



**CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA EN LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO VERDE
EN LA PLANTA RIOCLARO**

Ricardo Andres Lopez Saldarriaga

Para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesor

Hillary Henao Toro, Ingeniera Ambiental

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Ambiental

Medellín

2023

Cita	(Lopez Saldarriaga, 2023)
Referencia	Lopez Saldarriaga, R.A (2023). <i>Cálculo de la huella hídrica en la producción de cemento verde en la planta rioclaro</i> [Semestre de Industria]. Universidad de Antioquia, Medellín.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: Jhon Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Lina María Berrouet Cadavid.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A toda mi familia que siempre ha sido mi motivación. A mi sobrino Ismael que es mi mayor tesoro, a mis padres Martha y Manuel, a mis hermanos Manuela, Víctor Manuel y Juan Pablo por siempre ser incondicionales.

Agradecimientos

Agradezco a Cementos Argos SA por brindarme la oportunidad de realizar mis practicas allí y a todos los colaboradores de las distintas áreas que me apoyo durante el desarrollo de mis prácticas.

Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
1 Objetivos	13
1.1 Objetivo general	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
2 Marco teórico	14
3 Metodología	17
4 Resultados	25
5 Análisis.....	28
6 conclusiones	31

Referencias **Lista de tablas** 32

Tabla 1. Datos de los medidores planta Rioclaro para el año 2022 25

Tabla 2. Huella hídrica para cada proceso en m3 para el año 2022 26

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica planta rioclaro. Fuente: Cementos Argos SA	17
Figura 2. Diagrama de flujo de agua típico de una planta de cemento. Fuente: Cementos Argos SA.....	18
Figura 3. Huella Hídrica mensual usando datos de los medidores existentes y propuestos en la planta Rioclaro para el año 2022 usando el indicador GRI.....	26
Figura 4. Huella Hídrica azul, verde y gris por procesos	27

Siglas, acrónimos y abreviaturas

APA	American Psychological Association
HH	Huella Hidrica
WF	Water Footprint
ISO	International Organization for Standardization
GRI	Global Reporting Initiative
WFN	Water Footprint Network
Bh-T	Bosque húmedo Tropical
Bmh-T	Bosque muy húmedo Tropical
ACV	Análisis de Ciclo de Vida
UdeA	Universidad de Antioquia

Resumen

La Huella Hídrica (HH) es una herramienta que permite conocer y cuantificar el consumo de agua y por medio de estos datos brindar una evaluación de impacto ambiental relacionado con los usos del agua directa o indirecta en la producción del cemento. La planta Argos Rioclaro se encuentra en una zona privilegiada rodeada de grandes fuentes hídricas. La industria cementera es conocida por sus bajos consumos de agua para los diversos procesos productivos en comparación con otros sectores industriales.

La medición de la Huella Hídrica es el punto de partida para identificar el tamaño de su huella en el proceso productivo. Con este dato se busca trabajar conjuntamente para lograr el buen manejo del agua, intercambiar conocimientos, mejorar las prácticas, crear programas con beneficios claros y medibles, y conocer además no sólo el impacto que se tiene en la cuenca en la que opera la planta, sino en las cuencas lejanas de las cuales proviene el agua que se utiliza para la producción de sus insumos.

A partir de la revisión literaria y métodos prácticos estrechamente relacionados con la huella hídrica, se espera llegar a una aproximación del cálculo en la producción de cemento. Como resultado se desea obtener un indicador funcional de sostenibilidad ambiental dentro de la planta para la optimización de sus procesos.

Palabras clave: huella hídrica, sostenibilidad, industria cementera

Abstract

The Water Footprint (WF) is a tool that allows us to understand and quantify water consumption and, through this data, provide an assessment of the environmental impact related to direct or indirect water use in cement production. Planta Argos Rioclaro is located in a privileged area surrounded by large water sources. The cement industry is known for its low water consumption in various production processes compared to other industrial sectors.

Measuring the Water Footprint is the starting point for identifying the size of the footprint in the production process. With this data, the goal is to work together to achieve good water management, exchange knowledge, improve practices, and create programs with clear and measurable benefits. It also helps to understand not only the impact on the basin where the plant operates, but also on distant basins from which water is used for the production of its inputs.

Through a literature review and practical methods closely related to the water footprint, we hope to arrive at an approximation of the calculation in cement production. The aim is to obtain a functional indicator of environmental sustainability within the plant for the optimization of its processes.

Keywords: Water footprint, sustainability, cement industry.

Introducción

El agua es un recurso natural indispensable para la vida que progresivamente se está haciendo menos disponible en la forma, lugar y momento en que las poblaciones lo necesitan (Schneir, 2015). Dado el uso que hacemos de ella como material principal y auxiliar en los diferentes procesos productivos, existe un gran compromiso con la finalidad de hacerlo eficiente y responsablemente, enfocando en la gestión en dos líneas de acción que contribuyan a garantizar la disponibilidad del recurso, tanto para la compañía Cementos Argos SAS como para los diferentes grupos de interés en la cuenca. Estas líneas de acción son el uso eficiente del agua, mediante la medición del consumo en nuestras operaciones y el desarrollo de planes de reducción y la gestión del riesgo hídrico, a través de la identificación, evaluación y gestión de los riesgos asociados al agua en nuestras instalaciones. Medir y reportar datos concernientes al uso del agua en las operaciones directas, permite generar indicadores que contribuyan a reflejar el desempeño ambiental de la organización y el resultado de la gestión realizada, así como a comparar con estándares mundiales, con el fin de implementar las mejores prácticas ambientales y mantener actualizada no solo a la planta rioclaro sino a todo el grupo Argos.

Cada área de la construcción usa agua. No solo para llevar a cabo las obras, sino también porque se necesita una gran cantidad de este recurso para producir los materiales. El cemento es uno de los materiales más importantes en el sector construcción. La importancia del uso de agua en el sector hace necesaria la aplicación de herramientas de gestión ambiental eficientes. La huella hídrica es la medida o medidas utilizadas para medir los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua. El 22% de las plantas de Argos se encuentran en zonas de estrés hídrico (Cementos Argos, 2021). La evaluación de huella hídrica se refiere a la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua utilizada o afectada, por un producto, un proceso, o una organización teniendo en cuenta los volúmenes de agua consumida y contaminada en los diferentes pasos de la cadena de suministro.

Para tal finalidad la información sobre el recurso hídrico tiene que ser creíble, relevante y fácil de entender. Esto requiere el uso constante de métricas, terminología y definiciones consistentes. Para esto se establecen protocolos que tienen como objetivo brindar a la operación las directrices, términos y definiciones en relación con los indicadores usados en el proceso de reporte de agua, permitiendo de esta manera unificar criterios y aumentar la transparencia en la información reportada. Globalmente, en la industria cementera, la huella hídrica es relativamente pequeña en comparación con otros sectores productivos. Sin embargo, debido al estrés hídrico al que está sometido el planeta se hace necesario desarrollar un estudio exhaustivo que permita establecer el balance hídrico en los diferentes procesos de la producción de cemento y evaluar los efectos de dicha actividad.

Con dicha información reportada lo que se busca es generar unos datos que sirvan para el cálculo de huella hídrica, con este dato podemos revisar el estado de la planta rioclaro dentro de los compromisos ambientales pactados por la compañía para 2030.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar la huella hídrica de la planta rioclaro de producción de cemento.

1.2 Objetivos específicos

Determinar la eficiencia de la huella hídrica como indicador de gestión ambiental para los consumos directos e indirectos de agua.

Recopilar y organizar la información existente de consumo de agua.

Proponer recomendaciones de estrategias de sostenibilidad para la disminución de la huella hídrica en la planta rioclaro.

2 Marco teórico

Se proporcionan algunas definiciones básicas, las cuales están contenidas en el manual "Handbook on Water Footprint Assessment: Developing Global Standards" (Hoekstra et al., 2011). El agua que se utiliza de manera directa e indirecta para la fabricación de productos se conoce como agua virtual. Tony Allan introdujo este concepto en 1998 en su publicación sobre la escasez de agua en el Medio Oriente; ganó el Premio del Agua de Estocolmo en 2008 por esta innovación: "Agua virtual: recursos estratégicos, soluciones globales para la escasez regional" (Allan, 1998).

La marca de agua fue desarrollada en 2002 por Arjen Hoekstra y P. Colgado como un indicador que puede mapear el impacto del consumo humano de agua dulce. Puede ser producto, cliente, empresa, región o país. Una marca de agua común consta de marcas de agua verdes, azules y grises. (Hoekstra et al., 2011)

La huella hídrica verde se refiere al volumen de agua de lluvia que se evapora o se empapa en un producto durante la producción. Esto se aplica en particular a los productos agrícolas y forestales (plantas o productos de madera) y cubre la evaporación total de la lluvia (de campos y plantaciones), así como el agua absorbida por los cultivos o la madera. *La huella hídrica azul* es el volumen de agua superficial y subterránea que se evapora, se incorpora a un producto o se devuelve a otra cuenca u océano resultante de la fabricación de un producto o servicio. También incluye el agua extraída de la cuenca y vertida a otra cuenca o al mar. Se refiere a la cantidad de agua extraída de la superficie o del subsuelo que no regresa a la cuenca de donde fue extraída. *La huella hídrica gris* es un indicador de la contaminación del agua dulce que puede ser importante en la fabricación de productos y su cadena de suministro. Se define como la cantidad de agua dulce necesaria para asimilar una carga contaminante a una concentración que cumpla con los estándares de calidad del agua. Se calcula como la cantidad de agua necesaria para diluir los contaminantes hasta el punto en que aún supere los estándares acordados. La huella hídrica gris ha sido objeto de mucho debate porque no es la cantidad realmente utilizada para reducir la carga contaminante y se calcula en función de los contaminantes más importantes. (Hoekstra et al., 2009)

Siguiendo este concepto, llegamos a la huella hídrica de un producto, bien o servicio, que se define como la cantidad total de agua utilizada en su producción (aguas superficiales y subterráneas) que se suma a las distintas etapas de la cadena productiva. La huella hídrica de un producto se refiere no solo a la cantidad total de agua utilizada, sino también a dónde y cuándo se utiliza con dimensiones volumétricas, espaciales y temporales.

Norma ISO 14046:2014

Para facilitar el proceso de estandarización y desarrollar lineamientos para la gestión ambiental de las organizaciones, la Organización Internacional para la Estandarización - ISO ha publicado las normas ISO 14000, que incluyen la ISO 14046:2014, que abordan la necesidad de evaluar los impactos ambientales asociados con la gestión de los recursos hídricos y garantizar la coherencia en la evaluación y el informe de la huella hídrica, la reproducibilidad y la fiabilidad como base para mejorar la gestión de los recursos hídricos, que es la principal referencia internacional; su principal objetivo es estandarizar los principios relacionados con la huella hídrica de productos, procesos u organizaciones, requisitos y lineamientos (ISO 14046, 2014).

De acuerdo con esta norma ISO, las evaluaciones de la huella hídrica se derivan del análisis del ciclo de vida o como parte de una evaluación general más completa. Los resultados de la evaluación de la huella hídrica se pueden interpretar como valores individuales o perfiles de resultados de indicadores de impacto que evalúan el potencial y, a través de la intersección de puntos de vista, se pueden determinar y calcular las compensaciones necesarias.

GRI – Global Reporting Initiative/ Iniciativa Global de Reporte

La Iniciativa Global de Reporte (GRI, por sus siglas en inglés), es una organización internacional independiente que ayuda a las empresas, gobiernos y otras organizaciones a comprender y comunicar el impacto de los negocios en temas críticos de sostenibilidad en el ámbito económico, ambiental y social (GRI, 2017). La elaboración de informes de sostenibilidad, promovida por los estándares GRI, es una práctica que consiste en la elaboración de informes

públicos sobre los impactos económicos, ambientales y sociales de las organizaciones y, por ende, sus contribuciones (positivas o negativas) al objetivo de desarrollo sostenible, que permite a las organizaciones identificar los impactos significativos y los hace públicos en un lenguaje común para las organizaciones y los grupos de interés, fomentando la comparabilidad y calidad de la información sobre estos impactos y posibilitando una mayor transparencia y rendición de cuentas para las organizaciones. En el contexto de los estándares GRI, la dimensión ambiental de la sostenibilidad guarda relación con los impactos de las organizaciones en los sistemas naturales vivos e inertes, incluidos la tierra, el aire, el agua y los ecosistemas. Los contenidos de este Estándar pueden aportar información sobre los impactos de una organización en relación con el agua y sobre cómo los gestiona incluyendo: Extracción de agua por fuente, fuentes de agua significativa afectadas por la extracción de agua, agua reciclada y reutilizada, efluentes y residuos. (GRI, 2016)

3

Metodología

Área de estudio

La Planta de cemento Rioclaro está localizada en un área del sector rio claro, corregimiento La Danta, en el municipio de Sonsón, al suroriente del departamento de Antioquia. La entrada de esta instalación está ubicada sobre la autopista Medellín Bogotá, tomando la vía hacia el centro poblado de Jerusalén, después del cruce con el río Claro

La altitud de dicha área oscila entre 300 y 500 msnm, dentro de las zonas de vida bosque húmedo (bh-T) y bosque muy húmedo Tropical (bmh-T). La zona presenta una temperatura promedio de 24 °C y precipitación promedio que varía entre 2.000 y 3.500 mm anuales. En el área se encuentran los tipos de cobertura vegetal arbustal denso, vegetación secundaria baja, bosque denso, bosque abierto, pasto arbolado, pastos enmalezados y pastos limpios.

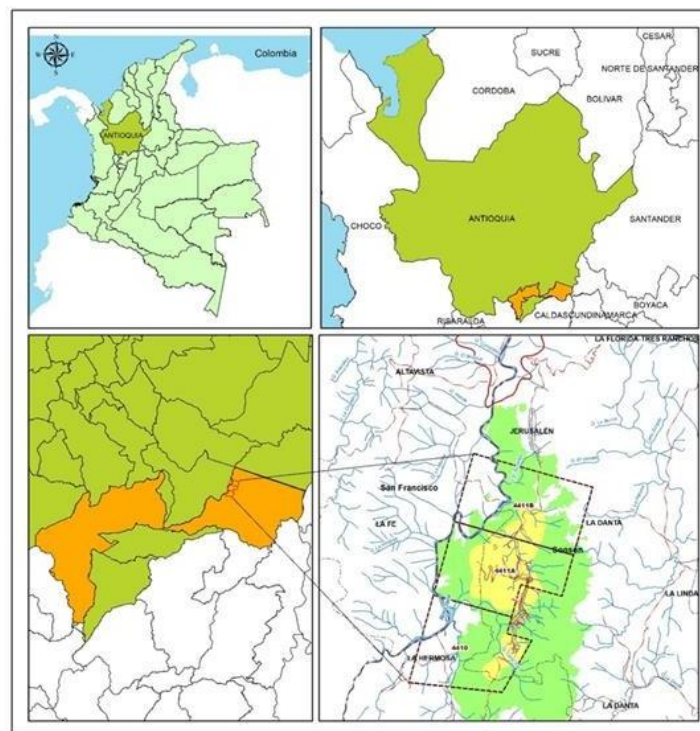


Figura 1. Ubicación geográfica planta rioclaro. Fuente: Cementos Argos SA

Enfoque de abajo hacia arriba

El enfoque de abajo hacia arriba en el análisis de ciclo de vida (ACV), es una herramienta metodológica originada en el campo de la ecología a nivel industrial, que tiene con finalidad la evaluación del impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la obtención de las materias primas hasta su fin de vida (Chenoweth et al., 2013). Recolectar datos de entrada y salida del sistema para su análisis, con esto se obtienen resultados que muestren el alcance del impacto ambiental y así poder idear soluciones para minimizarlo lo mejor posible (Hoekstra et al., 2009). Esta herramienta mide el consumo de agua en cada etapa de la cadena de suministro en base a la serie de normas ISO 14040, ISO, la organización responsable de proporcionar un marco para la estandarización de la metodología de análisis de ciclo de vida, en particular ISO 14046, que se ocupa de los principios, marco de referencia, requisitos y directrices del ACV.

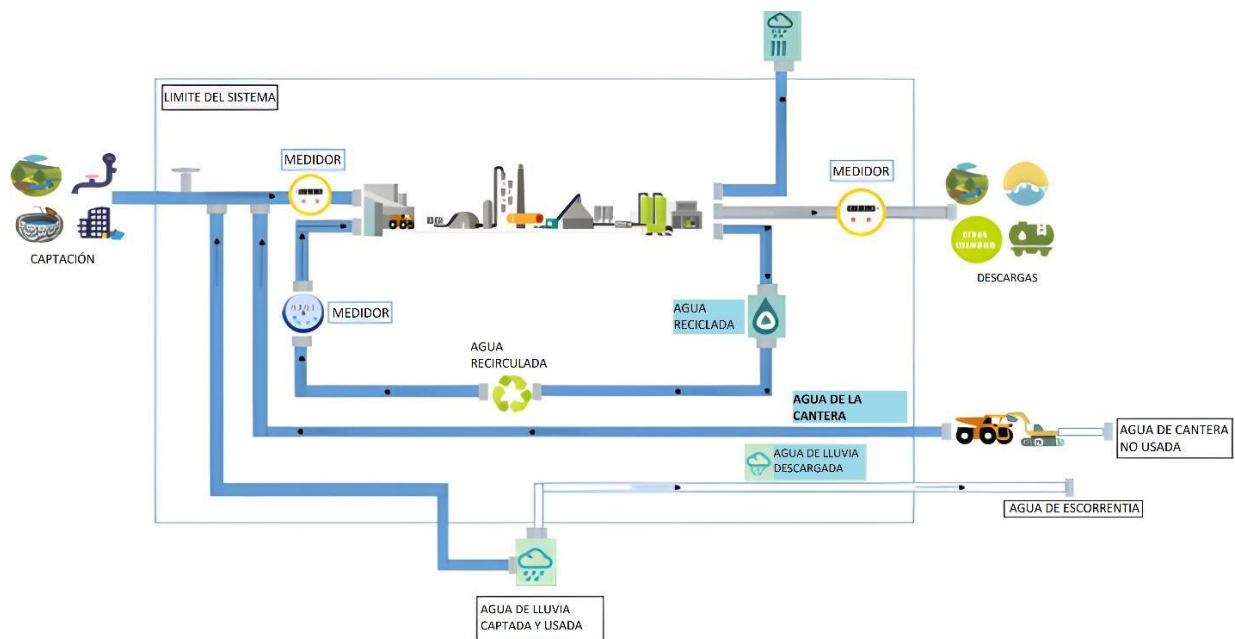


Figura 2. Diagrama de flujo de agua típico de una planta de cemento. Fuente: Cementos Argos SA

Cálculo de la huella hídrica

Como el caso de estudio corresponde a una serie de procesos encaminados a la elaboración de un producto, el análisis de la huella hídrica se realizará de acuerdo con el método de la huella hídrica de los pasos del proceso descritos por la Water Footprint Network (WFN). Por ello, se decidió hacer la siguiente distinción en la cuantificación de la huella hídrica de los diferentes procesos de la planta de cemento de Rioclaro:

Procesos productivos

1. Extracción de materias primas en cantera y procesos asociados.
2. Producción de cemento.
3. Generación de energía eléctrica.

Procesos secundarios

4. Alojamiento del personal operativo en campamentos
5. Uso de los servicios sanitarios y cocinas de las instalaciones administrativas

Esta última variable se decide incluir como proceso secundario porque, si bien no forma parte del proceso productivo en sí, es un factor de entrada considerado para el consumo y la contaminación del agua, lo que puede ser importante a la hora de estimar la huella hídrica. Cabe señalar que se tiene en cuenta la huella hídrica directa del proceso productivo interno y energía. En consecuencia, la demarcación de los procesos involucrados es en un área geográfica específica, la cuenca del Río Claro, en el límite de la propiedad activa de los títulos mineros, lo que significa que para las minas solo se consideran frentes de mina activos, mientras que para el cemento hablamos de producción, generación de energía y secundarios. En el caso de un proceso, se consideran varios componentes del proceso.

Para la estimación, cuando aplique, de la huella hídrica gris, huella hídrica azul y la huella hídrica verde se segregarán por área de trabajo con el objetivo de facilitar su posterior análisis para futuras tomas de decisiones.

La generación termoeléctrica implica el uso de combustibles fósiles, como el carbón en el caso de la planta Rioclaro, para la producción de energía eléctrica. Este proceso puede tener un impacto significativo en los recursos hídricos debido a la cantidad de agua necesaria para la producción de vapor y para la refrigeración de los equipos.

Para obtener la huella hídrica en la generación eléctrica, se deben realizar una serie de mediciones y análisis para determinar la cantidad de agua consumida, la cantidad de carbón consumido y su porcentaje de humedad y el consumo doméstico de agua en la zona de autogeneración.

Además, es importante tener en cuenta la cantidad de agua utilizada en el proceso de generación de energía eléctrica, ya que algunas tecnologías son más eficientes en el uso del agua que otras.

Una vez que se han obtenido todos estos datos, se puede calcular la huella hídrica de la generación termoeléctrica de la planta. Esto permitirá identificar los puntos críticos del proceso en los que se consume una mayor cantidad de agua, lo que permitirá desarrollar estrategias para reducir el impacto en los recursos hídricos y promover la sostenibilidad en la producción de energía eléctrica. En este sentido tenemos las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo de HH azul autogeneración

$$HH\ azul = consumo\ agua\ proceso\ domestico + consumo\ de\ agua\ proceso\ industriales$$

Ecuación 2. Fórmula para el cálculo de HH verde autogeneración

$$HH\ verde = \frac{humedad\ carbon}{carbon\ consumido}$$

En el caso de la cantera de Cementos Argos en Rioclaro, la huella hídrica se refiere a la cantidad de agua utilizada en el proceso de extracción y producción de cemento.

Para obtener la huella hídrica de la cantera de Cementos Argos en Rio Claro, se lleva a cabo una evaluación de la cantidad de agua utilizada en cada etapa del proceso de producción. Esto incluye la extracción de materiales, el transporte de materiales a la planta de producción, la producción de cemento y la distribución del producto final.

La evaluación de la huella hídrica también tiene en cuenta el tipo de agua utilizada en cada etapa, es decir, si se utiliza agua superficial o subterránea, agua de lluvia o agua de río, entre otros factores. Además, se consideran los impactos ambientales asociados con el uso del agua, como la contaminación y la alteración de los ecosistemas acuáticos.

Para realizar la evaluación de la huella hídrica, se utilizan herramientas y metodologías específicas, como la metodología de la Huella Hídrica de la Water Footprint Network. Para nuestro caso usaremos las siguientes ecuaciones:

Ecuación 3. Fórmula para el cálculo de HH gris canteras

$$HH \text{ gris} = \text{vertimientos domestico} + \text{vertimientos industriales}$$

Ecuación 4. Fórmula para el cálculo de HH azul canteras

$$HH \text{ azul} = \text{consumo riego de agua} + \text{consumo de agua taller diesel}$$

Ecuación 5. Fórmula para el cálculo de HH verde canteras

$$HH \text{ verde} = \frac{\text{humedad material extraido cantera}}{\text{total material extraido}}$$

La producción de cemento es una actividad que puede tener un impacto significativo en los recursos hídricos debido al alto consumo de agua en el proceso de producción. Por lo tanto, la

obtención de la huella hídrica en la producción de la planta rioclaro es un factor importante que considerar para evaluar el impacto ambiental de la empresa.

Para obtener la huella hídrica en la producción de Cementos Argos en Río Claro, se deben llevar a cabo mediciones y análisis de las diferentes etapas del proceso de producción. En primer lugar, se debe medir la cantidad de agua utilizada en la extracción de las materias primas, como la piedra caliza, la arcilla y el yeso.

Una vez que se han obtenido las materias primas, se procede a la trituración y molienda, lo que requiere agua para refrigerar los equipos. Luego, se mezclan las materias primas y se someten a altas temperaturas en un horno rotatorio para producir el clinker. Este proceso también consume una gran cantidad de agua para la refrigeración de los equipos.

Posteriormente, se procede a la molienda del clinker para producir el cemento final, lo que requiere agua para refrigerar los equipos y para el transporte de los materiales. Además, también es importante tener en cuenta el agua utilizada en la limpieza de los equipos y en la eliminación de los residuos generados durante el proceso de producción.

Finalmente, se debe considerar la huella hídrica de la energía eléctrica comprada a EPM para el funcionamiento de los diferentes equipos en el proceso, ya que este aspecto también puede tener un impacto en el recurso hídrico.

Una vez que se han obtenido todos estos datos, se puede calcular la huella hídrica de la producción de cemento en la planta, teniendo en cuenta las dos líneas (hornos de Clinker) que están activos. Esto permitirá identificar los puntos críticos del proceso en los que se consume y/o contamina una mayor cantidad de agua, lo que permitirá desarrollar estrategias para reducir el impacto en los recursos hídricos y promover la sostenibilidad en la producción de cemento.

Ecuación 6. Fórmula para el cálculo de HH gris producción

$$HH\ gris = \textit{vertimientos domestico} + \textit{vertimientos industriales}$$

Ecuación 7. Fórmula para el cálculo de HH azul producción

$$HH\ azul = consumo\ agua\ domestica\ en\ areas\ productivas \\ + HH\ energia\ comprada\ a\ EPM + consumo\ agua\ industriales$$

Ecuación 8. Fórmula para el cálculo de HH verde producción

$$HH\ verde = \frac{humedad\ materias\ primas}{total\ material\ consumido}$$

La huella hídrica de los procesos secundarios en planta rioclaro se refiere a la cantidad de agua utilizada por los empleados en las instalaciones de la empresa, incluyendo los servicios sanitarios, el lavado de ropa y utensilios, casino, entre otros.

Para obtener esta huella hídrica se deben llevar a cabo mediciones y análisis de la cantidad de agua utilizada por los empleados en las diferentes actividades en la planta.

En primer lugar, se debe medir la cantidad de agua utilizada en los servicios sanitarios, incluyendo el inodoro, el lavamanos y la ducha. También se debe medir la cantidad de agua utilizada en el casino para lavar platos y utensilios, y en la lavandería para lavar la ropa.

Además, es importante tener en cuenta el agua utilizada en la limpieza de áreas comunes en las instalaciones de la empresa.

Esto permitirá identificar los puntos críticos del consumo de agua en las actividades domésticas, lo que permitirá desarrollar estrategias para reducir el consumo de agua y promover la sostenibilidad en el uso del recurso hídrico.

Cabe destacar que la reducción del consumo de agua en las actividades domésticas no solo contribuirá a la sostenibilidad ambiental, sino que también puede tener beneficios económicos para los empleados y sus familias, al reducir los costos asociados al consumo de agua.

Ecuación 9. Fórmula para el cálculo de HH gris domestica

$$HH\ gris = vertimiento\ domestico$$

Ecuación 10. Fórmula para el cálculo de HH azul domestica

$$HH\ azul = consumo\ agua\ domestica$$

Para la recopilación de datos se hizo necesario revisar los ya existentes y generar la medición de nueva información para poder tenerlos en cuenta en las ecuaciones anteriores y posteriormente poder usarlos en la estimación de la huella hídrica.

4

Resultados

Como resultado del trabajo tenemos la medición de diferentes valores de consumos de agua en los diferentes procesos que lo requieren. En primer lugar, tenemos los consumos muestreados en los diferentes medidores de la planta para estimar la huella hídrica a partir de esta propuesta. La meta de Cementos Argos SA en su regional Colombia propone como objetivo alcanzar una Huella Hídrica de 230 L/ton para el año 2030 mediante el reporte GRI, en la planta Rioclaro con los datos obtenidos en la **Tabla 1** por los medidores tenemos una Huella Hídrica de 334 L/ton para el año 2022 (**Figura 3**). Se debe tener en cuenta que algunos de estos medidores presentaron averías o anomalías durante el año y algunos datos pueden presentar errores en el resultado final.

Tabla 1. Datos de los medidores planta Rioclaro para el año 2022

Medidor	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Agua doméstica*	4.856	4.697	5.233	5.114	5.541	5.801	6.294	6.323	5.721	5.279	5.132	5.097
Agua industrial*	126.969	118.657	126.075	126.315	137.105	128.597	117.821	143.358	125.835	138.342	132.152	135.982
Agua riego*	1.294	1.322	1.151	952	839	1.052	1.123	1.137	1.222	981	967	1.063
Agua Torre 1*	5.204	8.381	3.278	3.188	12.503	3.314	3.529	3.081	2.341	2.997	2.181	2.457
Agua Torre 2*	566	296	1.021	658	431	1.142	134	162	529	358	253	731
Agua Arcillas Calcinadas*	6.077	15.192	19.243	23.294	18.235	20.695	21.564	21.227	11.310	17.260	11.618	11.879
Agua recirculada*	122.867	105.123	107.113	112.235	121.354	111.697	114.178	127.821	114.310	118.884	114.636	113.876
Vertimientos*	4.128	3.992	4.448	4.347	4.710	4.931	5.350	5.375	4.863	4.487	4.362	4.332
Producción de cemento(ton)	86.750	111.358	138.202	131.550	128.219	135.085	103.107	118.019	109.335	126.617	114.756	137.849

* valores en m³.

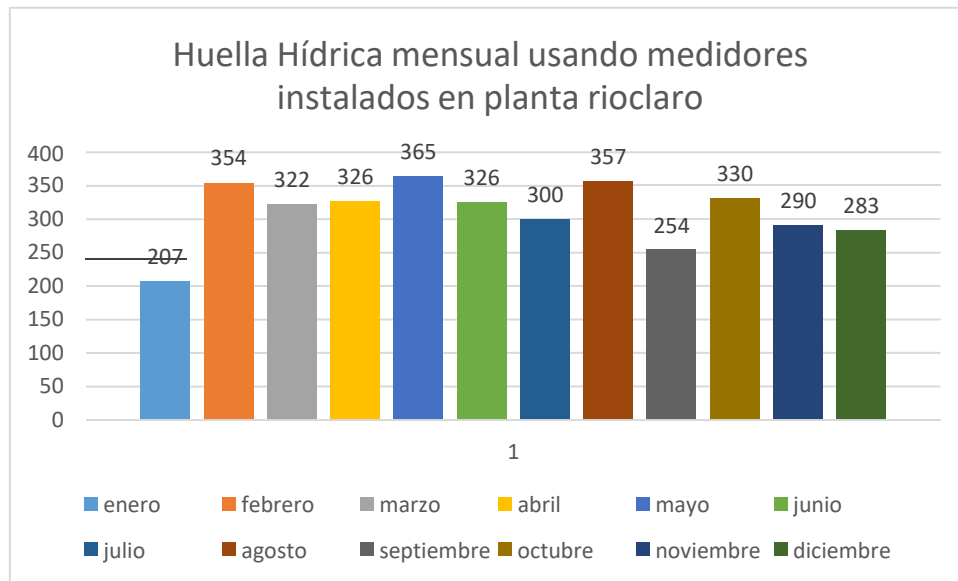


Figura 3. *Huella Hídrica mensual usando datos de los medidores existentes y propuestos en la planta Rioclaro para el año 2022 usando el indicador GRI.*

En la **Tabla 2** y **Figura 4** se muestran los resultados obtenidos de la huella hídrica estimada a partir de los consumos de agua de cada proceso. Se observa como la HH azul representa el valor más representativo, teniendo muy presente que el proceso de producción es el que aporta el mayor valor representando alrededor del 67% dentro del total. Lo sigue el proceso de autogeneración con un 29% del total. En la HH azul debemos tener presentes el alto consumo de agua industrial tanto para la generación de energía eléctrica como para el enfriamiento de las líneas de Clinker y sus equipos a asociados.

Tabla 2. *Huella hídrica para cada proceso en m³ para el año 2022*

Proceso	Huella Hídrica (HH)		
	HH gris	HH verde	HH azul
Autogeneración	-	4279,38	463176,1
Producción	69641,8	9115,77	754417,9
Canteras	155,8	58153,75	10433,56
Secundarios/domésticos	3529,13	-	31756,78

Para la HH verde tenemos valores más bajos en autogeneración y producción en comparación con canteras, esto debido a que los primeros procesos esta HH verde depende de la humedad y el consumo de la materia prima correspondiente al carbón que ronda las 9000 m³/año, mientras que en canteras este dato se ve afectado por el uso de agua en la extracción de materias primas como las calizas con menor porcentaje de humedad pero su consumo es mucho mayor con un valor que ronda las 1.720.000 ton/año según la licencia ambiental otorgada a los títulos mineros 4410-4411.

En la HH gris el valor más representativo lo obtenemos del proceso productivo de cemento, esto se debe a lo vertimientos generados por el enfriamiento del horno de arcillas en proceso de puzolana artificial y el enfriamiento de los equipos de clinkerización. El valor de los procesos secundarios o domésticos es mucho más bajo con respecto a los demás procesos.

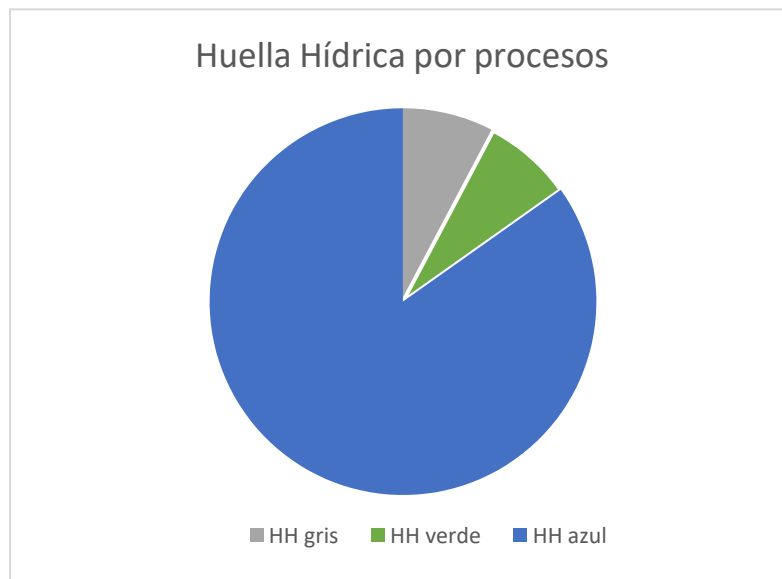


Figura 4. *Huella Hídrica azul, verde y gris por procesos*

Por último, se puede observar como la HH azul representa un aporte de casi el 94%, la HH verde con 3.1% y por último la HH gris con 2.9%.

5

Análisis

A partir de lo anteriormente descrito, se puede afirmar que la huella hídrica en la planta rioclaro es un factor importante para considerar en la evaluación del impacto ambiental de la empresa. El proceso de producción de cemento implica un alto consumo de agua, lo que puede tener un impacto significativo en los recursos hídricos locales.

Según el informe de sostenibilidad de Cementos Argos correspondiente al año 2022, en la planta rioclaro se produjeron un total de 1,440,847 toneladas de cemento durante el año. Para la producción de esta cantidad de cemento, se utilizaron aproximadamente 4,818,185 m³ de agua, lo que equivale a una huella hídrica de 3.34 m³/ton de cemento producida. Este resultado lo aleja de la meta global de la regional Colombia para 2030. Este incremento en la HH se debe a la implementación del proceso de arcillas calcinadas para la producción de puzolana artificial que incremento el uso de agua industrial y el agua recirculada.

En el proceso de producción de cemento, la mayor cantidad de agua se utiliza en la etapa de trituración y molienda de las materias primas, la producción de clinker en el horno rotatorio y en la molienda del clinker para producir el cemento final. Sin embargo, también es importante tener en cuenta la cantidad de agua utilizada en la extracción de las materias primas, en la logística de distribución y en la gestión de residuos.

Por otro lado, en cuanto a la huella hídrica en la generación termoeléctrica, se puede afirmar que la planta de autogeneración de energía tiene una capacidad de generación de 18 MW, y utiliza carbón mineral como combustible. Para la generación de esta cantidad de energía, se utiliza una cantidad significativa de agua en el proceso generación de vapor para las turbinas y en el consumo de carbón debemos tener en cuenta la humedad del mineral, lo que también contribuye a la huella hídrica de la empresa.

En cuanto a la huella hídrica doméstica, se debe destacar que el consumo de agua de los empleados y sus familias en las instalaciones de la empresa también contribuye a la huella hídrica

total. Según el informe de sostenibilidad de la empresa, en el año 2022 se registró un consumo de agua potable de 42,074 m³ en las instalaciones, el aumento de personal debido a la ampliación de canteras, las nuevas líneas de producción y el aumento en la producción de cemento ayudan al incremento en este ítem.

Estrategias de sostenibilidad para la reducción de la huella hídrica en planta Rioclaro

En la planta rioclaro, se requiere implementar una serie de estrategias de sostenibilidad con el objetivo de reducir la huella hídrica y promover un uso responsable del agua en todas las etapas de producción de cemento.

Una de las estrategias clave es mejorar la eficiencia en el uso del agua. Para lograrlo, se pueden realizar auditorías de agua detalladas para identificar áreas de alto consumo y potenciales fugas o pérdidas. Se pueden aplicar medidas basadas en los resultados, como la optimización de sistemas y equipos para reducir el desperdicio y las pérdidas de agua, y la instalación de controles automáticos que controlen el uso del agua de manera más eficiente y precisa. La promoción de una cultura de conservación del agua entre los empleados de la planta también es crucial. Se pueden crear campañas de educación y sensibilización que enfatizan la importancia de utilizar el agua de manera responsable, evitar su derroche y promover el manejo ecológico del agua.

La implementación de sistemas de recirculación cerrados es otra estrategia relevante. Estos sistemas hacen posible la reutilización del agua en varias etapas del proceso de producción, lo que reduce la necesidad de adquirir agua adicional. Al recircular el agua, se reduce su uso y se reduce el impacto en los recursos hídricos. Para determinar la implementación de estos sistemas de recirculación cerrados y adaptarlos a las necesidades específicas de la planta rioclaro, es necesario realizar una evaluación de viabilidad técnica y económica.

La gestión adecuada de las aguas residuales también contribuye significativamente a reducir la huella hídrica. Es imperativo establecer sistemas de tratamiento de aguas residuales que permitan

su reutilización o devolución segura al medio ambiente. Estos sistemas de tratamiento evitan que las aguas residuales perjudiquen la calidad del agua y protejan el medio ambiente.

Se recomienda también la implementación de tecnologías innovadoras que contribuyan a la disminución del consumo de agua durante los procesos de producción de cemento. Esto puede incluir el uso de tecnologías de secado más eficientes que requieran menos agua, así como la inversión en maquinaria y equipos de última generación que minimicen la necesidad de agua en cada etapa del proceso.

En conclusión, la aplicación de estas estrategias de sostenibilidad en la planta rioclaro reducirá la huella hídrica y fomentará un uso responsable y eficiente del agua durante los procesos de producción de cemento. Esto aumentará la sostenibilidad y la competitividad de la planta a largo plazo y beneficiará al medio ambiente.

6

Conclusiones

La evaluación de la huella hídrica de la planta de cemento de Argos rioclaro permitió identificar las principales fuentes de consumo de agua en el proceso productivo y proponer medidas de mejora. La implementación de estas medidas puede contribuir a reducir la huella hídrica de la planta de cemento, aumentar su eficiencia y mejorar su sostenibilidad ambiental. La evaluación de la huella hídrica también puede ser una herramienta útil para la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos y la identificación de oportunidades de innovación y mejora en otros procesos industriales.

En conclusión, la obtención de la huella hídrica en la producción de cemento es un aspecto clave en la evaluación del impacto ambiental de la empresa. La cantidad de agua utilizada en el proceso de producción, así como en la generación de energía y en las actividades domésticas de los empleados, es significativa y puede tener un impacto importante en los recursos hídricos locales. Es importante que la empresa siga desarrollando estrategias y programas para reducir su huella hídrica y promover la sostenibilidad ambiental dentro los lineamientos de la normatividad.

Referencias

- Cementos Argos. (2021). Informe de sostenibilidad 2020. Recuperado el 10 de mayo de 2023, de <https://www.cementosargos.com.co/wp-content/uploads/2023/03/Informe-de-Sostenibilidad-2022.pdf>
- Chenoweth, J., Hadjikakou, M., & Zoumides, C. (2013). Review article: Quantifying the human impact on water resources: a critical review of the water footprint concept. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 10(7), 9389–9433.
- GRI. (2016). GRI Standards. GRI 303: Agua 2016. Ámsterdam, Países Bajos: Global Sustainability Standards Board. GRI. (2017). Global Reporting Initiative. Obtenido de GRI: <https://www.globalreporting.org/information/about-gri/Pages/default.aspx>
- Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. (2002). Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2009). *Water Footprint Manual*. State of the Art. Enschede, Países Bajos: Water Footprint Network.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. y Mekonnen, M.M. 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Earthscan, Londres, Reino Unido.
- del Mercado Arribas, R. V., & Rodríguez, M. Ó. B. (2012). Huella Hídrica de América Latina: retos y oportunidades. *Aqua-LAC*, 4(1), 41-48.
- Mekonnen, M.M. y Hoekstra, A.Y. 2011. “National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption”, en *Value of Water Research Report Series No. 50, Apéndice II, Virtual-water flows related to trade in crop, animal and industrial products, per country (m³ /yr)*, UNESCO-IHE, Delft, Países Bajos
- Norma ISO 14046. (2014). Norma ISO 14046. Gestión Ambiental. Huella de Agua. Principios, requisitos y directrices. En O. I. ISO.
- Schneir, E. R. (2015). La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú. *Saber y Hacer*, 2(1), 34-47