

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Escuela de Posgrado

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

**ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA COMO INDICADOR DE
GESTIÓN AMBIENTAL EFICIENTE EN LA INDUSTRIA
DEL CEMENTO - CASO DE ESTUDIO: UNIÓN
ANDINA DE CEMENTOS S.A.A. - UNACEM**

TESIS

PRESENTADA POR:

RONY RONALD LAURA ESPINOZA

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIAE*) CON MENCIÓN
EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TACNA - PERÚ

2020.


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA


Escuela de Posgrado


MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

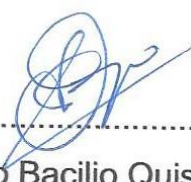
**ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA COMO INDICADOR DE GESTIÓN
AMBIENTAL EFICIENTE EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO - CASO
DE ESTUDIO: UNIÓN ANDINA DE CEMENTOS S.A.A. – UNACEM**

Tesis sustentada y aprobada el 22 de enero del 2020; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : 
.....
Dr. Jesús Plácido Medina Salas

SECRETARIO : 
.....
Dr. Tolomeo Raúl Soto Pérez

MIEMBRO : 
.....
Dr. Daladiex Miguel Castillo Cotrina

ASESOR : 
.....
Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila

DEDICATORIA

A mis padres: Consuelo Espinoza y Nicolás Laura, por apoyarme y confiar siempre en mí.

A mis adorados hijos, mi risueña e inteligente Inés Sofía y a mi pequeño gigante Maurizio Rony.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por mostrarme el camino para cumplir las metas propuestas.

A mi familia por su apoyo incondicional.

Al Doctor Alberto Quispe Cohaila, Asesor del presente trabajo de tesis, por el acompañamiento y soporte técnico.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción del problema	3
1.1.1. Antecedentes del problema	3
1.1.2. Problemática de la investigación	4
1.2. Formulación del problema	5
1.3. Justificación e importancia de la investigación	5
1.4. Alcances y limitación en la investigación	7
1.5. Objetivo	8
1.5.1. Objetivo general	8
1.5.2. Objetivos específicos	8
1.6. Hipótesis	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes del estudio	9
2.1.1. Proyecto SuizAgua Colombia, medición de la huella hídrica de las empresas Nestlé, Holcim, Syngenta y Clariant(COSUDE,2013).....	9
2.1.2. Evaluación de la huella hídrica en Coca Cola Company (The Coca Cola Company, The Nature Conservancy, 2010).....	10
2.1.3. Análisis técnico de la huella hídrica como indicador de	

sustentabilidad del uso del agua en la producción del concentrado de cobre en división El Teniente de Codelco.....	11
2.1.4. Evaluación de la huella hídrica de la banana para pequeños productores en Perú y Ecuador	12
2.1.5. Huella hídrica gris en industrias alimenticias camagüeyanas.....	13
2.1.6. Cálculo de la huella hídrica para producir un litro de leche en fincas ganaderas en Jinotega y Matiguás, Nicaragua	13
2.2. Bases teóricas.....	14
2.2.1. Concepto de huella hídrica.....	14
2.2.2. Análisis de ciclo de vida	17
2.2.3. Huella hídrica en empresas.....	18
2.2.4. Teorías sobre huella hídrica	19
2.2.5. De la huella hídrica al agua virtual	20
2.2.6. Consejos y advertencias	21
2.3. Determinación de agua consumida.....	23
2.4. Definición de términos.....	23
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	
3.1. Tipo y diseño de investigación	27
3.2. Materiales y/o instrumentos.....	27
3.3. Población y muestra.....	27
3.4. Operacionalización de variables.....	30
3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	32
3.6. Ejecución de la tesis.....	32
3.6.1. Definición de objetivos y alcances.....	33
3.6.1.1. Objetivos del estudio.....	33
3.6.1.2. Unidad funcional	34
3.6.1.3. Dimensión temporal y geográfica.....	34
3.6.1.4. Límites del sistema	35

3.6.1.5. Reglas de asignación.....	37
3.6.1.6. Criterio de corte	37
3.6.1.7. Datos del inventario	37
3.6.1.8. Datos y supuestos	38
3.6.1.9. Evaluación de impactos relacionados con el recurso hídrico.....	39
3.6.1.10. Análisis de calidad de datos.....	40
3.6.2. Análisis del inventario.....	40
3.6.2.1. Levantamiento de información	40
3.6.2.2. Balance directo por áreas	41
3.6.2.3. Organización de la información.....	47
3.6.3. Evaluación de impactos.....	57
3.6.3.1. Indicador de disponibilidad de agua: Índice de Impacto Hídrico (WIIX).....	57
3.6.3.2. Determinación de índice hídrico por uso indirecto	62
3.6.3.3. Indicadores de impacto en salud humana y calidad de ecosistemas.....	65
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	
4.1. Agua consumida.....	80
4.2. Índice de impacto hídrico.....	85
4.3. Impacto potencial en salud humana.....	87
4.4. Impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas	89
4.5. Puntos críticos.....	93
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	
Discusión	95
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo total de agua por uso directo	49
Tabla 2. Resumen de insumos en la cadena de suministros	53
Tabla 3. Resumen de insumos en la electricidad y combustibles	54
Tabla 4. Inventario de cadena de suministros	55
Tabla 5. Inventario de energía y transporte	56
Tabla 6. Cálculo de WIIX por uso directo.....	62
Tabla 7. WIIX de proceso seleccionado de la base de datos por cadena de suministros.....	63
Tabla 8. WIIX de proceso seleccionado de la base de datos por electricidad y transporte.....	64
Tabla 9. Impactos potenciales por desnutrición	67
Tabla 10. Impactos por desnutrición de cadena de suministros	69
Tabla 11. Impactos en desnutrición en energía y transporte	70
Tabla 12. Impactos en salud humana por toxicidad en la cadena de suministros.....	72
Tabla 13. Impactos en salud humana por toxicidad en energía y transporte.....	73
Tabla 14. Impactos en calidad de ecosistemas por disponibilidad por uso directo	74

Tabla 15. Impactos en calidad de ecosistemas por disponibilidad en cadena de suministros	75
Tabla 16. Impactos en calidad de ecosistemas por disponibilidad en energía y transporte.....	76
Tabla 17. Impacto en ecosistemas acuáticos afectados por infraestructura hidroeléctrica en la cadena de suministros	78
Tabla 18. Impacto en ecosistemas acuáticos afectados por infraestructura hidroeléctrica en energía y transporte.....	79
Tabla 19. Insumos con mayor aporte al consumo indirecto, proceso seleccionado en base de datos de Quantis para su modelación y su respectivo consumo de agua	85
Tabla 20. Impactos en ecosistemas por producción anual de cemento...	90
Tabla 21. Impactos en ecosistemas por producción anual de cemento...	92
Tabla 22. Matriz de puntos críticos por producción de cemento	93
Tabla 23. Resultados del análisis de sensibilidad.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación esquemática de los componentes de la huella hídrica (Manual de Huella Hídrica, Hoekstra 2011)	15
Figura 2: Descripción sintetizada del sistema de producción analizado para el análisis de la huella hídrica.....	36
Figura 3. Balance directo por áreas	42
Figura 4. Proceso integral de producción	43
Figura 5. Balance hídrico de producción de cemento	50
Figura 6. Fraccionamiento porcentual de consumos de agua por producción de cemento.....	81
Figura 7. Fraccionamiento porcentual de consumo directo de agua.....	82
Figura 8. Fraccionamiento porcentual de consumo indirecto de agua.....	83
Figura 9. Consumo indirecto de agua - cadena de suministros	84
Figura 10. Fraccionamiento porcentual del índice de impacto hídrico por producción de cemento.....	86
Figura 11. Impacto potencial en la salud humana.....	88
Figura 12. Impacto potencial en calidad de ecosistemas por disponibilidad.....	89
Figura 13. Impactos potenciales en calidad de ecosistemas - toxicidad..	91

RESUMEN

La huella hídrica es una herramienta que permite cuantificar los consumos de agua y evaluar los impactos potenciales relacionados al uso directo e indirecto del agua en la producción de un bien o un servicio.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la huella hídrica de una planta de producción de cemento y evaluar la eficiencia de su aplicación como indicador de gestión ambiental en la industria del cemento.

El estudio es de tipo aplicado con un nivel descriptivo y su diseño corresponde al experimental, la población la conforman las plantas de producción de cemento en Perú y la muestra estuvo representada por la planta de producción de cemento Atocongo. Las técnicas que se emplearon fueron la observación y recopilación de información primaria relacionada a los consumos directos e indirectos de agua. Los instrumentos utilizados fueron hojas inventario, hojas de cálculo Excel y bases de datos de análisis de ciclo de vida y huella hídrica.

Los resultados del estudio demuestran que se consumieron 7 513 091,35 m³ de agua por la producción anual de cemento en la planta Atocongo, el 67 % (5 094 080,97 m³) provino del uso indirecto (energía y combustibles), el 29 % (2 111 602,63 m³) fue uso indirecto en la cadena de suministros y el 4 % (307 407,75 m³) representa el uso directo.

Palabras clave: Huella hídrica, cemento, gestión ambiental, análisis de ciclo de vida.

ABSTRACT

The water footprint is a tool that allows quantifying water consumption and evaluating the potential impacts related to the direct and indirect use of water in the production of a product or a service.

The objective of the present study was to assess water footprint in a cement production plant and to evaluate its efficiency of its application as an indicator of environmental management in the cement industry.

The kind of the study is applied, with an evaluative level and the design is experimental, the population is integrated by all plants of cement production in Peru and the sample is Atocongo cement production plant. The techniques applied were observation and primary sources information related to direct and indirect water consumption. The technics applied were observation and primary sources recompilation of direct and indirect use of water. The instruments used were inventory sheets, excel calculations and data base from life cycle and water footprint assessment.

The results of the study show that 7 513 091,35 m³ of water were consumed by the annual production of cement in the Atocongo plant, 67 % (5 094 080,97 m³) came from indirect use (energy and fuels), 29 % (2 111 602,63 m³) was indirect use in the supply chain and 4 % (307 407,75 m³) represents direct use.

Keywords: Water footprint, cement, environmental management, life cycle.

INTRODUCCIÓN

El agua está presente en cada ámbito de la construcción. No solo para la ejecución de las obras, sino también porque la producción de los materiales requiere grandes cantidades de este recurso. El cemento es uno de los materiales más importantes en el sector construcción.

La importancia del uso de agua en el sector construcción hace necesaria la aplicación de herramientas de gestión ambiental eficiente. La huella hídrica se define como la métrica o métricas con las que se cuantifican los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua. 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.

El propósito del presente estudio fue promover el indicador ambiental eficiente de huella hídrica en la industria de la producción del cemento.

El estudio se ha dividido en cinco Capítulos:

En el Capítulo I, se presenta el planteamiento del problema, donde se describe y formula el mismo, se detalla la justificación e importancia del trabajo, así también se indican los alcances y limitaciones, objetivos e hipótesis.

En el Capítulo II, se presenta el marco teórico, donde se muestran los antecedentes, definiciones y otros aspectos conceptuales sobre la evaluación de huella hídrica.

En el Capítulo III, se describe el marco metodológico, donde se definen aspectos como el diseño de la investigación, población y muestra y tratamiento de datos; así también se indican los materiales e instrumentos utilizados y el procedimiento seguido para la ejecución de la tesis.

En el Capítulo IV, se describe e interpretan los resultados de la evaluación de huella hídrica en la industria del cemento.

En el Capítulo V, se presenta la discusión de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Antecedentes del problema

El agua es uno de los recursos más importantes que definen los límites para lograr un desarrollo sustentable. No obstante, a nivel global son cada vez más intensivos, y en efecto, se prevé que la demanda mundial aumente en un 55 % para el 2050 (United Nations World Water Development Report, 2014). Este incremento se explica por el aumento de la población y por una demanda per cápita más alta en bienes y servicios, y por lo tanto en los requerimientos de agua, materias primas y energía para producirlos. Lo anterior, sumado al hecho que tan sólo un 0,3 % del agua dulce del planeta es de fácil acceso (Shiklomanov, 1993) y que además no está distribuida de manera homogénea, ha conducido a una situación compleja en disponibilidad y calidad del recurso.

El gran avance económico que ha tenido el Perú en los últimos 10 años, ha hecho que las diferentes industrias crezcan en su producción y, por lo tanto, aumente el consumo de energía, combustibles y también de agua. El agua es elemental para la vida humana y no existe otro recurso que la pueda sustituir. Se requiere agua para la producción de alimentos, la generación de energía, el transporte a gran escala, es decir, está presente directa o indirectamente en toda actividad económica que se

pueda desarrollar. Por ello, la gestión del agua es de trascendental importancia para la sostenibilidad social, económica y ambiental.

La “crisis del agua”, por su impacto, representa hoy el principal riesgo para la actividad económica mundial en los próximos 35 años (World Economic Forum, 2015). Por ello, grandes multinacionales ya vienen desarrollando en el mundo gestión corporativa del agua, pues son conscientes que deben prever, controlar y mitigar los riesgos físicos, regulatorios y reputacionales que una mala gestión del agua puede significar (CEO Water Mandate).

1.1.2 Problemática de la investigación

El agua es la fuente de toda la vida en la Tierra. Su distribución es muy variable: en algunas regiones es muy abundante, mientras que en otras escasea. Sin embargo, contrario a lo que muchas personas creen, la cantidad total de agua en el planeta no cambia.

El 97,5 % del agua en la tierra se encuentra en los océanos y mares de agua salada, únicamente el restante 2,5 % es agua dulce. Del total de agua dulce en el mundo, 69 % se encuentra en los polos y en las cumbres de las montañas más altas y se encuentra en un estado sólido.

El 30 % del agua dulce del mundial, se encuentra en la humedad del suelo y en los acuíferos profundos.

Solo el 1 % del agua dulce en el mundo, escurre por las cuencas hidrográficas en forma de arroyos y ríos y se depositan en lagos, lagunas y en otros cuerpos superficiales de agua y en acuíferos.

Esta es agua que se repone regularmente a través del ciclo hidrológico.

El agua dulce constituye un recurso escaso, amenazado y en peligro. De acuerdo con los estudios sobre los balances hídricos del planeta solamente el 0,007 % de las aguas dulces se encuentran realmente disponibles a todos los usos humanos directos. De esta pequeñísima porción dependen procesos sociales vitales.

Las más recientes evaluaciones de los especialistas y organizaciones internacionales conectadas con los problemas del agua, sugieren que para el año 2025 más de las dos terceras partes de la humanidad sufrirá algún estrés por la falta de este líquido (L'vovich et al. 1995, Simonovic 1999). El agua es un recurso natural que puede agotarse. El agua que hay en este planeta es muchísima, cubre las dos terceras partes del globo, pero en su mayoría es agua salada. El agua dulce existe en una proporción mucho menor y es un recurso natural que debemos cuidar porque como todos los recursos de nuestra Tierra se agotan.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es la huella hídrica un indicador de gestión ambiental aplicable a la industria de producción de cemento?

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

A pesar de ser un recurso muy valioso para el desarrollo de cualquier actividad económica, el valor económico del agua no es representativo en ningún balance financiero de las empresas. Sin embargo, en el mundo, esta

visión está cambiando. De forma inteligente, muchas grandes corporaciones vienen desarrollando estrategias para la gestión del recurso agua, aun cuando su negocio no tiene – aparentemente – una relación directa con este recurso.

De esta manera, las empresas buscan reducir su impacto ambiental y, a la vez, previenen y reducen tensiones socio-ambientales que en el futuro puedan perjudicar el desempeño de sus negocios.

El Perú tiene la mayor cantidad de agua dulce disponible per cápita de América del Sur. Este superávit podría malinterpretarse y postularse como que la gestión del recurso agua en Perú no requiere ser priorizada. Sin embargo, al mismo tiempo, Perú es un país con stress hídrico. El último informe del Panel Inter gubernamental de Cambio Climático (IPCC) revela que el Perú se ubica entre los 12 países que ya estarían afrontando estrés hídrico.

La desigualdad en la distribución del agua explica parte importante de los muchos conflictos socio ambientales asociados a iniciativas económicas, especialmente en los sectores minería, energía y de extracción de petróleo y gas.

En el Perú, la gestión ambiental del agua se rige por el cumplimiento de las normas y estándares nacionales vigentes, los cuales apuntan a una gestión al final de la cadena de producción. Todo se concentra en no superar los valores de referencia de contaminación que define la legislación peruana; en términos hídricos, los valores de referencia que fija nuestra

legislación son: Los estándares de calidad ambiental ECA, los límites máximos permisibles LMP y los valores máximos admisibles VMA.

El Perú ocupa el quinto lugar en la producción de cemento en Latinoamérica, por ello es importante medir los impactos visibles y los no visibles que la actividad generadora ocasiona sobre nuestros recursos hídricos. Analizar la industria cementera es un primer paso. Para ello se requiere de una metodología estandarizada que genere información válida para planificar la gestión del agua.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

- Debido a la complejidad de información requerida, existen datos que deben ser estimados a partir de data teórica.
- Debido a que no se realizaron estudios previos en Perú sobre el análisis de huella hídrica en la industria del cemento, no se ha realizado una comparación para determinar la diferencia del consumo de agua.
- Debido a la importancia del proyecto, cada vez que se quiera replicar la metodología en otra unidad de negocio, el costo debería ser financiado por la empresa.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Evaluar la huella hídrica de la planta de producción de cemento y determinar su eficiencia como indicador de gestión ambiental para los consumos directos e indirectos de agua y los impactos potenciales generados sobre el recurso hídrico, la salud humana y la calidad de los ecosistemas.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar el inventario de usos de agua de la planta de producción de cemento.
- Calcular el índice de impacto hídrico, WIIX, de la planta de producción de cemento.
- Calcular el impacto potencial en salud humana y calidad de los ecosistemas de la planta de producción de cemento.

1.6 HIPÓTESIS

La huella hídrica es un indicador de gestión ambiental eficiente aplicable en la industria de producción de cemento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1 Proyecto SuizAgua Colombia, medición de la huella hídrica de las empresas Nestlé, Holcim, Syngenta y Clariant (COSUDE, 2013)

El proyecto SuizAgua Colombia fue una iniciativa de la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE), que parte de una asociación público-privada con un grupo de 4 empresas suizas y 7 empresas colombianas. Su objetivo fue aplicar el concepto y metodología de huella hídrica como un indicador que contribuye a mejorar la conciencia sobre el uso del agua, su uso eficiente y control de su contaminación. En el reporte de septiembre de 2013, publican el análisis de la huella hídrica de 4 empresas suizas que operan en Colombia: Clariant, Holcim, Nestlé y Syngenta.

El análisis de la huella hídrica fue realizado para los años 2009 a 2012. Se siguieron tres pasos: i) Inventario de agua. ii) Cálculo de indicador de impacto relacionado con el consumo y contaminación del agua (Índice de Impacto Hídrico – WIIX); la cantidad de agua consumida también se reportó. iii) Cálculo de diferentes indicadores de impacto clasificados en dos categorías: Impactos potenciales en la salud humana e Impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas.

Suizagua Colombia fue desarrollado por la COSUDE con el soporte científico de Quantis. Los datos claves del inventario, base para los resultados, fueron proveídos directamente por las empresas socias del proyecto. Aún persisten desafíos, pero las 4 empresas están interesadas en mejorar los modelos de cálculo y en seguir evaluando y reduciendo su huella hídrica.

2.1.2 Evaluación de la huella hídrica en Coca Cola Company (The Coca Cola Company, The Nature Conservancy, 2010)

Se midió la huella hídrica de la botella de Coca Cola de 0.5 litros. Este estudio fue realizado por los investigadores de la Universidad de Twente en Holanda en colaboración con Coca Cola. El proceso comienza con el cálculo del agua usada en la cadena de suministros de productos como (botellas, etiqueta, materiales de empaque). Los ingredientes usados en la producción de la Coca Cola tomados en consideración es el azúcar, dióxido de carbono, caramelo, ácido fosfórico y cafeína. Los nombres de los ingredientes y cantidades de saborizantes naturales no fueron incluidos en el cálculo, por ser datos confidenciales. La cadena de suministros también incluye el agua usada en la producción de energía, maquinarias, papeles, vehículos, combustibles. Se estima que el agua verde de 0.5 litros de coca cola, es 15 litros. El agua azul es 8 litros y el agua gris es 12 litros. Las aguas azul y verde están relacionadas directamente con el consumo de azúcar en la producción. El agua gris está asociada a la fertilización de la caña de azúcar con nitrógeno y al enfriamiento de los envases PET.

2.1.3 Análisis Técnico de la huella hídrica como indicador de sustentabilidad del uso del agua en la producción del concentrado de cobre en división El Teniente de Codelco (Garcés V, 2011)

En Santiago de Chile se trabajó el análisis técnico de la huella hídrica como indicador de sustentabilidad del uso del agua en la producción del concentrado de cobre en la división El Teniente de Codelco. El objetivo de este trabajo fue evaluar, desde una perspectiva técnica, el potencial uso de la huella hídrica como indicador de sustentabilidad en la minería del cobre en Chile aplicado a la producción de concentrado de la División el Teniente (DET) de Codelco. Se desarrolló además un esquema simplificado de los procesos de la DET y su manejo de agua, se realizó un cálculo preliminar sobre la huella hídrica del concentrado de cobre de la DET para los años 2008, 2009, 2010, y se analizaron los resultados obtenidos. La huella hídrica de concentrado de cobre varió entre los 40 y los 61 m³/toneladas de concentrado de cobre, dependiendo de los límites geográficos. Del análisis realizado, se desprende que las principales contribuciones a la huella hídrica de concentrado de cobre en la DET fueron el agua con alto contenido de sulfato descargado al estero Coren (huella hídrica gris), el agua trasvasada de cuenca hacia el tranque Carén (WFP Azul) y el agua evaporada (WFP Azul). Se concluye que la huella hídrica es una herramienta adecuada como indicador de consumo de agua, sin embargo, se deben realizar nuevos estudios para adecuar la metodología de la huella hídrica, referidos a definición de límites geográficos, consideración de calidad de agua de las fuentes y estandarización en la aplicación de diferentes normas ambientales.

2.1.4 Evaluación de la huella hídrica de la banana para pequeños productores en Perú y Ecuador (Zarate E, 2013).

El estudio aplica la metodología de evaluación de huella hídrica propuesta por la Red Internacional de Huella Hídrica (Water Footprint Network) a dos muestras de productores de banano en Ecuador y Perú. Los procesos incluidos en el estudio fueron la fase agrícola y la fase de procesamiento del banano para exportación, es decir el proceso de empaque.

Se calculó un valor promedio de huella hídrica para la muestra ecuatoriana de 576 m³/t (48 % verde, 34 % azul y 18 % gris), y para la muestra peruana de 599 m³/t (94 % azul y 6 % verde). Estos valores corresponden a 11 y 11,4 m³ por caja de fruta fresca respectivamente.

En ambas muestras, alrededor del 1 % de la huella hídrica azul se encuentra en la fase de empaque, indicando así que la fase agrícola aporta la mayor proporción de la huella hídrica azul. El porcentaje de huella hídrica azul es 34 % y 94 % respectivamente para Ecuador y Perú, indicando así la fuerte dependencia de la irrigación en Perú. En Ecuador, 18 % de la huella hídrica es gris, existente tanto en la fase agrícola por lixiviado de nitrógeno a partir de la práctica convencional, como en la fase de empaque por vertimientos. En Perú, se asumió que no ocurre lixiviación de nitrógeno en la práctica agrícola orgánica, por tanto, la huella hídrica gris agrícola es cero; mientras que no fue posible determinar las concentraciones en los vertimientos en el empaque.

2.1.5 Huella hídrica gris en industrias alimenticias camagüeyanas (Huella Hídrica Gris en Industrias Alimenticias Camagüeyanas, 2010).

En Cuba se ha trabajado con la huella hídrica gris en industrias alimenticias (Cervecería de Timina, Fabrica “La vaquita”, Fábrica de Quesos de Sibanicú, combinado lácteo de Camagüey, fábrica de conservas camalote, fábrica de conservas “El Mambi”) con el objetivo de evaluar el impacto de la contaminación industrial sobre los recursos hídricos. Los monitoreos o caracterizaciones de aguas residuales líquidas en siete industrias alimenticias del territorio camagüeyano, brindaran información de partido referente a la composición y carga contaminante de las aguas residuales líquidas. Se calculó la huella hídrica gris, considerando los límites permisibles normados y las capacidades auto purificadoras de los cuerpos receptores. Se concluye que la huella hídrica gris puede constituir una herramienta de gestión en el esfuerzo de mejorar la disponibilidad de los recursos hídricos).

2.1.6 Cálculo de la huella hídrica para producir un litro de leche en fincas ganaderas en Jinotega y Matiguás, Nicaragua (Ríos, y otros, 2013)

Se ha calculado la huella hídrica para producir un litro de leche en fincas ganaderas en Jinotega y Matiguás en Nicaragua, con el objetivo de estimar la huella hídrica, cantidad de agua usada para producir un litro de leche en fincas ganaderas. Previo inventario y geo-referenciación de 30 fincas lecheras en ambos municipios de Matiguás y Jinoteca en Nicaragua, las fincas fueron seleccionadas al azar en cada una de las zonas de estudio. Entre los resultados se tiene que el consumo directo de agua por

parte de las vacas en la producción es aproximadamente el 7,5 % de su peso vivo y que la huella hídrica para la producción de un litro de leche es de 950L en las fincas ganaderas de Matiguás es de 1 500 litros de agua en Jinotega. Se concluye que los resultados son coherentes con cálculos realizados y/o proyectados por otros estudios. Es importante recalcar que se necesita mayor tiempo de evaluación y un mayor tamaño de la muestra para tener datos más ajustados.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Concepto de huella hídrica

La huella hídrica es un indicador de uso de agua dulce que es palpable no sólo en el uso de agua directo de un consumidor o productor, sino también en su uso indirecto. La huella hídrica puede ser considerada como un indicador global de apropiación de los recursos de agua dulce, por encima de la medida tradicional y restringida de la extracción de agua. La huella hídrica de un producto es el volumen de agua utilizada para producir el producto, medidos a lo largo de la cadena de suministro. Es un indicador multidimensional, que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuentes y volúmenes de contaminación por cada tipo de contaminación, y cuyos componentes de huella hídrica total pueden ser especificados geográfica y temporalmente. La huella hídrica azul se refiere al consumo de los recursos de agua azul (agua superficial y subterránea) a lo largo de la cadena de suministro de un producto. “El consumo” se refiere a la pérdida de agua de la masa de agua disponible del suelo de la superficie en un área de captación. Las pérdidas se producen cuando el agua se evapora, vuelve a otra zona de captación o al mar o se incorporan al producto. La huella hídrica verde se refiere al consumo de los recursos de agua verde (agua

de lluvia en la medida en que no se pierde por filtro o río abajo). La huella hídrica gris se refiere a la contaminación y se define como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes más allá de las concentraciones naturales del lugar y la calidad del agua. (Hoekstra y otros, 2010).

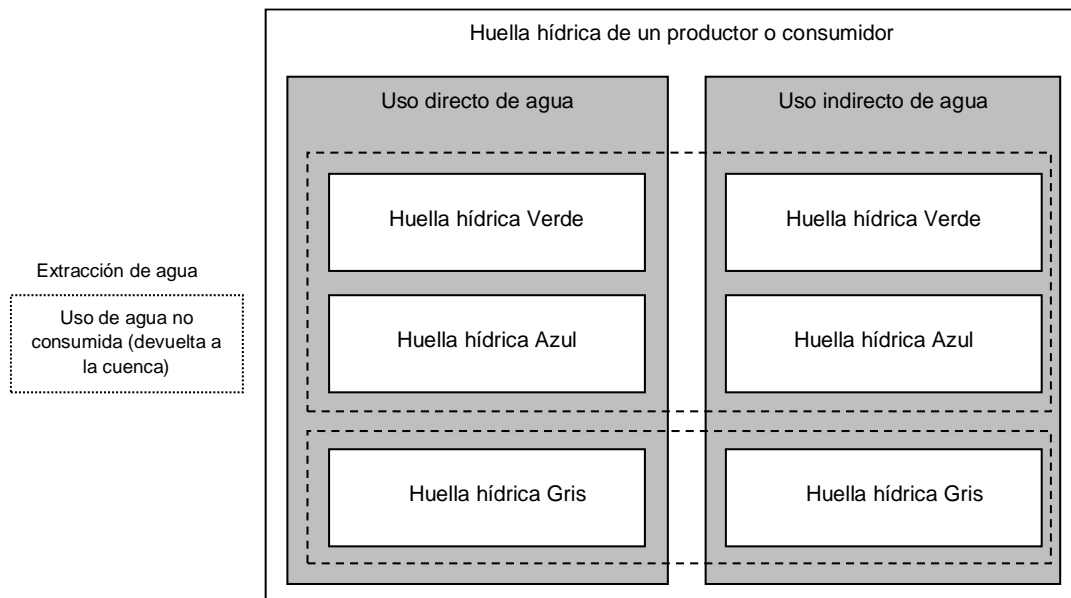


Figura 1. Representación esquemática de los componentes de la Huella Hídrica

Fuente: Manual de Huella Hídrica, Hoekstra 2011

La representación esquemática muestra los componentes de la huella hídrica:

- Agua azul: Es el consumo de agua extraída de las fuentes superficiales y subterráneas (ríos, lagos, pozos subterráneos) para producir los bienes y servicios consumidos por una comunidad, empresa o individuo.
- Agua verde: Es el consumo de agua extraída de las fuentes “verdes” de agua (agua en los suelos y que posteriormente pasa a plantas y otros seres vivos y sus derivados).
- Agua gris: Es la medición del impacto de las aguas residuales. Se expresa como la cantidad de agua necesaria para diluir el agua residual (vertimientos) hasta el punto en que cumpla todos los estándares de calidad definidos normativamente, de forma tal que no contamine los cuerpos de agua a los que se está vertiendo.

Se muestra que los usos de agua extraídos y no consumidos (el agua que regresa al ambiente) no se considera como parte de la huella hídrica. La huella hídrica sí incluye el agua verde y el agua gris, así como todos los usos indirectos. (Hoekstra, y otros, 2011).

La huella hídrica por lo tanto ofrece una perspectiva mejor y más amplia sobre cómo un consumidor o productor afecta el uso de sistemas de agua dulce. Se trata de una medida volumétrica del consumo de agua y su contaminación. Lo que no mide es la gravedad de los efectos locales en el medio ambiente del consumo de agua y su contaminación. El impacto local del medio ambiente de una cierta cantidad de consumo de agua y su contaminación depende de la vulnerabilidad del sistema de agua local y el número de consumidores y contaminadores de agua que hagan uso del

mismo. La huella hídrica representa una información explícita a lo largo del tiempo y del espacio sobre cómo el agua es apropiada para diversos fines humanos. Por ello no sólo puede inspirar un debate sobre el uso del agua sostenible y equitativo, sino también sentar una buena base para el análisis local de sus impactos ambientales, sociales y económicos. (Hoekstra, y otros, 2010).

2.2.2 Análisis del ciclo de vida (ACV)

Mary Ann Curran define en 1996 que el análisis del ciclo de vida es una metodología que “evalúa los impactos ambientales asociales por cualquier actividad desarrollada, desde el punto inicial de origen de los insumos en la tierra (petróleo, sembríos, minerales, etc.) hasta el punto en que estos materiales regresan a la tierra”, incluyendo en ello el destino agua, aire y suelo (Curran, 1996). El enfoque se denomina "de la cuna a la tumba".

El ACV evalúa todas las etapas de la vida de un producto desde el punto de vista de que son interdependientes, lo que significa que una sola operación conduce a la siguiente. El ACV permite la estimación de los impactos ambientales acumulativos resultantes de todas las etapas del ciclo de vida del producto, a menudo incluyendo impactos no considerados en los análisis más tradicionales (por ejemplo, la extracción de materias primas, el transporte de materiales, la disposición final de productos, etc.) Con la inclusión de los impactos en todo el ciclo de vida del producto, el ACV ofrece una visión completa de los aspectos ambientales del producto o proceso y una visión más precisa de las verdaderas ventajas y desventajas ambientales de producto y proceso de selección. (Curran, 1996).

El ACV es una técnica que sirve para evaluar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados a un producto, proceso o servicio, a través de: i) Inventario de insumos de energía y materiales pertinentes y las emisiones ambientales, ii) Evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con las entradas y liberaciones identificadas, iii) Interpretación de los resultados para ayudar a quienes toman las decisiones a tomar una decisión más informada. (Curran, 1996).

2.2.3 Huella hídrica en empresas (UNEP, 2011)

El agua como un recurso natural se enfrenta a muchos retos en los ámbitos local, regional y global. El consumo humano de agua está teniendo cada vez más los impactos negativos sobre la salud humana, el crecimiento económico, el medio ambiente y la estabilidad geopolítica. En los últimos años, la preocupación por la escasez de agua cada vez mayor, la falta de acceso al agua para satisfacer las necesidades humanas básicas, la degradación de los ecosistemas, y las implicaciones del cambio climático en el ciclo hidrológico han llevado al recurso agua a la vanguardia, dentro de las estrategias de las empresas de todo el mundo.

Las habilidades de las empresas para medir y reportar sus usos de agua y sus descargas de aguas residuales a lo largo de la cadena de valor es un componente crítico en los esfuerzos de evaluación y mitigación de riesgos, así como en sus ambiciones más amplias para convertirse en administradores responsables del recurso agua. Que una empresa mida indicadores asociados a agua también permite a los consumidores, a los grupos de la sociedad civil y a los inversionistas que puedan comparar los impactos sociales y ambientales de diferentes empresas con el fin de informar sus acciones y toma de decisiones.

En suma, la capacidad para dar cuenta de manera efectiva del uso del agua en la empresa y sus impactos es esencial para ayudar a las compañías a fomentar la mejora continua y a estar alineados con las expectativas de los intereses externos de sus stakeholders, así como sus esfuerzos para avanzar en la gestión sostenible del agua.

Varios factores pueden llevar a una empresa a optar por una herramienta de gestión del recurso agua, incluyendo la búsqueda por reducción de costos, planeamiento estratégico, manejo de la marca, reputación corporativa, ética corporativa, filantropía o licencia social. Podemos resumir en cuatro sus aplicaciones para las empresas:

- Eficiencia Operacional, eco-eficiencia y sostenibilidad.
- Identificación y valoración de riesgos relacionados a recursos hídricos.
- Gestión responsable de los impactos sociales y ambientales relacionados al agua.
- Comunicación del desempeño y riesgos asociados al agua a los Stakeholders.

2.2.4 Teorías sobre la huella hídrica

Concebida en 2002 por Arjen Hoekstra, experto del Instituto UNESCO-IHE, la teoría de la huella hídrica plantea que consumidores, empresas e instituciones realicen un conteo exacto sobre la cantidad de agua utilizada en la fabricación y uso de productos manufacturados, teniendo en cuenta el consumo total de agua, las características del clima y la eficiencia al utilizar este recurso. Por ejemplo, una camiseta de algodón tiene una huella de 4 100 litros de agua consumida en su fabricación, una hamburguesa 2 400 litros y una taza de café 140 litros.

2.2.5 De la huella hídrica al agua virtual

Pero, además la huella hídrica se encuentra relacionada directamente al concepto de agua virtual. Una teoría desarrollada por John Anthony Allan, investigador del King's College de Londres, que pretende contabilizar el agua empleada en elaborar, empaquetar y transportar los productos de consumo y se desarrolla a partir de la suma de los productos consumidos y su equivalencia en agua virtual. Haciendo un cálculo per cápita aproximado, se puede afirmar que cada persona gasta de media entre 2 000 y 5 000 litros de agua virtual por día. Esto hace necesario que los ciudadanos tengan claro la "insostenibilidad" de una población que aspira a consumir más agua de la que existe.

Si el cálculo es por país dentro de un contexto de comercio global, la huella hídrica desvela el uso de agua por habitante, tanto nacional como importada, usada para producir bienes de consumo. Es decir, según esta medición, Estados Unidos es el país que mayor huella hidrológica tiene por habitante y año con unos 2 500 000 litros, seguido de los países del sur de la Unión Europea, entre los que se encuentra España.

Un reciente estudio realizado por la Universidad Politécnica de Madrid demuestra que en España el agua para beber oscila entre 2 y 5 litros diarios, para higiene y tareas domésticas entre 50 y 200 litros y, que, en comparación con el agua virtual usada, es una pequeña parte, pues esta asciende a los 2 740 litros consumidos diariamente, que son mucho mayores a los recursos hídricos con los que cuenta el país.

Pero, ¿De dónde viene el agua? El estudio advierte que la enorme huella hídrica española se debe a un balance negativo entre el agua exportada e importada, pues del millón de litros consumidos por habitante

al año, recibimos del exterior unos 350 000 litros por persona. Además, los españoles usan el 90 % del agua para alimentarse y sólo el 10 % para el resto de bienes y servicios.

2.2.6 Consejos y advertencias

John Anthony Allan no se queda sólo en la medición, también ofrece consejos y medidas prácticas para consumidores y Estados, como el denominado comercio de agua virtual. No se trata, como a primera vista se pudiera pensar, de enormes tuberías transportando agua física de un lugar a otro, sino del comercio internacional de productos agropecuarios para comida, como es el trigo o la carne a los que se destina una enorme cantidad de agua para su producción.

En este sentido, el comercio de agua virtual, aunque pueda beneficiar a algunos países, también puede perjudicar a otros: este recurso, en definitiva, es gastado en algún lugar del planeta y la ganancia de unos es la pobreza de otros. A modo de advertencia, se pide a los países que realicen ajustes para aplicar a los usuarios el verdadero precio del agua, así como la toma de medidas sobre la eficiencia en el consumo. Por ello, algunos expertos sugieren programas específicos de concienciación y hasta un etiquetado de los productos con la cantidad de agua virtual empleada, al igual que se está comenzando a realizar con la huella de carbono.

También propone cuatro factores principales que explicarían los altos valores de la huella del agua:

- El producto nacional bruto per cápita, que, cuanto más alto es, más agua se consume.
- La dieta alimentaria y el uso de productos industriales, como en Estados Unidos, donde el consumo de carne es tres veces superior a la media mundial.
- El clima, que en países con fuerte evaporación requieren más agua, lo que explica huellas ecológicas altas de países pobres como Malí, Chad o Sudán, y
- La baja eficiencia agrícola en el uso del agua, como la producción de arroz de Tailandia es de 2,5 t/ha, mientras que la media mundial es de 3,9 t/ha.

De este modo, Allan convierte a los consumidores en el eje impulsor de la cadena, ya que al aplicarse programas de concienciación el individuo reconocerá los productos con menos agua virtual para, luego, exigir leyes que apliquen sistemas más eficientes de gestión del agua o etiquetados en los productos con la cantidad de agua virtual empleada.

Una razón más para la aplicación de dichas medidas es que para el 2020, según la ONU, el agua escaseará para más de 250 millones de personas en todo el mundo y, de darse esta situación, los conflictos no serán por petróleo, sino por el agua.

2.3 DETERMINACIÓN DE AGUA CONSUMIDA

Para la determinación del balance de agua es necesario identificar los ingresos y salidas de agua, se debe considerar la siguiente ecuación:

Ecuación A:

$$\sum Entradas - \sum Salidas = \sum Agua consumida$$

2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Las definiciones se basan en las normas ISO 14 040/14 044/14 046 y son:

- **Agua dulce (fresca):** Agua con baja concentración de sólidos disueltos (típicamente con menos de 1 000 mg/l de sólidos disueltos).
- **Análisis del ciclo de vida:** Recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los potenciales impactos ambientales de un sistema productivo a lo largo de su ciclo de vida.
- **Análisis de inventario de huella hídrica:** Fase de la evaluación de huella hídrica que incorpora la recopilación y cuantificación de entradas y salidas relacionadas con el agua para productos, procesos u organizaciones.
- **Calidad del agua:** Características físicas, químicas y biológicas del agua con respecto a su idoneidad para un uso previsto por los seres humanos o los ecosistemas.

- **Categoría de impacto:** Clasificación que representa aspectos ambientales de interés para asignar los resultados del análisis del inventario de ciclo de vida.
- **Categoría de punto medio:** Variable intermedia que evalúa el riesgo asociado a las extracciones (entradas) y emisiones (salidas) relacionadas con una categoría de salida.
- **Categoría de punto final:** Atributo o aspecto del medio ambiente, la salud humana o los recursos, que identifica un problema ambiental de interés.
- **Ciclo de vida:** Etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema productivo, desde la adquisición de materias primas o la generación de los recursos naturales hasta la disposición final del producto.
- **Consumo de agua:** Extracción de agua dulce en donde no hay devolución a la cuenca de origen, debido a que el agua es evaporada, evapotranspirada, incorporada a un producto, trasvasada de cuenca o vertida al mar. Corresponde a la definición de huella azul de Water Footprint Network (WFN) para el consumo de agua dulce superficial o subterránea.
- **Degradación de agua:** Cambio negativo en la calidad del agua.
- **Disponibilidad de agua:** Grado en el cual los seres humanos y los ecosistemas tienen suficientes recursos hídricos para sus necesidades.

- **Evaluación de huella hídrica:** Recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los potenciales impactos ambientales relacionados con el agua utilizada o afectados por un producto, proceso u organización.
- **Evaluación integral de huella hídrica:** Evaluación de huella hídrica que considera todos los atributos ambientales relevantes o aspectos del ambiente natural, la salud humana y los recursos relacionados con el agua, incluyendo la disponibilidad y la degradación de la calidad del agua.
- **Evaluación de impactos de la huella hídrica:** Fase de la evaluación de la huella hídrica dirigida a la comprensión y evaluación de la magnitud y la importancia de los potenciales impactos ambientales relacionados con el agua para un producto, proceso u organización.
- **Extracción de agua:** Remoción antropogénica de cualquier cuerpo de agua, ya sea de manera temporal o permanente.
- **Factor de caracterización:** Factor derivado de un modelo de caracterización que se aplica para convertir un resultado asignado del análisis de inventario a la unidad común del indicador para la categoría de impacto evaluada.
- **Huella hídrica:** Métrica(s) que cuantifican los potenciales impactos ambientales relacionados con el recurso hídrico.
- **Indicador de categoría de impacto:** Representación cuantificable de una categoría de impacto.

- **Límites del sistema:** Conjunto de criterios que especifican qué unidades del proceso forman parte del sistema de producción o de las actividades de una organización.

- **Perfil de huella hídrica:** Compilación de resultados de los indicadores de categoría de impacto que abordan los posibles impactos ambientales relacionados con el agua.

- **Unidad funcional:** Desempeño cuantificado de un sistema productivo para ser usado como unidad de referencia.

- **Uso de agua:** Uso de agua por actividades humanas.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio es de tipo aplicado con un nivel descriptivo y su diseño corresponde al experimental.

3.2 MATERIALES Y/O INSTRUMENTOS

❖ Fuentes de información

Para realizar el presente trabajo se utilizaron las siguientes fuentes de información:

- ISO 14 040: Análisis de ciclo de vida.
- ISO 14 046: Huella hídrica – Principios, requisitos y Guía.
- Base de datos (Quantis Water Database), se basa en los sistemas de asignación definidos en Ecoinvent v2.2 (Frischknecht et al. 2005).
- Base de datos de Quantis.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

El estudio se desarrolló en las instalaciones de la planta de producción de cemento Atocongo, ubicada en el distrito de Villa María del Triunfo en el departamento de Lima. Incluye todas las áreas de producción, áreas administrativas, riego de áreas verdes y campamentos. La planta fue construida en 1970, es la planta más grande y moderna del Perú, cuenta

con una capacidad de producción de 4,5 millones de toneladas de molienda de cemento, 3,6 millones de toneladas de Clinker.

La función de la planta Atocongo es la producción de cemento embolsado y a granel para diferentes usos como para estructuras y acabados de edificaciones en general, estructuras industriales, conjuntos habitacionales, puentes y todas aquellas obras que se construyan sobre terrenos con contenido menor de 150 ppm de sulfato soluble en agua.

El estudio ha considerado los subprocesos de producción como un proceso integral de producción, para entender mejor que procesos se han incluido en el estudio, a continuación, se explican brevemente:

- **Extracción de la materia prima:** El proceso comienza con la explotación y extracción de piedra caliza, yeso y puzolana, las cuales se efectúan a cielo abierto en concesiones mineras propias ubicadas en Lima, Ica y Junín (Tarma).
- **Chancado primario:** Proceso en el que se transporta la caliza extraída a una chancadora primaria, logrando una reducción de hasta 18 cm.
- **Chancado secundario:** Proceso en el que se reduce el material a un tamaño menor a 8 cm.
- **Pre homogeneización:** En la planta Atocongo se prehomogeniza el material, disminuyendo la desviación estándar de la composición química de la caliza chancada.

- **Molienda y homogeneización:** A través de prensas de rodillos y molinos, obtenemos una sodificación de materiales y una reducción a un tamaño de partícula adecuada y balanceada químicamente denominado “crudo”. Luego este material es almacenado y homogeneizado para su posterior alimentación a los hornos.
- **Obtención del clínker:** (Insumo intermedio en la fabricación del cemento). El material crudo ingresa a los precalentadores, precalcinadores y posteriormente a los hornos rotatorios, alcanzando temperaturas del orden de 1 450 °C, donde sufre transformaciones físicas y químicas hasta obtener el clínker. En la planta Atocongo emplea gas natural como principal fuente energética, lo que permite reducir las emisiones de gas de efecto invernadero.
- **Enfriamiento – Almacenamiento del clínker:** Para una mejor estabilidad en la composición química y propiedades hidráulicas del cemento, el clínker obtenido es sometido a un proceso de enfriamiento brusco empleando aire del ambiente. Posteriormente, es transportado a una cancha de almacenamiento donde completa su enfriamiento
- **Molienda de cemento, transporte del clínker, yeso, puzolana y adicionales a tolvas de alimentación:** Los cuatro materiales se mezclan en los molinos de cemento en proporciones diferentes según el tipo de cemento a producir (tipos I, IP, IPM, GU y/o V). En este proceso se utiliza puzolana y otras adiciones para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Envase y despacho:** El cemento es transportado desde los silos de concreto para su almacenamiento en bolsas de 42,5 kg.

Además de los subprocesos, también se han considerado en el estudio las siguientes áreas:

- **Campamento:** UNACEM tienen 200 viviendas que son utilizadas por los trabajadores y sus familias, las viviendas disponen de los servicios de luz, agua y desagüe
- **Áreas verdes y vías:** El 100% del agua tratada en la PTAR es utilizada para el riego de áreas verdes y vías.
- **Áreas administrativas - Asociación UNACEM:** Tiene por objetivo ejecutar la política de responsabilidad social empresarial.

UNACEM no tiene descargas de agua pues trata el 100 % del agua extraída y las reutiliza para el riego de áreas verdes y el de vías en la planta de producción.

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Las dimensiones, indicadores y unidades de medida para cada variable, se indican en la Tabla 1.

3.4.1 Dimensión operacional de las variables.

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES
INVENTARIO: CONSUMOS DIRECTOS Consumo de agua para la producción de bienes y servicios.	Volumen de agua consumida en planta	Balance de masa de agua	m ³
INVENTARIO: CONSUMOS INDIRECTOS Contenida en los insumos de la cadena productiva (Energía, combustibles, materia prima y otros)	Volumen de agua consumida en la materia prima	Toneladas de materia prima consumida	m ³
	Volumen de agua consumida en la energía eléctrica	KWh de energía eléctrica consumida	m ³
	Volumen de agua consumida en el gas	Metros cúbicos estándar de gas	m ³
	Volumen de agua consumida en los combustibles	Toneladas de combustible	m ³
	Volumen de agua consumida en el carbón	Toneladas de Carbón	m ³
HUELLA HÍDRICA: Métricas que cuantifican los potenciales impactos ambientales relacionados con el recurso hídrico.	Huella Hídrica Azul, Verde y Gris	Volumen de agua según WFN	m ³
ÍNDICE DE IMPACTO HÍDRICO: Método que estima el impacto en la disponibilidad del recurso hídrico mediante el cálculo de un índice que tiene en cuenta: el consumo, la calidad, y la escasez del agua en un área geográfica específica	Impacto sobre el recurso hídrico	WIIX	m ³ /UF
IMPACTO EN LA SALUD HUMANA Los impactos potenciales en la Salud Humana son comúnmente expresados en Número de Años de Perdidos debido a Discapacidad o Muerte (DALY por sus siglas en inglés)	Impacto generado en la salud	Desnutrición causada por escasez de agua	DALY/UF
		Impactos potenciales a la salud por toxicidad de emisiones	DALY/UF

<p>IMPACTO EN ECOSISTEMAS el impacto potencial en la Calidad de los Ecosistemas se expresa en Fracción Potencial de Especie Desaparecidas (PDF por sus siglas en inglés) por metro cuadrado</p>	Impactos generados en el ecosistemas	Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas	PDF.m ² .año
		Reducción de disponibilidad de agua para ecosistemas acuáticos de ríos	PDF.m ² .año
		Ecosistemas acuáticos afectados por infraestructura hidroeléctrica	PDF.m ² .año
		Ecosistemas acuáticos afectados por termocontaminación	PDF.m ² .año
		Reducción de disponibilidad de agua subterránea para ecosistemas	PDF.m ² .año
		Ecosistemas acuáticos afectados por ecotoxicidad	PDF.m ² .año
		Ecosistemas acuáticos afectados por eutrofización	PDF.m ² .año
		Ecosistemas acuáticos afectados por acidificación	PDF.m ² .año

Fuente: Elaboración propia

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

La metodología aplicada se basa en el análisis del ciclo de vida y sigue los parámetros de la norma internacional ISO 14 046: Huella hídrica.

3.6 EJECUCIÓN DE LA TESIS

El desarrollo del presente trabajo utiliza como base para el estudio la norma ISO 14 046 de huella hídrica, como se mencionó en el Capítulo del

planteamiento del problema, el objetivo del estudio fue la aplicación de la metodología de evaluación en la industria del cemento.

En las siguientes secciones se describirán los procesos desarrollados para la evaluación de huella hídrica en la planta de cemento Atocongo.

3.6.1 Definición de objetivos y alcances

En esta sección se describen los aspectos que deben quedar definidos en los objetivos y alcance del estudio.

3.6.1.1 Objetivos del estudio

Para definir los objetivos del estudio es importante responder las siguientes interrogantes:

- **¿Cuáles son las razones para llevar a cabo el estudio?**

La desigualdad de la disposición de agua afecta a las corporaciones. Consciente de este problema, la empresa considera importante implementar un estudio de evaluación de huella hídrica para identificar los consumos directos e indirectos de agua en su planta de producción de cemento.

A pesar de que esta planta de producción de cemento utiliza procesos denominados “secos”, la empresa tiene como objetivo incorporar en el estudio áreas que no tienen relación directa con la producción, como por ejemplo el campamento y las áreas administrativas.

- **¿Cuál es la aplicación deseada de los resultados?**

A partir de los resultados se procederá a compartir la información para que se puedan: i) Implementar acciones que permitan reducir los impactos generados por los usos de agua. ii) Capacitar a los colaboradores sobre la importancia del agua y su cuidado.

- **¿Hacia quienes están dirigidos los resultados?**

Los resultados del estudio están dirigidos principalmente a los tomadores de decisión de la empresa para que se puedan ejecutar acciones de reducción y compensación de huella hídrica.

3.6.1.2 Unidad funcional

Se define como unidad funcional al total de toneladas de cemento producidas en un año de operación en la planta cementera. El Cemento es Pórtland Tipo I, un producto obtenido de la molienda conjunta de clínker y yeso. La presentación final es en empaque de papel, de 42,5 kg.

La producción total anual de cemento en la planta Atocongo fue de 3 731 102.00 toneladas.

3.6.1.3 Dimensión temporal y geográfica

El período temporal para el estudio es de 12 meses y comprende de enero a diciembre de 2013. La empresa está ubicada en el distrito de Villa María del Triunfo, Lima, Perú.

3.6.1.4 Límites del sistema

Se han considerado las áreas de producción de cemento, las áreas administrativas, áreas de campamentos y áreas verdes.

Como procesos, se incorporan todas las fases de producción de cemento.

El enfoque ACV usado fue “desde la cuna a la puerta”, que incluye las etapas de elaboración de las materias primas, insumos y energías (electricidad, combustibles y transporte) usados en la fabricación de los productos y la operación directa, hasta el producto terminado en la “puerta de la fábrica”. Se incluye el suministro de agua y el tratamiento de las descargas.

El estudio excluye las etapas de transporte de insumos importados y la infraestructura utilizada para la construcción de la planta de producción de cemento. De acuerdo a la literatura revisada en relación a la producción de cemento, hay que señalar que los impactos proceden principalmente de los procesos energéticos, en particular de la producción de electricidad y de la obtención del combustible primario (crudo de petróleo, carbón, etc.).

No se ha considerado la producción de residuos como parte del sistema estudiado. A continuación, se muestra en la Figura 2, la descripción sintetizada del sistema de producción analizado.

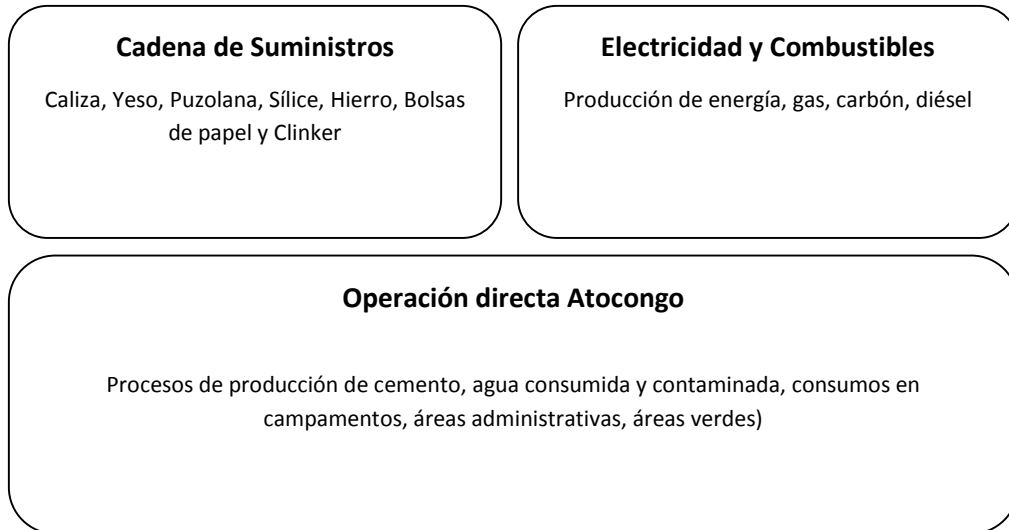


Figura 1. Descripción sintetizada del sistema de producción analizado para el análisis de huella hídrica

Fuente: Elaboración propia

3.6.1.5 Reglas de asignación

La empresa tiene como única actividad la producción de cemento, por ello no se han considerado reglas la asignación en los cálculos directos. Sin embargo, la información secundaria usada, que se utiliza de la base de datos (Quantis Water Database), se basa en los sistemas de asignación definidos en Ecoinvent v2.2 (Frischknecht et al. 2005).

3.6.1.6 Criterio de corte

Para el análisis de la cadena de suministros, se aplicó una regla de corte bajo el criterio de cantidad y valor (el producto de ambos), para discriminar aquellos insumos cuya representación no alcance el 2 % del total.

Para la aplicación de esta regla se consideró el 100 % de insumos consumibles adquiridos durante el período de estudio. Luego de aplicada la regla de corte se ha concluido que los principales insumos en la cadena de suministros son los siguientes: caliza, puzolana, yeso, sílice, mineral de hierro, bolsas de papel y clínker.

3.6.1.7 Datos del inventario

Se cuantificaron todas las entradas y salidas relevantes del sistema para el análisis de la huella hídrica.

Con el propósito de considerar en el análisis la variación estacional y/o mensual en la producción y por lo tanto en los requerimientos de agua, toda la información levantada de usos de agua, cadena de suministros, electricidad y combustibles fue obtenida en base al consumo mensual

durante el año de evaluación. Sin embargo, todos los resultados se presentan en el estudio como anuales.

La información recolectada son datos entregados por personal de la empresa vía planillas, fichas de recolección de información, e-mails, conversaciones telefónicas o entrevistas personales.

Datos primarios. En la información solicitada se consideraron ítems tales como, calidad y cantidad de entradas y salidas de agua, entradas de insumos en la cadena de suministros, electricidad y combustibles utilizados en el proceso productivo o de transporte de insumos y/o personal.

Datos secundarios. Las características de los insumos y sus procesos asociados son datos obtenidos de la literatura especializada, se utilizó como referencia la base de datos de Quantis, que está desarrollada a partir de la base de datos para análisis de ciclo de vida de ecoinvent v2.2 (Frischknecht et al. 2005).

3.6.1.8 Datos y supuestos

Se han realizado todos los esfuerzos posibles para que esta investigación esté basada en la información más creíble y representativa disponible. La construcción del inventario de Huella Hídrica utiliza como fuente de referencia la base de datos de Quantis, versión 2013, la cual a su vez utiliza como fundamento la base de datos de Ecoinvent para la validación de datos en el estudio.

3.6.1.9 Evaluación de impactos relacionados con el recurso hídrico

Se han considerado los siguientes indicadores para la evaluación:

- **Indicadores de impacto:** El estudio realizó una evaluación integral de la huella hídrica considerando todos los potenciales impactos ambientales relacionados al uso del agua.

Como indicador de punto medio se consideró el índice de impacto hídrico (WIIX) desarrollado por Veolia (2011) y como categorías de punto final (categorías de daño donde se produce el efecto ambiental) se evaluaron los impactos potenciales en la salud humana y la calidad de los ecosistemas.

- **Salud humana:** Desnutrición causada por consumo de agua (Pfister et al. 2009) y Enfermedades causadas por toxicidad del agua (USEtox; Rosenbaum et al. 2008).
- **Calidad de los ecosistemas:** Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas (Pfister et al. 2009), Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas acuáticos de río (Hanafiah et al. 2011), Ecosistemas acuáticos afectados por infraestructura hidroeléctrica (Maendly y Humbert, 2012), Ecosistemas acuáticos afectados por termocontaminación (Verones et al. 2010), Reducción de disponibilidad de agua subterránea para los ecosistemas (Van Zelm et al. 2011), Ecosistemas acuáticos afectados por ecotoxicidad (USEtox; Rosenbaum et al. 2008), Ecosistemas acuáticos afectados por eutrofización (Goedkoop et al. 2009) y Ecosistemas acuáticos afectados por acidificación (Jolliet et al. 2003).

3.6.1.10 Análisis de calidad de datos

En general, la calidad de los datos es buena. La precisión en los insumos indirectos obedece a que existen sistemas de medición calibrados. Algunos datos tienen precisión media debido a que se han calculado a partir de balances de masa (como el agua extraída de pozo para uso doméstico e industrial). Es recomendable instalar caudalímetros para tener resultados más precisos. La representatividad es baja en los suministros porque la mayoría de estudios de referencia en la base de datos provienen de Europa.

En el caso de la empresa, toda la información fue entregada directamente por el área de operaciones y luego validada por la gerencia respectiva.

3.6.2 Análisis del inventario

En esta sección se identifican los usos directos (balance hídrico) e indirectos de agua (cadena de suministros, energía y transporte).

La calidad de los resultados del análisis de huella hídrica está directamente relacionada con la calidad del inventario utilizado.

3.6.2.1 Levantamiento de información

En el presente estudio, se cuantificaron todas las entradas y salidas relevantes del sistema para el análisis de la huella hídrica. Con el propósito de considerar la variación estacional y/o mensual en la producción, y por lo tanto en los requerimientos de agua, toda la información levantada de usos de agua, cadena de suministros y energía fue obtenida en base mensual.

Toda la información recolectada son datos primarios entregados por personal de UNACEM vía fichas de recolección de información, e-mails, conversaciones telefónicas o en persona. En la información solicitada se consideraron ítems tales como, entradas y salidas de agua (cantidad/calidad, fuente de extracción y receptor de descarga), entradas de insumos en la cadena de suministros, energías y combustibles utilizados en el proceso productivo o de transporte de insumos y/o personal. Toda la información se recolectó de acuerdo a:

- **Insumos:** Tipo y cantidad de insumo consumido en la planta de producción.
- **Energía eléctrica:** kWh de energía consumida en el proceso de producción, área de campamentos, áreas administrativas.
- **Combustibles:** Consumo de gas (MJ), petróleo (kg) y carbón (MJ).
- **Balance hídrico:** m³ de agua que ingresa y que sale de la planta Atocongo, se diferencia la fuente de extracción en las entradas, los usos de agua para procesos industriales y usos domésticos.
- **Contaminantes:** Concentración (mg/l) de contaminantes en las entradas de agua y emitidos en los efluentes.
- **Producción:** Toneladas totales de cemento producido durante el año de análisis de huella hídrica.

3.6.2.2 Balance directo por áreas

Para identificar y caracterizar cuantitativa y cualitativamente todas las entradas y salidas del sistema se han clasificado las áreas de estudio de acuerdo al tipo de actividades que se desarrollan. Por ejemplo, para el uso directo de agua se ha caracterizado fisicoquímicamente la calidad y

cantidad de las descargas de agua. Para el caso de la cantidad de agua evaporada, se han cuantificado por balances de masa. A continuación, se presenta un gráfico que representa el proceso y tipo de información solicitada para el cálculo de huella hídrica.

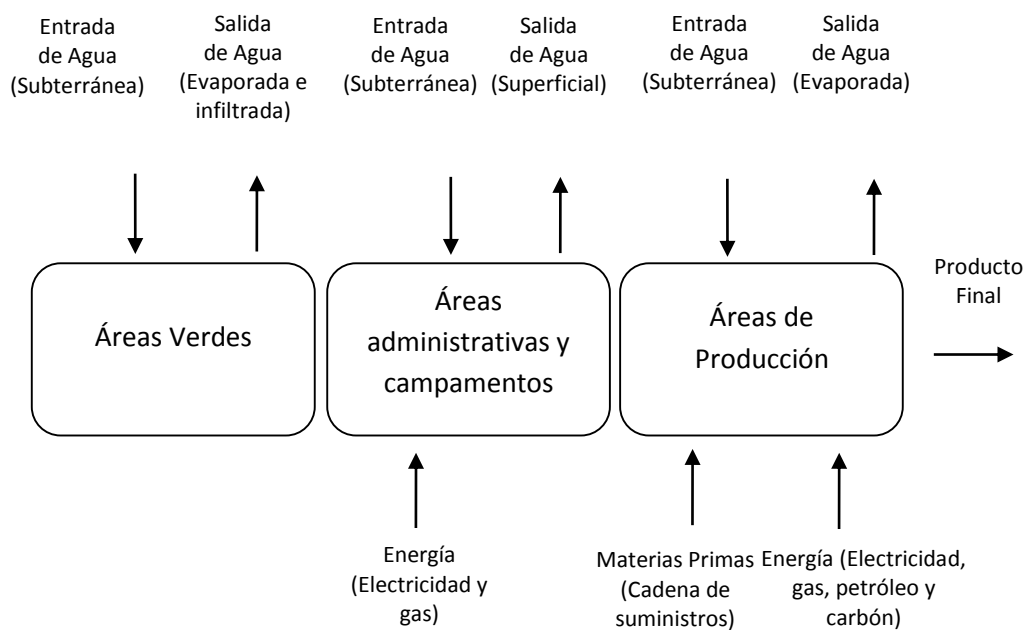


Figura 2. Balance directo por áreas.

Fuente: Elaboración propia

El proceso de producción se ha considerado como un proceso integral, por lo que no se han detallado entradas y salidas a nivel de subprocesos. A continuación, se puede apreciar en detalle las áreas que han sido incluidas en la evaluación.

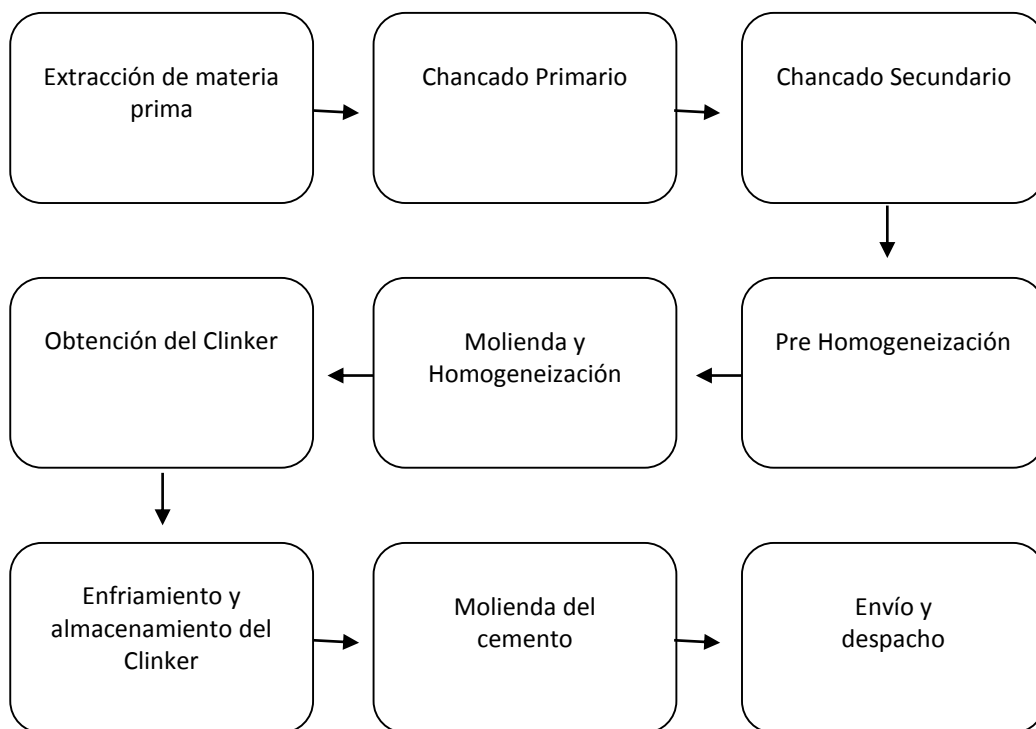


Figura 3. *Proceso integral de producción.*

Fuente: Elaboración propia

a. Entradas

- **Agua Superficial:** Se refiere a las extracciones de agua de fuentes superficiales (ríos, lagos, etc.).
- **Agua subterránea:** Se refiere a las extracciones de agua de fuentes subterráneas (acuíferos).

- **Precipitaciones:** Se refiere principalmente a la captación de aguas lluvia para usar en el proceso, aunque además incorpora la nieve, granizo, humedad del ambiente, etc.
- **Humedad del suelo:** Se refiere al agua que viene incorporada como humedad en el suelo o tierra que ingresa al proceso.
- **Agua salada:** Se refiere a la extracción de aguas con alto contenido de sal (agua de mar, aguas salobres, etc.).
- **Agua contenida en insumos del proceso:** Se refiere al agua que entra a un proceso debido a que se encuentra embebida en los insumos que se utilizan en el proceso.
- **Agua potable:** Se refiere a la entrada de agua potable al proceso. Es agua que ha sido captada desde el ambiente, potabilizada y transportada (entubada) hacia el proceso.

b. Salidas

- **Agua superficial:** Se refiere a la descarga de agua hacia un cuerpo de agua superficial (ríos, lagos, etc.)
 Agua subterránea: se refiere a la descarga de agua hacia un cuerpo de agua subterráneo (infiltración de agua).
- **Agua evaporada/evapotranspirada:** Se refiere a la salida de agua en forma de vapor de agua.

- **Humedad del suelo:** Se refiere al agua que retorna al ambiente como humedad en el suelo o tierra que abandona el proceso.
- **Agua salada:** Se refiere a la descarga de agua hacia un cuerpo de agua salada.
- **Agua contenida en productos del proceso:** Se refiere al agua que sale del proceso embebida en los productos del proceso.
- **Agua residual a tratar:** Se refiere al agua que es descargada al alcantarillado para ser tratada antes de ser vertida al ambiente.

El agua evaporada, evapotranspirada y contenida en los productos del proceso, es agua consumida. Tal como se explicó anteriormente, el agua consumida se refiere al agua dulce extraída, que luego del proceso no vuelve a la cuenca desde donde se extrajo. El consumo se puede dar porque el agua es evaporada, evapotranspirada, incorporada en los productos del proceso o descargada a otra cuenca o al mar. El agua consumida equivale a la huella azul de la metodología de huella hídrica acorde a Water Footprint Network (WFN; Hoekstra et al. 2011). Es importante destacar que se refiere al consumo de agua dulce, ya que el análisis es sobre los recursos que son limitados.

Asimismo, pueden existir consumos de agua salobre, que pueden ser recursos limitados en algunos lugares, y por lo tanto importantes para la biosfera en ciertos ecosistemas, por lo que sería importante tener contabilizado el consumo de estas aguas en una nueva categoría, como por ejemplo consumo de agua salobre. El consumo de agua de mar, que

no está categorizado como recurso limitado, se debería de todas maneras tener en cuenta como otra categoría de agua de mar consumida.

Para realizar un correcto inventario de usos de agua, además de saber la fuente del agua o el cuerpo receptor de las descargas, es necesario conocer el uso que se le va a dar. Algunos de los principales usos de agua por actividades antropogénicas son:

- **Agua para irrigación:** Se refiere al agua extraída para ser usada en irrigación de cultivos o áreas verdes.
- **Agua para operaciones de transferencia de calor:** Se refiere al agua extraída para ser usada en termorregulación de procesos¹⁵ o para enfriamiento de equipos.

Agua para uso en procesos: se refiere al agua extraída para ser utilizada en procesos productivos (por ejemplo, como materia prima, para dilución, como medio para reacciones químicas, como medio de conducción, para operaciones de lavado, entre otros).

- **Agua para uso en turbinas:** Se refiere al agua turbinada para generar energía eléctrica.
- **Agua para usos sanitarios:** Se refiere al agua extraída.

Al realizar el balance hídrico es importante tener en consideración, además del caudal de agua que ingresa y sale del proceso, la calidad de este influente y efluente. Con esta información se puede analizar el efecto del proceso sobre la degradación de la calidad del agua y determinar la

emisión neta de contaminante (sustracción entre la masa de contaminante que sale y entra del proceso). Este aspecto es muy importante, ya que la huella hídrica no evalúa solamente los impactos causados por el consumo de agua, sino que también los impactos generados al emitir contaminantes al ambiente.

3.6.2.3 Organización de la información

El estudio contempla la recopilación de información en planillas de inventario de usos de agua. En éstas se ordenó la información del componente agua, clasificándola en aguas de entrada y salida, e identificando para cada una de ellas su fuente de extracción, cuerpo receptor de descarga y uso dado.

En las planillas de inventarios de usos de agua son incorporados los usos indirectos de agua a través del consumo de insumos, energías y otros que se requieran o utilicen en el proceso. Dado que en la práctica revestiría mucha dificultad analizar directamente todos los usos de agua que se requirieron para producir la cadena de suministros, energías, etc., para cuantificar estos usos indirectos de agua, se recurre a fuentes de información secundaria, como estudios o bases de datos sobre usos de agua.

Una de las más completas en usos de agua a nivel internacional es la base de datos desarrollada por la consultora internacional de origen suizo Quantis (Quantis Water Database), la cual se construyó a partir de la base de datos para análisis de ciclo de vida deecoinvent v2.2 (Frischknecht et al. 2005), que presenta información de datos de inventario de ciclo de vida para más de 4 000 procesos, productos y servicios.

Otras fuentes de información por ejemplo son la base de datos de huella hídrica de Water Footprint Network (WaterStat16) y la de Stephan Pfister y colaboradores, que también presenta información sobre usos de agua para productos agrícolas y generación de energía.

Paso 1. Determinación de agua consumida por usos directos.

Para el caso de estudio se ha procesado la información y se calculado el consumo directo de agua:

Ecuación B:

$$\sum Entradas - \sum Salidas = \sum Agua consumida$$

Considerando la ecuación B. Se construye el siguiente cuadro:

Tabla 1.

Consumo total de agua por uso directo

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (m ³ /año)
Entradas de agua	
Agua subterránea extraída de pozo	382 643,00
Agua subterránea en camión cisterna	115 839,00
Salidas de agua	
Agua infiltrada por riego de áreas verdes	78 206,00
Agua tratada infiltrada por riego de áreas verdes	111 740,00
Agua consumida total por uso directo (agua evaporada y evapotranspirada)	307 408,00

Fuente: Elaboración propia

Toda la información de entradas y salidas es información primaria de la empresa.

Interpretación:

De la tabla se puede determinar que el consumo directo total de agua durante un año de producción de cemento es 307 408,00 m³ de agua.

El siguiente gráfico muestra el resultado del balance hídrico en UNACEM:

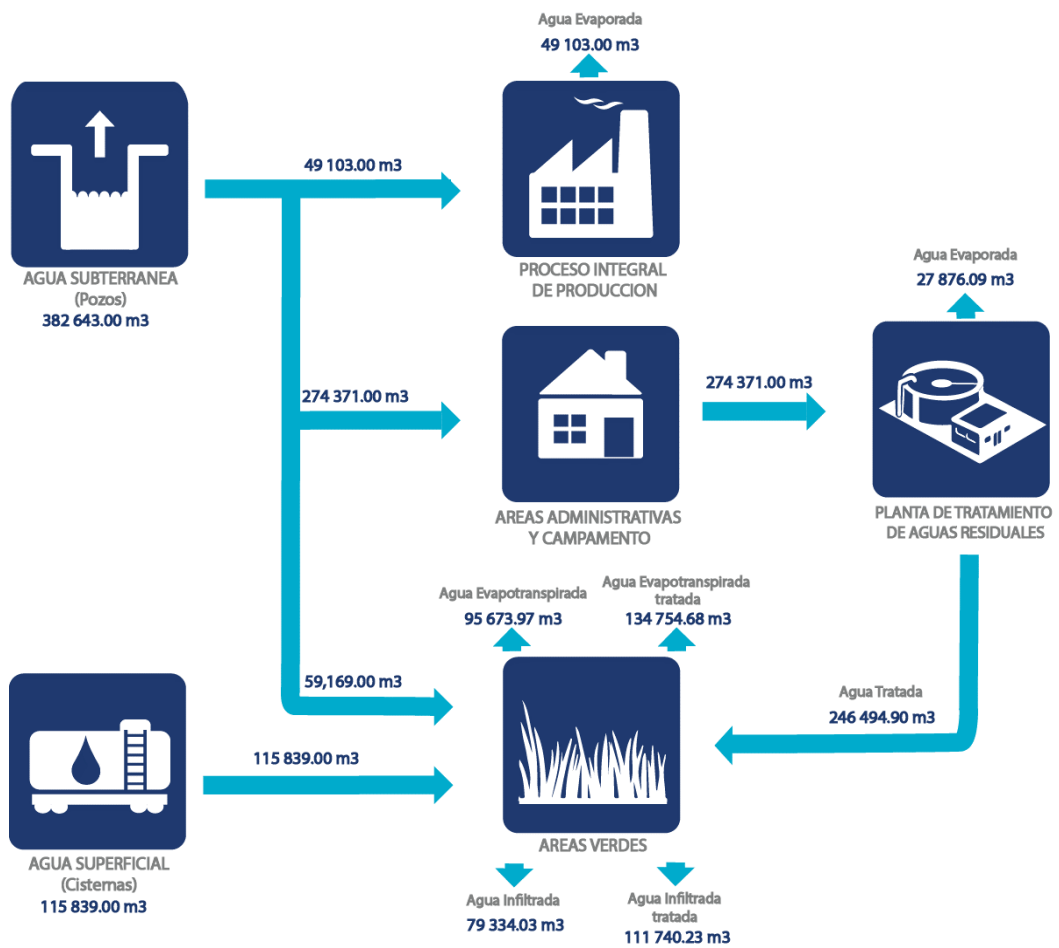


Figura 4. Balance hídrico de producción de cemento

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describen brevemente las entradas y salidas del balance hídrico:

❖ Entradas

- **Agua subterránea.** Se extrae agua subterránea para uso doméstico, industrial e irrigación (382 643,00 m³). Además, el agua es transportada en camiones cisterna para el riego de áreas verdes (115 839,00 m³).

No se han identificado usos de agua por precipitación, humedad de suelo, agua salada, agua contenida en el producto y agua potable porque la empresa sólo utiliza agua de pozo para la producción y el uso doméstico.

❖ Salidas

- **Agua subterránea.** Se considera al agua infiltrada por irrigación. El índice para irrigación en Perú determina que el 45 % de agua utilizada se infiltra, es decir 79 334,02 m³ son devueltos al medio ambiente (Regionalización, Seibert, 1999), ocurre lo mismo con el 45 % de agua tratada y utilizada para irrigación (111 740,22 m³).
- **Agua evaporada/evapotranspirada.** Se considera al agua evapotranspirada. El índice para irrigación en Perú determina que el 55 % del agua se evapora, es decir, consume (230 428,66 m³). Además, se contabiliza el agua evaporada en procesos industriales y de tratamiento de aguas residuales (76 979,10 m³), incluyendo el 10,16 %

del volumen de agua evaporada en la PTAR. Se asume una tasa de evaporación de 101,60 mm.

- **Agua residual a tratar.** Se ha contabilizado el agua que ingresa a la planta de tratamiento de agua residual doméstica (274 371,00 m³). El agua tratada es utilizada para el riego de áreas verdes.

Paso 2. Determinación de agua consumida por usos indirectos

Para determinar el agua consumida por el uso de insumos en la cadena de suministros, electricidad y combustibles se debe reunir la siguiente información.

- Proceso de la base de datos asociado al insumo utilizado.
- Agua consumida del proceso seleccionado.

La Tabla 2 muestra en la primera columna los insumos de la cadena de suministros, electricidad y combustibles. La segunda columna tiene los procesos seleccionados de la base de datos asociado al proceso.

Tabla 2.*Resumen de insumos en la cadena de suministros.*

Cadena de Suministros	
Insumo	Proceso de base de datos (Quantis database)
Caliza (Atocongo, Lima)	limestone, at mine/CH U
Caliza (Atocongo Norte, Lima)	limestone, at mine/CH U
Caliza (Pucará, Lima)	limestone, at mine/CH U
Caliza (Pucará, Lima)	limestone, at mine/CH U
Caliza (Chilca, Lima)	limestone, at mine/CH U
Puzolana (Atocongo, Lima)	basalt, at mine/RER U
Yeso (Las Dunas, Ica)	gypsum, mineral, at mine/CH U
Yeso (Las Hienas, Asia, Lima)	gypsum, mineral, at mine/CH U
Yeso (Virgen de Fátima, Canta, Lima)	gypsum, mineral, at mine/CH U
Yeso (México)	gypsum, mineral, at mine/CH U
Sílice (Huancayo)	silica sand, at plant/DE U
Mineral de Hierro (Marcona, Ica)	iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO U
Bolsas de Papel (Los Olivos, Lima)	kraft paper, unbleached, at plant/RER U
Clinker (USA)	clinker, at plant/CH U

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.

Resumen de insumos en la electricidad y combustibles.

Electricidad y combustibles	
Insumo	Proceso de base de datos (Quantis database)
Electricidad	electricity, medium voltage, production PE, at grid/PE
Gas para hornos	natural gas, high pressure, at consumer/RER U
Diésel	diesel, low-sulphur, at regional storage/RER U
Carbón nacional	hard coal, burned in industrial furnace 1-10MW/RER U
Carbón importado	hard coal, burned in industrial furnace 1-10MW/RER U

Fuente: Elaboración propia

La base de datos escogida¹ muestra información del componente agua, diferenciando entre aguas de entrada y salida e identificando para cada una de ellas su fuente de extracción, cuerpo receptor de descarga y uso dado.

Es necesario que las unidades de la base de datos coincidan. Por ejemplo, para la caliza, la tabla indica que la unidad del proceso seleccionado utiliza como referencia 1 kg de caliza, entonces se debe convertir el dato proporcionado por la empresa, de toneladas a kilogramos.

La materia prima total utilizada durante el 2013 fue de 5 244 694 091,48 kilogramos, es importante identificar este consumo porque si lo comparamos con la cantidad de cemento producido (3 731 102 000,00 kilogramos) es mayor, esto se debe principalmente porque la materia prima

¹ Se eligió la base de datos de Quantis

contiene impurezas que luego son eliminadas para mantener la calidad del cemento.

La Tabla 4 muestra la recopilación de información para determinar el agua consumida por uso indirecto:

Tabla 4.

Inventario de cadena de suministros.

Insumos	Unidad	Cantidad	Agua consumida según base de datos	Agua consumida en la cadena de suministros
Caliza (Atocongo, Lima)	Kg	2 507 677,00	2,50E-05	6,28E+04
Caliza (Atocongo Norte, Lima)	Kg	400 836,00	2,50E-05	1,00E+04
Caliza (Pucará Normal, Lima)	Kg	932 531,00	2,50E-05	2,34E+04
Caliza (Pucará BA, Lima)	Kg	93 612,00	2,50E-05	2,34E+03
Caliza (Chilca, Lima)	Kg	135 863,00	2,50E-05	3,40E+03
Puzolana (Atocongo, Lima)	Kg	31 893,00	2,37E-05	7,57E+02
Yeso (Las Dunas, Ica)	Kg	71 954,00	7,39E-06	5,32E+02
Yeso (Las Hienas, Asia, Lima)	Kg	2 849,00	7,39E-06	2,11E+01
Yeso (Virgen de Fátima, Canta, Lima)	Kg	1 746,00	7,39E-06	1,29E+01
Yeso (México)	Kg	105 563,00	7,39E-06	7,80E+02
Sílice (Huancayo)	Kg	57 219,00	2,68E-04	1,53E+04
Mineral de Hierro (Marcona, Ica)	Kg	3 388,00	3,71E-04	1,26E+03
Bolsas de Papel (Los Olivos, Lima)	Kg	10 454,09	4,98E-02	5,20E+05
Bolsas de Papel (Brasil)	Kg	0,00	4,98E-02	0,00E+00
Bolsas de Papel (Colombia)	Kg	0,00	4,98E-02	0,00E+00
Bolsas de Papel (Turquía)	Kg	0,00	4,98E-02	0,00E+00
Clinker (USA)	Kg	889 109,00	1,65E-03	1,47E+06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.

Inventario de energía y transporte.

Energía y combustibles	Unidad	Cantidad	Agua consumida según base de datos	Agua consumida en la cadena de suministros
Electricidad	Kwh	300 654 064,90	1,63E-02	6,28E+04
Consumo de gas (horno)	m ³	153 527 264,00	1,05E-05	1,00E+04
Consumo de petróleo	Ton	3 206,28	1,24E-04	2,34E+04
Consumo de Combustible para Transporte de suministros	Ton	6 455,48	3,24E-03	2,34E+03
Carbón (nacional)	Ton	55 884,00	3,80E-05	3,40E+03
Carbón (importado)	Ton	55 884,00	3,80E-05	7,57E+02

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la tabla obtenemos 7,21E+06 m³ de agua consumida por uso de cadena de suministros, electricidad y combustibles.

Finalmente, para obtener el agua consumida total se suma el agua consumida por uso directo (3,07E+05 m³) y el agua consumida por uso indirecto en cadena de suministros, electricidad y combustibles (5,09+06 m³). El detalle de la operación se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación C

$$\text{Agua consumida} = \text{Consumo directo} + \text{Consumo indirecto}$$

$$\text{Agua consumida} = (3,07E + 05) + (5,09E + 06)$$

$$\text{Agua consumida} = 7,51E + 06$$

3.6.3 Evaluación de impactos

Acorde a la norma ISO 14 046, la huella hídrica evalúa la alteración de cuerpos de agua al extraer y/o descargar agua en volumen o calidad alterada. Una vez organizada la información en las planillas de inventario de usos de agua, se procede a calcular los indicadores de impacto asociados a los usos consuntivos y degradativos del agua (agua descargada al entorno en un volumen y/o calidad menor a la cual fue tomada). Se calcularon dos tipos de indicadores, denominados de punto medio y punto final.

Se consideró como indicador de punto medio, el índice de impacto hídrico (Water Impact Index, WIIX), y como categorías de punto final se evaluaron los impactos potenciales en la salud humana y la calidad de los ecosistemas. La evaluación de impactos es el nexo entre el análisis de inventario de entradas y salidas del sistema y el potencial efecto que producen en el ambiente. Para realizar una evaluación integral de huella hídrica, se deben considerar todos los potenciales impactos ambientales relacionados con el uso del agua (perfil de huella hídrica).

A continuación, se explican estos indicadores.

3.6.3.1 Indicador de disponibilidad de agua: Índice de Impacto Hídrico (WIIX)

Desarrollado por Veolia (Veolia, 2011), este indicador evalúa el impacto en el uso de agua, agrupando en un solo parámetro tres factores clave: consumo de agua, calidad del agua (extraída y descargada) y grado de escasez de agua en la zona donde es usada, tal como ejemplifica la Figura 6.

El WIIX se calcula para cada una de las aguas extraídas (WIIX extracción) y para cada una de las aguas descargadas al ambiente por la empresa (WIIX descarga) (Bayart et al. 2014). Se obtiene un valor neto del índice haciendo una sustracción de ambas cantidades. Las ecuaciones para el cálculo son las siguientes:

Ecuación D:

$$WIIX_{extracción} = +(E + Q_E * WSI_E)$$

$$WIIX_{descarga} = -(S * Q_S * WSI_S)$$

Donde E y S son los volúmenes de agua extraída y descargada, respectivamente, Q_E y Q_S son factores de calidad del agua extraída y descargada y WSI_E y WSI_S son los índices de estrés hídrico (Water Stress Index) de la zona de extracción y descarga del agua.

El componente de calidad se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación E:

$$Q_{E,S} = \min\left(1; \frac{C_{REF}}{C_{E,S}}\right)$$

Este factor toma en cuenta la calidad de las aguas extraídas y descargadas ($C_{E, s}$) y una concentración de referencia (C_{REF}). La ecuación muestra que el valor del factor de calidad del agua es el mínimo entre 1 y el cociente de la concentración de referencia respecto de la concentración del afluente o efluente, respectivamente. Se evalúan todos los contaminantes y el factor de calidad del agua toma el valor del más crítico o, en otras palabras, el que presente el menor valor entre todos los evaluados. Si la concentración de los contaminantes en las aguas extraídas o descargadas no excede la concentración de referencia, el índice de calidad tomará un valor igual a 1, lo que indica que es agua de buena calidad.

El WSI evalúa el nivel de escasez hídrica de una zona determinada. Este modelo se construye tomando en cuenta las extracciones y la disponibilidad de agua para una determinada cuenca (Pfister et al. 2009).

Su valor va desde 0,01, para lugares no estresados, hasta 1, para lugares muy estresados. Los valores del WSI están disponibles en internet a través de una capa de Google Earth.

El WIIX es un balance hídrico, en donde los caudales de entrada y salida están ponderados por factores de calidad y estrés hídrico, lo que entrega un resultado de consumo equivalente de agua (ej. m^3 eq. WIIX), debido a la caracterización de calidad y estrés que tiene asociado el indicador (Bayart et al. 2014). Para los usos de aguas directos, el WIIX se calcula usando las ecuaciones 1 y 2.

En el caso de los usos indirectos de agua a través del consumo de materias primas, insumos de procesos, electricidad, combustibles, etc., el

WIIX se calcula usando los valores suministrados por la base de datos que se haya seleccionado (ej. Quantis Water Database), multiplicados por los respectivos flujos de referencia (importante siempre analizar que las unidades sean consistentes).

También se pueden hacer estimaciones utilizando bases de datos de fuentes secundarias (estudio) sobre usos de agua para ciertos procesos. En ese caso, se deben aplicar las ecuaciones comentadas y luego multiplicar por los respectivos flujos de referencia.

Para determinar el WIIX por uso directo de agua, se requiere la siguiente información:

- Cantidad de agua extraída.
- Cantidad de agua de descarga.
- Calidad de agua extraída (asumida por este ejemplo práctico).
- Calidad de agua de descarga (asumida por este ejemplo práctico).
- Índice de estrés hídrico de la localización (WSI) (Pfister, 2009).

Calidad de agua. Estos parámetros son obtenidos de la empresa, como información primaria. Para este ejemplo, se ha considerado que la calidad de agua subterránea extraída es óptima y que cumple los parámetros de referencia (Veolia), por lo tanto, su factor de calidad es 1. Para el caso del agua de descarga, este ejemplo considera que el principal parámetro de análisis es el fósforo (P) y que su concentración es de 0.1 mg P/L. Entonces su factor de calidad se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación F:

$$Q_{E,S} = \min\left(1; \frac{C_{REF}}{C_{E,S}}\right)$$

$$Q_{E,S} = \min\left(1; \frac{0,05}{0,1}\right)$$

El WIIX se calcula como el diferencial del producto de la cantidad de agua de entrada por el factor de calidad y por el WSI y el producto del agua de descarga por su respectivo factor de calidad y WSI.

A continuación, se muestra un ejemplo para el cálculo del índice de impacto hídrico para el uso directo:

Ecuación G:

$$WIIX_{agua\ doméstica\ de\ pozo} = Agua\ utilizada * WSI_{localización} * WSI_{del\ proceso\ de\ BD}$$

$$WIIX_{agua\ doméstica\ de\ pozo} = 2,74E + 08 * 1 * 1$$

$$WIIX_{agua\ doméstica\ de\ pozo} = 2,74E + 05m^3$$

La siguiente tabla muestra la información necesaria para realizar el cálculo:

Tabla 6.*Cálculo de WIIX por uso directo.*

Descripción	Agua utilizada (litros)	Agua descargada (litros)	Factor calidad extraída	Factor calidad descarga	WSI ubicación (Pfister, 2009)	WIIX Base de datos	WIIX uso directo (m ³)
Extraída							
Agua doméstica de pozo	2,74E+08	0,00E+00	1	1	1	1,00E-03	3,33E+05
Agua industrial de pozo	4,91E+07	0,00E+00	1	1	1	1,00E-03	5,97E+04
Agua de cisterna para riego	1,16E+08	5,25E+07	1	1	1	5,47E-04	7,69E+04
Agua de pozo para riego	5,92E+07	2,68E+07	1	1	1	5,47E-04	3,93E+04
Descarga							
Planta de tratamiento de agua residual para riego	2,6E+08	1,12E+08	1	0.5	1	-2,23E-04	-1,36E+05

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.2 Determinación de índice hídrico por uso indirecto

Para calcular el índice de impacto hídrico indirecto por cadena de suministros es necesaria la siguiente información.

- Cantidad del insumo (incluida en el inventario).
- WIIX del proceso seleccionado de la base de datos (Veolia, 2011).
- Índice de estrés hídrico de la ubicación de la fabricación del insumo (Pfister et al, 2009).
- Índice de estrés hídrico promedio global (Pfister et al, 2009).

Tabla 7.

WIIX de proceso seleccionado de la base de datos por cadena de suministros

Insumos	Proceso seleccionado de base de datos (Ecoinvent)	WIIX (m ³ -eq. WIIX/UF) (Veolia)
Caliza (Atocongo, Lima)	limestone, at mine/CH U	1,82E-05
Caliza (Atocongo Norte, Lima)	limestone, at mine/CH U	1,82E-05
Caliza (Pucará Normal, Lima)	limestone, at mine/CH U	1,82E-05
Caliza (Pucará BA, Lima)	limestone, at mine/CH U	1,82E-05
Caliza (Chilca, Lima)	limestone, at mine/CH U	1,82E-05
Puzolana (Atocongo, Lima)	basalt, at mine/RER U	1,46E-05
Yeso (Las Dunas, Ica)	gypsum, mineral, at mine/CH U	4,13E-06
Yeso (Las Hienas, Asia, Lima)	gypsum, mineral, at mine/CH U	4,13E-06
Yeso (Virgen de Fátima, Canta, Lima)	gypsum, mineral, at mine/CH U	4,13E-06
Yeso (México)	gypsum, mineral, at mine/CH U	4,13E-06
Sílice (Huancayo)	silica sand, at plant/DE U	1,66E-04
Mineral de Hierro (Marcona, Ica)	iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO U	1,12E-03
Bolsas de Papel (Los Olivos, Lima)	kraft paper, unbleached, at plant/RER U	4,97E-02
Bolsas de Papel (Brasil)	kraft paper, unbleached, at plant/RER U	4,97E-02
Bolsas de Papel (Colombia)	kraft paper, unbleached, at plant/RER U	4,97E-02
Bolsas de Papel (Turquía)	kraft paper, unbleached, at plant/RER U	4,97E-02
Clinker (USA)	clinker, at plant/CH U	1,04E-03

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.

WIIX de proceso seleccionado de la base de datos por electricidad y transporte

Insumos	Proceso seleccionado de base de datos (Ecoinvent)	WIIX (m ³ -eq. WIIX/UF) (Veolia)
Electricidad nacional	electricity, medium voltage, production PE, at grid/PE	1,16E-02
Electricidad propia	electricity, medium voltage, production UNACEM, at grid/PE	4,59E-05
Consumo de gas (horno)	natural gas, high pressure, at consumer/RER U	4,78E-06
Consumo de petróleo	crude oil, at production/NG U	8,84E-05
Consumo de Combustible para Transporte de suministros	diesel, low-sulphur, at regional storage/RER U	3,17E-03
Carbón (nacional)	hard coal, burned in industrial furnace 1-10MW/RER U	5,05E-05
Carbón (importado)	hard coal, burned in industrial furnace 1-10MW/RER U	5,05E-05

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el cálculo para el WIIX de caliza.

Ecuación H:

$$WIIX_{caliza} = \frac{Cant. normalizada de flujo * WIIX proc. seleccionado * WSI localización}{(WSI global)}$$

$$WIIX_{caliza} = \frac{2,51E + 09 * 1,82E - 05 + 1}{5,89E - 01}$$

$$WIIX_{caliza} = 7,77E + 04$$

3.6.3.3 Indicadores de impacto en Salud Humana y Calidad de Ecosistemas

Las categorías de impacto de punto final (categorías de daño, donde se produce el efecto ambiental), se evalúan a nivel de potenciales impactos en salud humana y calidad de los ecosistemas, ambos generados por una reducción en la disponibilidad y/o calidad del agua (perturbaciones físicas y/o químicas) en un entorno definido.

Los impactos en la salud humana son expresados en DALY (disability adjusted life years) y representan el número de años perdidos debido a enfermedad o a muerte prematura. Caracteriza la severidad de la enfermedad y tiene en cuenta la mortalidad y la morbilidad. Por ejemplo, un producto que tiene DALY/kg significa la potencial pérdida de tres años de vida saludable (distribuidos en la población de influencia) por cada kg de producto.

Los impactos hacia la calidad de los ecosistemas son expresados en PDF·m²·y (potentially disappeared fraction of species per m² per year) y representan la fracción de especies desaparecidas en un metro cuadrado de superficie durante un año. Por ejemplo, un producto que tiene 0,2 PDF·m²·y/kg, significa la potencial pérdida del 20 % de especies en un metro cuadrado durante un año por cada kg de producto o, en otras palabras, 0,2 metros cuadrados con una desaparición del 100 % de especies durante un año (Humbert et al. 2012).

a. Determinación de impactos potenciales en salud humana por reducción de disponibilidad de agua.

- Desnutrición causada por escasez de agua.

Uso directo. Para el cálculo del impacto en usos directos utilizaremos como ejemplo el agua doméstica extraída de pozo. Se requiere de la siguiente información:

- Agua consumida.
- Factor de caracterización para desnutrición por escasez de agua en la cuenca (Pfister et al. 2009).

Ecuación 1:

*Desnutrición por consumo de agua = Agua consumida * Factor de caracterización*

$$Desnutrición\ por\ consumo\ de\ agua = 2,74E + 05 * 1,17E - 07$$

$$Desnutrición\ por\ consumo\ de\ agua = 3,20E - 02$$

La tabla a continuación muestra el cálculo de los impactos potenciales por desnutrición causada por escasez de agua por uso directo de agua para la producción de cemento.

Tabla 9.*Impactos potenciales por desnutrición*

Descripción	Agua consumida (m ³ /UF)	Factor de caracterización para desnutrición por escasez de agua (Pfister et al. 2009) (DALY/m ³)	Desnutrición causada por escasez (DALY/UF)
Entradas			
Agua Doméstica extraída de pozo	2,74E+05	1,17E-07	3,20E-02
Agua Industrial extraída de pozo	4,91E+04	1,17E-07	5,72E-03
Agua de Cisternas para riego	6,33E+04	1,17E-07	7,38E-03
Agua para riego de áreas verdes y vías (pozo propia)	3,23E+04	1,17E-07	3,77E-03
Salidas			
Planta de tratamiento de agua residual para riego	-1,12E+05	1,17E-07	-1,30E-02
Evaporada de la planta de tratamiento de agua residual doméstica	0,00E+00	1,17E-07	0,00E+00
Agua evaporada en los procesos	0,00E+00	1,17E-07	0,00E+00

Fuente: Elaboración propia

Uso indirecto. Para calcular el impacto de desnutrición causada por consumo de agua en la cadena de suministros necesitamos la siguiente información:

- Agua consumida por uso de insumo.
- Factor de caracterización para desnutrición por escasez de agua en la cuenca (Pfister et al. 2009).

En el siguiente ejemplo vamos a considerar a la caliza para calcular el impacto por desnutrición causada por escasez de agua.

Ecuación J:

$$\text{Desnutrición por consumo de agua} = \text{Agua consumida} * \text{Factor de caracterización}$$

$$\text{Desnutrición por consumo de agua} = 6,28E + 04 * 1,17E - 07$$

$$\text{Desnutrición por consumo de agua} = 7,32E - 03$$

La siguiente tabla muestra el impacto por desnutrición de los insumos utilizando la ecuación.

Tabla 10.*Impactos por desnutrición de cadena de suministros*

Insumos	Agua consumida (m ³ /UF)	Localización del insumo	Factor de caracterización para desnutrición por escasez de agua (Pfister et al. 2009) (DALY/m ³)	Desnutrición causada por escasez (DALY/UF)
Caliza (Atocongo, Lima)	6,28E+04	Lima, Villa María del Triunfo, Atocongo	1,17E-07	7,32E-03
Caliza (Atocongo Norte, Lima)	1,00E+04	Lima, Villa María del Triunfo, Atocongo	1,17E-07	1,17E-03
Caliza (Pucará Normal, Lima)	2,34E+04	Lima, Pucara NORMAL	1,17E-07	2,72E-03
Caliza (Pucará BA, Lima)	2,34E+03	Lima, Pucara BA	1,17E-07	2,73E-04
Caliza (Chilca, Lima)	3,40E+03	Lima, Chilca	1,17E-07	3,83E-03
Puzolana (Atocongo, Lima)	7,57E+02	Lima, Villa María del Triunfo, Atocongo	1,17E-07	8,82E-05
Yeso (Las Dunas, Ica)	5,32E+02	Ica, Las Dunas	8,62E-07	4,58E-04
Yeso (Las Hienas, Asia, Lima)	2,11E+01	Lima, Asia, Las Hienas	7,39E-07	1,56E-05
Yeso (Virgen de Fátima, Canta, Lima)	1,29E+01	Lima, Canta, Virgen de Fátima	1,13E-06	1,45E-05
Yeso (México)	7,80E+02	México	1,68E-07	1,31E-04
Sílice (Huancayo)	1,53E+04	Huancayo	4,00E-09	6,13E-05
Mineral de Hierro (Marcona, Ica)	1,26E+03	Ica, Nazca, Marcona	9,76E-07	1,22E-03
Bolsas de Papel (Los Olivos, Lima)	5,20E+05	Lima, Los Olivos	1,13E-06	5,86E-01
Bolsas de Papel (Brasil)	0,00E+00	Brasil	1,95E-08	0,00E+00
Bolsas de Papel (Colombia)	0,00E+00	Colombia	1,46E-08	0,00E+00
Bolsas de Papel (Turquía)	0,00E+00	Turkey	5,39E-07	0,00E+00
Clinker (USA)	1,47E+06	United States of America	2,12E-09	3,13E-03

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11.

Impactos en desnutrición en energía y transporte

Insumos	Agua consumida (m ³ /UF)	Localización del insumo	Factor de caracterización para desnutrición por escasez de agua (Pfister et al. 2009) (DALY/m ³)	Desnutrición causada por escasez (DALY/UF)
Electricidad nacional	4,89E+06	Perú	6,53E-07	3,19E+00
Electricidad propia	0,00E+00	Perú	6,53E-07	0,00E+00
Consumo de gas (horno)	6,15E+04	Perú	6,53E-07	4,01E-02
Consumo de petróleo	3,98E+02	Lima, Villa María del Triunfo, Atocongo	1,17E-07	4,63E-05
Consumo de Combustible para Transporte de suministros	2,09E+04	Lima, Villa María del Triunfo, Atocongo	1,17E-07	2,44E-03
Carbón (nacional)	6,23E+04	Lima, Villa María del Triunfo, Atocongo	1,17E-07	7,26E-03
Carbón (importado)	6,23E+04	México	1,68E-07	1,05E-02

Fuente: Elaboración propia

b. Determinación de impactos potenciales en salud humana por perturbaciones.

- Enfermedades causadas por toxicidad del agua.

Uso directo. Para el cálculo del impacto en salud humana por toxicidad atribuida a uso directo no se han considerado los efectos tóxicos directos. Este supuesto se realiza con el objetivo de simplificar los resultados del ejercicio.

Uso indirecto. Para calcular el impacto por toxicidad de agua utilizaremos la Caliza como ejemplo. Para calcular el impacto se requiere de la siguiente información.

- Cantidad de insumo normalizado a la unidad funcional. Es importante considerar la misma unidad en los insumos que indica la base de datos para evitar errores de cálculo en la evaluación.
- Valor del indicador suministrado por la base de datos de Quantis.

Ecuación K:

*Enfermedades por toxicidad = Cantidad normalizada * Valor indicador base de datos*

$$Enfermedades\ por\ toxicidad = 2,51E + 09 * 2,04E + 09$$

$$Enfermedades\ por\ toxicidad = 2,32$$

La Tabla 12 muestra el impacto por desnutrición de los insumos utilizando la ecuación K.

Tabla 12.*Impactos en salud humana por toxicidad en la cadena de suministros*

Insumos	Unidad normalizada según base de datos	Cantidad	Valor del indicador suministrado por la base de datos (DALY/UF)	Enfermedades causadas por toxicidad (DALY/UF)
Caliza (Atocongo, Lima)	kg	2,51E+09	9,26E-10	2,32E+00
Caliza (Atocongo Norte, Lima)	kg	4,01E+08	9,26E-10	3,71E-01
Caliza (Pucará Normal, Lima)	kg	9,33E+08	9,26E-10	8,64E-01
Caliza (Pucará BA, Lima)	kg	9,36E+07	9,26E-10	8,67E-02
Caliza (Chilca, Lima)	kg	1,36E+08	9,26E-10	1,26E-01
Puzolana (Atocongo, Lima)	kg	3,19E+07	5,77E-09	1,84E-01
Yeso (Las Dunas, Ica)	kg	7,20E+07	1,33E-09	9,58E-02
Yeso (Las Hienas, Asia, Lima)	kg	2,85E+06	1,33E-09	3,79E-03
Yeso (Virgen de Fátima, Canta, Lima)	kg	1,75E+06	1,33E-09	2,32E-03
Yeso (México)	kg	1,06E+08	1,33E-09	1,40E-01
Sílice (Huancayo)	kg	5,72E+07	5,78E-09	3,31E-01
Mineral de Hierro (Marcona, Ica)	kg	3,39E+06	2,62E-08	8,88E-02
Bolsas de Papel (Los Olivos, Lima)	kg	1,05E+07	7,37E-07	7,70E+00
Bolsas de Papel (Brasil)	kg	0,00E+00	7,37E-07	0,00E+00
Bolsas de Papel (Colombia)	kg	0,00E+00	7,37E-07	0,00E+00
Bolsas de Papel (Turquía)	kg	0,00E+00	7,37E-07	0,00E+00
Clinker (USA)	kg	8,89E+08	6,25E-08	5,55E+01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13.

Impactos en salud humana por toxicidad en energía y transporte

Insumos	Unidad normalizada según base de datos	Cantidad	Valor del indicador suministrado por la base de datos (DALY/UF)	Enfermedades causadas por toxicidad (DALY/UF)
Electricidad nacional	kWh	3,01E+08	3,92E-08	1,18E+01
Electricidad propia	kWh	0,00E+00	4,06E-08	0,00E+00
Consumo de gas (horno)	MJ	5,87E+09	4,10E-09	2,41E+01
Consumo de petróleo	Kg	3,21E+06	5,57E-08	1,79E-01
Consumo de Combustible para Transporte de suministros	Kg	6,46E+06	3,33E-07	2,15E+00
Carbón (nacional)	MJ	1,64E+09	5,86E-08	9,60E+01
Carbón (importado)	MJ	1,64E+09	5,86E-08	9,60E+01

Fuente: Elaboración propia

c. Determinación de impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas por reducción de disponibilidad de agua.

❖ Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas.

Uso directo. Para el cálculo del impacto en usos directos se utiliza la siguiente información:

- Agua consumida.
- Factor de caracterización (Pfister et al. 2009).

El cálculo para determinar la reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas es resultado del producto del agua consumida y el factor de caracterización.

A continuación, se muestra en la Tabla 14 los resultados de la reducción de disponibilidad para los ecosistemas por uso directo.

Tabla 14.

Impactos en calidad de ecosistemas por disponibilidad por uso directo

Descripción	Agua consumida (m ³ /UF)	Factor de caracterización según (Pfister et al. 2009) (PDF-m ² -y/m ³)	Desnutrición causada por escasez (DALY/UF)
Entradas			
Agua Doméstica extraída de pozo	2,74E+05	4,75E+00	1,30E+06
Agua Industrial extraída de pozo	4,91E+04	4,75E+00	2,33E+05
Agua de Cisternas para riego	6,33E+04	4,75E+00	3,01E+05
Agua para riego de áreas verdes y vías (pozo propia)	3,23E+04	4,75E+00	1,54E+05
Salidas			
Planta de tratamiento de agua residual para riego	-1,12E+05	4,75E+00	-5,31E+05
Evaporada de la planta de tratamiento de agua residual doméstica	0,00E+00	4,75E+00	0,00E+00
Agua evaporada en los procesos	0,00E+00	4,75E+00	0,00E+00

Fuente: Elaboración propia

Uso indirecto. Para calcular este indicador utilizaremos como ejemplo la Caliza. Para ello se requiere de la siguiente información:

- Agua consumida por uso de insumo.
- Factor de caracterización (Pfister et al. 2009).

Ecuación L:

*Agua consumida * Factor de caracterización (Pfister 2009)*

$$6,28E + 04 * 4,75E + 00$$

$$2,99E + 05$$

Tabla 15.

Impactos en calidad de ecosistemas por disponibilidad en cadena de suministros.

Insumos	Agua consumida por insumo (m³/UF)	Localización de insumo	Factor de caracterización (Pfister et al. 2009) (PDF-m²-y/m³)	Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas (PDF-m²-y/UF)
Caliza (Atocongo, Lima)	6,28E+04	Lima, Villa María del Triunfo, Atocongo	4,75E+00	2,99E+05
Caliza (Atocongo Norte, Lima)	1,00E+04	Lima, Villa María del Triunfo, Atocongo	4,75E+00	4,77E+04
Caliza (Pucará Normal, Lima)	2,34E+04	Lima, Pucara NORMAL	4,75E+00	1,11E+05
Caliza (Pucará BA, Lima)	2,34E+03	Lima, Pucara BA	4,75E+00	1,11E+04
Caliza (Chilca, Lima)	3,40E+03	Lima, Chilca	4,75E+00	7,21E+03
Puzolana (Atocongo, Lima)	7,57E+02	Lima, Villa María del Triunfo, Atocongo	4,75E+00	3,60E+03
Yeso (Las Dunas, Ica)	5,32E+02	Ica, Las Dunas	1,63E+00	8,67E+02
Yeso (Las Hienas, Asia, Lima)	2,11E+01	Lima, Asia, Las Hienas	4,75E+00	1,00E+02
Yeso (Virgen de Fátima, Canta, Lima)	1,29E+01	Lima, Canta, Virgen de Fátima	4,75E+00	6,13E+01
Yeso (México)	7,80E+02	México	6,35E-01	4,95E+02
Sílice (Huancayo)	1,53E+04	Huancayo	1,23E-01	1,88E+03
Mineral de Hierro (Marcona, Ica)	1,26E+03	Ica, Nazca, Marcona	2,07E+00	2,60E+03
Bolsas de Papel (Los Olivos, Lima)	5,20E+05	Lima, Los Olivos	2,12E+00	1,10E+06
Bolsas de Papel (Brasil)	0,00E+00	Brasil	8,90E-02	0,00E+00
Bolsas de Papel (Colombia)	0,00E+00	Colombia	4,66E-02	0,00E+00
Bolsas de Papel (Turquía)	0,00E+00	Turkey	5,26E-01	0,00E+00
Clinker (USA)	1,47E+06	United States of America	3,10E-01	4,56E+05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16.

Impactos en calidad de ecosistemas por disponibilidad en energía y transporte

Insumos	Agua consumida por insumo (m ³ /UF)	Localización de insumo	Factor de caracterización (Pfister et al. 2009) (PDF-m ² -y/m ³)	Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas (PDF-m ² -y/UF)
Electricidad nacional	4,89E+06	Perú	1,27E-01	6,22E+05
Electricidad propia	0,00E+00	Perú	1,27E-01	0,00E+00
Consumo de gas (horno)	6,15E+04	Perú	1,27E-01	7,82E+03
Consumo de petróleo	3,98E+02	Lima, Villa María del Triunfo, Atocongo	4,75E+00	1,89E+03
Consumo de Combustible para Transporte de suministros	2,09E+04	Lima, Villa María del Triunfo, Atocongo	4,75E+00	9,94E+04
Carbón (nacional)	6,23E+04	Lima, Villa María del Triunfo, Atocongo	4,75E+00	2,96E+05
Carbón (importado)	6,23E+04	México	6,35E-01	3,95E+04

Fuente: Elaboración propia

d. Determinación de impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas por perturbaciones físicas o químicas.

❖ Ecosistemas acuáticos afectados por infraestructura hidroeléctrica.

Uso directo. No se han considerado los cálculos para impactos por infraestructura hidroeléctrica de manera directa porque no se ha turbinado agua en el sistema analizado.

Uso indirecto. Se requiere de la siguiente información para calcular el impacto en los ecosistemas acuáticos afectados por infraestructura hidroeléctrica.

- Cantidad de insumo normalizado a la unidad funcional.
- Valor del indicador suministrado por la base de datos de Quantis.

Ecuación LL:

*Cantidad normalizada * Valor de la base de datos*

$$2,51E + 09 * 2,27E - 06$$

$$5,69E + 03$$

Tabla 17.

Impacto en ecosistemas acuáticos afectados por infraestructura hidroeléctrica en la cadena de suministros

Insumos	Unidad normalizada según base de datos	Cantidad	Valor del indicador suministrado por la base de datos (PDF-m ² -y/m ³)	Infraestructura eléctrica (PDF-m ² -y/UF)
Caliza (Atocongo, Lima)	kg	2,51E+09	2,27E-06	5,69E+03
Caliza (Atocongo Norte, Lima)	kg	4,01E+08	2,27E-06	9,10E+02
Caliza (Pucará Normal, Lima)	kg	9,33E+08	2,27E-06	2,12E+03
Caliza (Pucará BA, Lima)	kg	9,36E+07	2,27E-06	2,12E+02
Caliza (Chilca, Lima)	kg	1,36E+08	2,27E-06	3,08E+02
Puzolana (Atocongo, Lima)	kg	3,19E+07	2,79E-05	8,89E+02
Yeso (Las Dunas, Ica)	kg	7,20E+07	1,01E-05	7,24E+02
Yeso (Las Hienas, Asia, Lima)	kg	2,85E+06	1,01E-05	2,86E+01
Yeso (Virgen de Fátima, Canta, Lima)	kg	1,75E+06	1,01E-05	1,76E+01
Yeso (México)	kg	1,06E+08	1,01E-05	1,06E+03
Sílice (Huancayo)	kg	5,72E+07	3,22E-05	1,84E+03
Mineral de Hierro (Marcona, Ica)	kg	3,39E+06	9,48E-05	3,21E+02
Bolsas de Papel (Los Olivos, Lima)	kg	1,05E+07	6,41E-03	6,70E+04
Bolsas de Papel (Brasil)	kg	0,00E+00	6,41E-03	0,00E+00
Bolsas de Papel (Colombia)	kg	0,00E+00	6,41E-03	0,00E+00
Bolsas de Papel (Turquía)	kg	0,00E+00	6,41E-03	0,00E+00
Clinker (USA)	kg	8,89E+08	1,31E-03	1,16E+06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18.

Impacto en ecosistemas acuáticos afectados por infraestructura hidroeléctrica en energía y transporte

Insumos	Unidad normalizada según base de datos	Cantidad	Valor del indicador suministrado por la base de datos (PDF-m ² -y/m ³)	Infraestructura eléctrica (PDF-m ² -y/UF)
Electricidad nacional	kWh	3,01E+08	4,39E-03	1,32E+06
Electricidad propia	kWh	0,00E+00	3,22E-05	0,00E+00
Consumo de gas (horno)	MJ	5,87E+09	3,28E-06	1,92E+04
Consumo de petróleo	kg	3,21E+06	4,05E-05	1,30E+02
Consumo de Combustible para Transporte de suministros	kg	6,46E+06	7,02E-04	4,53E+03
Carbón (nacional)	MJ	1,64E+09	3,07E-05	5,03E+04
Carbón (importado)	MJ	1,64E+09	3,07E-05	5,03E+04

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En el presente Capítulo se muestran los resultados del estudio de huella hídrica en la industria del cemento.

4.1 AGUA CONSUMIDA

La Figura 6 muestra los consumos directos (agua consumida directamente por la operación de la planta Atocongo) e indirectos (agua consumida en los procesos de fabricación de los insumos y energías consumidos en la planta Atocongo y el tratamiento de los efluentes generados) por unidad funcional producida.

Según los resultados obtenidos, se consumen 7 513 091,35 m³ de agua por la producción anual de cemento en la planta Atocongo, el 67 % (5 094 080,97 m³) proviene del uso indirecto (energía y combustibles), el 29 % (2 111 602,63 m³) es uso indirecto en la cadena de suministros y el 4 % (307 407,75 m³) representa el uso directo.

Se deduce que, en la producción de cemento, UNACEM, no utiliza agua en cantidades considerables. A continuación, las figuras 7 y 8 muestra cómo están conformados los consumos directos e indirectos de agua. A partir de esta información se pueden identificar los puntos críticos de consumo para intervenir con acciones de reducción de consumo de agua.

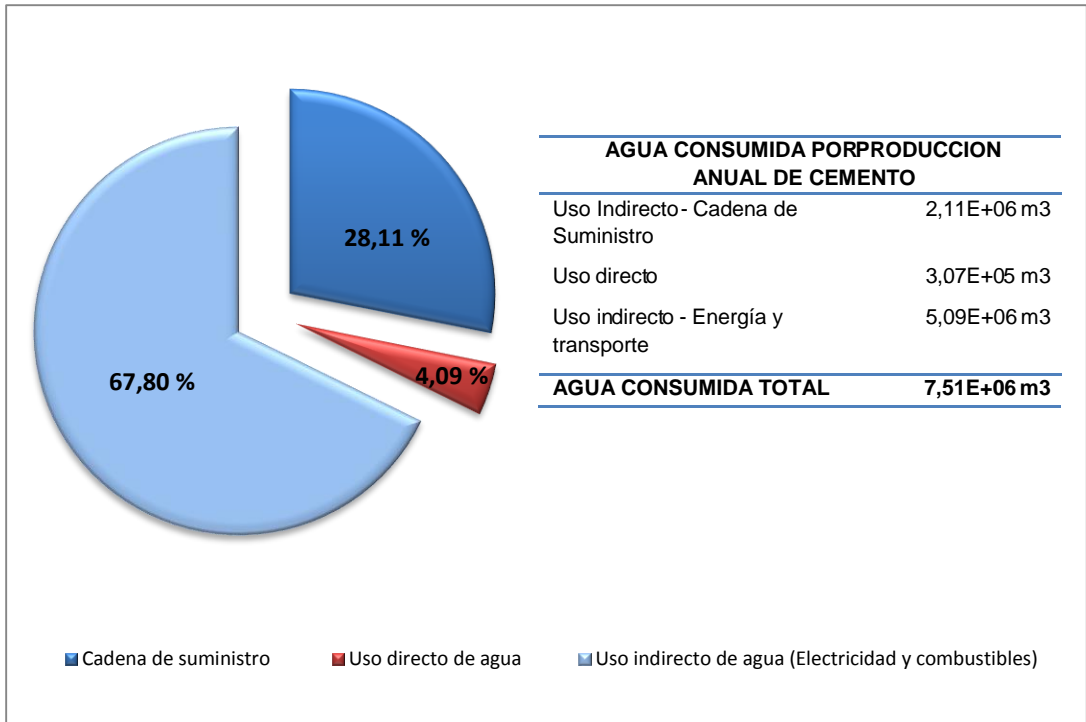


Figura 5. *Fraccionamiento porcentual de consumos de agua por producción de cemento.*

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7 se puede apreciar que los consumos directos de agua están representados en su mayoría por el agua evapotranspirada 75,07 %.

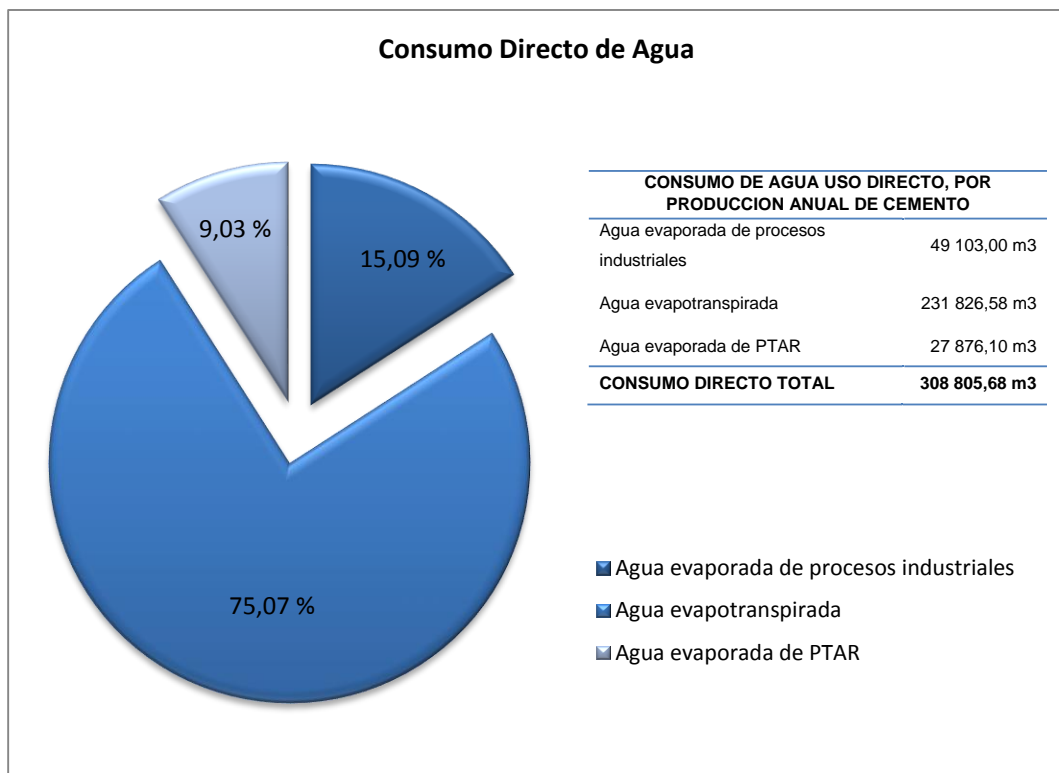


Figura 6. *Fraccionamiento porcentual de consumo directo de agua.*

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 8, se aprecia que, en el consumo indirecto, la energía eléctrica representa el mayor consumo (95,83 %).

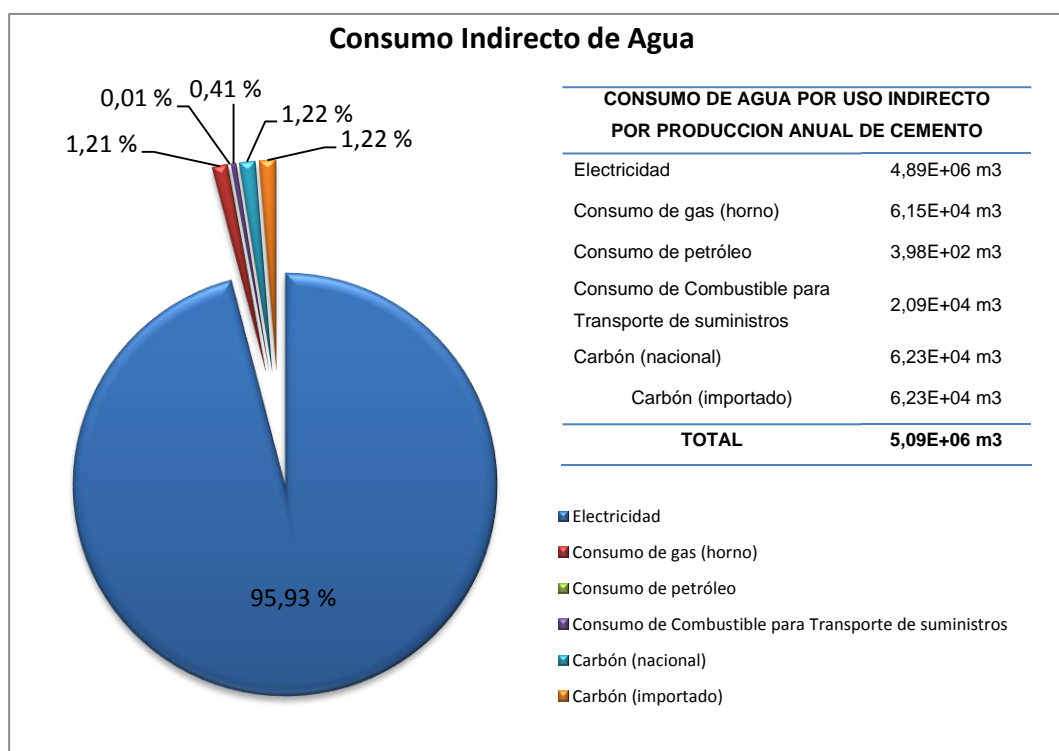


Figura 7. *Fraccionamiento porcentual de consumo indirecto de agua.*

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 9 se presenta en detalle los resultados de los consumos en la cadena de suministros.

Se puede apreciar que el Clinker es el insumo más importante en la cadena de suministros (69,65 %) seguido de las bolsas de papel (24,63 %). Sobre esta información se puede deducir que la empresa debe trabajar con los proveedores de estos insumos para gestionar de una manera adecuada el agua. A continuación, la tabla 20 muestra la cantidad de estos insumos consumidos en el periodo de estudio, el proceso seleccionado de la base de datos de Quantis y el consumo de agua.

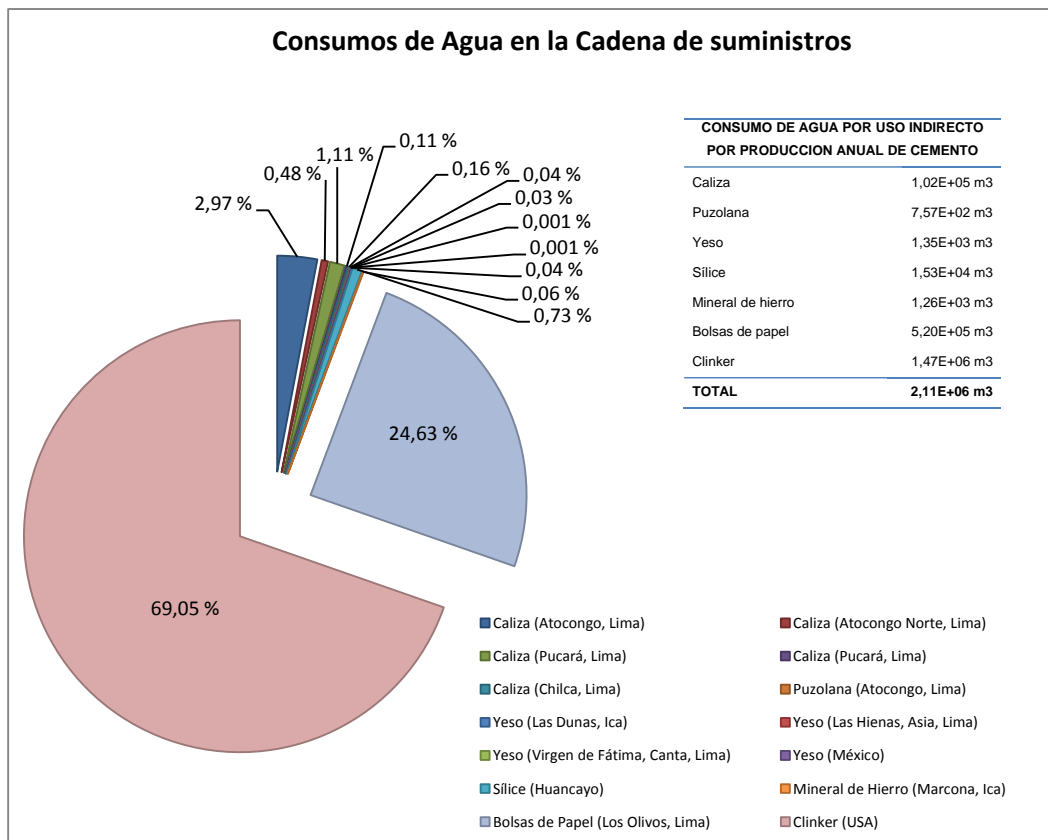


Figura 8. Consumo indirecto de agua - cadena de suministros.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19.

Insumos con mayor aporte al consumo indirecto, proceso seleccionado en base de datos de Quantis para su modelación y su respectivo consumo de agua.

Insumo	Cantidad consumida (ton)	Proceso de base de datos (Quantis database)	Consumo de Agua m ³ /UF
Clinker	889 109,00	clinker, at plant/CH U	1 470 822,30
Bolsas de papel	10 454,00	kraft paper, unbleached, at plant/RER U	520 149,14
Caliza	4 070 519,00	limestone, at mine/CH U	101 946,19

Fuente: Elaboración propia

4.2 ÍNDICE DE IMPACTO HÍDRICO

La planta de producción de Atocongo se encuentra ubicada en la cuenca Lurín, una cuenca con alto estrés hídrico (número de Pfister, WSI de 1). UNACEM trata el 100 % de las aguas residuales y las reutiliza para el riego de áreas verdes, es decir no descarga agua al sistema de alcantarillado.

Las concentraciones de referencia que se usaron para calcular el factor de calidad son propuesta por Boulay et al. (2010). El Índice de Impacto Hídrico además geo-referencia este impacto en la zona donde ocurre. El índice de impacto hídrico además geo-referencia este impacto en la zona donde ocurre a través del índice de estrés hídrico local (Water Stress Index, WSI).

Como resultado del inventario realizado, la figura 10 muestra que los mayores impactos están asociados a los consumos indirectos por electricidad y combustibles:

El índice de impacto hídrico total es $6,74E+06 \text{ m}^3\text{eq/UF}$. La figura 10 muestra que el 67,74 % ($4,56E+06 \text{ m}^3\text{eq/UF}$) del impacto hídrico es producto del consumo indirecto - electricidad y combustible, el 26,71 % ($1,80E+06 \text{ m}^3\text{eq/UF}$) está representado por la cadena de suministros y el 5,54 % ($3,73E+05 \text{ m}^3\text{eq/UF}$) para uso directo de agua.

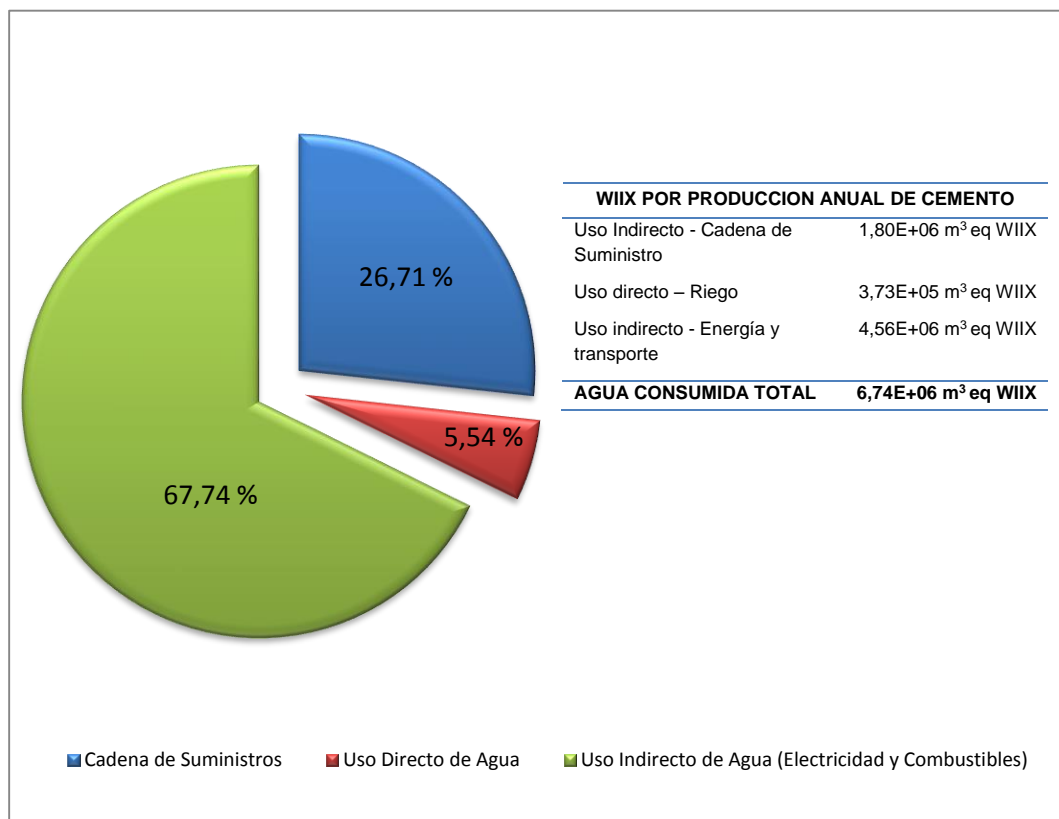


Figura 9. Fraccionamiento porcentual del índice de impacto hídrico por producción de cemento.

Fuente: Elaboración propia

4.3 IMPACTO POTENCIAL EN SALUD HUMANA

Los impactos potenciales por toxicidad en salud humana, se encuentran en el orden de magnitud de 2,98 E+02 DALY/UF (98,71 %), y los impactos potenciales por desnutrición en el orden de 3,98 DALY/UF (1,29 %). Los impactos por toxicidad se deben a la emisión de contaminantes que potencialmente producirían enfermedades en la población, y los impactos por desnutrición, a la falta de agua para riego del sector agrícola debido al consumo de agua para otros fines, lo que potencialmente produciría falta de alimento y por lo tanto desnutrición de la población.

Dentro del análisis de impactos en la salud humana se han considerado las siguientes categorías:

- **Desnutrición causada por escasez de agua.** Los mayores impactos son ocasionados por el consumo de electricidad (81,97 %) y el de bolsas de papel (15,04 %).
- **Impactos potenciales a la salud por toxicidad de emisiones.** Los mayores impactos están relacionados al consumo de carbón (64,41 %) y Clinker (18,64 %).

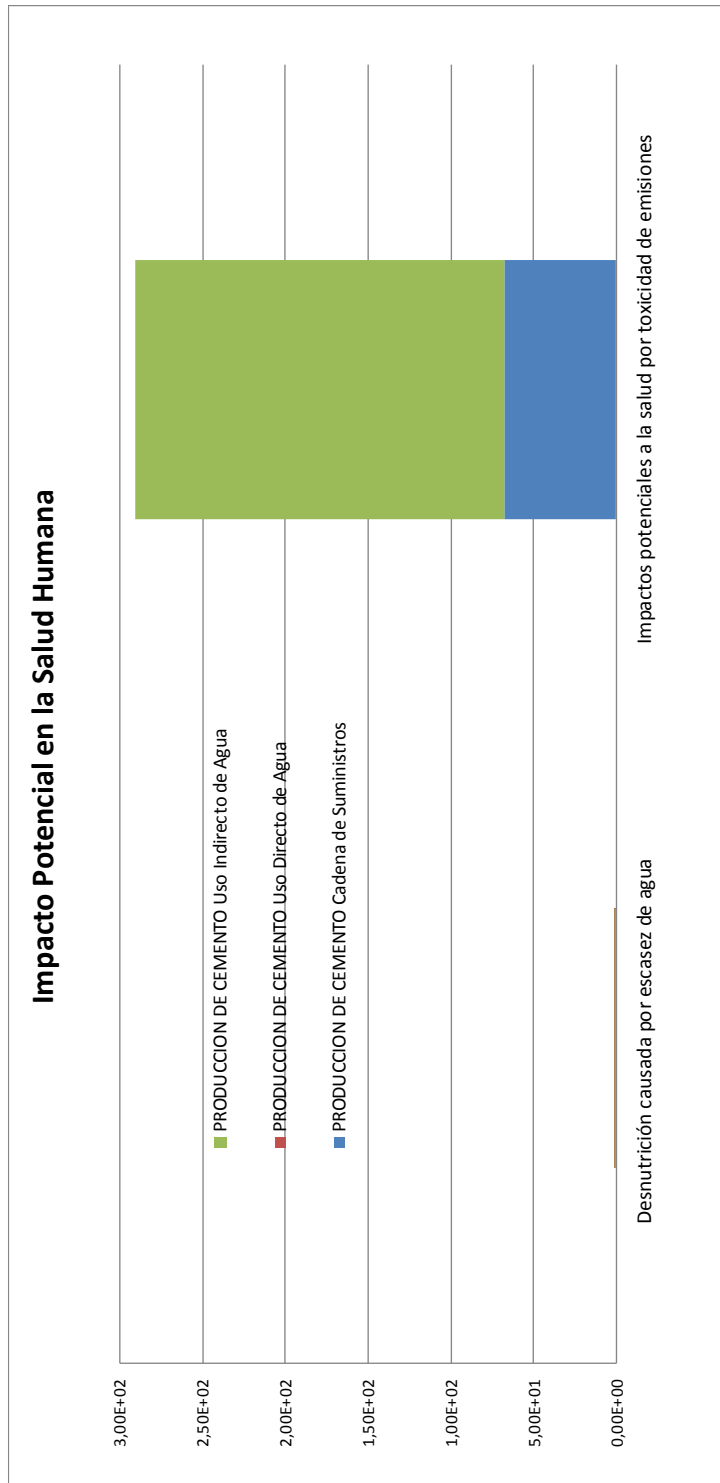


Figura 10. *Impacto potencial en la salud humana.*

Fuente: Elaboración propia

4.4 IMPACTOS POTENCIALES EN LA CALIDAD DE LOS ECOSISTEMAS

Dentro de los impactos potenciales para la calidad de los ecosistemas, las categorías más afectadas son la reducción de disponibilidad de agua para ecosistemas, los ecosistemas acuáticos afectados por infraestructura hidroeléctrica y los ecosistemas acuáticos afectados por eutrofización. El consumo de electricidad genera el mayor porcentaje de impacto en las dos primeras categorías por el origen de producción de la electricidad (hidroeléctrica). Una alternativa de solución para la empresa es conectarse al sistema eléctrico interconectado nacional.

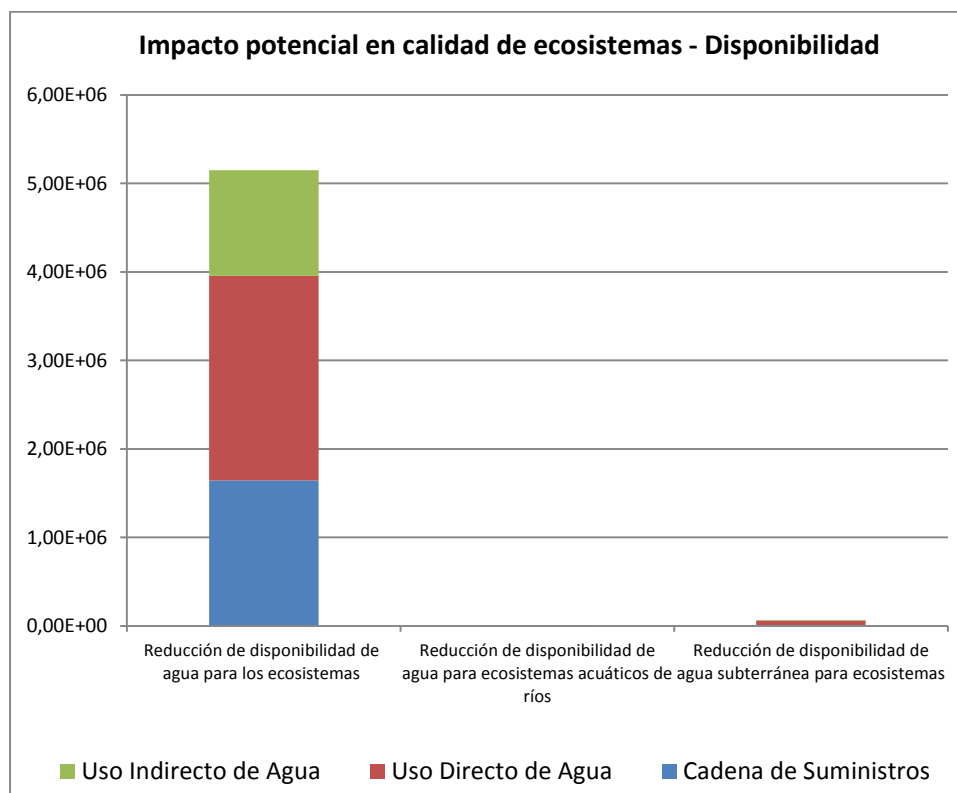


Figura 11. Impacto potencial en calidad de ecosistemas por disponibilidad.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20.

Impactos en ecosistemas por producción anual de cemento.

IMPACTOS EN ECOSISTEMAS, POR PRODUCCION ANUAL DE CEMENTO			
Disminución de la disponibilidad del agua			
[PDF-m2-año/UF]			
USOS	<i>Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas</i>	<i>Reducción de disponibilidad de agua para ecosistemas acuáticos de ríos</i>	<i>Reducción de disponibilidad de agua subterránea para ecosistemas</i>
Uso Indirecto - Cadena de Suministro	2,04E+06	2,25E+03	9,41E+04
Uso directo – Riego	1,46E+06	2,25E+02	3,67E+04
Uso indirecto - Energía y transporte	1,07E+06	3,26E+03	8,58E+03
TOTAL	4,57E+06	5,73E+03	1,39E+05

Fuente: Elaboración propia

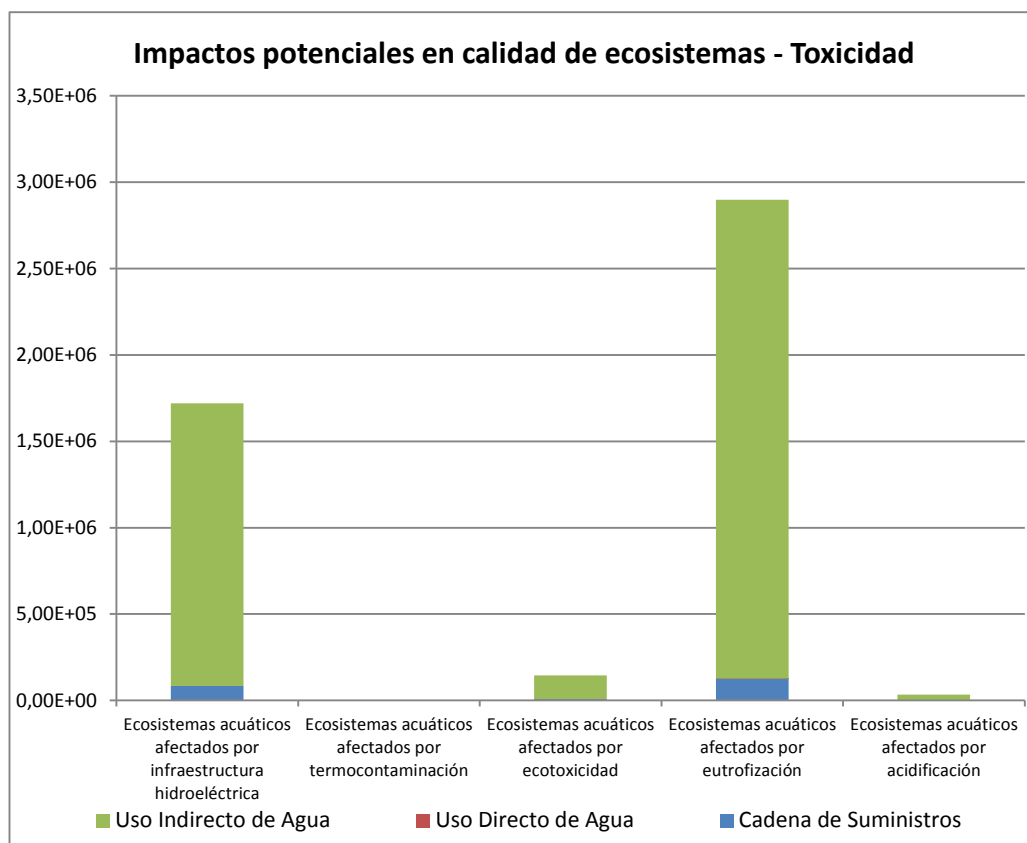


Figura 12. *Impactos potenciales en calidad de ecosistemas – toxicidad.*

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21.

IMPACTOS EN ECOSISTEMAS, POR PRODUCCION ANUAL DE CEMENTO					
Perturbaciones físicas o químicas					
[PDF-m2-año/UF]					
USOS	Ecosistemas acuáticos afectados por infraestructura hidroeléctrica	Ecosistemas acuáticos afectados por termocontaminación	Ecosistemas acuáticos afectados por ecotoxicidad	Ecosistemas acuáticos afectados por eutrofización	Ecosistemas acuáticos afectados por acidificación
Uso Indirecto - Cadena de Suministro	1,24E+06	1,99E+02	3,54E+04	5,77E+05	1,34E+04
Uso directo- Riego	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,35E+02	0,00E+00
Uso indirecto - Energía y transporte	1,44E+06	1,15E+02	1,20E+05	2,42E+06	2,67E+04
TOTAL	2,69E+06	3,14E+02	1,55E+05	3,00E+06	4,01E+04

Impactos en ecosistemas por producción anual de cemento

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, la producción anual de cemento en la planta Atocongo en el 2013 tiene un impacto en el ecosistema de 1,06 E+07 PDF-m2-año/UF.

El 55,48 % de todo el impacto en ecosistemas se atribuye a perturbaciones físicas o químicas, principalmente por eutrofización (50,97 %) e infraestructura eléctrica (45,71 %).

El 44,52 % corresponde al impacto ocasionado por disponibilidad de agua principalmente por el impacto potencial por la disponibilidad de agua para los ecosistemas (96,92 %).

En relación al origen, 37,8 % del impacto potencial en el ecosistema se produce en la cadena de suministros, el 14,1 % es producido por el consumo directo de agua y el 48,0 % por el consumo indirecto.

4.5 PUNTOS CRÍTICOS

Todas las dimensiones de inventario e impacto de punto medio y final pueden resumirse en el siguiente cuadro, denominado “Matriz de puntos críticos”.

Tabla 22.

Matriz de puntos críticos por producción de cemento

PUNTOS CRÍTICOS	Agua Consumida Huella Hídrica	Impacto Hídrico WIIX	Impacto en Salud Humana	Impacto en Ecosistemas
Usos Indirectos (Cadena de Suministros)	28,1 %	26,7 %	22,7 %	37,8 %
Usos Directos (Producción)	4,1 %	5,5 %	0,0 %	14,1 %
Usos Indirectos (Energía y Combustibles)	67,8 %	67,7 %	77,3 %	48,0 %

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

La Tabla 22 muestra los puntos críticos, resumiendo todo el perfil de análisis de huella hídrica desarrollado. Se pueden identificar los cuatro grupos medidos: Agua Consumida, Impacto Hídrico - WIIX, Impacto en la salud humana, impacto en la calidad de los ecosistemas; versus las categorías de uso.

En general los impactos generados por los usos indirectos – Energía y combustibles son los más significativos: 67,8 % del agua consumida, 67,7

% del impacto Hídrico WIIX, 77,3 % del impacto potencial en Salud Humana y 48,0 % del impacto potencial en ecosistemas.

Es importante mencionar los impactos generados en la cadena de suministros 28,1 % del agua consumida, 26,7 % del impacto Hídrico WIIX, 22,7 % del impacto potencial en Salud Humana y 37,8 % del impacto potencial en ecosistemas.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1 AGUA CONSUMIDA

En un estudio realizado por SuizAgua Colombia a la planta Toluviejo de propiedad de Argos (Resultados del proyecto SuizAgua Colombia – Comprometidos con el uso eficiente del agua, 2015), concluye que para la producción de cemento los insumos que generan mayor consumo de agua hacen referencia a la etapa de operaciones, principalmente por consumos de electricidad y carbón.

En la evaluación de huella hídrica realizada en la planta Atocongo se observa el mismo comportamiento, los usos indirectos son los que consumen mayor cantidad de agua, principalmente por el consumo de la electricidad, que es utilizada para el funcionamiento de equipos, motores e iluminación de las instalaciones en la planta.

Como se observa en el gráfico anterior el 67,8 % del consumo de agua se debe a los usos indirectos, esto indica que las acciones deben enfocarse en la implementación de la eficiencia energética por consumo de electricidad.

5.2 ÍNDICE DE IMPACTO HÍDRICO, WIIX

En la figura 10 se puede observar que el índice de impacto hídrico más importante está asociado al uso indirecto por energía y transporte, una vez más por el uso de energía eléctrica, esto ocurre porque la electricidad

es la principal fuente de energía para la producción de cemento en Atocongo, además el índice de estrés hídrico de Perú es alto (0,72 WSI).

El estudio realizado en la Planta de Cemento de Holcim en Bogotá Colombia, tiene el mismo comportamiento, es decir, la electricidad es el insumo que tiene mayor impacto en el índice de impacto hídrico. Esto demuestra que en general para la producción de cemento es necesaria una fuente de energía muy elevada, en algunos casos se utiliza más carbón que electricidad, pero para el caso de estudio en Perú, la electricidad tiene el mayor impacto.

5.3 IMPACTOS POTENCIALES EN SALUD HUMANA

Los impactos potenciales en salud humana están divididos en dos categorías, el impacto asociado a la escasez de agua y el impacto por toxicidad, en Atocongo se ha identificado que el 99 % del impacto se presenta por toxicidad de emisiones.

En la evaluación de huella hídrica se ha podido identificar que para producir cemento el mayor impacto sigue presente en los usos indirectos por energía, combustible y transporte. La diferencia más importante en relación al agua consumida y al WIIIX es que el impacto generado está asociado al consumo de carbón representa el 82 % del impacto en los usos indirectos por combustible, energía y transporte.

En estudios realizados en Colombia (Resultados de SuizAgua Colombia, 2015) a dos plantas de producción de cemento como Argos y Holcim se ha podido identificar que los impactos potenciales en salud

humana son asociados al uso de carbón, estos resultados solo confirman el perfil obtenido en la evaluación de la planta Atocongo.

5.4 IMPACTOS POTENCIALES EN LA CALIDAD DE LOS ECOSISTEMAS

Los impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas pueden dividirse en dos categorías, el impacto ocasionado por disponibilidad para los ecosistemas y por las perturbaciones al medio ambiente.

En la planta Atocongo se ha identificado que el impacto potencial al ecosistema es ocasionado por la disponibilidad de agua, representa el 44,52 % y el 55,48 % del impacto está asociado al impacto ocasionado por las perturbaciones fisicoquímicas en el ecosistema.

En estudios realizados en SuizAgua Colombia a dos plantas de producción de cemento se identificó que los mayores impactos son principalmente generados por la emisión de contaminantes en la fabricación del carbón. Los resultados de la evaluación en Atocongo demuestran el mismo perfil a partir del uso de carbón.

5.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad representa un escenario hipotético de los insumos que son representativos para el estudio. Se ha realizado el análisis de sensibilidad utilizando como insumos al carbón y a las bolsas de papel. El carbón es importante porque genera impactos significativos en la salud humana y los ecosistemas, las bolsas de papel que sirven para el empaque del cemento también han sido incluidos en el análisis de sensibilidad,

principalmente porque es el insumo que genera un impacto considerable en el WIIX y en el ecosistema.

A continuación, se presenta una tabla con los resultados del análisis de sensibilidad, utilizando dos escenarios diferentes a los que se presentan actualmente en el estudio, para el carbón se ha cambiado el proceso asociado de la base de datos y para las bolsas de papel se ha cambiado el material de fabricación de las mismas, de esta manera se puede determinar si el plástico es mejor material que el papel.

Tabla 23.

Resultados del análisis de sensibilidad

PARÁMETROS DE HUELLA HÍDRICA	ESCENARIO BASE Con procesos de la base de datos originales	PRIMER ESCENARIO Proceso para carbón (hard coal mix, at regional storage/UCTE U)	SEGUNDO ESCENARIO Proceso para bolsa (polypropylene, granulate, at plant/RER U + extrusion, plastic film/RER)
Consumo total de agua m ³ /UF	7,51E+06	9,38E+06	7,15E+06
Consumo indirecto de agua m ³ /UF	7,21E+06	9,07E+06	6,85E+06
WIIX total (m ³ eq/UF)	6,74E+06	1,23E+07	6,10E+06
Impactos potenciales en salud humana por disponibilidad de agua (DALY/UF)	3,89E+00	4,16E+00	3,49E+00
Impactos potenciales en salud humana por toxicidad (DALY/UF)	2,98E+02	4,14E+03	2,97E+02
Impactos potenciales en ecosistemas por disponibilidad de agua(PDF*m ² *año/UF)	4,72E+06	9,90E+06	3,95E+06
Impactos potenciales en ecosistemas por perturbaciones fisicoquímicas (PDF*m ² *año/UF)	5,88E+06	6,83E+07	5,73E+06

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En la Tabla 23 se pueden apreciar las principales diferencias a partir del análisis de sensibilidad. A continuación, detallaremos cuales son los más significativos en comparación al escenario base.

Primer escenario, carbón (hard coal mix, at regional storage/UCTE U), se consideran las siguientes diferencias:

- El consumo total de agua incrementa $1,86 \text{ E}+06 \text{ m}^3$ por producción anual de cemento.
- El WIIX incrementa $5,52 \text{ E}+06 \text{ m}^3\text{-eq}$ por producción anual de cemento.
- Los impactos potenciales en salud humana por disponibilidad de agua incrementan $2,66 \text{ E}-01 \text{ DALY}$ por producción anual de cemento.
- Los impactos potenciales en salud humana por toxicidad incrementan $3,85 \text{ E}+03 \text{ DALY}$ por producción anual de cemento.
- Los impactos potenciales en ecosistemas por disponibilidad de agua incrementan $5,18 \text{ E}+06 \text{ PDF}\cdot\text{m}^2\cdot\text{año}$ por producción anual de cemento.
- Los impactos potenciales en ecosistemas por perturbaciones fisicoquímicas incrementan $6,24 \text{ E}+07 \text{ PDF}\cdot\text{m}^2\cdot\text{año}$ por producción anual de cemento.

Segundo escenario, se reemplazan el material de las bolsas de papel por plástico (polypropylene, granulate, at plant/RER U + extrusion, plastic film/RER), se consideran las siguientes diferencias:

- El consumo de agua e reduce en $3,59 \text{ E}+05 \text{ m}^3$ por producción anual de cemento.
- El WIIX disminuye en $6,36 \text{ E}+05 \text{ m}^3\text{-eq}$ por producción anual de cemento.
- Los impactos potenciales en salud humana por disponibilidad de agua disminuyen en $4,04 \text{ E}-01 \text{ DALY}$ por producción anual de cemento.
- Los impactos potenciales en salud humana por toxicidad disminuyen en $7,93 \text{ E}-01 \text{ DALY}$ por producción anual de cemento.
- Los impactos potenciales en ecosistemas por disponibilidad de agua disminuyen en $7,64 \text{ E}+05 \text{ PDF}\cdot\text{m}^2\cdot\text{año}$ por producción anual de cemento.
- Los impactos potenciales en ecosistemas por perturbaciones fisicoquímicas disminuyen en $1,47 \text{ E}+05 \text{ PDF}\cdot\text{m}^2\cdot\text{año}$ por producción anual de cemento.

CONCLUSIONES

1. La Planta de producción de cemento Atocongo, se encuentra en un lugar con alto indicador de escasez hídrica acorde a Pfister et al. (2009). El WSI del lugar tiene un valor de 1. El WSI estima el estrés hídrico asociado al suministro y la demanda de agua en una zona determinada. La magnitud del WSI de la zona donde se encuentra la planta, indica que el riesgo de agotamiento es elevado.
2. Los resultados muestran que los mayores consumos de agua e impactos se relacionan a los consumos indirectos por el uso de electricidad y carbón como fuentes de energía. La electricidad es utilizada para el funcionamiento de equipos y motores, el carbón es utilizado para los hornos en el proceso de producción de Clinker o Clinkerización.
3. Del análisis de huella hídrica se pudo identificar la importancia de la gestión del recurso hídrico por uso directo, pues cobra importancia cuando se analizan los impactos de WIIX y de calidad de ecosistemas. Ello refuerza la necesidad de contar con instrumentos de medida y control de cantidad y calidad de agua de entrada y salida dentro de la planta Atocongo, tanto los usos domésticos como los industriales. Esta información hubiera sido invisible si solo se analizaban los consumos de agua sin considerar sus impactos asociados.
4. Por todo lo antes mencionado se puede concluir que la huella hídrica es un indicador de gestión ambiental eficiente aplicable en la industria

del cemento, permite cuantificar los consumos de agua e impactos potenciales en salud humana y en ecosistemas asociados al uso de agua.

RECOMENDACIONES

1. Implementar acciones o proyectos relacionados a la eficiencia energética ello impactará significativamente en la reducción de la huella hídrica.
2. Respecto al uso de carbón como combustible, se deberían implementar acciones para reducir su consumo. En su lugar se podría utilizar gas natural para reducir los impactos y el consumo de agua, pero la empresa actualmente utiliza la cuota máxima de gas natural disponible en el mercado.
3. La compra de clínker debería reducirse, principalmente porque este insumo genera un incremento del consumo de agua en la cadena de suministros.
4. Gestionar proyectos de reducción de consumos de agua en campamentos, incidir en el uso adecuado y responsable de agua durante la estadía de los trabajadores en las viviendas que la empresa proporciona.
5. Hacer más eficiente el riego de áreas verdes en aquellas áreas en las que no se han instalado sistemas de riego tecnificado, promover el reúso de agua tratada y evitar la compra de agua en camiones cisterna.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento, Carvalho Arnaldo, 2001

Bayart Jean-Baptiste [et al.] A framework for assessing off - stream water in LCA [Journal] // The International Journal of Life Cycle Assessment. - 2010.

Boulay et al. 2011 Categorizing water for LCA inventory.

Goedkoop M. J [et al.], ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level [Online] // Report I: Characterisation. - January 6, 2009. - First edition.

Hanafiah Maria [et al.] Characterization factors for water consumption and greenhouse gas emissions based on freshwater fish species extinction [Journal] // Environmental Science & Technology. - Zurich: [s.n.], May 16, 2011.

Hoekstra A., Chapagaing A., Aldaya M., Mekonnen M. The Water Footprint Assessment Manual, setting the global standard. London Washington, DC: earthscan, 2011.

IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology - Draft for version Q2.2 (version adapted by Quantis).

ISO 14 040:2006. Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. 2006.

ISO 14 044:2006. Environmental management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines. 2006.

ISO 14 046. Environmental management - Water footprint — Principles, requirements and guidelines

Jolliet O. [et al.] IMPACT 2002+: A new life Cycle Impact Assessment Methodology [Journal] Environmental Journal of Life Cycle Assessment – 2003.

Kounina [et al.] Review of methods addressing freshwater resources in life cycle inventory and impact assessment. [Publicación periódica] // International Journal of life cycle assessment (submitted). - 2011. - Anna Kounina; Manuele Margni; Annette Koehler; Jean-Baptiste Bayart; Anne-Marie Boulay; Markus Berger; Cecile Bulle; Rolf Frischknecht; Llorenc Mila-i-Canals; Masaharu Motoshita; Montserrat Nunez; Gregory Peters; Stephan Pfister.

Nemececk [et al.] Methods of assessment of direct field emission for LCI of agricultural production systems Data v3.0 (2012).

Pfister S., Koehler A. and Hellweg Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA [Journal] // Environmental Science & Technology. – 2009.

Resultados del proyecto SuizAgua Colombia, marzo 2015 (Embajada suiza para el desarrollo y cooperación – Centro Nacional de Producción más limpia)

Rosenbaum R., et al. USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterization factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment [Journal] // International Journal of Life Cycle Assessment. - 2008.

Van Zelm R. [et al.] Implementing Groundwater Extraction in Life Cycle Impact Assessment: Characterization Factors Based on Plant Species Richness for the Netherlands. Environmental Science & Technology

Verones F. [et al.] Characterization factors for thermal pollution in freshwater aquatic environments. Environmental Science & Technology 44: 9364-9369, 2010.