELLA INDIRECTA						
Impactos	Año	2017	2018	2019	2020	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Electricidad	2.615	6.210	19.202	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Carbón	4.134,2978	6.380,6619	6.891,7435	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Gasolina	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	ACPM/Diesel	94,9162	126,5177	114,0517	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Biodiésel					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Gas natural	101.968,9764	112.285,2294	107.617,5596	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	GLP	180,4204	319,4192	336,9204	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Combustóleo					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Madera pino					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Madera eucalipto					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Bagazo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Papel reciclado	49.069	74.450	75.161	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Al Sulfato y Blanqueo libre de cloro	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Blanqueo totalmente libre de cloro	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Sulfato sin blanquear	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Al sulfito blanqueada con cloro	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Termo mecánica o Químico -Termomecánica	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	al sulfato de eucalipto SFM sin blanquear.	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Almidón de maíz	7.171,5875	8.513,4645	8.513,4645	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	dos					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	tres					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	cuatro					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	cinco					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	seis					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Siete					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Transporte terrestre (>32 t)	8.857	15.709	13.323	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Transporte terrestre (6-7 t)					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Transporte marino					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	TOTAL	174.091	223.994	231.159	0	

Figura 22 Cálculo para el impacto de acidificación indirecta. Fuente: autoras, 2020.

HUELLA DIRECTA						
IMPACTO	Año	2017	2018	2019	2020	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Carbón	403,6402	622,9575	672,8555	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Gasolina	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	ACPM/Diesel	460,4971	613,8151	553,3348	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Biodiesel					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Gas natural	7.052,0875	7.765,5508	7.442,7388	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	GLP	16.404,1367	29.042,1579	30.633,3987	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Combustóleo					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Licor negro					
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Polvillo de bagazo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	Vertimientos	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO ₂ -eq)	TOTAL	24.320,3616	38.044,4813	39.302,3278	0,0000	

Figura 23 Cálculo para el impacto de acidificación directa. Fuente: autoras, 2020.

Aquí es necesario explicar que las Figuras 23 y 24, muestran los cálculos en puntos medios, por lo que después, se tuvieron que convertir a puntos finales, donde cambió la unidad a PDF*m²*yr y así se sumaron todos para obtener la degradación total. Estas conversiones se hicieron en Tablas iguales a las aquí mostradas.

Adicionalmente, fue necesaria una base de datos que se construyó a partir de la información extraída de SimaPro por los métodos EF Method e Impact 2000 (Figura 25). Así, con estos datos, se pudo programar

las operaciones para lograr su automatización al ingresar la información. Esta tarea se hizo con ayuda de Carlos Toro del CNPML.

FALTAN DATOS PEF	1	1	Consumed water, outflow	AWARE YR_AVG	Human Toxicity TOTAL	Freshwater ecotoxicity	Freshwater eutrophication	marine eutrophication	Aquatic acidification
Process name	Unit	Location	[m3]	m3eq	CTUh	CTUe	kg P-eq	kg N-eq	kg SO2-eq
maize starch, at plant/DE U	kg	CO	0,22480633	0,15256	1,50E-06	3,07E+00	4,40E-04	0,0148	7,45E-03
electricity, bagasse, sugarcane, at fermentation plant	kWh	GLO	0,04608096	0,02782	3,65E-08	3,05E-01	1,70E-05	0,0100	3,81E-04
bagasse, from sugarcane, at sugar refinery/CO U	kg	CO	0,0210201	0,01426	5,03E-08	1,36E-01	3,76E-06	0,00010163	1,62E-04
bagasillo quemado	MJ	co	0	0,00000	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,74E-05
hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant/RER U	kg	GLO	0,0765419	0,04621	3,28E-07	4,40E+00	4,45E-04	0,000019966	3,47E-03
sodium hydroxide, 50% in H2O, membrane cell, at plant/RER U	kg	GLO	0,02485546	0,01500	1,40E-07	4,55E-01	9,82E-04	0,000979765	4,63E-03
optical brighteners, in paper production, at plant/RER U	kg	GLO	1,80865628	1,09182	7,71E-07	2,49E+01	1,13E-03	0,00045414	1,39E-01
limestone, milled, loose, at plant/CH U	kg	GLO	0,00097328	0,00059	2,19E-09	9,81E-03	1,21E-06	2,52732E-05	9,42E-05
Heavy fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, no sulfur	MJ	CO		0,00000	4,70E-09	1,36E-01	2,993E-06	5,63367E-05	0,00060395
COMBUSTOLEO Heat, light fuel oil, at industrial furnace	MJ	CO		0,00000	1,30E-08	3,89E-02	2,9361E-06	3,85291E-05	0,00022632
heavy fuel oil, at refinery/RER U	kg	CO	0,00305	0,00207	3,75E-08	0,39493688	8,5057E-05	0,00064373	0,00498976
COMBUSTOLEO light fuel oil, at refinery/RER U	kg	CO	0,00310	0,00210	3,77E-08	0,40820273	8,3191E-05	0,00067183	0,00537804
Petroleum (RAF) production, onshore Alloc Rec, U	kg	CO	0,00718	0,00488	2,81E-08	0,22225963	1,056E-05	0,000676576	0,00242494
BIODIESEL palm methyl ester, production MY, at service station	kg	CO	0,10581	0,07181	8,66E-08	2,47650289	0,00031304	0,006358	0,0098785
Kaolin (GLO) market for Alloc Rec, U (net cons.)	kg	CO	0,02310	0,01568	1,54E-08	0,0594398	1,2484E-05	0,000175917	0,00144491
Titanium dioxide at plant, sulphate process, at plant/RER S	kg	CO	0,20566437	0,13957	4,14E-07	2,90256132	0,00097184	0,0059668	0,04746207
Titanium dioxide, chloride process, at plant/RER S	kg	CO	0,26627626	0,18070	5,44E-07	7,70027486	0,00226157	0,004577	0,02039433
Latex, at plant/RER S	kg	CO	0,06327927	0,04294	1,42E-07	4,33532263	3,6873E-05	0,0040839	0,01526948
Sulfuric acid (GLO) market for Alloc Rec, U (net cons.)	kg	CO	0,13833106	0,09388	1,43E-07	0,32575035	6,8994E-05	0,000447398	0,0085155
Aluminium sulfate, powder (GLO) market for Alloc Rec, U (net cons.)	kg	CO	0,09735653	0,06607	3,08E-07	1,1589093	6,4491E-05	0,000821462	0,0084911
Kerosene (RoW) market for Alloc Rec, U (net cons.)	kg	CO	0,04379308	0,02972	4,31E-08	0,39927284	8,5198E-06	0,000701253	0,00668492
Biocide, at plant/RER U (QLL18.1.0)	kg	CO	3,67073248	2,49106	3,20E-04	0	0	0	0,87581573
oxygen, liquid, at plant/RER U	kg	CO	0,01001956	0,00680	8,11E-08	0,50090894	0,00040412	0,00034981	0,00182728
sodium hypochlorite, 15% in H2O, at plant/RER U	kg	CO	0,01927738	0,01308	2,22E-07	1,54353784	0,00073789	0,00091077	0,00401375
sodium sulphate, powder, production mix, at plant/RER U	kg	CO	0,00542341	0,00368	7,76E-08	0,55970481	0,00028764	0,00034189	0,00297623
AKD sizer, in paper production, at plant/RER U	kg	CO	0,52811848	0,35840	2,60E-07	5,61394629	0,0007841	0,014833	0,01338573

Figura 24 Bases de datos con los factores de conversión según material e impacto. Fuente: autoras, 2020.

Los cálculos de huella directa e indirecta se complementan con otras Tablas dispuestas en diferentes hojas. Primero, para la huella indirecta se necesita el impacto que genera el transporte de las materias primas y los insumos. En esta Tabla se debe multiplicar la distancia recorrida (Km) por la cantidad transportada (ton) para obtener la unidad adecuada que permite hacer la conversión (tKm). El cálculo depende del tipo de transporte que se utiliza para llevar los materiales. En este caso puede ser terrestre mayor a 32 toneladas, terrestre entre 7,5 y 16 toneladas o marino transoceánico (Figura 26).

Transporte terrestre > 32 ton			AÑO			
Ciudades Origen transporte	Ciudades destino	Distancias (km)	2017	2018	2019	2020
CALI, VALLE DEL CAUCA (ALMIDON)	BARBOSA, ANTIOQUIA	459	441.558,0	524.178,0	524.178,0	0,0
BELLO, ANTIOQUIA (ACPM)	BARBOSA, ANTIOQUIA	38	518,5	691,2	623,1	0,0
BELLO, ANTIOQUIA (GLP)	BARBOSA, ANTIOQUIA	38	1.969,8	3.487,3	3.678,4	0,0
AMAGA, ANTIOQUIA (CARBON)	BARBOSA, ANTIOQUIA	80	442.000,0	682.160,0	736.800,0	0,0
ANSERMA, CALDAS	BARBOSA, ANTIOQUIA	224	893,8	0,0	0,0	0,0
APARTADO, ANTIOQUIA	BARBOSA, ANTIOQUIA	350	560.267,8	602.482,0	626.500,0	0,0
ARMENIA, QUINDIO	BARBOSA, ANTIOQUIA	298	36.058,0	15.400,0	90.592,0	0,0
ARMENIA, QUINDIO	BARBOSA, ANTIOQUIA	298	100.915,6	0,0	0,0	0,0
B/MANGA, SANTANDER	BARBOSA, ANTIOQUIA	352	108.841,9	556.927,7	701.184,0	0,0
BARBOSA	BARBOSA, ANTIOQUIA	1,6	9.356,6	8.938,3	8.433,6	0,0
BARRANCABERMEJA, SANTANDER	BARBOSA, ANTIOQUIA	265	156.858,8	284.109,7	379.215,0	0,0
BOGOTÁ DC	BARBOSA, ANTIOQUIA	425	5.464.668,7	15.532.231,5	9.480.050,0	0,0
BOGOTÁ DC	BARBOSA, ANTIOQUIA	425	2.460.900,0	1.570.686,5	1.596.300,0	0,0
LA ESTRELLA, ANTIOQUIA	BARBOSA, ANTIOQUIA	56	209.305,2	273.607,9	201.712,0	0,0
LA ESTRELLA, ANTIOQUIA	BARBOSA, ANTIOQUIA	56	66.640,0	0,0	96.992,0	0,0
TOTAL (tkm)			17.463.443,5	30.971.779,5	26.267.541,1	0,0

Figura 25 Obtención de la unidad para el cálculo (tkm) a partir de la distancia y las cantidades (datos traídos de la hoja de ingreso de datos). Fuente: autoras, 2020.

Segundo, se necesita el índice de escasez de cada lugar donde se encuentran los molinos de cada empresa, por lo que existe una Tabla donde se recopilan todos los datos AWARE según el país y, para Colombia, se divide en regiones específicas, cuyos datos se obtuvieron de una capa de Google Earth (Figura 27); este valor AWARE, de cada subzona hidrográfica, se multiplicó por el consumo de agua, para poder obtener el índice de escasez de cada empresa.

	Level		AWARE YR_AVG
Country	ISO Code / name	Name	YR_AVG
Global	GLO		0,60
Colombia	Ayacucho	SZH 2321 Quebrada El Carmen y Otros Directo	0,683
Colombia	Metica	Rio Metica (Guamal - Humadea 3501)	0,109
Colombia	Barbosa	Rio Porce	0,284
Colombia	Bogota	Rio Bogota	2,215
Colombia	Resende	Resende, Brasil	0,064
Colombia	Puerto Gaitan	SZH 3301 Alto Vichada	0,798
Colombia	Barranquilla	Barranquilla	100,000
Colombia	Canal Dique	Canal dique izquierdo	1,678
Colombia	Guayuriba	Guayuriba	0,260
Colombia	Yumbo	Rios Arroyohondo - Yumbo -	1,340
Colombia	Cajica	Rio Bogota	2,215
Colombia	Cali	Rios Lili, Melendez y Canaveralejo	1,545
Colombia	Guachene	Rio Palo	0,450
Colombia	Soledad		100,000

Figura 26 Índice de escasez AWARE según subzona hidrográfica en Colombia. Fuente: autoras a partir de capa KMZ de Google Earth, 2020.

Tercero, los parámetros de calidad del agua de los vertimientos se tradujeron en unidades por cada impacto. Por tanto, se hicieron los cálculos aparte, lo que arrojó un resultado directo para las huellas (directa e indirecta) (Figura 28 y 29).

Nombre ESP	Eutrofizacion agua dulce	Ecotoxicidad	Toxicidad Humana Cancer	Toxicidad Humana No Cancer	Toxicidad Humana TOTAL	Eutrofizacion marina	Acidificacion
Vertimiento 2017	kg P/kg	CTUe / kg	CTUh / kg	CTUh / kg	CTUh / kg	CF kg N eq / kg	kg SO2 eq / kg
DQO	0,00719				0		
Nitrogeno					0	1	
Fosforo	1				0		
Aluminio		4,1E+06			0		
Niquel		1,5E+04	0,0000383	6,69E-06	0,00004499		
Manganeso					0		
Hierro					0		
Cobre		5,52E+04		1,37E-07	1,37E-07		
Cadmio		9,71E+03	1,59E-06	4,69E-03	0,00469159		
Zinc		3,86E+04		2,64E-04	0,000264		
Plomo		3,75E+02	3,4E-07	5,04E-05	5,1E-05		
Hidrocarburos					0		
Silice					0		
Mercurio		2,21E+04	1,20E-04	1,79E-02	0,01802		
Cianuro					0		
Cromo		1,29E+03	5,32E-03	2,07E-11	0,00532		
Arsenico		2,78E+04	3,69E-04	2,53E-02	0,025669		
Estaño					0		
Nitrato					0	2,26E-01	
Nitrito					0	3,04E-01	
Fenoles		9,33E+02		1,42E-07	1,42E-07		
Bario		1,5E+03		1,4E-04	0,000142		
Acido nitrico					0		0,51
Acido fosforico					0		0,98
Acido sulfurico					0		0,65

Figura 27 Factores de conversión para los parámetros de calidad de vertimientos según tipo de impacto. Fuente: autoras, 2020.

Impacto	Año	2017	2018	2019	2020
Eutrofización agua dulce (kg P-eq)	DQO	8.015,8032	9.589,9918	11.727,4467	0,0000
	Fósforo	1.014,7216	1.399,4331	674,7389	0,0000
	TOTAL	9.030,5248	10.989,4248	12.402,1856	0,0000
Eutrofización agua marina (kg N-eq)	Nitrogeno	10.971,6773	9.722,3771	12.567,0115	0,0000
	Nitratos	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Nitritos	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	TOTAL	10.971,6773	9.722,3771	12.567,0115	0,0000
Ecotoxicidad (CTUe)	Aluminio	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Niquel	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Cobre	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Cadmio	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Zinc	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Plomo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Mercurio	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Cromo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Arsenico	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Fenoles	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Bario	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	TOTAL	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Toxicidad humana (CTUh)	Niquel	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Cobre	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Cadmio	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Zinc	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Plomo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Mercurio	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Cromo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Arsenico	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Fenoles	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Bario	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
TOTAL	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
Acidificación (kg SO2-eq)	Acido nitrico	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Acido fosforico	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Acido sulfurico	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	TOTAL	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Figura 28 Cálculo de los impactos por cada parámetro de calidad en los vertimientos. Fuente: autoras, 2020.

Cuarto, para poder calcular el impacto indirecto del uso de electricidad no generada, fue necesario saber cómo es el mix de energía anual en el país. Esta información se obtuvo de la página web de XM, una empresa de ISA sobre gestión de sistemas e información. Esto quiere decir que los factores de conversión a cada unidad de impacto difieren cada año y la programación del cálculo debe ser manual en este caso (Figura 30).

FUENTE	MIX2017	MIX2018	MIX2019
Hard coal[Electricity plant]	3,57%	3,43%	10,20%
Natural gas[Electricity plant]	8,20%	7,66%	8,25%
Oil[Electricity plant]	0,09%	0,04%	0,08%
Hydro, reservoir, tropical region	87,11%	87,70%	80,24%
Wind, >3MW, onshore	0,16%	0,11%	0,33%
Sugar cane	0,87%	1,05%	0,98%
MJ_MMBTU	1055,87	L_Gal	Gal_Barril
LB_KG	0,453592	3,785411	42

Figura 29 Mix de energía anual en Colombia. Fuente: autoras a partir de XM, 2020.

De igual manera, se agregó una hoja con los gráficos obtenidos de las Tablas de huella directa e indirecta para cada impacto. Cada grafica varía según la materia prima, los insumos y los combustibles de cada empresa (Figuras 31 y 32).

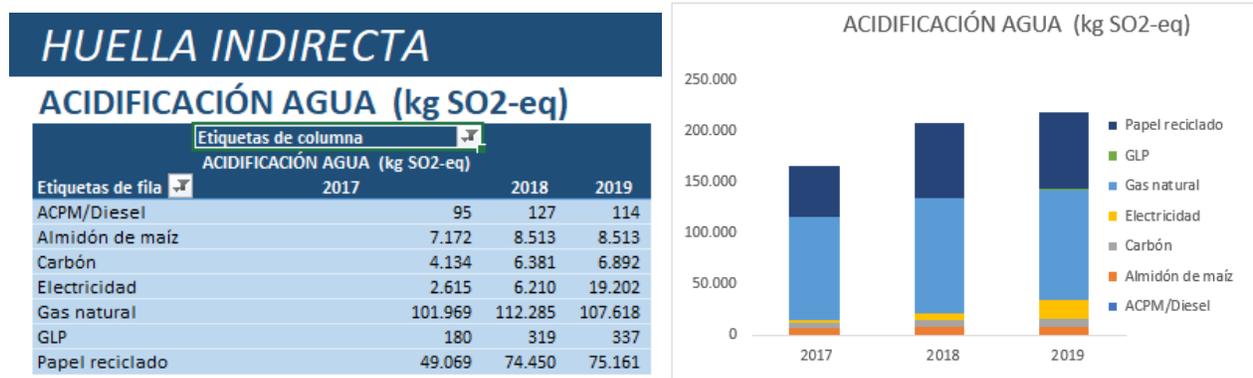


Figura 30 Tabla y Gráfica para el impacto de acidificación indirecta. Fuente: autoras, 2020.

HUELLA DIRECTA ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO2-eq)

Etiquetas de columna		ACIDIFICACIÓN AGUA (kg SO2-eq)		
Etiquetas de fila		2017	2018	2019
ACPM/Diesel		460	614	553
Carbón		404	623	673
Gas natural		7.052	7.766	7.443
GLP		16.404	29.042	30.633
Vertimientos		-	-	-

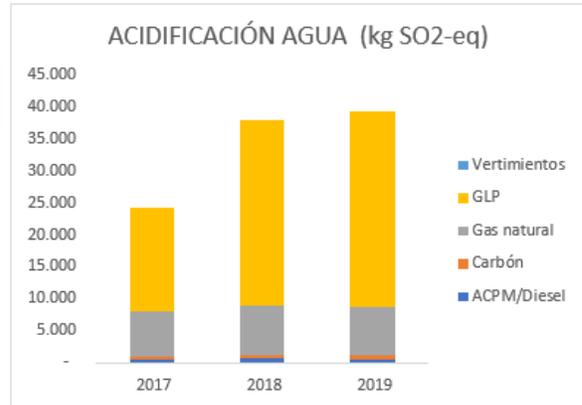


Figura 31 Tabla y gráfica para el impacto de acidificación directa. Fuente: autoras, 2020.

Además, se agregó una hoja con el resumen ejecutivo para la presentación general, donde se muestran los gráficos más representativos de los tres impactos globales (degradación, índice de escasez y agua consumida) (Figura 33).



Figura 32 Graficas finales para la presentación de resultados. Fuente: autoras, 2020.

Cuando se aseguró que las operaciones fueran las correctas y los gráficos mostraran adecuadamente los resultados de las Tablas, se pudo duplicar el documento para todas las empresas de la Cámara. Una vez obtenidos los inventarios de las empresas se comenzó a ingresar la información en cada herramienta de cálculo. Sin embargo, en algunas ocasiones los datos recibidos no eran claros y debieron verificarse nuevamente con las empresas. Para esto, se enviaron correos a los representantes de cada empresa, por medio de la Cámara, que fue siempre la intermediaria para la comunicación.

Una vez recibida la información verificada, comenzaron a subirse los datos a las herramientas de cálculo respectivas para cada empresa, siempre ajustando los gráficos y la información del resumen ejecutivo. A lo largo de este proceso se crearon distintas versiones, especialmente para la presentación de los resultados a cada una de las empresas. Esto se socializó en distintas ocasiones con los integrantes del proyecto (la Cámara, el CNA y CNPML) para establecer cuál era la opción más adecuada de tal manera que fuera de fácil entendimiento para cualquier persona que tuviera acceso a la herramienta.

8.3.3 Presentación individual a las empresas

A lo largo de septiembre de 2020, se hicieron reuniones individuales, de una hora cada una, con los representantes de cada empresa para presentar los resultados que se obtuvieron. Para ello, se contó con una presentación en [Power Point](#) (Anexo 2) y con el diagrama de flujo de la creación del modelo (Figura 20) para entregar de forma clara e intuitiva la información a los técnicos y encargados del área ambiental de cada empresa. Así mismo, se realizó la muestra del [modelo en Excel](#) (ver documento Excel adjunto), que mostró el informe ejecutivo y los resultados específicos donde se alojaron las gráficas por cada tipo de huella (directa e indirecta) y, así mismo, las huellas expresadas por tipos de impactos (huella de degradación, de consumo y de escasez). Dichas gráficas se complementaron con un análisis que dio más claridad con respecto a lo que se observó en el comportamiento de cada año, teniendo en cuenta la producción de papel anual y las cantidades de insumos, materias primas, electricidad, agua y combustible.

Posteriormente, se recopilaron los datos de cada empresa para poder presentarlos a la Cámara de una manera sectorial.

8.3.4 Presentación de resultados para la Cámara.

En el presente apartado, se muestra la forma en la que se entregó la información a la CPPC de la ANDI. Se entregó el informe ejecutivo y específico en formato Excel. Además, se desarrolló una herramienta Web con el resumen del resultado total, acompañado de datos sobre la huella de agua y mapas interactivos, que está a disposición no solo del sector y las empresas, sino de la ciudadanía, teniendo en cuenta que esta última parte se deja a consideración y con previa autorización de la Cámara.

En primera instancia, se creó un archivo Excel donde se recopilaba todos los resultados de las empresas de huella de agua anual. Luego se sumaron los valores de huella directa e indirecta para generar una gráfica como las que se presentaron individualmente a cada empresa. De igual manera, este resultado total se dividió entre la producción total de papeles y cartones de la Cámara, para así generar la huella de agua por tonelada de producto.

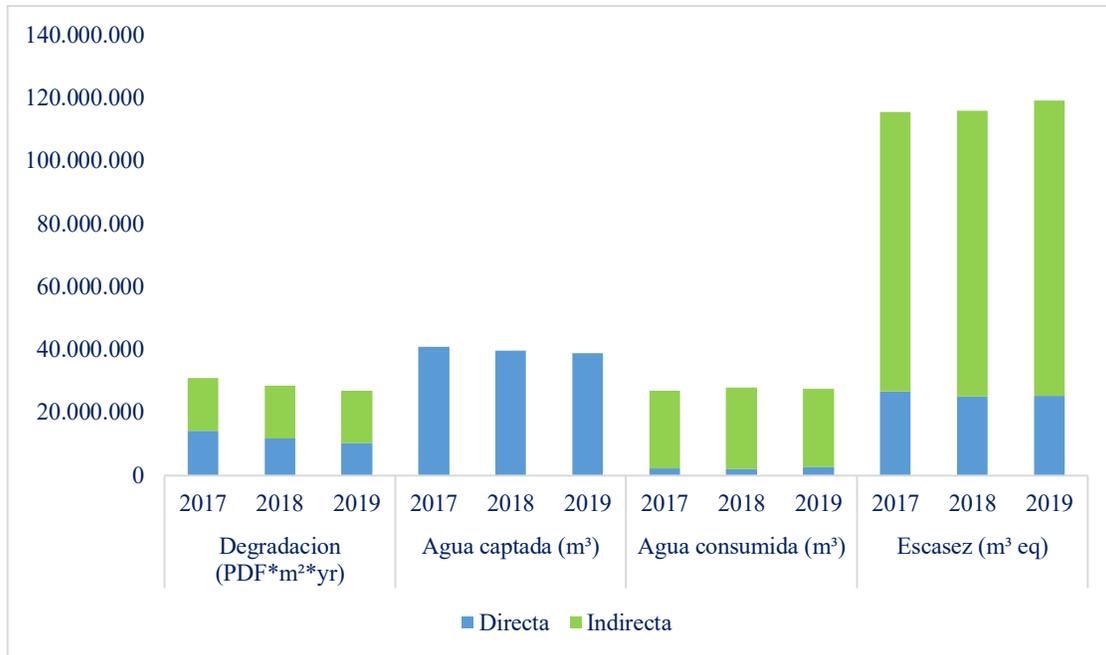


Figura 33 Huella de agua anual sectorial. Fuente: autoras, 2020.

En la gráfica 34 se puede observar el resultado sectorial para los tres años de estudio, dividido en los tres impactos principales y sus componentes: directo, en azul e indirecto, en verde.

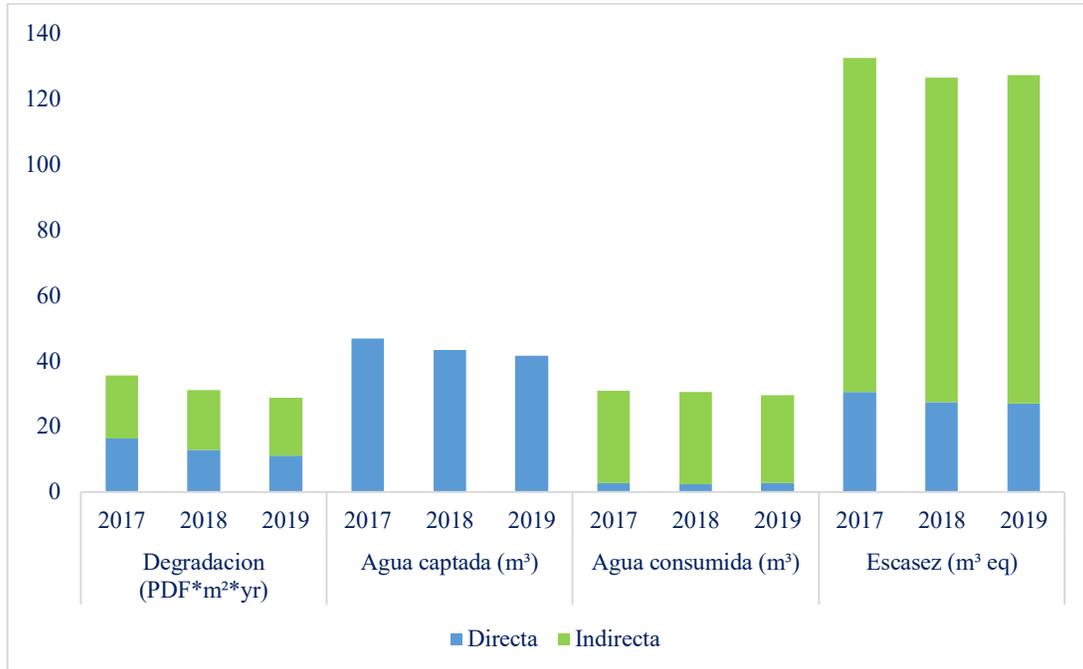


Figura 34 Huella de agua anual sectorial por tonelada de papel producido. Fuente: autoras, 2020.

Mientras que en la gráfica 35 se evidencia el resultado sectorial para los tres años de estudio dividido sobre la producción total anual de las empresas de la Cámara. Aquí se muestra un comportamiento distinto a la Figura 34, debido a la relación entre las huellas y la cantidad de papel.

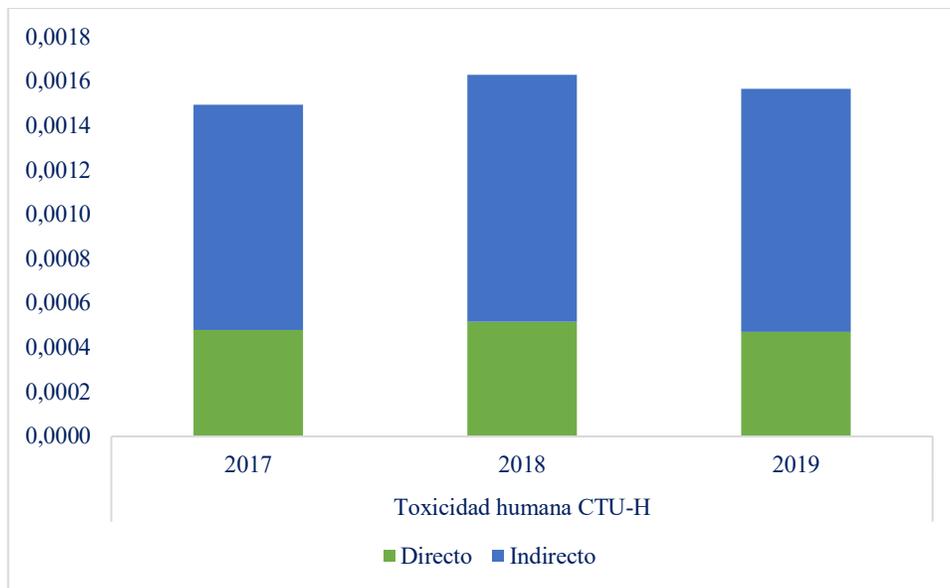


Figura 35 Huella de agua según impacto de Toxicidad humana (CTU-H). Fuente: autoras, 2020

F

También se destaca que se contempló como otro impacto, a la toxicidad humana que, adquiriendo valores muy bajos, se debió de hacer de forma separada a los impactos ya mostrados anteriormente. En la figura 36 se muestra cómo es que a través de los años el valor no varía de forma considerable. Sin embargo, para el año 2018 si se presenta un incremento. Posiblemente por un mayor aporte de sustancias químicas al agua de manera indirecta.

Estos resultados se presentaron en un resumen ejecutivo, donde se incluyó: el contexto del proyecto, los actores involucrados, las empresas participantes, algunas definiciones sobre huella de agua, los gráficos y sus respectivos análisis. En una hoja aparte, se abarcaron resultados más específicos respecto a la huella de agua según cada tipo de papel, así como la incidencia de cada empresa en el total de las huellas (degradación, escasez y consumo) de forma directa e indirecta.

De forma específica, se muestran gráficas por cada huella, con mayor precisión en la huella de degradación, debido a que es el resultado de la sumatoria de los impactos de eutrofización, ecotoxicidad, toxicidad humana y consumo. Por tal motivo, se muestran tres tipos de gráficas para esta huella (degradación directa). La primera muestra cuál es el impacto más representativo que aporta a la degradación; en este caso fue la eutrofización de agua marina (Figura 36).

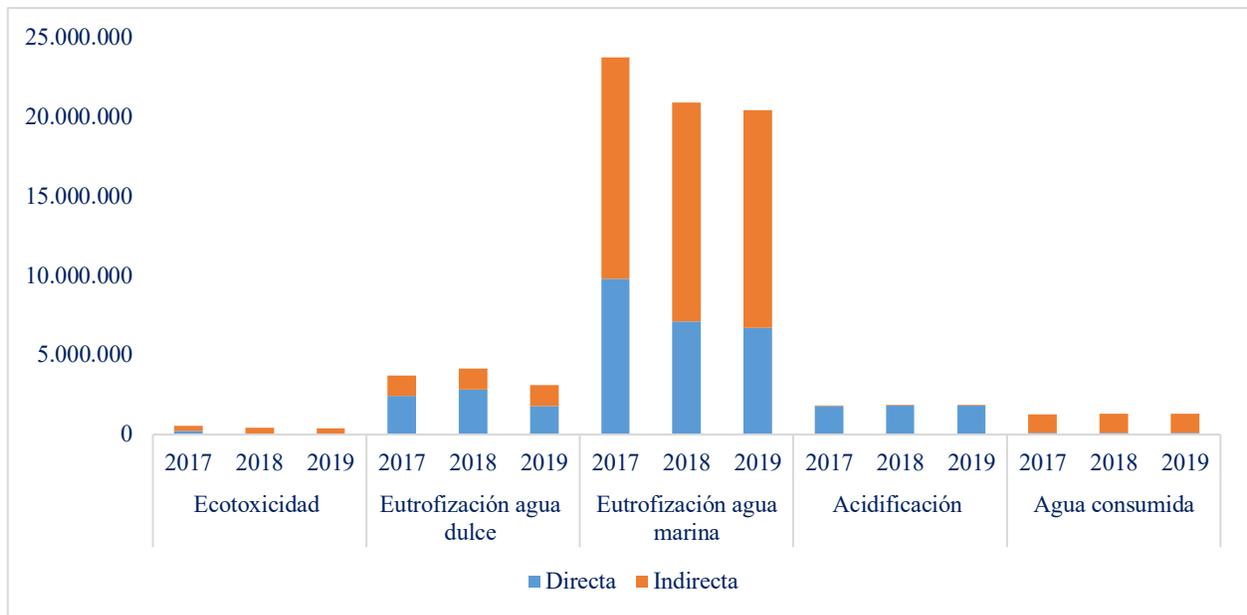


Figura 36 Impactos más representativos en la huella de agua de degradación (PDF*m²*yr). Fuente: autoras, 2020.

Además, fue necesario conocer cuál es el factor que más aporta al impacto en mención. Se creó una segunda Gráfica, que permitió evidenciar dicho comportamiento. Se identificó que los combustibles (gas natural, carbón) y vertimientos son los que más aportan a la eutrofización de agua marina (Figura 37).

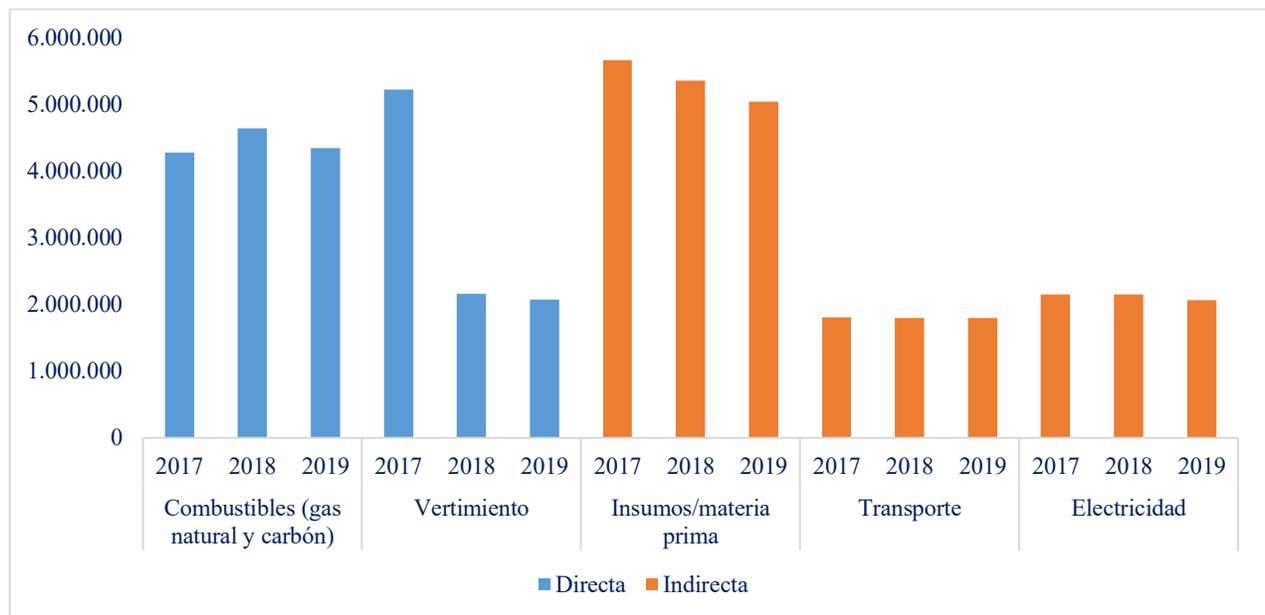


Figura 37 Factores directos e indirectos que más aportan al impacto de degradación de agua marina (PDF*m²*yr). Fuente: autoras, 2020.

Finalmente, en la tercera Gráfica se muestra la participación de las empresas según la demanda de combustibles y la generación de vertimientos, lo que, a nivel sectorial, principalmente de la Cámara, permite identificar cuál es la empresa que más contribuye a la huella de degradación con un alcance global⁶.

La presentación del resultado sectorial tuvo como Objetivo saber cuál es la participación de las distintas empresas en la huella a nivel general y por tipo de impacto. Lo anterior, contribuyó a un mejor análisis con respecto al sistema productivo, para tener mejoras o cambios en los procesos, principalmente internos, pues estos son los que están a un mayor alcance por parte de cada empresa. Aunque las actividades que suceden antes, por ejemplo, el procesamiento de la materia prima, insumos y combustibles también se contemplan dentro del análisis. De esta manera, se entregó a la Cámara un insumo analítico compuesto por gráficas y su descripción respectiva, como una herramienta que **facilita la toma de decisiones técnicas y corporativas**.

8.3.5 Análisis de los impactos al agua

8.3.5.1 Importancia del recurso hídrico

El agua se reconoce como un recurso de suma importancia a la hora de poder cumplir con el o los Objetivos de un proyecto que se quiera llevar a cabo. Al ser un elemento fundamental para todas las formas de vida, se debe hacer una debida gestión en cada situación en la que sea demandado su uso. Por eso, en este caso, se recurrió a la medición de impactos potenciales al agua para evidenciar claramente cuál es el daño que se genera a raíz de su uso, pasando por otras matrices ecológicas hasta llegar al líquido vital en el marco del ciclo del agua. Lo anterior, permitió entender cuáles son las dinámicas de daños a los ecosistemas, sus especies y posiblemente, cómo se ve afectada la calidad con que el agua llega a los suministros domiciliarios de la población humana. Así las cosas, el estudio inicial del uso del agua, los impactos de las actividades humanas y su posterior impacto ecológico permitieron mejorar las características y dinámicas de la gestión del recurso, puesto que ya se conocerá la raíz del problema y sus consecuencias.

En términos generales, se evidenció algunos puntos críticos, que una vez analizados, permiten una evidencia mucho más específica, y con miras a cambios puntuales, como es el caso del agua recirculada, que permite una disminución del agua captada de las fuentes hídricas, pero que estudiando claramente los puntos en donde se hace dicha recirculación, se puede entender y mejorar este tipo de ciclos; también se encuentra el posible gasto de agua innecesario dentro del proceso interno o en etapas en las que además puede ocurrir una mayor demanda de agua que no estaba contemplada inicialmente. De otra manera, están las pérdidas, que siendo un evento no previsto, son importantes en términos de la

⁶ Dicha gráfica no se muestra por efectos de confidencialidad.

justificación de un gasto mayor, además son un precedente que supone la generación de contingencias futuras.

8.3.5.2 Análisis de la huella de agua sectorial

De acuerdo con el resultado sectorial (Figura 34), se observa un comportamiento creciente para 2018 para el agua consumida indirectamente, mostrando mayor necesidad de insumos, combustibles o transporte para la producción de papel, que con los años también ha ido aumentando. De la misma forma se puede ver cómo la huella directa es superior que la indirecta en la degradación del año 2019. Esto se debe al aumento en la concentración de ciertas sustancias, como nitratos, nitrógeno total y DQO en los vertimientos, lo que incrementa significativamente la huella sectorial. Sin embargo, la huella indirecta de degradación se ha mantenido estable en los años 2017 y 2018, con un leve aumento en 2019. Para la huella de escasez directa hubo una leve disminución en 2018, mientras que la directa sí ha venido aumentando con el tiempo.

Se debe tener en cuenta que la reglamentación sobre calidad de aguas residuales (Resolución 631 de 2015) varía entre las empresas que generan papel a partir de fibra virgen y a partir de papel reciclado. Así, para ninguno de los dos grupos se establece un límite máximo permisible respecto a algunos hidrocarburos, compuestos de nitrógeno y compuestos de fósforo, donde estos dos últimos interfieren en la eutrofización de agua dulce y marina, respectivamente. Por eso, al no haber restricciones de calidad, algunas empresas pueden verter aguas con niveles mucho más altos que otras, haciendo que la huella de degradación sectorial aumente. Por otro lado, para las primeras empresas tampoco existe un límite para los metales pesados, mientras que para las segundas sí. Esto puede hacer que varíe notoriamente el impacto de ecotoxicidad y toxicidad humana a nivel sectorial.

La huella de escasez depende de la ubicación geográfica y del estrés hídrico que sufre cada subzona hidrográfica en Colombia. Este último valor se debe multiplicar por el consumo de agua para saber cuántas veces se ve afectada la zona por esa extracción de agua. Por esto, las empresas que se encuentran en Atlántico presentan el mayor índice de escasez, al tener un valor AWARE de 100, siendo este el máximo valor dentro del rango posible. El índice de escasez indirecto para los insumos y materias depende de su lugar de origen. Así, por ejemplo, aquellos insumos que provienen de Estados Unidos, China o Brasil tendrán un mayor índice, ya que cada uno tiene 33,84; 42,43 y 2,17 de AWARE respectivamente en promedio. Mientras que Colombia, en promedio tiene 0,68.

Para la escasez y consumo, tanto directo como indirecto, en la Figura 35 se ve una disminución con los años, debido a una mayor producción de papel respecto a los materiales que se usaron. Sin embargo, para la degradación sí mantuvo un comportamiento similar a la gráfica de la derecha, con una leve disminución en 2018 y un aumento en 2019, con respecto al resultado de 2017.

Adicionalmente, se puede decir que **el impacto que más contribuye a la degradación del agua es la eutrofización de agua marina, seguido de la eutrofización de agua dulce**. Estos dos se magnifican cuando se convierten de puntos medios a puntos finales, porque $1 \text{ kg N eq}=8,75 \text{ PDF}\cdot\text{m}^2\cdot\text{yr}$, mientras que, $1 \text{ kg P eq}=11,4 \text{ PDF}\cdot\text{m}^2\cdot\text{yr}$, respectivamente. Por lo tanto, son estos dos impactos los que más influyen en la degradación final que se puede observar en los resultados (Figura 36).

Entre las empresas se tienen ciertas semejanzas como el uso de electricidad, gas natural y carbón. El primero, contribuye al consumo de agua, porque en Colombia la mayoría de la energía es de origen hídrico, mientras que los dos últimos influyen en la degradación del agua. Estos resultados serían distintos si esta electricidad fuera generada a partir de otras fuentes, como el carbón. Por lo tanto, este parámetro afectaría otros impactos como la degradación.

Por otro lado, en la parte indirecta influyen principalmente los distintos tipos de materia prima por las grandes cantidades que usan, además de algunos insumos, ya sea por los volúmenes o por sus características que aportan más a estos impactos. También se puede destacar el transporte tanto terrestre como marino y la electricidad. Mientras que, en la huella directa, los principales factores son los vertimientos, la combustión de carbón y gas natural (Figura 37). En aquellas empresas que no se usa carbón, disminuye significativamente la huella de degradación directa.

Cabe resaltar que los resultados sectoriales se enfocaron en un primer momento en mostrarlos de acuerdo con los tres tipos de papel aquí expuestos. Sin embargo, una de las empresas que fabrica distintos tipos de papel, mostró dificultades para proveer los datos de manera segregada. Con esto, la información de las demás empresas quedaba expuesta y se podría deducir qué valor le corresponde a cada una. Por eso, fue decisión de la Cámara no mostrarlos de esta manera y hacer un compilado de toda la producción sectorial.

8.3.5.3 Análisis comparativo

Este estudio es uno de los pioneros sobre el cálculo de huella de agua en Latinoamérica, debido a que esta metodología es muy reciente y, de acuerdo con lo consultado en el Estado del Arte, han sido dos los estudios hallados a nivel mundial en torno a la huella de la producción de papel Kraft, ambos desarrollados por Ma et al (2018 y 2019). En este respecto, se debe aclarar que, aunque la espacialidad y las características ambientales (ecológicas, económicas y sociales) de dicho país, son diferentes a las de Colombia, se tuvieron en cuenta condiciones parecidas que permitieron observar que los resultados eran similares. Por ejemplo, se identifica que la huella indirecta por empresa fue la que más aportó a la huella total, por encima de la directa; además la quema de combustibles, junto con los vertimientos, debido a la alta concentración de metales pesados y de DQO, fueron los factores que más aportaron al aumento del impacto de la eutrofización de agua.

Con poca información sobre el componente activo de algunos insumos, se logró identificar que no hay certeza sobre los valores para su conversión en las bases de datos, por lo que en dichos estudios se recurrió a aproximaciones de insumos: valores que fueron validados con un análisis de sensibilidad del 20%, estableciendo que la variación en los cálculos no superaba el 5%. Este fue el recurso al que se tuvo que acudir de igual manera en el presente estudio para cierta empresa, cuyos insumos eran difíciles de reconocer en las bases de datos.

Aunque no haya muchos estudios sobre huella de agua para el sector papelerero, sí existen una gran diversidad de estudios sobre ACV de la producción de pulpa y papel, a partir de distintas materias primas y en varios lugares del mundo. No obstante, hacer comparaciones con estos estudios es más difícil porque tienen alcances más amplios. Por ejemplo, de la cuna a la tumba, que no es el caso de este trabajo ya que se tuvo en cuenta solamente los procesos que suceden en planta, a pesar de que los materiales tengan distintos orígenes fuera de esta. Esto se puede evidenciar en el estudio de dos Santos, Battistelle, Bezerra & Varum (2014), donde su alcance fue desde la adquisición de materiales, producción, uso y disposición

final. Aquí se estudió la producción de tableros de corcho, que, aunque sea un producto distinto, sus materias primas son bagazo de caña de azúcar y virutas de madera de pino.

Caso distinto es el estudio de Lopes, Dias, Arroja, Capela & Pereira (2002) y Santos, Barbosa-Póvoa & Carvalho (2018), donde se tuvieron en cuenta más etapas del ciclo de vida, como las plantaciones forestales, insumos, combustibles, uso y disposición final. En estos tres últimos estudios se abarcan, además, impactos diferentes a los trabajados aquí, como consumo de recursos (distintos al hídrico), calentamiento global (el más destacado por ser el indicador de la huella de carbono) y demás impactos relacionados al aire y uso del suelo. Igualmente, se trabajaron unidades funcionales diferentes, lo que dificultó aún más un análisis comparativo.

Otro de los estudios de ACV hallados fue el de Pineda-Henson., Culaba, & Mendoza (2002), que se basó en dos componentes: el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP, por sus siglas en inglés) y el ACV. Aquí, los límites del sistema son similares a los de este estudio, para la producción de pulpa y papel a partir de madera virgen. Sin embargo, la unidad funcional, los impactos y el enfoque varían significativamente, teniendo en cuenta que el AHP es una herramienta para la toma de decisiones por medio de la jerarquización de las opciones y ese trabajo se basó en la selección de la mejor opción de gestión, de acuerdo con los puntos críticos hallados en el ACV.

También se debe aclarar que los resultados que se generaron aquí no tienen un marco de comparación, ya que no existen estándares ni valores de referencia través de los cuales se indique que estos números sean positivos o negativos. Este trabajo fue un primer ejercicio de diagnóstico en las empresas papeleras y su principal utilidad es saber cómo ha sido el comportamiento de los impactos a lo largo del tiempo y cómo varían de acuerdo con las estrategias de mejora que las empresas implementen. Además, hay que tener en cuenta que este ejercicio es un mapeo del sistema bajo estudio, es decir, una aproximación, y que habrá desviaciones por el uso de datos secundarios y demás factores que pueden causar error en el cálculo. Asimismo, con el resultado sectorial, se puede mostrar ante la Cámara cuáles son las empresas que más contribuyen a esta huella de agua conjunta.

8.3.6 Informe de Sostenibilidad de la Cámara

Desde otro punto de vista, la Cámara hace un reporte de sostenibilidad bianual donde se resumen ciertos indicadores e impactos como la producción de papel total o el consumo de agua de las empresas. Además, se incluyen las fuentes para la fabricación de pulpa, papel y cartón, así como una visión general de la calidad de sus vertimientos y las fuentes y consumos de energía sectorial. Con la herramienta creada en este proyecto, la Cámara tiene ahora un insumo para reportar nuevos indicadores de gestión, específicamente del recurso hídrico y no se queda simplemente en la medición de los últimos tres años.

Además de lo anterior, la herramienta de cálculo funcionará como un instrumento de replicación para el cálculo de huella de agua en otros molinos de las empresas del sector paplero y como simulador de situaciones futuras, es decir, para pronosticar resultados, de acuerdo con las medidas de acción que pueda llegar a tomar la empresa.

De esta manera, se garantiza que haya mecanismos de seguimiento a través de todo el proceso de fabricación (antes, durante y después del mismo) para mejorar las medidas de manejo, como la prevención, mitigación y compensación de acciones que, llegando hasta el control de sus procesos, garanticen la idónea gestión del recurso hídrico.

Para este fin, se realizó una sesión de capacitación con los delegados de las empresas donde se enseñó el contenido y funcionamiento de la herramienta de cálculo para que puedan seguir realizando esta actividad anualmente y monitorear su comportamiento ambiental.

8.3.7 Nuevos mercados sostenibles y Economía Circular en el sector papelerero

Actualmente, están surgiendo nuevas tendencias en el mercado y las empresas, entre las que destacan la **sostenibilidad**, cambios en el comportamiento demográfico, avances tecnológicos y desarrollo (Martínez, 2020). Esto va de la mano con nuevas generaciones, como los “millennials” o “centennials”, que se consideran consumidores más conscientes sobre los productos y los riesgos ambientales que se avecinan. Según una encuesta hecha por Nielsen de 2015 (con presencia en más de 60 países), el 66% de los encuestados están dispuestos a pagar más por opciones sostenibles de bienes y servicios y el 73% de los “millennials” dicen que pagarían más por opciones sostenibles de bienes y servicios. Entre este 66%, más del 50% de ellos están influenciados por factores clave de sostenibilidad, como que un producto esté hecho con ingredientes frescos, naturales y/u orgánicos (69%), que la empresa sea respetuosa con el medio ambiente (58%), y que la empresa sea conocida por su compromiso con el valor social (56%).

Según el DANE, sólo en Colombia, más del 30% de población tenía entre 0 y 39 años para 2018. Con una tendencia creciente, los consumidores y el mercado están migrando a un mercado sostenible que busca ofrecer y comprar productos sostenibles. Además, con ayuda de la tecnología, la información se encuentra al alcance de cualquier persona, lo que le permite buscar referencias y comparaciones con respecto a otras ofertas y sus comportamientos ambientales. La sostenibilidad se convirtió en un factor diferencial de negocios.

Por eso, las empresas han tenido que actualizarse a estos nuevos estándares de mercado, por medio de **ACV**, en que se incluye la **huella de agua y carbono**, para tener competencia con otros productos o servicios que se venden como responsables social y ambientalmente. Ejemplos claros de esto en Colombia son Nutresa y el Grupo Plastilene, que enfoca la calidad de sus servicios y productos en estudiar sus ciclos de vida para reducir impactos ambientales. Como explicaron sus representantes, realizar un ACV trae consigo varios beneficios como **identificar los puntos críticos** en su cadena de valor y las **estrategias para gestionarlos**, así como la **apertura a mercados internacionales** o a empresas más exigentes, porque esto se considera como un **valor agregado** (Gaia, 2020).

Otro ejemplo más cercano al sector papelerero es la empresa Essity, que desarrolla productos y servicios de higiene y salud, muy similar al Grupo Familia en Colombia. Ellos se han destacado por tener un programa consistente de sostenibilidad. Hablando específicamente del recurso hídrico, se han propuesto disminuir el consumo de agua (extraída menos vertida), al igual que las concentraciones de distintos parámetros en los vertimientos. Adicionalmente, los ACV que hace Essity abarcan las principales categorías que describen el impacto potencial en el ambiente, es decir, la huella de carbono del producto, la acidificación de ríos y lagos, y la eutrofización de los sistemas de tierra o agua. Esto va ligado a los altos estándares que tiene la Compañía para sus proveedores, con el fin de asegurar una gestión integral a lo largo de su cadena productiva (Essity, 2019).

Existen retos a futuro como la legislación que se aproxima, porque se puede afirmar casi con certeza que, todos los sectores productivos deberán realizar estos estudios. Además, se encuentra el tema de la

comunicación con el usuario y el uso de un lenguaje sencillo para su entendimiento y aceptación de estos productos y servicios en su vida cotidiana.

Para ilustrar mejor la necesidad que tienen las empresas de actualizarse a estos estándares sostenibles, está el Índice de Sostenibilidad utilizado por Walmart, conocido técnicamente como Sustainability Insight System (THESIS) Index que recopila y analiza información a lo largo del *ciclo de vida* de un producto. Con esta herramienta, la empresa busca comprar productos estadounidenses de proveedores que participen en el Índice (Walmart, 2020). También se comienzan a establecer puntos de comparación entre marcas, donde los productos con ACV muestran ventajas competitivas sobre aquellos que no lo tienen.

Al ser una de las cadenas de almacenes más grandes del mundo, Walmart tiene la influencia para que otras empresas empiecen a implementar este tipo de herramientas para la selección de sus productos y proveedores. Es muy probable que este tipo de evaluaciones ambientales lleguen hasta otros sectores económicos, cambiando la forma en que crean y comercializan productos y servicios.

Desde otro punto de vista, el sector papelerero, especialmente en Colombia, es un claro ejemplo de la *economía circular*, ya que el principal insumo es el papel reciclado (cartón y archivo), seguido de la madera (certificada con FSC) y bagazo de caña de azúcar, estos dos últimos recursos naturales renovables. Según el Informe Estadístico de la Cámara (2019), la tasa de recolección de papel desperdicio y de reciclaje han aumentado en los últimos años, asegurando la recirculación de materiales en el proceso productivo.

Por otra parte, el cartón tiene la posibilidad de reutilizarse hasta siete veces para hacer nuevo material, mientras que la caña de azúcar es el insumo para el papel de imprenta y escritura, que posteriormente se convierte en la materia prima de los papeles suaves, llegando al final de su vida útil, por medio de un material complemente biodegradable. En una producción sostenible para estos dos últimos papeles, se buscaría reducir la necesidad de blanqueamiento y, la utilización de productos químicos que pueden degradar no solo el recurso hídrico, sino también el aire, el suelo e incluso la salud humana.

Hay que tener en cuenta el uso de biocombustibles como el polvillo de bagazo, el licor negro (que se generan dentro de la planta, por lo que no tienen una huella indirecta) y el biodiésel, cuya huella de agua es significativamente menor que la de los combustibles fósiles como el carbón, gas natural o diésel. Por otro lado, el sector papelerero solo consumió el 8% del agua que captó en 2017 (ANDI, 2018), además de que existen subprocesos de recirculación dentro de las plantas y de gestión del agua residual por medio de plantas de tratamiento con fases primarias y secundarias.

Además, hay una baja tasa de generación de residuos no peligrosos (99,89%), debido a los rechazos por la calidad del material, por ejemplo. Además, se busca “encontrar nuevas oportunidades para su aprovechamiento, ya sea en el mismo proceso productivo o en otras industrias, para minimizar lo que se envía a los rellenos sanitarios” (ANDI, 2018). Actualmente, se entregan residuos para aprovechamiento en industrias como la de cemento, fertilizantes y plásticos. Mientras que de los residuos peligrosos (0,11%), que no provienen directamente de la producción de papel, sino del mantenimiento de maquinaria, el 56% fue recuperado (ANDI, 2018).

Actualmente, la ANDI maneja el programa Visión 30/30, con el que busca dar cumplimiento a la Resolución 1407 de 2018, sobre la gestión de envases y empaques en Colombia. Aquí se incluyen papel, cartón, plástico, vidrio y metales. Esto está relacionado con la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), donde los fabricantes deben hacerse cargo de esta gestión. También se busca aumentar la

recuperación de papel reciclable para subir la oferta de esta materia prima, especialmente para los papeles suaves.

Con los cálculos de ciclo de vida y huella de agua, es posible encontrar formas de hacer *más eficientes los procesos*, disminuyendo entradas o salidas, como materias primas, insumos, emisiones o residuos sólidos. Seguido de estos cálculos, vendría consecuentemente el *ecodiseño* de los productos papeleros, asegurando que ha habido una disminución en los impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida.

8.3.8 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

En el proyecto se pueden ver dos ODS específicamente: el número *Seis, Agua limpia y saneamiento* y el *Trece, Acción por el clima*. El primero se ve reflejado en el presente trabajo porque su intención es determinar puntos críticos para oportunidades de mejora. En este caso uno de esos aspectos es la calidad de los vertimientos; al mejorarlos, se puede garantizar agua apta para los ecosistemas, especialmente cuando retorna a la fuente superficial. También en el uso eficiente del recurso hídrico; esto aplica especialmente para el sector papelerero, ya que, como se mencionó anteriormente, las empresas retornan a las cuencas hídricas hasta el 92% del agua captada (ANDI, 2018).

En segundo lugar, el ODS número *Trece* se relaciona por las emisiones directa e indirectas que se presentan en la producción de papel. Los materiales que se usan pasan por diversos procesos de transformación donde se generan ciertos impactos al aire y, consecuentemente, al agua. Estas emisiones se observan claramente en la combustión de los diferentes combustibles desde las plantas, además de la huella indirecta con el transporte de materias primas e insumos; cada uno de los combustibles, tienen un factor de emisión equivalente a Kg de CO₂, que es el principal Gas de Efecto Invernadero (GEI). Al identificar los insumos o los combustibles que más degradan los ecosistemas dentro del cálculo, se pueden tomar medidas de acción, para asimismo disminuir ese impacto generado.

De manera menos directa se encuentra el ODS *Doce, Producción y consumo responsable*, ya que este propone “lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales” y “lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida” (PNUD, s.f.). Esto se puede ver reflejado en las recomendaciones generales que se le hicieron a las empresas y la Cámara, sobre sustitución de sustancias químicas por unas menos nocivas para los ecosistemas y la salud humana. Esto se enmarca bajo el título de la Química verde o Química sostenible, que busca reducir la contaminación y métodos menos agresivos con el ambiente (Cabildo Miranda et al., 2006).

Lo anterior va de acuerdo con el trabajo que viene haciendo la Cámara en pro de la promoción y cumplimiento de los ODS, según lo que se expone en su informe de sostenibilidad, donde buscan tener procesos productivos y eficientes, recalcando los ODS *Seis* y *Trece*, junto al *Siete-Energía asequible y no contaminantes*- y al *Doce*.

8.3.9. Iniciativa de visualización en portal web con la plataforma ArcGIS

Debido a que los resultados sectoriales apoyan el informe de sostenibilidad, conocido como un documento que muestra el rendimiento ambiental de forma pública, se quiso crear una herramienta que,

con el mismo carácter público, permitiera dar a conocer a la ciudadanía el resultado de la huella de agua del sector paplero, sin embargo, está sujeto a la aprobación por la Cámara.

Por lo anterior, se acude a la ayuda de las herramientas Desktop y Online de la plataforma ArcGIS de la empresa ESRI Colombia, teniendo en cuenta que dicha plataforma se encuentra a disposición de estudiantes de la Universidad El Bosque por un licenciamiento activo desde el año 2014. A continuación, se explica el uso de cada software y aplicativo usado en la construcción de la herramienta de consulta libre en línea. La figura 38 muestra el flujo general para el desarrollo de cada sección.

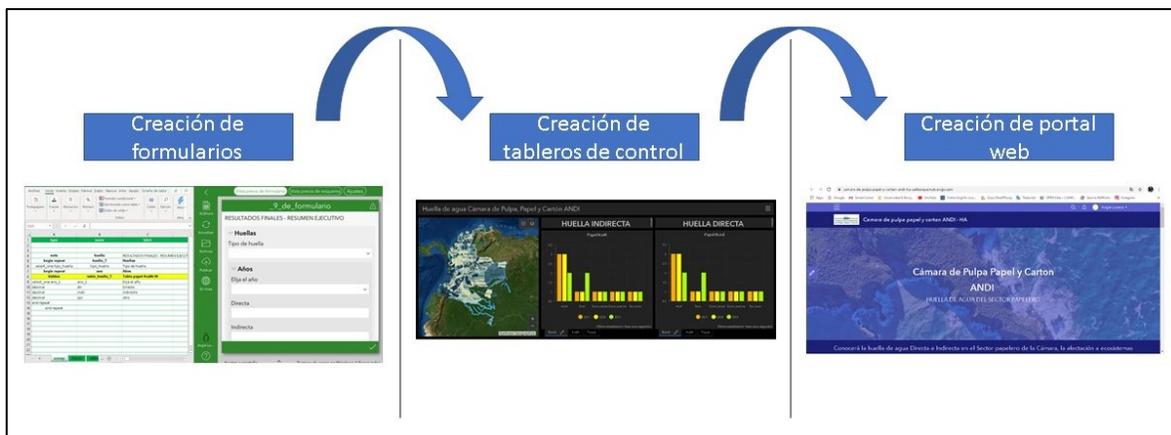


Figura 38 Flujo de creación de la herramienta de visualización en ArcGIS. Fuente: autoras, 2020.

- Aplicativo Survey 123

Inicialmente, se usó el programa Survey 123 Connect, para hacer el diseño de los formularios de ingreso de información con uso de código HTML. Estos formularios tienen la finalidad de que la persona encargada, realice la actualización de la huella de agua sectorial anual, es decir, la sumatoria de las huellas de las empresas. Para ello, se crearon tres formularios correspondientes a: huella de agua sectorial, huella de agua por tipo de papel y huella de agua por tipo de impacto.

- Dashboard – tableros de control

Posteriormente, la información ingresada a través de los formularios mencionados anteriormente se convirtió en insumo para la creación de tableros de control en el aplicativo Dashboard Online, que muestran gráficos de serie, gráficos apilados e indicadores estadísticos. Además, en estos tableros de control se incluyeron imágenes y mapas que ayudan a que el proceso de análisis de información sea más dinámico y amigable visualmente para quien quiera acceder a ellos.

- Portal web HUB

Finalmente, se acude a la creación de un portal web HUB del servicio de ArcGIS, que permitió construir un módulo de consulta pública que aloja, no solamente los tableros de control ya mencionados, sino también información relevante con respecto a la huella de agua, sus consideraciones y algunos componentes visuales y contextuales del sector paplero en Colombia y en el mundo.

Para visualizar algunos elementos dispuestos en el portal web, diríjase al anexo 3.

9. Conclusiones

Esta metodología, con el enfoque que le proporciona la ISO, genera una evaluación integral de los impactos relacionados al recurso hídrico, incluso de una manera más completa que la huella hídrica de Hoekstra, porque tienen en cuenta aspectos indirectos que antes no se habían considerado, como impactos al agua relacionados a distintas sustancias químicas, como fósforo, nitrógeno o azufre equivalentes en la producción de materias primas, insumos y combustibles, arrojando valores específicos sobre el desempeño ambiental de los productos que evitan la ambigüedad o amplitud del concepto de sostenibilidad.

Además, en un mercado emergente de sostenibilidad, los consumidores buscan cada vez más productos con menor impacto ambiental, por lo que esta herramienta puede ayudar a responder a esas nuevas necesidades, no solo en cuestión de la protección del recurso hídrico, sino también de ecosistemas terrestres y condiciones atmosféricas. Al mejorar estos indicadores destinados a la gestión del agua, también se está disminuyendo la huella de carbono, porque estos están muy relacionados por la metodología y factores de emisión que se manejan. Por esto, estos estudios dejaron de ser un tema académico o de investigación para convertirse en algo más práctico y necesario para los negocios de la actualidad.

Igualmente, el cálculo de la huella de agua para las empresas permitió tener una perspectiva más amplia sobre los procesos productivos y el comportamiento de los impactos que pueden generarse a lo largo de la cadena productiva. En ocasiones no se tenía dimensionado la magnitud de los impactos que pueden generar ciertos insumos, combustibles o materias primas, sobre todo de manera indirecta; y con esta nueva información se pueden generar acciones para mejorar los puntos críticos identificados.

Haciendo este proyecto, se pudo evidenciar que, existen pocos estudios semejantes y sobre el sector papelerero, especialmente en América Latina, para poder hacer un análisis comparativo. Por esta razón, se puede afirmar que este estudio sobre huella de agua es uno de los pioneros en el país y el continente, teniendo en cuenta que abarca diferentes empresas de un solo sector productivo.

Además, haber desarrollado el cálculo de huella de agua bajo los requisitos y la metodología de la NTC ISO 14046 de 2017, aseguró que se contemplara el estudio y la comprensión del análisis de ciclo de vida en cada una de las empresas y, pese a que no fue posible realizar las visitas a la plantas, sí se tuvo la orientación de los profesionales expertos en los procesos internos de la producción de papel; lo que acercó al presente estudio a un mejor entendimiento de todo el circuito productivo, es decir, de forma previa, durante y después de la elaboración de papel, teniendo en cuenta los vertimientos que se generan al recurso hídrico.

Es por lo anterior, que el estudio de huella de agua presentado da una mirada más profunda y clara, con respecto a las acciones o cambios que conduzcan a mejoras en la gestión del recurso hídrico para cada empresa y también a nivel sectorial. Estas acciones pueden promover la eficiencia ambiental a nivel corporativo, mejorando la imagen institucional y dando evidencia de su compromiso ambiental.

Este tipo de metodologías, y específicamente el modelo de cálculo que se creó, se pueden implementar en otro tipo de sectores productivos para poder analizar sus impactos directos e indirectos al recurso

hídrico. Se considera que la propuesta hecha por la ISO sobre huella de agua tiene un enfoque más amplio que la huella hídrica, puesto que tiene en cuenta factores de emisión de los distintos contaminantes que pueden llegar al aire por la combustión de distintos materiales, y eventualmente, afectar el agua.

Aunque se tenía previsto el resultado por tipo de papel, las dificultades para proveer la información hicieron que se volviera un estudio sectorial corporativo y no de producto. Hay que resaltar que las tres categorías que se tenían contempladas son muy generales y dificulta un análisis detallado y comparativo. Si se quisiera hacer un estudio de huella de agua de producto, se tendría que tener en cuenta distintos parámetros como el gramaje, recubrimientos, aditivos entre otros.

Se debe tener en cuenta que la ANDI, anteriormente, hizo el estudio de Huella de agua corporativa para diferentes empresas afiliadas. Únicamente se muestra la empresa Papelsa como ejemplo del sector papelero. Al realizar una comparación entre esos resultados y los del presente trabajo, la huella resultante presenta valores similares, lo que asegura que los cálculos representan la realidad de cada empresa.

Finalmente, se puede concluir para el primer Objetivo que este fue un proceso colaborativo entre las empresas de la Cámara, bastante largo y con repetidas correcciones, que finalmente pudo establecer el Objetivo de estudio y los límites del sistema, que fueron los más complicados de definir debido a las diferencias en los procesos de cada planta. Del segundo Objetivo se puede decir que se tuvo que identificar la disponibilidad de información (producción, cantidades de insumos, agua y gasto de electricidad y combustibles) de cada empresa por año, lo que permitió construir la herramienta del inventario para llevar a cabo el cálculo de huella de agua. Y respecto al tercer Objetivo, se puede afirmar, de manera general, que la huella de agua se puede ver de varias formas, pero para este trabajo se contemplaron tres impactos específicos: degradación de ecosistemas, consumo de agua e índice de escasez AWARE. A partir de lo anterior, los impactos que más afectan a la degradación del agua son la eutrofización de agua dulce (kg P eq) y marina (kg N eq), tanto directa como indirectamente. Asimismo, son los vertimientos los principales responsables de la degradación directa.

Todo lo anterior evidencia que el Objetivo de este trabajo sí se puede cumplir satisfactoriamente.

10. Recomendaciones

Desde el alcance como parte de este proyecto colaborativo, solo se pudo hacer recomendaciones generales a las empresas, puesto que no hubo visitas a plantas para saber los procesos específicos en cada una. Entre estas, se pueden recalcar el mejoramiento en el tratamiento de las aguas residuales, que se incluyen en la huella directa; la consideración de cambio de los combustibles convencionales por otros menos contaminantes; el mejoramiento en las estrategias de control de emisiones; la sustitución de insumos contaminantes por unos menos impactantes al recurso hídrico o comprarlos de origen nacional; y estrategias para reducir el agua consumida.

De acuerdo con lo anterior, se recomienda a cada empresa, poner en marcha los cambios estructurales y/o técnicos más pertinentes en términos ambientales (ecológicos, económicos y sociales) que, con el análisis entregado, se puedan contemplar para mejorar la gestión del recurso hídrico y la atenuación de

los aspectos abordados, en especial, la quema de combustibles fósiles y las concentraciones de metales pesados y no metales, como la familia del nitrógeno, en los vertimientos.

Específicamente para la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón, se recomienda seguir con el cálculo de la huella de agua anual para todos los molinos de las empresas, lo que permitirá hacer un seguimiento sobre los impactos que se generan al agua. esta herramienta queda como insumo para nuevos proyectos que se tengan planeados, como, por ejemplo, la huella de carbono. Además, se recomienda que este modelo se amplíe a los demás subsistemas del proceso productivo de papel, es decir, más allá del molino para tener una visión más completa sobre la huella de agua y sus impactos al recurso hídrico. Además de incluir otros aspectos dentro del análisis como los residuos sólidos, emisiones atmosféricas u otros impactos relacionados con el aire o el suelo, para completar el estudio hacia un ACV corporativo. Lo anterior, permitirá que se pueda contemplar la opción de ser evaluados por una empresa certificada para verificación de la Norma.

Adicionalmente, se recomienda crear una estrategia de comunicación, para difundir la utilidad e importancia del cálculo de huella de agua en las otras Cámaras Sectoriales de la ANDI, mostrando como ejemplo la herramienta aquí creada y sus aplicaciones prácticas.

Se cree, adicionalmente, que este tipo de métodos y enfoques para medir impactos debería ser tomado en cuenta para clases dentro del plan de estudios del programa de Ingeniería Ambiental de la UEB, puesto que son innovadores y existen grupos de interés potenciales con relación a este tipo de evaluaciones.

11. Referencias Bibliográficas

ANDI. (2019). Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón. ANDI. Más País. Recuperado de: [http://www.andi.com.co/Home/Camara/2\(ANDI, \) 0-industria-de-pulpa-papel-y-carton](http://www.andi.com.co/Home/Camara/2(ANDI,) 0-industria-de-pulpa-papel-y-carton)

ANDI. (2019). Industria de Pulpa, Papel y Cartón. Historia del papel. ANDI. Más País. Recuperado de: <http://www.andi.com.co/Home/Camara/20-industria-de-pulpa-papel-y-carton#elpapel>

ANDI. (s.f.). Centro Nacional de Agua. ANDI. Más País. Recuperado de: <http://www.andi.com.co/Home/Pagina/21-centro-nacional-del-agua---cna>

ANDI. (s.f.). Quiénes Somos. ANDI. Más País. Recuperado de: <http://www.andi.com.co/Home/Pagina/1-quienes-somos>

ANDI. Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón. (2018). Informe de Sostenibilidad 2017. 1° ed. Recuperado de: <http://www.andi.com.co/Uploads/INFORME%20PULPA%20PAPEL%20Y%20CARTO%CC%81N%20VERSIO%CC%81N%202019.pdf>

ANDI. Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón. (2019). Informe estadístico histórico total año. Recuperado de <http://www.andi.com.co/Uploads/Informe%20estadistico%202019.pdf>

- Area. M. C. (2008). *Panorama de la industria de celulosa y papel en Iberoamérica 2008*. Argentina: Red Iberoamericana de Docencia e Investigación en Celulosa y Papel-Riadicypp.
- Arial Cortés, M., Iglesias, M. (2015). Generalidades sobre Metodología de la Investigación. Recuperado de: http://www.unacar.mx/contenido/gaceta/ediciones/metodologia_investigacion.pdf
- Arroyo, I., & Cervantes, G. (2018). Huella hídrica de un producto industrial: una metodología adaptada. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(6), 70-90. DOI: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-06-03>
- Bajpai, P. (2017). *Pulp and paper industry: Emerging Wastewater Treatment Technologies*. 1° ed. Amsterdam: Elsevier.
- Bai, X., Ren, X., Khanna, N. Z., Zhou, N., & Hu, M. (2018). Comprehensive water footprint assessment of the dairy industry chain based on ISO 14046: a case study in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 369-375. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.021>
- BG Proyectos (s.f.). Ecoetiquetas Tipo I, II y III. BG Proyectos. Ingeniería y consultoría. Recuperado de <http://bgproyectos.es/ecoetiquetas-tipo-i-ii-y-iii/>
- Bjørn A., Owsianiak M., Molin C. & Hauschild M.Z. (2018). LCA History. In: Hauschild M., Rosenbaum R., Olsen S. (eds) *Life Cycle Assessment*. Springer, Cham. https://doi.org.ezproxy.unbosque.edu.co/10.1007/978-3-319-56475-3_3
- Cabildo Miranda, P., Cornago Ramírez, P., Escolástico León, C., Esteban Santos, S., Farrán Morales, M., Pérez Torralba, M., & Sanz del Castillo, D. (2006). *Procesos orgánicos de bajo impacto ambiental* (1era ed.). Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- CADIS, Embajada de Suiza en Colombia, Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE. Martínez A., et al. (2016). Huella de Agua (ISO 14046) en América Latina, análisis y recomendaciones para una coherencia regional. Recuperado de: <https://www.shareweb.ch/site/Suiz-Agua-Colombia/Documents/Huella%20Agua%20ISO%2014046%20America%20Latina.pdf>
- Castillo, R. M. (2007). Algunos aspectos de la huella ecológica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, 8(14), 11-25. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/666/66615071002.pdf>
- Castro, V. & Barrera, N. (2017). *Evaluación de la huella hídrica en la producción de rosas y habas en tres hectáreas del municipio de Sesquilé* (Tesis de pregrado). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/18005>
- Celsia. (2018). Huella hídrica corporativa de Celsia. Recuperado de: <https://www.celsia.com/Portals/0/contenidos-celsia/sostenibilidad/pdf/resultados-huella-hidrica-celsia-esp.pdf>
- Centro Nacional de Producción Más Limpia. (s.f.). Presentación institucional. Recuperado de: <http://www.cnpml.org/nuestro-cnpml/>

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE. (2020). Retrato: La COSUDE en breve. Recuperado de <https://www.eda.admin.ch/deza/es/home/cosude/retrato.html>

DANE. (2018). Resultados Colombia. Total Nacional. Censo Nacional de población y vivienda. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/infografias/info-CNPC-2018total-nal-colombia.pdf>

dos Santos, M. F. N., Battistelle, R., Bezerra, B. S., & Varum, H. S. (2014). Comparative study of the life cycle assessment of particleboards made of residues from sugarcane bagasse (*Saccharum* spp.) and pine wood shavings (*Pinus elliottii*). *Journal of Cleaner Production*, 64, 345-355. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.039>

El Agua Nos Une. SuizAgua América Latina (2020). Sobre Nosotros. Recuperado de <http://www.elaguanosune.org/sobre-nosotros/>

Essity Aktiebolag. (2019). Annual and Sustainability Report 2019. Recuperado de http://reports.essity.com/2019/annual-and-sustainability-report/servicepages/downloads/files/entire_essity_ar19.pdf

Gaia Servicios Ambientales. (8 de octubre 2020). Webinars 2020. Aplicación Del Análisis De Ciclo De Vida En La Industria. Plataforma Zoom.

García, I. & Toro, J. (2013). *Evaluación de la huella del agua hídrica generada por los sectores comerciales y de vivienda del barrio La Florida (Bogotá D.C.)* (Tesis de pregrado) Universidad Libre, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11221/Proyecto%20de%20grado%20Isabel%20Garcia%20S.%20y%20Jennifer%20Toro%20M.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Greenpeace. (2004). Guías para un consumo responsable de productos forestales. Recuperado de <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/el-papel.pdf>

Grupo Familia. (2015). Grupo Familia presente en el Tercer Seminario Internacional de Huella Hídrica. Recuperado de: https://www.grupofamilia.com.co/es/noticias/default.aspx?paged=true&pagedprev=true&publisheddate=20191217+16:32:00&p_id=292&pagefirstrow=3901&&view=%7B4bb9575a-ae62-48a8-99f9-0a6a63c94944%7D

Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M. & Mekonnen, M. (2011). *The water footprint assessment manual*. London: Earthscan.

Hoekstra, A. (2002). A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Recuperado de: <https://www.waterfootprint.org/media/downloads/Report11.pdf>

Hoekstra, A. (2003). Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Recuperado de: <https://waterfootprint.org/media/downloads/Report12.pdf>

ICONTEC. (2015). Etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano. Criterios ambientales para pulpa, papel y cartón y productos derivados. (NTC 6019).

- ICONTEC. (2017). Gestión Ambiental Empresarial. Huella de agua. Principios, requisitos y directrices (NTC ISO 14046).
- ICONTEC. (2020). ¿Quiénes somos? Recuperado de: <https://www.icontec.org/quienes-somos/>
- Ihobe & Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda. (2017). Guía metodológica para la aplicación de la huella ambiental corporativa. Recuperado de https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/huella_ambiental/es_def/adjuntos/Guia_huella_ambiental_CASTdef.pdf
- Lopes, E., Dias, A., Arroja, L., Capela, I., & Pereira, F. (2003). Application of life cycle assessment to the Portuguese pulp and paper industry. *Journal of cleaner production*, 11(1), 51-59. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00005-7](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00005-7)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). Características de un producto identificado con el Sello Ambiental Colombiano. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/366-plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-19>
- Martínez, R. (2007). Algunos aspectos de la huella ecológica. *Intersedes: Revista de las sedes regionales*, 4(14), 11-25. ISSN: 1409-4746 Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=666/66615071002>
- Martínez, C. (2020). Invertir con futuro, invertir en Megatendencias. CincoDías. El País. Recuperado de: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2020/10/07/extras/1602069150_487208.html
- Ma, X., Shen, X., Qi, C., Ye, L., Yang, D., & Hong, J. (2018). Energy and carbon coupled water footprint analysis for Kraft wood pulp paper production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 253-261. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.054>
- Ma, X., Zhai, Y., Zhang, R., Shen, X., Zhang, T., Ji, C., Yuan, X. & Hong, J. (2019). Energy and carbon coupled water footprint analysis for straw pulp paper production. *Journal of cleaner production*, 233, 23-32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.069>
- Nielsen. (2015). The sustainability imperative. New insights on consumer expectations. Recuperado de: <https://www.nielsen.com/wp-content/uploads/sites/3/2019/04/global-sustainability-report-oct-2015.pdf>
- Parada - Puig, Gabriela (2012). El agua virtual: conceptos e implicaciones. *Orinoquia*, 16(1),69-76 ISSN: 0121-3709. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/896/89625076001.pdf>
- Pérez, D. (S.f.). Normas Técnicas Colombianas - NTC. Recuperado de: <https://en.calameo.com/read/0015930041ba5a9cbe0e6>
- Pineda-Henson, R., Culaba, A. B., & Mendoza, G. A. (2002). Evaluating environmental performance of pulp and paper manufacturing using the analytic hierarchy process and life-cycle assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 6(1), 15-28. DOI: <https://doi.org/10.1162/108819802320971614>
- Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo. Objetivo 12: Producción y consumo responsable. Recuperado de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development->

[goals/goal-12-responsible-consumption-and-production.html](#)

Resolución 631. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. 18 abril de 2015.

Riveros, I. (2019). El sector papelerero aporta al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. ANDI. Más País. Recuperado de <http://www.andi.com.co/Home/Noticia/7368-el-sector-papelerero-aporta-al-cumpliment>

Rodríguez, Á. C., Chaparro, M. C., Malaxe Chebarría, A. M. G., & Gaviria, C. A. (2018). Estimación sectorial de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá generada en el año 2014. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 19-32. DOI: [10.18273/revuin](https://doi.org/10.18273/revuin)

Santos, A., Barbosa-Póvoa, A., & Carvalho, A. (2018). Life cycle assessment of pulp and paper production—A Portuguese case study. In *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 43, pp. 809-814). Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64235-6.50142-X>

SGS. (s.f.). Verificación de huella hídrica. Salud y seguridad. Recuperado de <https://www.sgs.co/es-es/health-safety/quality-health-safety-and-environment/environment/water/water-footprint-verification>

SPG. (2020). Qué es ISO. Recuperado de: <https://www.certificadoiso9001.com/que-es-iso/>

SuizAgua Colombia. (2019). Resultados de la iniciativa en Gestión Corporativa del Agua - El agua nos une. Recuperado de: [http://www.andi.com.co/Uploads/191_ResultadosEmpresariales-ElAguanosUne-SuizAguaCol_compressed%20\(1\).pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/191_ResultadosEmpresariales-ElAguanosUne-SuizAguaCol_compressed%20(1).pdf)

Walmart. (2020). Walmart's THESIS Index. Walmart Sustainability Hub. Recuperado de: <https://www.walmartsustainabilityhub.com/sustainability-index>

Water Footprint Network-WFN. (s.f.). What is a water footprint? water footprint.org. Recuperado de <https://waterfootprint.org/en/water-footprint/what-is-water-footprint/>

WFN. (2002). What is a water footprint? Value of Water Research Report Series No. 12 Recuperado de: <https://waterfootprint.org/media/downloads/Report12.pdf>

WULCA. (2014). Aware. Description. Recuperado de <http://www.wulca-waterlca.org/aware.html>

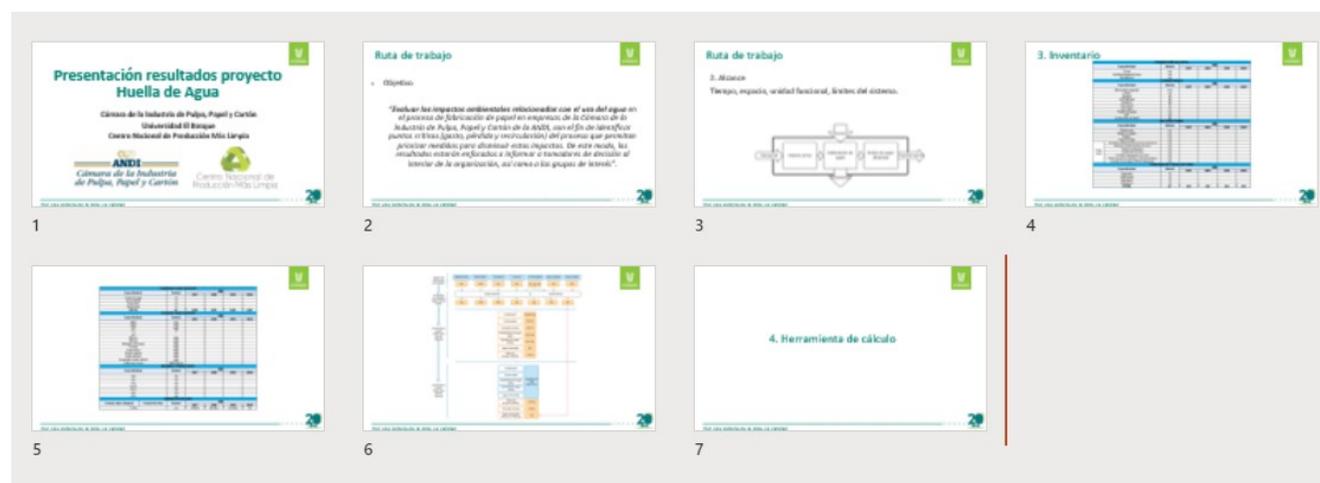
12. Anexos

Anexo 1. Presupuesto del proyecto

Rubros	2019	2020	Total, proyecto
1. Personal	3.716.599	3.874.106	7.590.705
2. Equipos especializados	0	0	0
2.1. Equipos propios	2.000.000	0	2.000.000

3. Materiales y reactivos	0	0	0
4. Salidas de campo	950.000	0	950.000
5. Refrigerios	200.000	0	200.000
6. Servicios técnicos	0	500.000	0
7. Capacitaciones	0	0	0
8. Adquisición o actualización de software	8.000.000	0	8.000.000
9. Evaluación	0	0	0
10. Otros	987.851	0	987.851
TOTALES	9.396.450	4.374.106	33.499.112

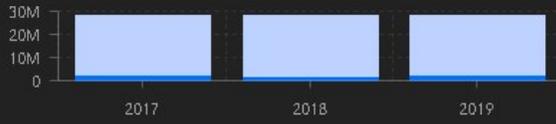
Anexo 2. Presentación de resultados para las empresas.



Anexo 3. Muestra de tableros de control dispuestos en el HUB (portal web)

HUELLA DE AGUA DE CONSUMO (M3)

Huella de consumo (m3)



● Huella de agua indirecta ● Huella de agua directa

Última actualización: hace 2 minutos

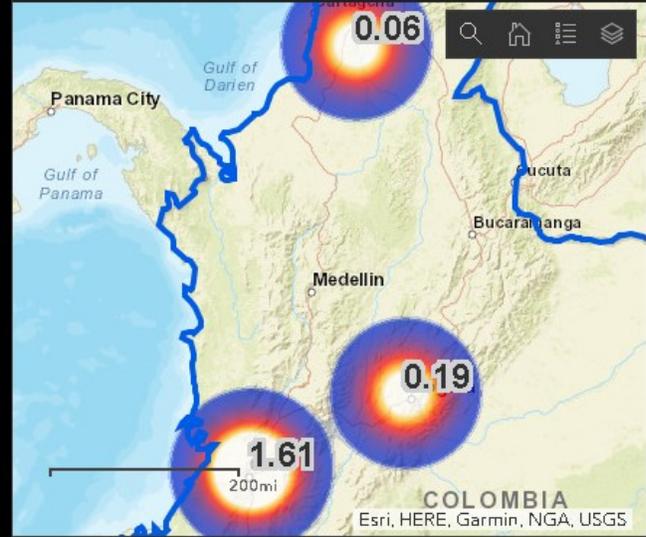
Huella de consumo por Tonelada de papel (m3)



● Huella de agua indirecta ● Huella de agua directa

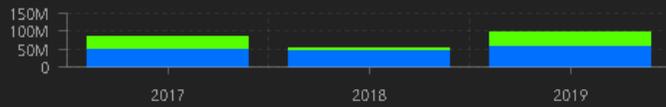
Última actualización: hace 2 minutos

PARTICIPACIÓN DE LAS EMPRESAS EN EL 100% EN LA HUELLA AZUL



HUELLA DE AGUA DE DEGRADACIÓN (PDF*m²*yr)

Huella de degradación (PDF*m²*yr)



● Huella de agua indirecta ● Huella de agua directa

Última actualización: hace un minuto

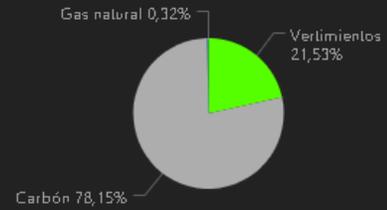
Huella de degradación por Tonelada de papel (PDF*m²*yr)



● Huella de agua indirecta ● Huella de agua directa

Última actualización: hace un minuto

Factores que más aportan a la huella de degradación DIRECTA



Última actualización: hace un minuto

HUELLA DE AGUA DE ESCASEZ (M3-EQ)

Huella de escasez (m3-eq)



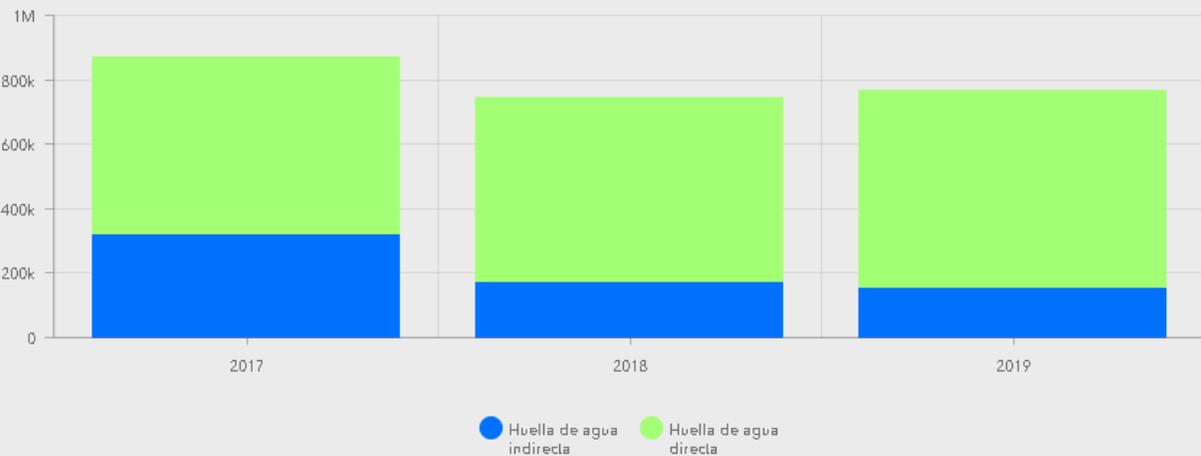
Huella de escasez por Tonelada de papel (m3-eq)



ÍNDICE DE ESCASEZ (AWARE) POR SUBREGIONES DONDE ESTÁN PRESENTES LAS EMPRESAS DE LA CÁMARA



Impacto de ecotoxicidad (PDF*m²*yr)



Última actualización: hace un minuto

ECOTOXICIDAD

¿CUÁL ES EL IMPACTO QUE MÁS APORTA A LA HUELLA DE DEGRADACIÓN?

El impacto de eutrofización de agua marina es el que más aporte genera a la huella de agua de degradación, seguido de la eutrofización