


MANUAL DE APLICACIÓN PARA EVALUACIÓN DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046

Una iniciativa de:

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza en Chile

Ejercicio práctico elaborado por:

 agualimpia

Metodología elaborada por:

FCh
FUNDACIÓN CHILE

El presente manual ha sido elaborado en conjunto por Fundación Chile y Agualimpia bajo el marco del proyecto Suizagua Andina Chile y Perú para la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).

Primera edición en español: Santiago de Chile, Enero 2016

Edición, redacción y diseño: Fundación Chile

<http://suizagua.org>

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa.

**MANUAL DE APLICACIÓN PARA
EVALUACIÓN DE HUELLA HÍDRICA
ACORDE A LA NORMA ISO 14046**

PRESENTACIÓN Y PROPÓSITO DEL MANUAL

Este Manual es un producto del proyecto SuizAgua Andina (2013 - 2015), una alianza entre el Gobierno Suizo, a través de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE)¹, y el sector privado en Chile y Perú. Su objetivo es promover la medición y reducción de la huella hídrica, desarrollar planes de responsabilidad social empresarial y ambiental enfocados en la temática de los recursos hídricos y diseminar nuevos conocimientos, así como demás desarrollos del proyecto. Este Manual ha sido preparado por la Gerencia de Sustentabilidad de Fundación Chile² y por la Organización No Gubernamental (ONG) Agualimpia³, organismos ejecutores del proyecto por encargo de COSUDE en Chile y Perú, respectivamente, con la revisión de la consultora internacional suiza Quantis⁴.

El propósito de este Manual es servir de guía metodológica para realizar evaluaciones de huella hídrica acorde a los requisitos establecidos por la norma ISO 14046 (Environmental management - Water footprint - Principles, requirements and guidelines). El mismo se elaboró sobre la base de experiencias prácticas adquiridas por el equipo técnico de Fundación Chile y Agualimpia, a cargo de la ejecución del proyecto SuizAgua Andina, al realizar evaluaciones de huella hídrica a 10 empresas⁵ de diversos sectores (alimentos, construcción, energético, químico y retail). El contenido de esta publicación no es el resultado de un comité de expertos ni constituye la guía oficial de la norma ISO 14046⁶, sin embargo presenta una buena base para su aplicación.

El Manual está dirigido al personal técnico de empresas, consultores y estudiantes que deseen evaluar la huella hídrica de un producto, proceso o industria de acuerdo a lo establecido en la norma ISO 14046. Se presentan los principales pasos y métodos de cálculo que debe seguir el practicante para realizar una evaluación de huella hídrica, además de incorporar lecciones aprendidas sobre la base de las experiencias prácticas de SuizAgua Andina. Consta de tres secciones principales, las cuales son introducción, metodología de cálculo y por último un ejercicio práctico.

¹ La Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) es la entidad encargada de la cooperación internacional dentro del Departamento Federal de Asuntos Exteriores (DFAE). Con otras oficinas de la Confederación, la COSUDE es responsable de la coordinación general de la cooperación para el desarrollo y de la cooperación con los Países del Este, así como de los programas de ayuda humanitaria suizos.

² La Gerencia de Sustentabilidad de Fundación Chile ha trabajado desde hace diez años impulsando la sustentabilidad y competitividad del país a través de la adaptación, desarrollo y transferencia de innovaciones de alto impacto que mejoren el desempeño ambiental y el desarrollo sustentable de las principales actividades económicas y su entorno.

³ ONG Agualimpia trabaja desde hace ocho años promoviendo alianzas público privadas para facilitar el acceso a agua y saneamiento en el Perú. Facilita la coordinación entre gobiernos local/regional/nacional, el sector privado y las comunidades para la implementación de proyectos hídricos sostenibles.

⁴ Quantis es una consultora de expertos en análisis de ciclo de vida y miembro activo en la elaboración de la norma ISO 14046 de huella hídrica.

⁵ Las empresas socias de SuizAgua Andina Chile son: Clariant, Mall Plaza, Nestlé Chile S.A., Polpaico y Tinguiririca Energía.

Las empresas socias de SuizAgua Andina Perú son: Camposol, Duke Energy, Mexichem, Nestlé y Unacem.

⁶ La norma ISO 14073, actualmente en desarrollo (está prevista para agosto de 2016), enseñará ejemplos prácticos de cómo aplicar la norma ISO 14046.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS | 10 |
| DEFINICIONES | 11 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 14 |
| 1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046 | 16 |
| 2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO | 18 |
| 2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE | 19 |
| 2.1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO | 19 |
| 2.1.2 UNIDAD FUNCIONAL (UF) | 21 |
| 2.1.3 DIMENSIÓN TEMPORAL Y GEOGRÁFICA | 22 |
| 2.1.4 LÍMITES DEL SISTEMA | 22 |
| 2.1.5 REGLAS DE ASIGNACIÓN | 24 |
| 2.1.6 CRITERIO DE CORTE | 26 |
| 2.1.7 DATOS DE INVENTARIO | 27 |
| 2.1.8 PRINCIPALES DATOS Y SUPUESTOS | 28 |
| 2.1.9 EVALUACIÓN DE IMPACTOS RELACIONADOS CON EL RECURSO HÍDRICO | 28 |
| 2.1.10 ANÁLISIS DE CALIDAD DE LOS DATOS | 30 |
| 2.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO | 31 |
| 2.2.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN | 31 |
| 2.2.2 BALANCE DIRECTO DE AGUA EN UN PROCESO | 36 |
| 2.2.3 ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN | 43 |

| | |
|--|------------|
| 2.3 EVALUACIÓN DE IMPACTOS RELACIONADOS CON EL RECURSO HÍDRICO | 50 |
| 2.3.1 INDICADOR DE DISPONIBILIDAD DE AGUA: ÍNDICE DE IMPACTO HÍDRICO (WIIX) | 51 |
| 2.3.2 INDICADORES DE IMPACTO EN SALUD HUMANA Y CALIDAD DE LOS ECOSISTEMAS | 61 |
| | |
| 2.4 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS | 94 |
| | |
| 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 101 |
| 3.1 LIMITACIONES DEL ESTUDIO | 103 |
| | |
| 4. REFERENCIAS | 104 |
| | |
| 5. ANEXOS | 106 |
| 5.1 ANEXO A: EJEMPLO DE CÁLCULO DE ASIGNACIÓN | 106 |
| 5.1.1 CÁLCULO DE AGUA CONSUMIDA EN LA FABRICACIÓN DEL PRODUCTO A EN BASE A FACTOR DE ASIGNACIÓN MÁSSICO | 107 |
| 5.1.2 CÁLCULO DE AGUA CONSUMIDA EN LA FABRICACIÓN DEL PRODUCTO A EN BASE A FACTOR DE ASIGNACIÓN ECONÓMICO | 107 |
| | |
| EQUIPO DE TRABAJO | 108 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Modelo de planilla de levantamiento de información | 32 |
| Tabla 2. Descripción general de los indicadores de impacto de punto final evaluados en SuizAgua Andina | 64 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Esquema del enfoque de análisis de ciclo de vida en el cálculo de la huella hídrica | 16 |
| Figura 2. Esquema de las etapas para el cálculo de huella hídrica | 18 |
| Figura 3. Ejemplo de cálculo de un factor de asignación másico y económico | 25 |
| Figura 4. Diagrama general de proceso y tipo de información solicitada para el cálculo de huella hídrica | 31 |
| Figura 5. Balance hídrico de un proceso | 36 |
| Figura 6. Factores incluidos en el cálculo del índice de impacto hídrico | 51 |
| Figura 7. Clasificación de los indicadores de impacto de punto final | 62 |
| Figura 8. Cálculo de impactos potenciales de punto final directos | 65 |
| Figura 9. Ejemplo par el cálculo de consumo de agua | 106 |

ÍNDICE DE BOXES

| | |
|--|----|
| Box 1. Ejemplo práctico, definición de objetivos | 20 |
| Box 2. Ejemplo planta de cemento A1, definición de unidad funcional | 21 |
| Box 3. Ejemplo planta de cemento A1, dimensión temporal y geográfica | 22 |
| Box 4. Ejemplo planta de cemento A1, límites del sistema | 23 |
| Box 5. Ejemplo planta de cemento A1, reglas de asignación | 26 |
| Box 6. Ejemplo planta de cemento A1, criterio de corte | 26 |
| Box 7. Ejemplo planta de cemento A1, datos de inventario | 27 |

| | |
|--|----|
| Box 8. Ejemplo planta de cemento A1, datos y supuestos | 28 |
| Box 9. Ejemplo planta de cemento A1, evaluación de impactos relacionados al recurso hídrico | 29 |
| Box 10. Ejemplo planta de cemento A1, análisis de calidad de datos | 30 |
| Box 11. Ejemplo planta de cemento A1, levantamiento de información | 33 |
| Box 12. Ejemplo planta de cemento A1, balance directo por áreas | 37 |
| Box 13. Ejemplo planta de cemento A1, balance hídrico | 42 |
| Box 14. Ejemplo planta de cemento A1, organización de la información | 44 |
| Box 15. Ejemplo planta de cemento A1, evaluación de impactos relacionados con el uso del recurso hídrico | 54 |
| Box 16. Ejemplo planta de cemento A1, indicadores de impacto en salud humana y calidad de ecosistemas | 66 |
| Box 17. Ejemplo planta de cemento A1, resultados | 95 |

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

| | |
|-----------------------|---|
| ACV | Análisis de ciclo de vida |
| COSUDE | Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación |
| DALY | <i>Disability adjusted life years</i> |
| ISO | <i>International Organization of Standardization</i> |
| ONG | Organización no gubernamental |
| PDF*m ² *y | <i>Potentially disappeared fraction of species per m² per year</i> |
| PTAR | Planta de tratamiento de aguas residual |
| UF | Unidad funcional |
| WIIX | <i>Water Impact Index</i> |
| WSI | <i>Water Stress Index</i> |

DEFINICIONES

*Las definiciones se basan en las normas ISO 14040/14044/14046.

Agua dulce (fresca): agua con baja concentración de sólidos disueltos (típicamente con menos de 1.000 mg/L de sólidos disueltos).

Análisis de 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.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de agua que se requiere para producir los bienes y servicios que consumimos diariamente ha provocado situaciones de estrés hídrico⁷ en numerosos lugares, ya sea por una limitada disponibilidad natural del recurso, por una demanda intensiva o por una mezcla de ambas. En efecto, la crisis del agua se ha situado en el puesto número 1 del top ten de los riesgos globales en términos de impacto, de la décima edición del Global Risks Report 2015⁸.

El uso de agua dulce por actividades humanas, frecuentemente lleva a disminuir la disponibilidad del recurso (en una zona determinada) o a contaminar cuerpos de agua que reciben descargas. En el primer caso, hablamos de usos consuntivos de agua, los cuales se refieren a los usos de agua dulce en donde no hay devolución del agua extraída a la cuenca de origen y por lo tanto deja de estar disponible para otros usos. El agua es consumida al ser evaporada, evapotranspirada⁹, incorporada en productos, trasvasijada de cuenca o vertida al mar (ISO 14046, 2014; Hoekstra et al. 2011). En el segundo caso, hablamos de usos que degradan la calidad del agua, referidos a la emisión de contaminantes al ambiente que producen contaminación en los cuerpos receptores. Ambos usos de agua se deben tener en cuenta a la hora de analizar la sostenibilidad del recurso hídrico.

⁷ El estrés hídrico se refiere a la falta de capacidad para satisfacer la demanda humana y ecológica de agua. Considera varios aspectos físicos y químicos relacionados con los recursos hídricos, incluyendo la escasez de agua, la calidad del agua, caudales ecológicos y la accesibilidad del agua. Global Compact, 2014 "The CEO Water Mandate, Driving Harmonization of Water Stress, Scarcity, and Risk Terminology" Discussion Paper.

⁸ World Economic Forum, The Global Risks Report 2015. El Foro Económico Mundial publica una serie de informes que examinan en detalle temas globales, como parte de su misión de mejorar el estado del mundo. La edición 2015 del informe Global Risks, completa una década de destacar los más significativos riesgos a largo plazo en todo el mundo, a partir de las perspectivas de los expertos y tomadores de decisiones globales.

⁹ Evaporación de agua desde la superficie de las plantas y el suelo, más el agua transpirada por las plantas.

Una herramienta diseñada para evaluar los potenciales impactos generados sobre el medio ambiente, los ecosistemas y los recursos por las actividades humanas, es el análisis de ciclo de vida (ACV). Ésta es una herramienta reconocida por la Organización Internacional de Estandarización¹⁰ (ISO 14040:2006; ISO 14044:2006), que pretende ayudar a detectar oportunidades para mejorar el desempeño ambiental en el ciclo de vida¹¹ de un producto o servicio, al tiempo que entrega información con base científica para la toma de decisiones, campañas de marketing y comunicación, entre otros (ISO 14044, 2006). Dentro del ACV, la huella hídrica se define como un subconjunto específico de indicadores que abordan el consumo y la contaminación del agua y los correlacionan a potenciales impactos. Los principios, requisitos y directrices para realizar una evaluación de huella hídrica se presentan en la norma ISO 14046. La huella hídrica es una de las herramientas que ayuda a evaluar los riesgos asociados¹² al uso del agua y, a partir de estos, desarrollar estrategias que permitan mitigarlos.

¹⁰ La Organización Internacional de Estandarización, ISO por sus siglas en inglés (International Organization for Standardization), es una organización no gubernamental independiente que desarrolla Normas Internacionales voluntarias.

¹¹ El ciclo de vida corresponde a las etapas consecutivas de un sistema productivo, desde la adquisición de materias primas o la generación de los recursos naturales hasta la disposición final de los residuos.

¹² Riesgos en el uso de agua se refiere a la probabilidad de experimentar un evento perjudicial relacionado con el agua. Ciertas condiciones como la escasez, la contaminación, una gobernanza deficiente, infraestructura inadecuada, el cambio climático, y otros, crean riesgos para muchos sectores y organizaciones. Cuando se habla de riesgo para las empresas respecto del agua, se refiere a los temas relacionados con el agua que potencialmente afectan la viabilidad del negocio. Generalmente se clasifican en tres tipos: físico (tener muy poca agua, exceso de agua, agua no apta para su uso o agua inaccesible), regulatorio (cambios frecuentes, políticas públicas o regulaciones ineficientes o mal aplicadas) y reputacional (percepción de los stakeholders de que una empresa no realiza negocios de manera sostenible o responsable respecto del agua). Global Compact, 2014 "The CEO Water Mandate, Driving Harmonization of Water Stress, Scarcity, and Risk Terminology" Discussion Paper.

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046

La norma ISO 14046 de huella hídrica, aprobada en julio de 2014, tiene un enfoque metodológico basado en el ACV de un producto (o servicio), proceso u organización, el cual considera los usos directos e indirectos de agua en la cadena de valor correspondiente y los correlaciona a potenciales impactos. El análisis de huella hídrica clasifica las materias primas, energías y emisiones relacionadas con los recursos hídricos para el sistema definido. De acuerdo con la norma, debe incluir tanto aspectos cualitativos como cuantitativos y asimismo la base de datos utilizada debe ser transparente. Por otro lado, la huella hídrica no puede representarse solamente en términos de volúmenes de agua consumida y contaminada, una evaluación de impactos relacionados a los recursos hídricos también debe ser considerada (ISO 14046). Un esquema simplificado del enfoque de análisis de ciclo de vida para la evaluación de huella hídrica se muestra en la Figura 1.



Figura 1: Esquema del enfoque de análisis de ciclo de vida en el cálculo de la huella hídrica.

Cada etapa del ciclo de vida (extracción y/o fabricación de materias primas, industria procesadora, distribución, uso/consumo y fin de vida) tiene sus usos directos e indirectos de agua. Por ejemplo, en el caso de la industria, los usos directos consideran el agua directamente utilizada por la industria para su operación y los usos indirectos toman en cuenta los usos de agua requeridos para la producción de las materias primas, la electricidad y cualquier otro flujo de materia y energía que la industria utilice en su operación. Estos usos directos e indirectos de agua generan una huella hídrica directa e indirecta respectivamente, por lo tanto cada etapa del ciclo de vida tiene su huella hídrica directa e indirecta. Sumadas, constituyen la huella hídrica de la etapa en cuestión, la que además se transforma en parte de la huella hídrica indirecta de las etapas sucesivas. La huella hídrica total se obtiene de la sumatoria de todas las huellas hídricas de las etapas del ciclo de vida.

El ACV puede realizarse para un producto delimitando el alcance “desde la cuna a la puerta” o “desde la cuna a la tumba”. En el primer caso se considera desde el procesamiento de materias primas hasta la salida del producto en la puerta de la fábrica, y el segundo caso incluye además las etapas de distribución, uso/consumo de productos y la disposición final de residuos. En rigor, el ACV debe incluir todas las etapas del ciclo de vida, sin embargo en algunos casos, cuando los objetivos del estudio lo justifican, es válido realizar un análisis hasta obtener el producto terminado en la fábrica. Este es el enfoque empleado cuando se realiza por ejemplo una evaluación de huella hídrica a una fábrica o planta productiva (debe incorporar todas las actividades relevantes relacionadas con los recursos hídricos que ocurren dentro de la fábrica o planta productiva) y no a un producto específico.

A partir del análisis de huella hídrica se pueden identificar y cuantificar los puntos clave en el uso de agua, conocidos como “hotspots”, lo que permite priorizar medidas de reducción de consumo y contaminación de agua directas, por ejemplo en áreas específicas de una industria, o indirectas, por ejemplo a partir de la cadena de suministros y las energías usadas. Para que el análisis permita tomar decisiones con una confianza razonable es importante que la evaluación sea transparente y que se haya utilizado toda la información necesaria.

2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

A continuación se presenta una descripción del procedimiento para la evaluación de huella hídrica basado en la norma ISO 14046. Se incluyen las etapas que forman parte de dicho procedimiento, las consideraciones que se deben tener en cuenta en cada una de ellas y las bases metodológicas implicadas en el procesamiento de información.

Para ayudar en el aprendizaje se propone un ejercicio completo de cálculo basado en un ejemplo ficticio realizado a una planta de cemento ubicada en el Perú. El ejemplo se desarrollará junto a la metodología, utilizando apartados (boxes) donde se incluirán los pasos correspondientes.

La Figura 2 muestra un esquema del procedimiento general para realizar una evaluación de huella hídrica.



Figura 2: Esquema de las etapas para el cálculo de huella hídrica (adaptado de ISO 14046, 2014)

Una evaluación de huella hídrica incorpora las etapas de objetivos y alcance, análisis de inventario y evaluación de impactos. Asimismo, en cada una de estas etapas se debe tener en cuenta el avance e interpretación de los resultados de acuerdo a los objetivos establecidos, para determinar si se debe seguir adelante o si es necesario realizar alguna modificación o incorporar nueva información.

Finalmente el proceso es iterativo, y se debe analizar en cada etapa si es necesario volver a atrás o si los resultados que se van obteniendo están en línea con el propósito del estudio. A continuación se describen las etapas comentadas y un mayor detalle de los requisitos de cada una de ellas se encuentra en la norma ISO 14046.

2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

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

2.1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- ¿Cuáles son las razones para llevar a cabo el estudio?
- ¿Cuál es la aplicación deseada de los resultados?
- ¿Hacia quién están dirigidos los resultados?

Los objetivos y el alcance que se establecerán en el estudio dependen de esta información. Es muy importante entonces, que estos aspectos queden bien definidos para que todo el procedimiento sea coherente con el propósito del estudio y que los datos, cálculos y supuestos permitan cumplir con lo que se espera del estudio.

Por ello, cuando se fijen los objetivos no sólo se debe buscar responder a los interrogantes comentados sino que además se debe tener en cuenta la utilidad que se dará a los resultados de la medición. En este sentido, es importante establecer claramente si la evaluación de huella hídrica se hará a un producto específico, a un proceso o a una industria.

BOX 1. Ejemplo práctico, definición de objetivos

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

La desigualdad de la disposición de agua afecta también 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:

- Implementar acciones que permitan reducir los impactos generados por los usos de agua.
- Capacitar a los colaboradores sobre la importancia del agua y su cuidado.

¿Hacia quiénes están dirigidos los resultados?

Los resultados del estudio están dirigidos principalmente a los tomadores de decisión de la empresa. Sí así lo considera la empresa, los resultados podrán ser compartidos con el sector público, otras empresas del sector privado o la academia.

De acuerdo con lo comentado, se han identificado los siguientes objetivos:

- Evaluar la huella hídrica de la planta de producción de cemento en un año, para identificar los puntos críticos en usos de agua (consumo y contaminación) y poder implementar acciones de reducción de huella hídrica.
- Comunicar los resultados de la evaluación de huella hídrica a las empresas del sector para promover el cuidado integral del agua en la cuenca.

2.1.2 UNIDAD FUNCIONAL (UF)

Se refiere a la base de cálculo respecto de la cual se normalizan las entradas y salidas del sistema analizado (flujos de referencia¹³ y sobre lo que se expresan los resultados obtenidos en la evaluación de huella hídrica (una evaluación de huella hídrica está relacionada a una unidad funcional). Se debe escoger cuidadosamente (las entradas y salidas del sistema analizado deben estar correlacionadas con la unidad funcional), para que los resultados reflejen la realidad y permitan concluir así como tomar decisiones respecto de los objetivos que se establecieron en el estudio.

BOX 2. Ejemplo planta cemento A1, definición de unidad funcional

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 Clinker y Yeso. La presentación final es en empaque de papel, de 42,5 kg. La producción total anual de la planta es de 1.865.551 toneladas.

¹³ Los flujos de referencia se refieren a las cantidades de inputs y outputs que se requieren para producir la unidad funcional.

2.1.3 DIMENSIÓN TEMPORAL Y GEOGRÁFICA

Deben quedar claramente establecidas las dimensiones temporal y geográfica del estudio. La evaluación de huella hídrica entrega indicadores definidos para un período de tiempo y lugar determinados, aspectos relacionados al momento y lugar en que se produjeron los flujos de materia y energía que se requirieron para el producto (o servicio), proceso o industria que se esté evaluando. Es importante entonces tener precisión respecto de cuándo y de dónde son los datos que se están utilizando en el estudio de evaluación de huella hídrica. Esto implica que la huella hídrica está relacionada con un período de tiempo determinado, y por lo tanto puede presentar variaciones, por ejemplo al ir implementando mejoras en los procesos.

BOX 3. Ejemplo planta cemento A1, dimensión temporal y geográfica

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 San Juan de Miraflores, Lima, Perú.

2.1.4 LÍMITES DEL SISTEMA

Establece qué se incluye y qué no se incluye en el estudio. La definición del sistema detalla las etapas, procesos y flujos de materia y energía (entradas y salidas) a considerar para la evaluación de la huella hídrica y debe contener todas las actividades relevantes, teniendo en cuenta los objetivos del estudio, y todos los procesos y flujos que puedan contribuir de manera significativa a los impactos ambientales relacionados al recurso hídrico. Resulta útil contar con una figura que ilustre claramente los límites del sistema evaluado.

BOX 4. Ejemplo planta de cemento A1, límites del sistema

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 siguiente figura la descripción sintetizada del sistema de producción analizado.

Cadena de suministros

Producción de los insumos para la producción de cemento Caliza, Yeso, Puzolana, Sílice, Mineral de Hierro, Bolsas de papel, Clinker.

Electricidad y Combustibles

Producción de energía (electricidad y combustibles).
Usado en la operación de la planta.

Operación directa en la planta de cemento

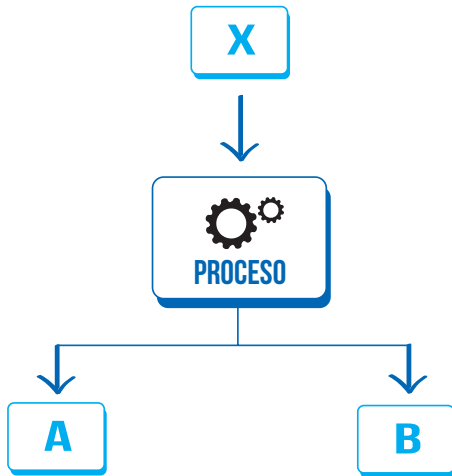
Procesos de producción de cemento. Chancado primario, chancado secundario, pre homogeneización, molienda y homogeneización, obtención de Clinker, enfriamiento y almacenamiento, molienda. (Agua consumida y contaminada, consumos en campamentos, áreas administrativas, áreas verdes).

2.1.5 REGLAS DE ASIGNACIÓN

Se definen las reglas de asignación que se utilizarán en el estudio. Muchas veces los procesos industriales no tienen una línea productiva simple, en donde materias primas se transforman en un solo producto, sino que generalmente producen más de un producto (“multi-output”). En este sentido, uno de los problemas que comúnmente existe cuando se evalúa la huella hídrica de un producto, es que generalmente los procesos involucrados en su fabricación producen más que ese sólo producto, lo que significa que el uso de los recursos, y por lo tanto de las cargas ambientales asociadas, se debe distribuir de manera justa entre los productos fabricados.

Para esto se utilizan factores de asignación que, como su nombre lo indica, asignan las cargas ambientales entre los productos de un proceso o sistema definido (todos los flujos de los procesos compartidos por más de un producto deben ser distribuidos entre los productos). Esta distribución de cargas ambientales se realiza de acuerdo a las relaciones que existen entre los productos, como por ejemplo relaciones físico-químicas o económicas.

Para explicar mejor en qué consisten los factores de asignación, a continuación la Figura 3 muestra un ejemplo genérico para el cálculo de un factor de asignación para un producto A, en un proceso que produce los productos A y B a partir de la materia prima X. En el ejemplo se muestra el cálculo para obtener un factor de asignación másico en base a masa seca y además un factor de asignación económico. En un caso real, la decisión de qué tipo de factor de asignación utilizar, se debe evaluar caso a caso, de acuerdo a las razones que justifiquen qué asignación sería más “justa”. En el Anexo A se muestra el cálculo de agua consumida usando factores de asignación másico y económico siguiendo el ejemplo de la Figura 3.



M_x : masa de x (kg)
 M_A : masa de A como resultado de la división de M_x (kg)
 M_B : masa de B como resultado de la división de M_x (kg)
 MS_x : masa seca de X (kg)
 MS_A : masa seca de A (kg)
 MS_B : masa seca de B (kg)
 X_A : fracción de producto para A (%)
 X_B : fracción de producto para B (%)
 X_{MSA} : fracción de masa seca de A (%)
 X_{MSB} : fracción de masa seca de B (%)
 P_A : precio de A (\$/kg)
 P_B : precio de B (\$/kg)
 FA_A : factor de asignación para A

Fracción de producto A: $X_A = M_A / (M_A + M_B)$

Fracción de masa seca A: $X_{MSA} = MS_A / M_A$

Factor de asignación másico A: $FA_A = (M_x * X_A * X_{MSA}) / (M_x * X_A * X_{MSA} + M_x * X_B * X_{MSB})$

Factor de asignación másico A: $FA_A = (M_A * X_{MSA}) / (M_A * X_{MSA} + M_B * X_{MSB})$

Factor de asignación económico A: $FA_A = (M_x * X_A * P_A) / (M_x * X_A * P_A + M_x * X_B * P_B)$

Factor de asignación económico A: $FA_A = (M_A * P_A) / (M_A * P_A + M_B * P_B)$

Figura 3: Ejemplo del cálculo de un factor de asignación másico y económico.

BOX 5. Ejemplo planta cemento A1, reglas de asignación

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).

2.1.6 CRITERIO DE CORTE

Se define hasta qué nivel de información se tomará en cuenta. Por ejemplo, en el caso de una fábrica que utiliza una gran cantidad de insumos se puede establecer un criterio de corte del 5% en masa para la cadena de suministros, lo que significa que se incluirán todos los insumos de la cadena de suministros cuya masa represente más del 5% respecto de la masa total de insumos utilizados en los procesos. Estos criterios de corte se justifican cuando existe una gran cantidad de flujos y por lo tanto cuantificarlos todos es muy complejo y/o cuando se supone con una confianza razonable que no agrega valor al estudio realizar un trabajo más detallado.

Siguiendo el caso de la cadena de suministros, se podría por ejemplo definir el mismo criterio del 5%, pero esta vez multiplicando la masa de cada insumo por su precio de mercado, y luego calculando los insumos que tengan un porcentaje mayor al 5% respecto del total de los insumos. Este criterio puede ser mejor, ya que se podría asumir que los insumos más caros son más elaborados y por lo tanto se requirieron más procesos y energías para su fabricación.

BOX 6. Ejemplo planta cemento A1, criterio de corte

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 Clinker.

2.1.7 DATOS DE INVENTARIO

Se describen las fuentes de información utilizadas en el estudio. Se deben indicar las fuentes de información primaria, por ejemplo información recopilada del personal de una empresa sobre la base de mediciones directas de usos de agua, insumos, energías, etc., y las fuentes de información secundaria, por ejemplo la base de datos utilizada en el estudio para estimar la huella hídrica indirecta.

BOX 7. Ejemplo planta cemento A1, datos de inventario

Datos de 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).

2.1.8 DATOS Y SUPUESTOS

Descripción de las etapas del ciclo de vida y los procesos, en términos de los datos y los supuestos que se hayan utilizado. Se deben detallar las principales consideraciones que se tomaron en cuenta para los flujos de referencia en cada una de las etapas del sistema analizado, indicando todos los supuestos y estimaciones realizados para el cálculo de los mismos y para estimar la huella hídrica asociada a esos flujos de referencia.

BOX 8. Ejemplo planta cemento A1, datos y supuestos

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.

2.1.9 EVALUACIÓN DE IMPACTOS RELACIONADOS CON EL RECURSO HÍDRICO

Descripción de los impactos evaluados en el análisis de huella hídrica (debe incluir todos los indicadores de impacto evaluados). Se debe dejar claro si el estudio realiza una evaluación integral de la huella hídrica, considerando diversos potenciales impactos relacionados con el uso del agua, o si incluye un solo indicador o categoría de impacto.

Asimismo, si los resultados se pretenden comunicar, debe quedar claro si la evaluación es integral y por lo tanto entrega un “perfil de huella hídrica”, o si se analizó un indicador de categoría de impacto y por lo tanto el resultado de huella hídrica debe incluir un calificativo, como por ejemplo “huella hídrica de escasez” o “huella hídrica de eutrofización”.

BOX 9. Ejemplo planta cemento A1, evaluación de impactos relacionados con el recurso hídrico

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. Los indicadores de impacto evaluados en estas categorías son:

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).

2.1.10 EVALUACIÓN DE IMPACTOS RELACIONADOS CON EL RECURSO HÍDRICO

Entrega una descripción cualitativa de la calidad de los datos utilizados. Los siguientes criterios se utilizan para el análisis de la calidad de la información.

Precisión: se refiere a la fuente de los datos, métodos de adquisición y métodos de verificación. Datos fiables son aquellos que se han verificado y medido directamente en terreno. El criterio está relacionado con la cuantificación del flujo.

Integridad: representa la exhaustividad de los datos recolectados. Los datos son completos cuando todos los elementos necesarios para realizar una actividad son cuantificados.

Representatividad: evalúa la correlación geográfica y tecnológica (reflejan los datos la realidad). Los datos son representativos cuando la tecnología está directamente relacionada con la utilizada en terreno. Este criterio se refiere principalmente a la elección de los procesos utilizados cuando se modela el sistema.

Consistencia: evalúa si la metodología del estudio se aplica de la misma manera para todos los datos.

Reproducibilidad: evalúa si la información acerca de los datos y el método utilizado permite reproducir los resultados del estudio.

Incertidumbre: entrega una evaluación cualitativa de la incertidumbre de los datos.

BOX 10. Ejemplo planta cemento A1, análisis de calidad de datos

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.

2.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO

2.2.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Como se comentó en referencia a los límites del sistema, se deben cuantificar todas las entradas y salidas relevantes del sistema analizado que puedan contribuir de manera significativa a los impactos ambientales relacionados con el uso de agua. En la información a recolectar se consideran ítems tales como entradas y salidas directas de agua (cantidad y calidad de agua extraída y descargada, fuente de extracción y cuerpo receptor de descarga), entradas de materias primas, insumos de procesos, energías (electricidad y combustibles) y salidas de productos y contaminantes, como muestra la Figura 4.

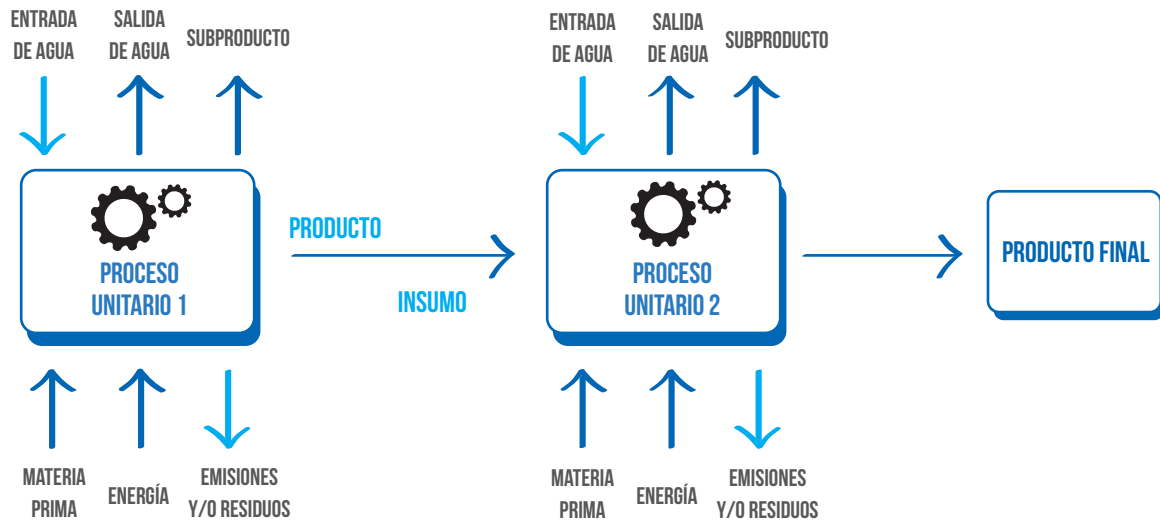


Figura 4: Diagrama general de proceso y tipo de información solicitada para el cálculo de huella hídrica.

También se deben tener en consideración los transportes que se requieren para el traslado de la cadena de suministros, combustibles o residuos, el tratamiento externo de efluentes líquidos y sólidos si es que existen, así como todas las actividades que estén relacionadas con la unidad funcional en evaluación. Como en cualquier proceso, se deben mantener las leyes de conservación de la materia y la energía, lo que implica que la masa de materia que entra al proceso, debe ser la misma que la masa que sale del proceso. Este aspecto es de ayuda a la hora de revisar los datos recolectados y detectar posibles errores.

Al trabajar en la evaluación de huella hídrica en una industria es importante tener una planilla de levantamiento de información, para que el personal técnico a cargo de recolectar los datos pueda ir agregando de manera ordenada y clara la información solicitada. Para esto es importante realizar visitas técnicas que permitan conocer los procesos productivos e identificar los puntos clave en usos directos de agua, insumos y energías, entre otros. Un trabajo en conjunto con el personal de planta es indispensable para poder recolectar toda la información relevante para la evaluación de la huella hídrica.

Un modelo de planilla podría ser el siguiente:

| PLANILLA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN ANUAL | | |
|--|----------|------------------|
| Unidad/año | Cantidad | Área responsable |
| Producción anual | | |
| Uso directo: agua extraída | | |
| Agua 1 | | |
| Uso indirecto | | |
| Suministros 1 | | |

Tabla 1. Modelo de planilla de levantamiento de información.

El perfil de quién será la contraparte en la empresa que suministrará la información solicitada puede también ser un aspecto de importancia. Lo ideal es que esta persona conozca los procesos productivos y tenga conocimiento del circuito del agua en las instalaciones, por lo que alguien con liderazgo dentro del personal técnico de operaciones puede ser un buen candidato.

Luego de obtener los datos de entradas y salidas relevantes del sistema analizado, estos datos se normalizan respecto de la unidad funcional (base de cálculo). En otras palabras, para cada flujo se calcula la cantidad requerida para producir la unidad funcional (flujo de referencia).

La etapa de análisis de inventarios o recolección de información es muy demandante en tiempo y recursos, debido a la gran cantidad de datos que se requiere recopilar y que muchas veces pueden no estar medidos o cuantificados. Por lo tanto, el involucramiento y compromiso de la empresa respecto de la recolección de los datos necesarios para realizar la evaluación de huella hídrica afectará directamente el tiempo del estudio. Es importante destacar que la calidad de los resultados del análisis de huella hídrica está directamente relacionada con la calidad del inventario utilizado.

BOX 11. Ejemplo planta cemento A1, levantamiento de información

Levantamiento de información

En general las empresas son muy reservadas con la información que publican. Antes de realizar la recopilación de información es necesario concertar reuniones con los representantes de la empresa y tener los permisos necesarios para poder hacer el levantamiento de la información. Esta parte de la evaluación es importante porque la empresa tiene involucrada a muchas áreas que se encargarán de reportar al especialista de medición. Un criterio que se debe considerar en esta parte del estudio es que se deben reportar sólo los consumos y no las compras para almacenamiento.

Para facilitar la recopilación de datos se han diseñado planillas de levantamiento de información. A continuación se muestra la planilla de información resumida con la información que se considerará en la evaluación de huella hídrica.

Continuación BOX 11

Los resultados del levantamiento de información son los siguientes:

| PLANILLA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN ANUAL | | | |
|--|----------------|------------|------------------|
| | Unidad/año | Cantidad | Área responsable |
| Producción anual | t | 1,865,551 | producción |
| Uso directo: agua extraída | | | |
| Agua doméstica | m ³ | 137,185.50 | medio ambiente |
| Agua industrial | m ³ | 24,551.50 | medio ambiente |
| Agua de cisterna | m ³ | 57,919.50 | medio ambiente |
| Agua para irrigación | m ³ | 29,584.50 | medio ambiente |
| Uso indirecto: cadena de suministros | | | |
| Caliza | t | 2,035,260 | materias primas |
| Puzolana | t | 15,346.50 | materias primas |
| Yeso | t | 91,056 | materias primas |
| Sílice | t | 28,609.50 | materias primas |
| Mineral de hierro | t | 1,694 | materias primas |
| Bolsas de papel | uni | 29,039,143 | materias primas |
| Clinker | t | 444,554.50 | materias primas |

Continuación BOX 11

PLANILLA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN ANUAL

| | Unidad/año | Cantidad | Área responsable |
|--|----------------|----------------|------------------|
| Uso indirecto: electricidad y combustibles | | | |
| Electricidad | KWh | 150,327,032.50 | producción |
| Gas para hornos | m ³ | 76,763,632.00 | producción |
| Diésel | t | 7,352.50 | producción |
| Carbón nacional | t | 27,942.00 | producción |
| Carbón importado | t | 27,942.00 | producción |

Como se muestra en la tabla anterior, se ha clasificado la información en tres grupos:

1. Uso directo: agua extraída (balance hídrico)
2. Uso indirecto en cadena de suministros (insumos que superan la regla de corte)
3. Uso indirecto de electricidad y combustible (se consideran todos los flujos)

2.2.2 BALANCE DIRECTO DE AGUA EN UN PROCESO

Un proceso puede recibir agua de manera directa de una o más fuentes y las salidas de esta agua pueden ser diversas. A continuación, la Figura 5 muestra un esquema de las posibles entradas y salidas de agua de un proceso.

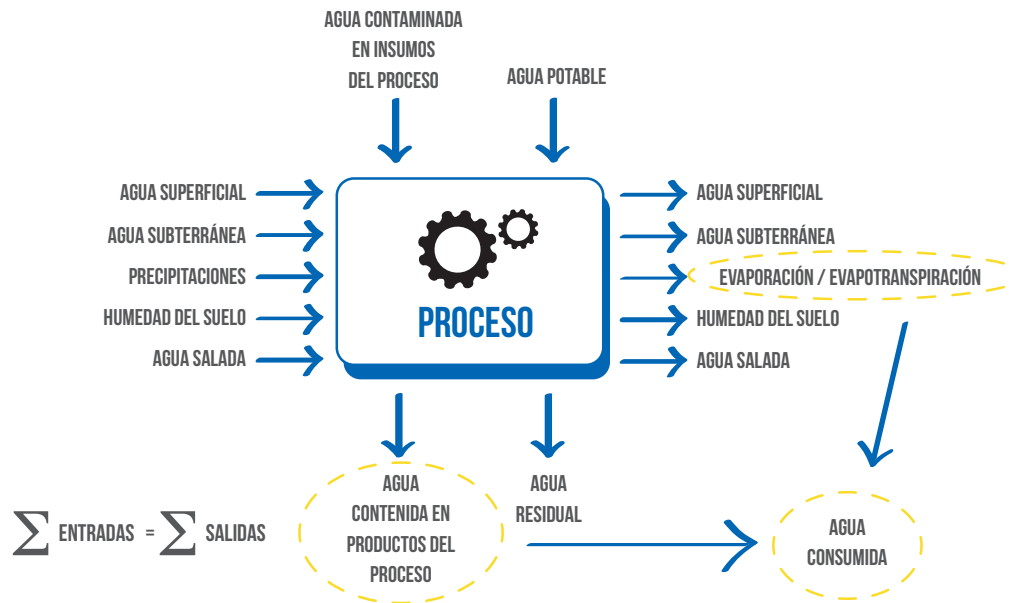


Figura 5: Balance hídrico de un proceso (adaptado del curso de Psister y Boulay 2012 "train trainers").

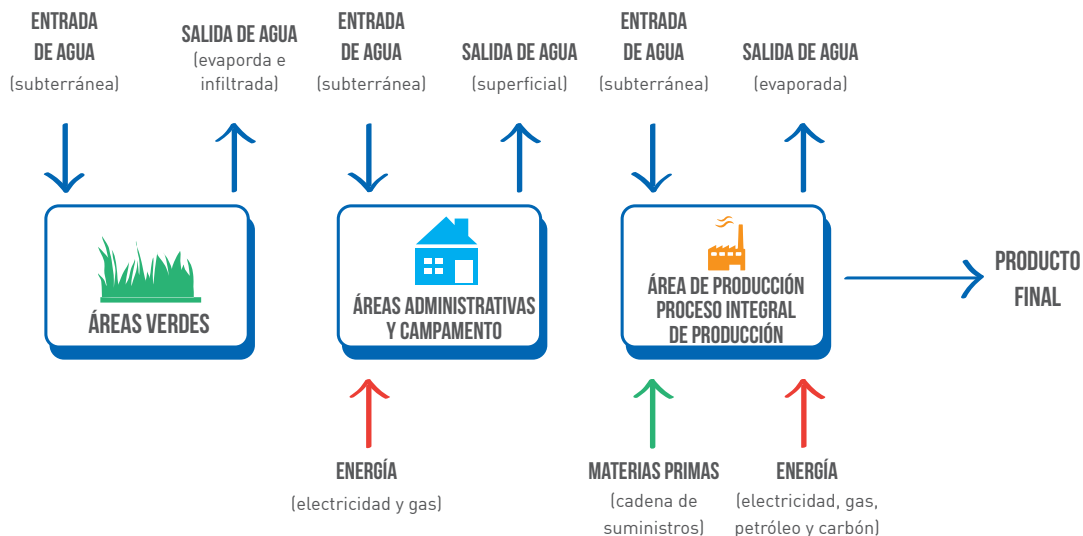
En la Figura 5 se muestran flujos horizontales y verticales de agua. Los flujos horizontales son flujos de agua desde y hacia el medio ambiente y se llaman flujos elementales. Los flujos verticales, son flujos de agua desde y hacia actividades humanas y se llaman flujos de la tecnósfera¹⁴. Además, se indica que la sumatoria de entradas y salidas deben ser iguales. Se incorpora este aspecto debido a que en el tiempo, la masa de agua que entra y sale de un proceso debe tender hacia el equilibrio (entradas = salidas). A continuación se describen brevemente cada una de las entradas y salidas del balance hídrico.

¹⁴ La tecnósfera es el término usado para describir el desarrollo tecnológico del ser humano para adaptar el entorno y aprovechar los recursos.

BOX 12. Ejemplo planta cemento A1, balance directo por áreas

Balance directo por áreas

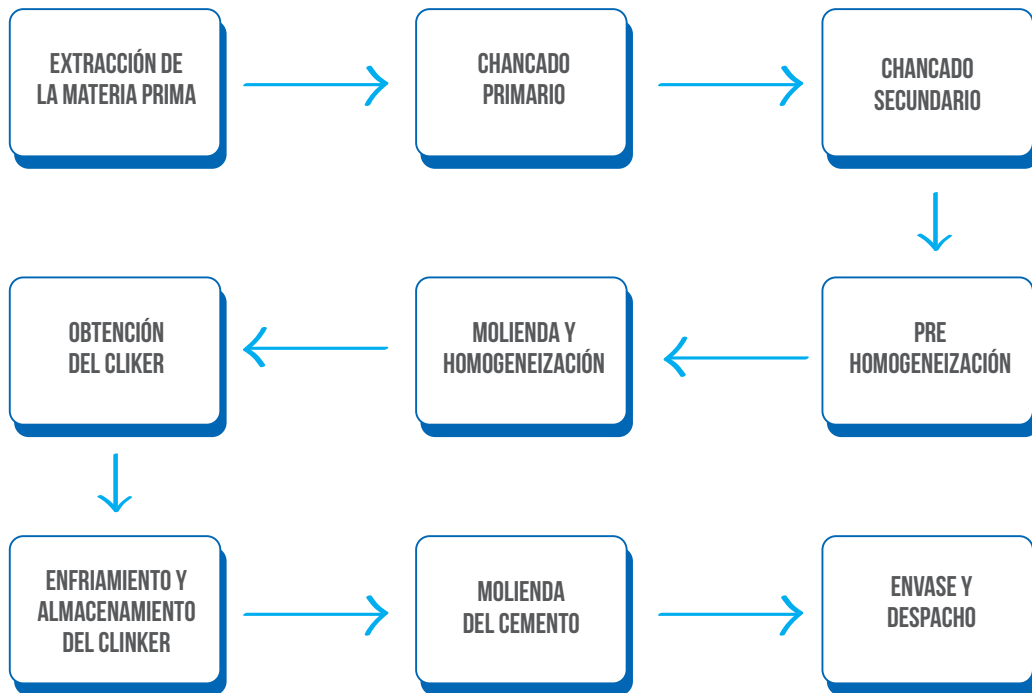
Para identificar y caracterizar cuantitativa y cualitativamente todas las entradas y salidas del sistema se han clasificado las áreas de estudio de acuerdo al tipo de actividades que se desarrollan. Por ejemplo, para el uso directo de agua se ha caracterizado fisicoquímicamente la calidad y cantidad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



Continuación BOX 12

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.

PROCESO INTEGRAL DE PRODUCCIÓN DE CEMENTO



Continuación BOX 12

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.

Continuación BOX 12

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.

Como se muestra en la Figura 5, 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.

Continuación BOX 12

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.

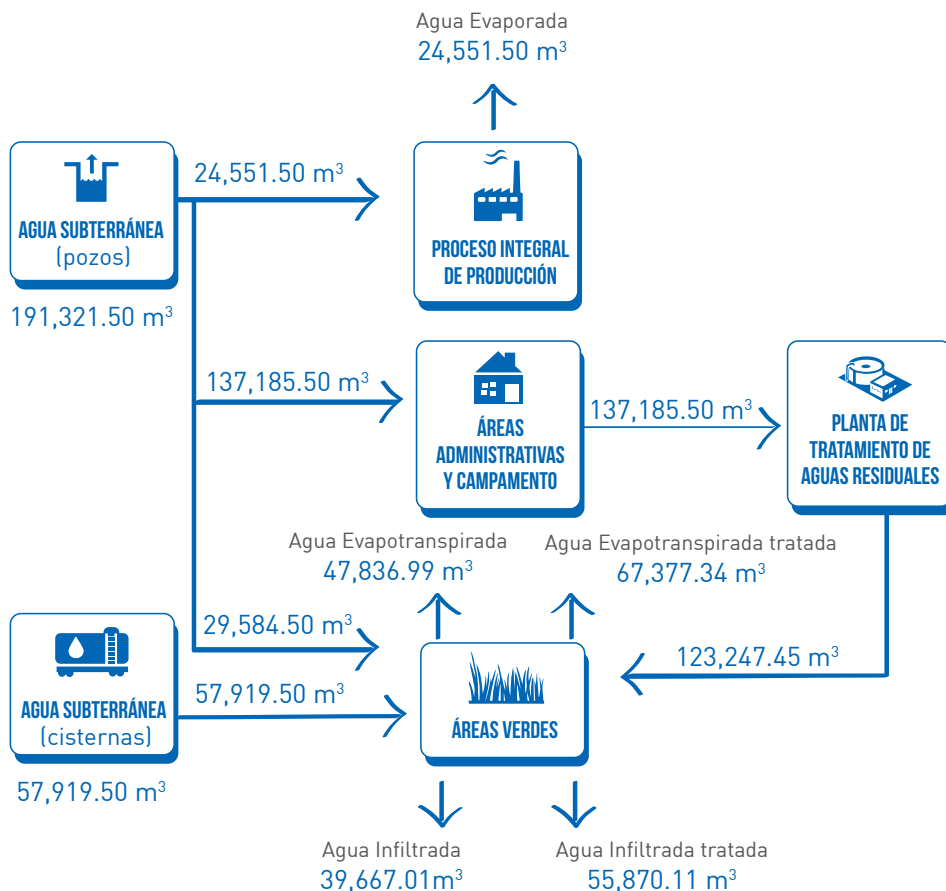
Agua para usos sanitarios: se refiere al agua extraída.

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.

¹⁵ Generación de vapor para calentamiento o agua enfriada para refrigeración de procesos.

BOX 13. Ejemplo planta cemento A1, balance hídrico

Balance hídrico



La imagen anterior diferencia el uso de agua por áreas. El agua evaporada y evapotranspirada es considerada agua consumida, pues luego del proceso no vuelve a la cuenca de donde fue extraída.

2.2.3 ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información recopilada se debe estructurar en planillas de inventario de usos de agua. En éstas se ordena 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 de ecoinvent 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 energía¹⁷.

¹⁶ <http://waterfootprint.org/en/resources/water-footprint-statistics/>

¹⁷ http://www.ifu.ethz.ch/ESD/downloads/WATER_DATA

BOX 14. Ejemplo planta cemento A1, organización de la información

Paso 1. Determinación de agua consumida por usos directos

Para determinar el consumo de agua a partir del balance hídrico se ha utilizado la siguiente ecuación:

Ecuación A:

$$\sum \text{entradas} = \sum \text{salidas} = \text{Agua Consumida}$$

Considerando la ecuación A. se construye el siguiente cuadro:

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD (m ³ / año) |
|--|------------------------------------|
| Entradas de agua | |
| Agua subterránea extraída de pozo | 191,321 |
| Agua subterránea en cisternas | 57,919 |
| Salidas de agua | |
| Agua infiltrada por riego de áreas verdes | 39,667 |
| Agua tratada infiltrada por riego de áreas verdes | 55,870 |
| Agua consumida total por uso directo (agua evaporada y evapotranspirada) | 153,704 |

Agua consumida total por uso directo

Continuación BOX 14.

Toda la información de entradas y salidas es información primaria de la empresa. De la tabla se puede determinar que el consumo directo total de agua durante un año de producción de cemento es 153,704 m³ de agua.

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

Entradas

Agua subterránea. Se extrae agua subterránea para uso doméstico, industrial e irrigación (191,321.50 m³). Además, el agua es transportada en camiones cisterna para el riego de áreas verdes (57,919.50 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 39,667.01 m³ son devueltos al medio ambiente (Regionalization, Seibert, 1999), ocurre lo mismo con el 45% de agua tratada y utilizada para irrigación (55,870.11 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 (115,214.33 m³). Además, se contabiliza el agua evaporada en procesos industriales y procesos de tratamiento de aguas residuales (38,489.55 m³), incluyendo el 10,16% del volumen de agua evaporada en la PTAR. Se asume una tasa de evaporación de 101.6 mm.

Agua residual a tratar. Se ha contabilizado el agua que ingresa a la planta de tratamiento de agua residual doméstica (137,185.50 m³). El agua tratada es utilizada para el riego de áreas verdes.

Continuación BOX 14.

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.

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

La siguiente tabla 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.

| INSUMOS | PROCESO SELECCIONADO DE LA BASE DE DATOS (ECOINVENT 2.2V) | UNIDAD |
|-----------------------|--|--------|
| Cadena de suministros | | |
| Caliza | limestone, at mine/CH U | kg |
| Puzolana | basalt, at mine/RER U | kg |
| Yeso | gypsum, mineral, at mine/CH U | kg |
| Sílice | silica sand, at plant/DE U | kg |
| Mineral de hierro | iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO U | kg |
| Bolsas de papel | kraft paper, unbleached, at plant/RER U | kg |
| Clinker | clinker, at plant/CH U | kg |

Continuación BOX 14.

| INSUMOS | PROCESO SELECCIONADO DE LA BASE DE DATOS (ECOINVENT 2.2V) | UNIDAD |
|-----------------------------|--|--------|
| Electricidad y combustibles | | |
| Electricidad | electricity, medium voltage, production PE, at grid/PE | kWh |
| Gas para hornos | natural gas, high pressure, at consumer/RER U | MJ |
| Diésel | diesel, low-sulphur, at regional storage/RER U | kg |
| Carbón nacional | hard coal, burned in industrial furnace 1-10MW/RER U | MJ |
| Carbón importado | hard coal, burned in industrial furnace 1-10MW/RER U | MJ |

La base de datos escogida* 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.

* Se eligió la base de datos de Quantis. Para más información al respecto ver 2.2.3, referido a organización de la información.

Continuación BOX 14.

La siguiente tabla muestra la recopilación de la información para determinar el agua consumida por uso indirecto.

| INSUMOS | UNIDAD según base de datos | CANTIDAD EMPLEADA EN LA EMPRESA | AGUA CONSUMIDA según base de datos | AGUA CONSUMIDA INDIRECTA (cantidad x agua consumida) |
|--|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--|
| Suministros | | | | |
| Caliza | kg | 2,04E+09 | 2.50E-05 | 5.10E+04 |
| Puzolana | kg | 1.59E+07 | 2.37E-05 | 3.79E+02 |
| Yeso | kg | 9.11E+07 | 7.39E-06 | 6.73E+02 |
| Sílice | kg | 2.86E+07 | 2.68E-04 | 7.66E+03 |
| Mineral de hierro | kg | 1.69E+06 | 3.71E-04 | 6.28E+02 |
| Bolsas de papel | kg | 5.23E+06 | 4.98E-02 | 2.60E+05 |
| Clinker | kg | 4.45E+08 | 1.65E-03 | 7.35E+05 |
| Electricidad y combustibles | | | | |
| Electricidad | kWh | 1.50E+08 | 1.63E-02 | 2.44E+06 |
| Gas para hornos | MJ | 2.94E+09 | 1.05E-05 | 3.07E+04 |
| Diésel | kg | 1.60E+06 | 1.24E-04 | 1.99E+02 |
| Carbón nacional | MJ | 8.19E+08 | 3.80E-05 | 3.11E+04 |
| Carbón importado | MJ | 8.19E+08 | 3.80E-05 | 3.11E+04 |
| Consumo total de agua por cadena de suministros, electricidad y combustibles | | | | 3.59E+06 |

Continuación BOX 14.

Como resultado de la tabla obtenemos $3.59E+06 \text{ m}^3$ 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 ($1.53E+05 \text{ m}^3$) y el agua consumida por uso indirecto en cadena de suministros, electricidad y combustibles ($3.59E+06 \text{ m}^3$). El detalle de la operación se muestra en la siguiente ecuación.

Ecuación B:

Agua consumida TOTAL=Agua consumida directa+Agua consumida indirecta

$$\text{Agua consumida TOTAL}=1.53E+05 \text{ m}^3 + 3.59 \text{ E}+06 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua consumida TOTAL}= 3.75E+06 \text{ m}^3$$

2.3 EVALUACIÓN DE IMPACTOS RELACIONADOS CON EL USO DEL RECURSO HÍDRICO

Acorde a la norma ISO 14046, 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 calculan dos tipos de indicadores, denominados de punto medio y punto final.

En el caso particular del proyecto SuizAgua Andina, 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.

2.3.1 INDICADOR DE DISPONIBILIDAD DE AGUA: ÍNDICE DE IMPACTO HÍDRICO (WIIX)

Desarrollado por Veolia¹⁸ (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.



Figura 6: Factores incluidos en el cálculo del índice de Impacto Hídrico

¹⁸ Veolia es una compañía transnacional francesa, con actividades en tres áreas principales: gestión del agua, gestión de residuos y servicios energéticos.

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:

$$\text{WIIX}_{\text{extracción}} = + (E \cdot Q_E \cdot \text{WSI}_E) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{WIIX}_{\text{descarga}} = - (S \cdot Q_S \cdot \text{WSI}_S) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde E y S son los volúmenes de agua extraída y descargada, respectivamente, QE y QS 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 expresión:

$$Q_{E,S} = \min\left(1; \frac{C_{\text{REF}}}{C_{E,S}}\right) \quad \text{Ecuación 3}$$

Este factor toma en cuenta la calidad de las aguas extraídas y descargadas (CE,S) y una concentración de referencia¹⁹ (CREF). 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.

¹⁹ Veolia tiene establecidas concentraciones de referencia para algunos parámetros, aunque también se podrían utilizar las concentraciones indicadas en las normas ambientales del lugar donde se realiza la evaluación de huella hídrica y que establecen los límites máximos de los diferentes contaminantes en los cuerpos de agua. Bouley et al. (2011) presenta calidades de agua para diferentes usos y es otra fuente que se podría utilizar como concentración de referencia.

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 Earth²⁰.

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. m³ 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.

²⁰ <http://www.ifu.ethz.ch/ESD/downloads/EI99plus>

BOX 15. Ejemplo planta cemento A1, evaluación de impactos relacionados con el uso del recurso hídrico

Paso 3. Determinación de índice impacto hídrico por uso directo

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. En un caso real, 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:

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

$$Q_{E,S} = \min\left(1; \frac{0.05}{0.1}\right)$$

*Cref = 0.05mg P/L (Veolia)

Continuación BOX 15.

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:

WIIXagua doméstica de pozo = Agua utilizada x WSI localización x WIIX del proceso de la BD

$$\text{WIIXagua doméstica de pozo} = 1.37\text{E}+08 \text{ litros} \times 1 \times 1$$

$$\text{WIIXagua doméstica de pozo} = 1.37\text{E}+08 \text{ litros}$$

$$\text{WIIXagua doméstica de pozo} = 1.37\text{E}+05 \text{ litros m}^3$$

Continuación BOX 15.

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

| DESCRIPCIÓN | Agua utilizada (litros) | Agua descargada (litros) | Factor de calidad extraída | Factor de calidad de descarga | WSI localización (Pfister, 2009) | WIIX Base de datos | WIIX uso directo (m ³) |
|---|-------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Extraída | | | | | | | |
| Agua doméstica de pozo | 1.37E+08 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1.00E-03 | 1.37E+05 |
| Agua industrial de pozo | 2.46E+07 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1.00E-03 | 2.46E+04 |
| Agua de cisterna para riego | 5.79E+07* | 2.63E+04* | 1 | 1 | 1 | 5.47E-04 | 3.17E+04 |
| Agua ide pozo para riego | 2.96E+07* | 1.34E+04* | 1 | 1 | 1 | 5.47E-04 | 1.62E+04 |
| Descarga | | | | | | | |
| Planta de tratamiento de agua residual para riego | 1.23E+08 | 5.59E+04 | 1 | 0,5 | 1 | -2.23E-04 | -2.75E+04* |
| WIIX Uso directo | | | | | | 1.82E+05 m ³ -eqWIIX/UF | |
| * Se ha considerado que el 55% del agua total utilizada es consumida por evaporación y que el 45% retorna a la cuenca por infiltración (Regionalization, Seibert, 1999) | | | | | | | |

Cálculo de WIIX por uso directo

De la tabla deducimos que el WIIX por uso directo es 1.82E+05 m³-eqWIIX/UF

Continuación BOX 15.

Paso 4. Determinación de índice hídrico por uso directo

Para calcular el Índice de Impacto Hídrico de un insumo 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)

A continuación se muestra en la tabla el WIIX de los procesos de la base de datos.

| INSUMOS | PROCESO SELECCIONADO DE BASE DE DATOS (Ecoinvent) | WIIX (m ³ -eq. WIIX/UF) (Veolia) |
|-------------------|---|---|
| Suministros | | |
| Caliza | limestone, at mine/CH U | 1.82E-05 |
| Puzolana | basalt, at mine/RER U | 1.46E-05 |
| Yeso | gypsum, mineral, at mine/CH U | 4.13E-06 |
| Sílice | silica sand, at plant/DE U | 1.66E-04 |
| Mineral de hierro | iron ore, 65% Fe, at beneficiación/GLO U | 1.12E-03 |
| Bolsas de papel | kraft paper, unbleached, at plant/RER U | 4.97E-02 |
| Clinker | clinker, at plant/CH U | 1.04E-03 |

Continuación BOX 15.

| INSUMOS | PROCESO SELECCIONADO DE BASE DE DATOS (Ecoinvent) | WIIX (m ³ -eq. WIIX/UF) (Veolia) |
|-----------------------------|--|---|
| Electricidad y combustibles | | |
| Electricidad | electricity, medium voltage, production PE, at grid/PE | 1.16E-02 |
| Gas para hornos | natural gas, high pressure, at consumer/RER U | 4.78E-06 |
| Diésel | diesel, low-sulphur, at regional storage/RER U | 8.84E-05 |
| 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 |

WIIX de proceso seleccionado de la base de datos por insumo

A continuación se muestra en la tabla el Índice de estrés hídrico (WSI) de la localización.

| INSUMOS | LOCALIZACIÓN | WIIX (m ³ /M ³) (Pfister et al. 2009) |
|-------------------|------------------------------|--|
| Suministros | | |
| Caliza | Lima, San Juan de Miraflores | 1 |
| Puzolana | Lima, San Juan de Miraflores | 1 |
| Yeso | Lima, San Juan de Miraflores | 1 |
| Sílice | Huancayo | 0,0104 |
| Mineral de hierro | Ica, Nazca, Marcona | 1 |
| Bolsas de papel | Lima, Los Olivos | 1 |
| Clinker | United States of America | 0,4994 |

Continuación BOX 15.

| INSUMOS | LOCALIZACIÓN | WIIX (m ³ /M ³) (Pfister et al. 2009) |
|-----------------------------|------------------------------|--|
| Electricidad y combustibles | | |
| Electricidad | Lima, San Juan de Miraflores | 1 |
| Gas para hornos | Lima, San Juan de Miraflores | 1 |
| Diésel | Lima, San Juan de Miraflores | 1 |
| Carbón nacional | Lima, San Juan de Miraflores | 1 |
| Carbón importado | México | 0,756007 |

WSI de localización del insumo

Nota: El WSI global según Pfister, et al. 2009 es de 5.89E-01 m³/m³

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

Ecuación C

$$\text{WIIX}_{\text{caliza}} = \frac{(\text{Cantidad normalizada de flujo} \times \text{WIIX proceso seleccionado} \times \text{WSI localización})}{(\text{WSI global})}$$

$$\text{WIIX}_{\text{caliza}} = \frac{(2.04\text{E}+09 \times 1.82\text{E}-05 \times 1)}{(5.89\text{E}-01)}$$

$$\text{WIIX}_{\text{caliza}} = 6.30\text{E}+04 \text{ m}^3 \text{ eqWIIX/UF}$$

Continuación BOX 15.

Finalmente, en la siguiente tabla se muestra el WIIX para los insumos en la cadena de suministro, electricidad y combustibles.

| INSUMOS | LOCALIZACIÓN | WIIX indirecto (Veolia) (m ³ -eqWIIX/UF) |
|------------------------------------|------------------------------|---|
| Suministros | | |
| Caliza | Lima, San Juan de Miraflores | 6.30E+04 |
| Puzolana | Lima, San Juan de Miraflores | 3.94E+02 |
| Yeso | Lima, San Juan de Miraflores | 6.38E+02 |
| Sílice | Huancayo | 8.36E+01 |
| Mineral de hierro | Ica, Nazca, Marcona | 3.23E+03 |
| Bolsas de papel | Lima, Los Olivos | 4.41E+05 |
| Clinker | United States of America | 3.92E+05 |
| Electricidad y combustibles | | |
| Electricidad | Lima, San Juan de Miraflores | 2.97E+06 |
| Gas para hornos | Lima, San Juan de Miraflores | 2.38E+04 |
| Diésel | Lima, San Juan de Miraflores | 2.41E+02 |
| Carbón nacional | Lima, San Juan de Miraflores | 7.02E+04 |
| Carbón importado | México | 5.30E+04 |
| WIIX indirecto total | | 4.01E+06 |

Continuación BOX 15.

Para el cálculo del WIIX total se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación D

$$\text{WIIX TOTAL} = \text{WIIX indirecto} + \text{WIIX directo}$$

$$\text{WIIX TOTAL} = 4.01\text{E}+06 + 1.82\text{E}+05$$

$$\text{WIIX TOTAL} = 4.20\text{E}+06 \text{ (m}^3 \text{ eqWIIX)} / (\text{Producción anual de cemento})$$

2.3.2 INDICADORES DE IMPACTO EN SALUD HUMANA Y CALIDAD DE LOS 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 3 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 continuación, la Figura 7 muestra los indicadores de punto final evaluados en SuizAgua Andina para cada categoría y la Tabla 2 describe brevemente cada uno de ellos.

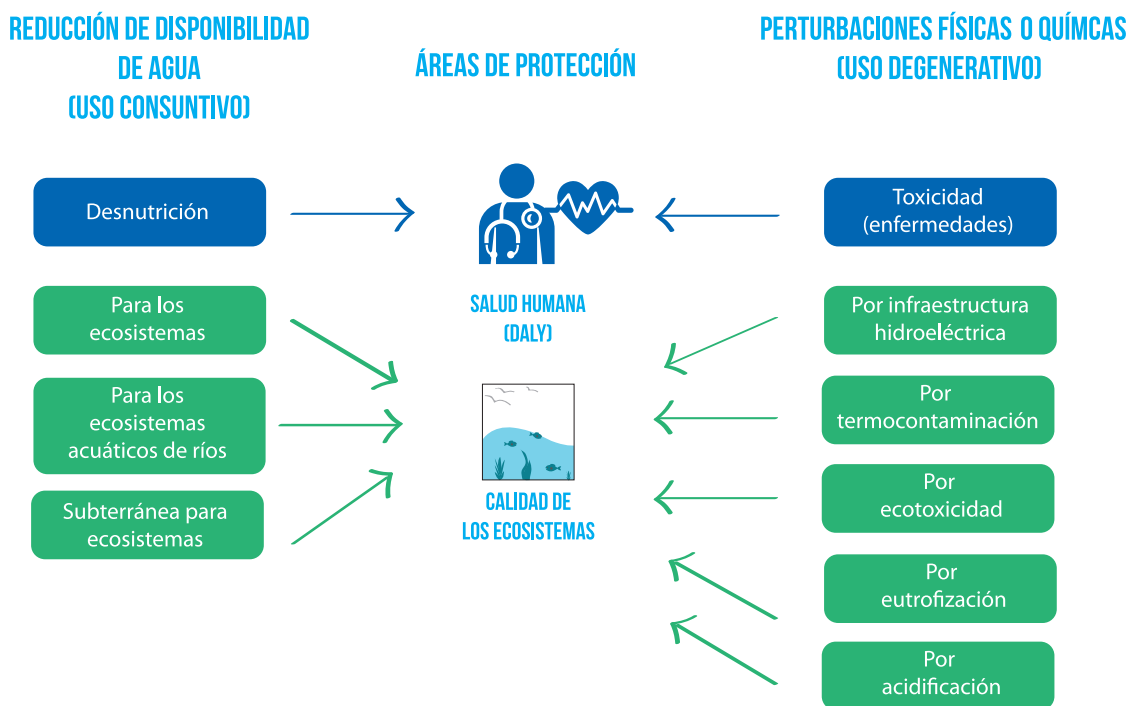


Figura 7: Clasificación de los indicadores de impacto de punto final. Elaboración propia.

POTENCIALES IMPACTOS EN SALUD HUMANA (DALY)

| | |
|--|---|
| Desnutrición causada por consumo de agua (Pfister et al. 2009) | Mide el potencial impacto en salud humana por desnutrición causado por consumo de agua dulce. El impacto se debe a la falta de agua para riego del sector agrícola debido al consumo de agua para otros fines. |
| Enfermedades causadas por toxicidad del agua (USEtox; Rosenbaum et al. 2008) | Mide el potencial impacto en salud humana por enfermedades cancerígenas y no cancerígenas causadas por la emisión de sustancias tóxicas a cuerpos de agua dulce. El impacto se debe a la ingestión de sustancias tóxicas. |

POTENCIALES IMPACTOS EN CALIDAD DE LOS ECOSISTEMAS (PDF*M²*Y)

| | |
|--|--|
| Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas (Pfister et al. 2009) | Mide el potencial impacto en los ecosistemas causado por consumo de agua dulce. Tiene en cuenta el daño a la vegetación por menor disponibilidad de agua, debido al consumo de agua para otros fines. |
| Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas acuáticos de río (Hanafiah et al. 2011) | Mide el potencial impacto en los ecosistemas causado por consumo de agua de río. Tiene en cuenta la pérdida de la biodiversidad acuática del río debido al consumo de agua. |
| Reducción de disponibilidad de agua subterránea para los ecosistemas (Van Zelm et al. 2011) | Mide el potencial impacto en los ecosistemas causado por la extracción de agua subterránea poco profunda. Tiene en cuenta el cambio en el nivel promedio de las aguas subterráneas poco profundas como consecuencia del consumo de agua. |
| Perturbaciones físicas o químicas por infraestructura hidroeléctrica (Maendly y Humbert, 2012) | Mide el potencial impacto causado por la presencia de infraestructura hidroeléctrica en los ecosistemas acuáticos. Tiene en cuenta la pérdida de la biodiversidad acuática por el uso de agua para la generación de energía, calculado por m ³ de agua turbinada. |

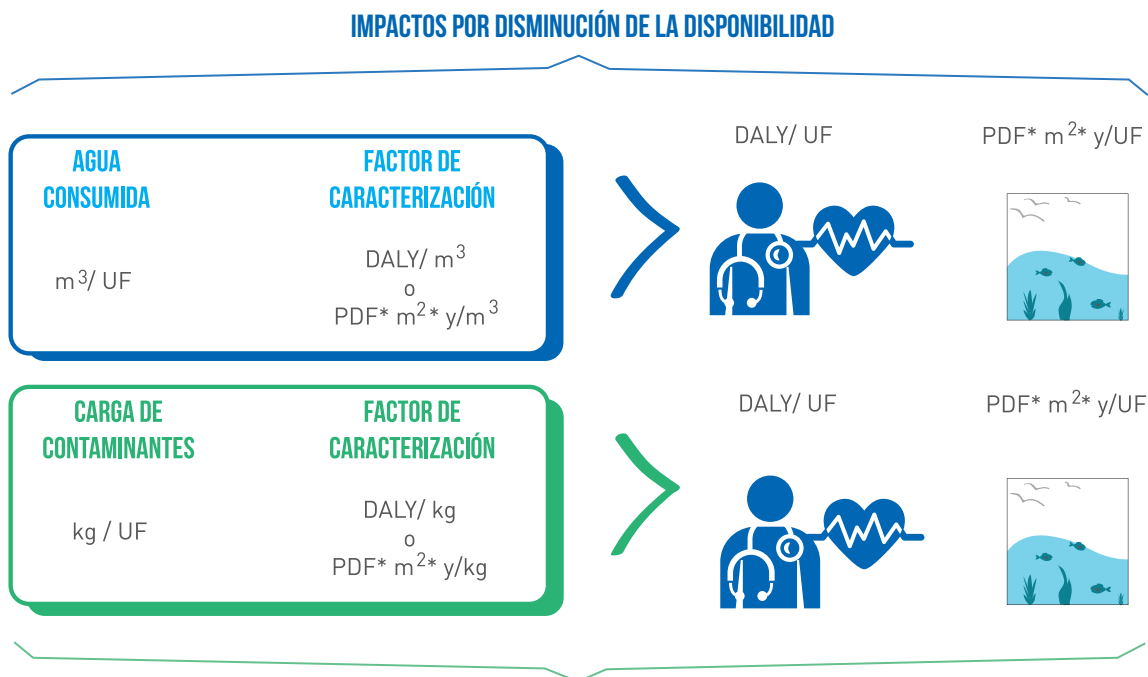
POTENCIALES IMPACTOS EN CALIDAD DE LOS ECOSISTEMAS (PDF*m²*Y)

| | |
|---|---|
| <p>Perturbaciones físicas o químicas por termocontaminación (Verones et al. 2010)</p> | <p>Mide el potencial impacto en los ecosistemas acuáticos causado por contaminación térmica de agua dulce. Tiene en cuenta la pérdida de la biodiversidad en agua dulce por la descarga de agua contaminada térmicamente.</p> |
| <p>Perturbaciones físicas o químicas por ecotoxicidad (USEtox; Rosenbaum et al. 2008)</p> | <p>Mide el potencial impacto causado por emisiones de sustancias tóxicas al agua en los ecosistemas de agua dulce. Tiene en cuenta los impactos tóxicos en un ecosistema, dañando especies individuales y el cambio de la estructura y función del ecosistema debido a las emisiones al agua dulce.</p> |
| <p>Perturbaciones físicas o químicas por eutrofización (Goedkoop et al. 2009)</p> | <p>Mide el potencial impacto causado por eutrofización en los ecosistemas de agua dulce. Tiene en cuenta los daños a la biodiversidad de los ecosistemas de agua dulce por emisión de fósforo y/o otras sustancias eutrofizantes.</p> |
| <p>Perturbaciones físicas o químicas por acidificación (Jolliet et al. 2003)</p> | <p>Mide el potencial impacto en los ecosistemas acuáticos causado por emisiones de sustancias acidificantes. Tiene en cuenta los aportes de las diversas emisiones a la atmósfera, agua y suelo.</p> |

Tablas 2: Descripción general de los indicadores de impacto de punto final evaluados en Suiza Agua Andina.

Estos indicadores se calculan con el volumen de agua consumida o la masa de contaminante emitido por unidad funcional del estudio multiplicado por factores de caracterización²¹ propuestos según el indicador evaluado, por distintas fuentes comentadas en las Tablas 2.

La Figura 8 ejemplifica el cálculo de los potenciales impactos producidos de manera directa.



IMPACTOS POR DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD

Figura 8: Cálculo de impactos potenciales de punto final directos. Elaboración propia.

Para usos indirectos de agua, al igual que en el caso del WIIX, estos indicadores se calculan a partir de los datos suministrados por la base de datos utilizada, los cuales se multiplican por los flujos de referencia.

²¹ Se trata de un 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.

BOX 16. Ejemplo planta cemento A1, indicadores de impacto en salud humana y calidad de ecosistemas

Paso 5. Determinación de impactos potenciales en salud humana por reducción de disponibilidad de agua

1. 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 E

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

Desnutrición por consumo de agua = $1.37E+05 \times 1.17E-07$

Desnutrición por consumo de agua = $1.60E-02$

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.

Continuación BOX 16.

| 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) |
|--|-------------------------------------|---|--|
| Extraída | | | |
| Agua doméstica de pozo | 137,186 | 1.17E-07 | 1.60E-02 |
| Agua industrial de pozo | 24,552 | 1.17E-07 | 2.86E-03 |
| Agua de cisterna para riego* | 31,664 | 1.17E-07 | 3.69E-03 |
| Agua de pozo para riego* | 16,173 | 1.17E-07 | 1.88E-03 |
| Descargada | | | |
| Planta de tratamiento de agua residual para riego | 55,870 | 1.17E-07 | 6.51E-03 |
| Desnutrición causada por escasez de agua por usos directos | | | 1.79E-02 |

Continuación BOX 16.

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 al insumo caliza para calcular el impacto por desnutrición causada por escasez de agua.

Ecuación F

Ejemplo para Caliza

$$\text{Desnutrición por escasez de agua} = \text{Agua consumida} \times \text{Factor de caracterización DALY}$$

$$\text{Desnutrición por escasez de agua} = 5.10\text{E}+04 \times 1.17\text{E}-07$$

$$\text{Desnutrición por escasez de agua} = 5.94\text{E}-03$$

Continuación BOX 16.

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

| 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) |
|--|-------------------------------------|------------------------------|---|--|
| Cadena de suministros | | | | |
| Caliza | 5.10E+04 | Lima, San Juan de Miraflores | 1.17E-07 | 5.94E-03 |
| Puzolana | 3.79E+02 | Lima, San Juan de Miraflores | 1.17E-07 | 4.41E-05 |
| Yeso | 6.73E+02 | Lima, San Juan de Miraflores | 8.62E-07 | 5.80E-04 |
| Sílice | 7.66E+03 | Huancayo | 4.00E-09 | 3.07E-05 |
| Mineral de hierro | 6.28E+02 | Ica, Nazca, Marcona | 9.76E-07 | 6.12E-04 |
| Bolsas de papel | 2.60E+05 | Lima, Los Olivos | 1.13E-06 | 2.93E-01 |
| Clinker | 7.35E+05 | United States of America | 2.12E-09 | 1.56E-03 |
| Electricidad y combustibles | | | | |
| Electricidad | 2.44E+06 | Lima, San Juan de Miraflores | 1.17E-07 | 2.85E-01 |
| Gas para hornos | 3.07E+04 | Lima, San Juan de Miraflores | 1.17E-07 | 3.58E-03 |
| Diésel | 1.99E+02 | Lima, San Juan de Miraflores | 1.17E-07 | 2.32E-05 |
| Carbón nacional | 3.11E+04 | Lima, San Juan de Miraflores | 1.17E-07 | 3.63E-03 |
| Carbón importado | 3.11E+04 | México | 1.68E-07 | 5.25E-03 |
| Desnutrición causada por escasez de agua | | | | 5.99E-01 |

Continuación BOX 16.

De la tabla anterior deducimos que el impacto potencial en salud humana para desnutrición causada por escasez de agua asciende a $5.99E-01$ disability-adjusted life year (DALY) por unidad funcional.

Entonces el impacto potencial total en salud humana por disponibilidad de agua es:

Uso Indirecto: $5.99E-01$ (97%)

Uso directo: $1.79E-02$ (3%)

Total: $6.17 E-01$ DALY/UF (100%)

Paso 6. Determinación de impactos potenciales en salud humana por perturbaciones físicas o químicas

2. 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.

Continuación BOX 16.

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 G.

Enfermedades por toxicidad de agua = Cantidad normalizada x Valor del indicador de la base de datos

$$\text{Enfermedades por toxicidad de agua} = 2.04\text{E}+09 \times 9.26\text{E}-10$$

$$\text{Enfermedades por toxicidad de agua} = 1.89\text{E}+00$$

Continuación BOX 16.

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

| 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) |
|---|--|----------|---|---|
| Suministros | | | | |
| Caliza | kg | 2.04E+09 | 9.26E-10 | 1.89E+00 |
| Puzolana | kg | 1.59E+07 | 5.77E-09 | 9.21E-02 |
| Yeso | kg | 9.11E+07 | 1.33E-09 | 1.21E-01 |
| Sílice | kg | 2.86E+07 | 5.78E-09 | 1.65E-01 |
| Mineral de hierro | kg | 1.69E+06 | 2.62E-08 | 4.44E-02 |
| Bolsas de papel | kg | 5.23E+06 | 7.37E-07 | 3.85E+00 |
| Clinker | kg | 4.45E+08 | 6.25E-08 | 2.78E+01 |
| Electricidad y combustibles | | | | |
| Electricidad | kWh | 1.50E+08 | 3.92E-08 | 5.90E+00 |
| Gas para hornos | MJ | 2.94E+09 | 4.10E-09 | 1.20E+01 |
| Diésel | kg | 1.60E+06 | 5.58E-08 | 8.94E-02 |
| Carbón nacional | MJ | 8.19E+08 | 5.86E-08 | 4.80E+01 |
| Carbón importado | MJ | 8.19E+08 | 5.86E-08 | 4.80E+01 |
| Enfermedades causadas por toxicidad por uso directo | | | | 1.48E+02 |

Continuación BOX 16.

Entonces el impacto potencial total en salud humana por toxicidad de agua es:

Uso Indirecto: 1.48E+02

Uso directo: 0

Total: 1.48E+02 DALY/UF

Paso 7. Determinación de impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas por reducción de disponibilidad de agua.

1. 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 los resultados de la reducción de disponibilidad para los ecosistemas por uso directo.

Continuación BOX 16.

| DESCRIPCIÓN | AGUA CONSUMIDA (m ³ /UF) | FACTOR DE CARACTERIZACIÓN SEGÚN (Pfister et al. 2009) (PDF-m ² -y/m ³) | REDUCCIÓN DE DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA LOS ECOSISTEMAS (PDF-m ² -y/m ³) |
|--|-------------------------------------|---|--|
| Extraída | | | |
| Agua doméstica de pozo | 1.37E+05 | 4.75E+00 | 6.52E+05 |
| Agua industrial de pozo | 2.46E+04 | 4.75E+00 | 1.17E+05 |
| Agua de cisterna para riego | 3.17E+04 | 4.75E+00 | 1.51E+05 |
| Agua de pozo para riego | 1.62E+04 | 4.75E+00 | 7.69E+04 |
| Descargada | | | |
| Planta de tratamiento de agua residual para riego | 5.59E+04 | 4.75E+00 | 2.66E+05 |
| Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas total por uso directo | | | 7.31 E+05* |

*balance de extraída - descargada

Continuación BOX 16.

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 H.

Agua consumida x Factor de caracterización (Pfister,2009)

$$5.10E+04 \times 4.75E+00$$

$$2.42E+05$$

Continuación BOX 16.

| 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) |
|--|--|------------------------------|--|---|
| Cadena de suministros | | | | |
| Caliza | 5.10E+04 | Lima, San Juan de Miraflores | 4.75E+00 | 2.42E+05 |
| Puzolana | 3.79E+02 | Lima, San Juan de Miraflores | 4.75E+00 | 1.80E+03 |
| Yeso | 6.73E+02 | Ica, Las Dunas | 1.63E+00 | 1.21E-01 |
| Sílice | 7.66E+03 | Huancayo | 1.23E-01 | 9.41E+02 |
| Mineral de hierro | 6.28E+02 | Ica, Nazca, Marcona | 2.07E+00 | 1.30E+03 |
| Bolsas de papel | 2.60E+05 | Lima, Los Olivos | 2.12E+00 | 5.51E+05 |
| Clinker | 7.35E+05 | United States of America | 3.10E-01 | 2.28E+05 |
| Electricidad y combustibles | | | | |
| Electricidad | 2.44E+06 | Lima, San Juan de Miraflores | 4.75E+00 | 1.16E+07 |
| Gas para hornos | 3.07E+04 | Lima, San Juan de Miraflores | 4.75E+00 | 1.46E+05 |
| Diésel | 1.99E+02 | Lima, San Juan de Miraflores | 4.75E+00 | 9.46E+02 |
| Carbón nacional | 3.11E+04 | Lima, San Juan de Miraflores | 4.75E+00 | 1.48E+05 |
| Carbón importado | 3.11E+04 | México | 4.75E+00 | 1.98E+04 |
| Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas total por uso indirecto | | | | 1.30E+07 |

Continuación BOX 16.

2. Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas acuáticos de río

Uso directo. Para calcular este indicador se necesita la siguiente información:

- Agua consumida
- Factor de caracterización (Hanafiah et al. 2011)

| DESCRIPCIÓN | AGUA CONSUMIDA (m ³) | FACTOR DE CARACTERIZACIÓN (Hanafiah et al. 2011) (PDF-m ² -y/m ³) | REDUCCIÓN DE DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE RÍO" (PDF-m ² -y/m ³) |
|--|----------------------------------|--|--|
| Extraída | | | |
| Agua doméstica de pozo | 1.37E+05 | 1.06E-03 | 1.46E+02 |
| Agua industrial de pozo | 2.46E+04 | 1.06E-03 | 2.61E+01 |
| Agua de cisterna para riego | 3.17E+04 | 1.06E-03 | 3.36E+01 |
| Agua de pozo para riego | 1.62E+04 | 1.06E-03 | 1.71E+01 |
| Descargada | | | |
| Planta de tratamiento de agua residual para riego | 5.59E+04 | 1.06E-03 | 5.95E+01 |
| Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas total por uso directo | | | 1.63 E+02* |

*balance de extraída - descargada

Continuación BOX 16.

Uso Indirecto. Ejemplo para Caliza. Se requiere de la siguiente información para calcular el impacto en ecosistemas acuáticos de río:

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

Ecuación I.

Cantidad x Valor del indicador suministrado por la base de datos

2,035,259,500.00 kg x 4-2.67E-08

5.43E+01 PDF-m²-y

Continuación BOX 16.

| INSUMOS | UNIDAD NORMALIZADA SEGÚN BASE DE DATOS | CANTIDAD | VALOR INDICADOR SUMINISTRADO POR LA BASE DE DATOS (PDF-m ² -y/m ³) | ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE RÍOS (PDF-m ² -y/UF) |
|---|--|----------|---|--|
| Cadena de suministros | | | | |
| Caliza | kg | 2.04E+09 | 2.67E-08 | 5.43E+01 |
| Puzolana | kg | 1.59E+07 | 2.53E-08 | 4.03E-01 |
| Yeso | kg | 9.11E+07 | 7.87E-09 | 7.16E-01 |
| Sílice | kg | 2.86E+07 | 2.85E-07 | 8.16E+00 |
| Mineral de hierro | kg | 1.69E+06 | 3.95E-07 | 6.68E-01 |
| Bolsas de papel | kg | 5.23E+06 | 5.30E-05 | 2.77E+02 |
| Clinker | kg | 4.45E+08 | 1.76E-06 | 7.83E+02 |
| Electricidad y combustibles | | | | |
| Electricidad | kWh | 1.50E+08 | 1.01E-05 | 1.52E+03 |
| Gas para hornos | MJ | 2.94E+09 | 1.11E-08 | 3.27E+01 |
| Diésel | kg | 1.60E+06 | 1.32E-07 | 2.12E-01 |
| Carbón nacional | MJ | 8.19E+08 | 4.05E-08 | 3.32E+01 |
| Carbón importado | MJ | 8.19E+08 | 4.05E-08 | 3.32E+01 |
| Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas acuáticos de río por uso indirecto | | | | 2.74E+03 |

Continuación BOX 16.

3. Reducción de disponibilidad de agua subterránea para los ecosistemas

Uso directo. Para calcular este indicador se necesita la siguiente información:

- Entrada de agua subterránea
- Factor de caracterización para disminución de agua subterránea

| DESCRIPCIÓN | AGUA SUBTERRÁNEA (m ³ /UF) | FACTOR DE CARACTERIZACIÓN (PDF-m ² -y/m ³) | REDUCCIÓN DE DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA LOS ECOSISTEMAS (PDF-m ² -y/m ³) |
|--|---------------------------------------|---|--|
| Extraída | | | |
| Agua doméstica de pozo | 3.35E+04 | 2.10E-01 | 7.03E+03 |
| Agua industrial de pozo | 5.99E+03 | 2.10E-01 | 1.26E+03 |
| Agua de cisterna para riego* | 3.17E+04 | 2.10E-01 | 6.65E+03 |
| Agua de pozo para riego* | 1.62E+04 | 2.10E-01 | 3.40E+03 |
| Descargada | | | |
| Planta de tratamiento de agua residual para riego | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| Reducción de disponibilidad de agua subterránea para los ecosistemas por uso directo | | | 1.83 E+04 |

*se ha considerado que el 55% del agua por irrigación se consume

Continuación BOX 16.

Uso indirecto. Utilizaremos la Caliza como ejemplo. Para ello se requiere de la siguiente información:

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

Ecuación J.

Cantidad x Valor de la base de datos

2,035,259,500.00 kg x 3.81E-07

7.75 E+02

Continuación BOX 16.

| INSUMOS | UNIDAD NORMALIZADA SEGÚN BASE DE DATOS | CANTIDAD | VALOR DEL INDICADOR SUMINISTRADO POR LA BASE DE DATOS (PDF-m ² -y/m ³) | DISPINIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA (PDF-m ² -y/UF) |
|--|--|----------|---|---|
| Cadena de suministros | | | | |
| Caliza | kg | 2.04E+09 | 3.81E-07 | 7.75E+02 |
| Puzolana | kg | 1.59E+07 | 4.16E-07 | 6.64E+00 |
| Yeso | kg | 9.11E+07 | 8.26E-08 | 7.52E+00 |
| Sílice | kg | 2.86E+07 | 2.82E-05 | 8.08E+02 |
| Mineral de hierro | kg | 1.69E+06 | 2.26E-05 | 3.84E+01 |
| Bolsas de papel | kg | 5.23E+06 | 4.39E-04 | 2.30E+03 |
| Clinker | kg | 4.45E+08 | 9.70E-05 | 4.31E+04 |
| Electricidad y combustibles | | | | |
| Electricidad | kWh | 1.50E+08 | 2.70E-06 | 4.05E+02 |
| Gas para hornos | MJ | 2.94E+09 | 1.75E-07 | 5.14E+02 |
| Diésel | kg | 1.60E+06 | 5.22E-06 | 8.37E+00 |
| Carbón nacional | MJ | 8.19E+08 | 1.88E-06 | 1.54E+03 |
| Carbón importado | MJ | 8.19E+08 | 1.88E-06 | 1.54E+03 |
| Reducción de disponibilidad de agua subterránea para los ecosistemas por uso indirecto | | | | 5.10E+04 |

Continuación BOX 16.

Paso 8. Determinación de los impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas por perturbaciones físicas o químicas

1. 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 K.

Cantidad normalizada x Valor de la base de datos

2,035,259,500.00 kg x 2.27E-06

4.62 E+03

Continuación BOX 16.

| 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) |
|--|--|----------|---|--|
| Cadena de suministros | | | | |
| Caliza | kg | 2.04E+09 | 2.27E-06 | 4.62E+03 |
| Puzolana | kg | 1.59E+07 | 2.79E-05 | 4.45E+02 |
| Yeso | kg | 9.11E+07 | 1.01E-05 | 9.16E+02 |
| Sílice | kg | 2.86E+07 | 3.22E-05 | 9.20E+02 |
| Mineral de hierro | kg | 1.69E+06 | 9.48E-05 | 1.61E+02 |
| Bolsas de papel | kg | 5.23E+06 | 6.41E-03 | 3.35E+04 |
| Clinker | kg | 4.45E+08 | 1.31E-03 | 5.81E+05 |
| Electricidad y combustibles | | | | |
| Electricidad | kWh | 1.50E+08 | 4.39E-03 | 6.60E+05 |
| Gas para hornos | MJ | 2.94E+09 | 3.28E-06 | 9.62E+03 |
| Diésel | kg | 1.60E+06 | 4.05E-05 | 6.50E+01 |
| Carbón nacional | MJ | 8.19E+08 | 3.07E-05 | 2.52E+04 |
| Carbón importado | MJ | 8.19E+08 | 3.07E-05 | 2.52E+04 |
| Ecosistemas acuáticos afectados por infraestructura hidroeléctrica por uso indirecto | | | | 1.34E+06 |

Continuación BOX 16.

Para el cálculo de los impactos en ecosistemas afectados por perturbaciones físicas o químicas por el uso directo de agua no se han considerado emisiones que contengan elementos tóxicos. Por tanto, el impacto es cero excepto en el indicador de ecosistemas acuáticos afectados por eutrofización.

2. Ecosistemas acuáticos afectados por termocontaminación

Uso directo. Para el cálculo de los impactos en ecosistemas afectados por termocontaminación por el uso directo de agua no se han considerado emisiones porque el sistema estudiado no considera agua térmicamente contaminada. Por ello el impacto es cero.

Uso Indirecto. Se requiere de la siguiente información para calcular el impacto por termocontaminación por el uso de caliza.

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

Ecuación L.

Cantidad normalizada x Valor de la base de datos

2,035,259,500.00 kg x 5.70E-10

1.16E+00

Continuación BOX 16.

| INSUMOS | UNIDAD NORMALIZADA SEGÚN BASE DE DATOS | CANTIDAD | VALOR DEL INDICADOR SUMINISTRADO POR LA BASE DE DATOS (PDF-m ² -y/m ³) | TERMOCONTAMINACIÓN (PDF-m ² -y/UF) |
|--|--|----------|---|---|
| Cadena de suministros | | | | |
| Caliza | kg | 2.04E+09 | 5.70E-10 | 1.16E+00 |
| Puzolana | kg | 1.59E+07 | 1.52E-08 | 2.43E-01 |
| Yeso | kg | 9.11E+07 | 2.36E-09 | 2.15E-01 |
| Sílice | kg | 2.86E+07 | 9.17E-09 | 2.62E-01 |
| Mineral de hierro | kg | 1.69E+06 | 5.02E-08 | 8.51E-02 |
| Bolsas de papel | kg | 5.23E+06 | 4.64E-06 | 2.43E+01 |
| Clinker | kg | 4.45E+08 | 1.65E-07 | 7.35E+01 |
| Electricidad y combustibles | | | | |
| Electricidad | kWh | 1.50E+08 | 1.59E-07 | 2.39E+01 |
| Gas para hornos | MJ | 2.94E+09 | 1.21E-09 | 3.55E+00 |
| Diésel | kg | 1.60E+06 | 2.28E-08 | 3.66E-02 |
| Carbón nacional | MJ | 8.19E+08 | 1.73E-08 | 1.41E+01 |
| Carbón importado | MJ | 8.19E+08 | 1.73E-08 | 1.41E+01 |
| Ecosistemas acuáticos afectados por termocontaminación por uso indirecto | | | | 1.55E+02 |

Continuación BOX 16.

3. Ecosistemas acuáticos afectados por eutrofización

Uso Directo. Se requiere de la siguiente información para calcular el impacto por eutrofización.

- Descarga normalizada a la unidad funcional
- Concentración de P en el agua
- Factor de conversión de fósforo a PDF (IMPACT 2002+: User Guide - Draft for version Q2.2 (version adapted by Quantis))

Para cada contaminante se busca "Eutro P/kg" se divide por 1,000,000 y se multiplica por kg de salida. Se suman todos los contaminantes (excepto si se tiene P y N, en ese caso se escoge P). En este ejemplo se ha considerado sólo al fósforo como referencia y se ha elegido sólo un parámetro para hacer más sencillo el ejemplo.

Primero hallamos el factor de caracterización por eutrofización.

La concentración monitoreada para el fósforo fue de 0.1 mg/l.

Concentración P*Factor de conversión de P a PDF

$$\frac{0.1 \frac{\text{mg}}{\text{l}} * 19.8 \text{ PDF} * \text{m}^2 * \frac{\text{y}}{\text{kg P-eq}}}{1,000,000} = 1.98\text{E} - 06 \text{ PDF} * \text{m}^2 * \text{y}$$

Continuación BOX 16.

A continuación se realiza el cálculo utilizando los datos obtenidos

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD DE AGUA (litros) | FACTOR DE CARACTERIZACIÓN (Goedkoop et al. 2009) (PDF-m ² -y/m ³) | EUTROFIZACIÓN (PDF-m ² -y/m ³) |
|--|------------------------------|---|--|
| Planta de tratamiento de agua residual para riego | 123,247,453.20 | 1.98E-06 | 2.44E+02 |
| Ecosistemas acuáticos afectados por eutrofización en uso directo | | | |

Uso Indirecto. Se requiere de la siguiente información para calcular el impacto por eutrofización.

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

Ecuación M.

Cantidad normalizada x Valor de la base de datos

2,035,259,500.00 kg x 2.79E-06

2.44E+02 PDF-m²-año/UF

Continuación BOX 16.

| INSUMOS | UNIDAD NORMALIZADA SEGÚN BASE DE DATOS | CANTIDAD | VALOR DEL INDICADOR SUMINISTRADO POR LA BASE DE DATOS (PDF-m ² -y/m ³) | EUTROFIZACIÓN (PDF-m ² -y/UF) |
|---|--|----------|---|--|
| Cadena de suministros | | | | |
| Caliza | kg | 2.04E+09 | 2.79E-06 | 5.68E+03 |
| Puzolana | kg | 1.59E+07 | 7.01E-05 | 1.12E+03 |
| Yeso | kg | 9.11E+07 | 5.19E-06 | 4.73E+02 |
| Sílice | kg | 2.86E+07 | 2.29E-05 | 6.56E+02 |
| Mineral de hierro | kg | 1.69E+06 | 2.29E-04 | 3.89E+02 |
| Bolsas de papel | kg | 5.23E+06 | 9.73E-03 | 5.09E+04 |
| Clinker | kg | 4.45E+08 | 5.15E-04 | 2.29E+05 |
| Electricidad y combustibles | | | | |
| Electricidad | kWh | 1.50E+08 | 2.59E-04 | 3.90E+04 |
| Gas para hornos | MJ | 2.94E+09 | 6.46E-06 | 1.90E+04 |
| Diésel | kg | 1.60E+06 | 1.31E-04 | 2.10E+02 |
| Carbón nacional | MJ | 8.19E+08 | 6.99E-04 | 5.73E+05 |
| Carbón importado | MJ | 8.19E+08 | 6.99E-04 | 5.73E+05 |
| Ecosistemas acuáticos afectados por eutrofización por uso indirecto | | | | 1.49E+06 |

Continuación BOX 16.

4. Ecosistemas acuáticos afectados por ecotoxicidad

Uso directo. Para el cálculo de los impactos en ecosistemas afectados por ecotoxicidad por el uso directo de agua no se han considerado emisiones que contengan elementos tóxicos. Por ello el impacto es cero.

Uso Indirecto. Se requiere de la siguiente información para calcular el impacto por ecotoxicidad.

- Cantidad de insumo normalizado a la unidad funcional
- Valor del indicador suministrado por la base de datos (Quantis, 2013)

Ecuación N.

Cantidad normalizada x Valor de la base de datos

$2,035,259,500.00 \text{ kg} \times 4.59\text{E-}07$

$4.67\text{E+}02$

Continuación BOX 16.

| INSUMOS | UNIDAD NORMALIZADA SEGÚN BASE DE DATOS | CANTIDAD | VALOR DEL INDICADOR SUMINISTRADO POR LA BASE DE DATOS (PDF-m ² -y/m ³) | ECOTOXICIDAD (PDF-m ² -y/UF) |
|--|--|----------|---|---|
| Cadena de suministros | | | | |
| Caliza | kg | 2.04E+09 | 4.59E-07 | 9.34E+02 |
| Puzolana | kg | 1.59E+07 | 3.11E-06 | 4.95E+01 |
| Yeso | kg | 9.11E+07 | 6.55E-07 | 5.97E+01 |
| Sílice | kg | 2.86E+07 | 2.96E-06 | 8.47E+01 |
| Mineral de hierro | kg | 1.69E+06 | 1.32E-05 | 2.24E+01 |
| Bolsas de papel | kg | 5.23E+06 | 3.91E-04 | 2.04E+03 |
| Clinker | kg | 4.45E+08 | 3.26E-05 | 1.45E+04 |
| Electricidad y combustibles | | | | |
| Electricidad | kWh | 1.50E+08 | 1.90E-05 | 2.86E+03 |
| Gas para hornos | MJ | 2.94E+09 | 1.84E-06 | 5.41E+03 |
| Diésel | kg | 1.60E+06 | 5.69E-05 | 9.12E+01 |
| Carbón nacional | MJ | 8.19E+08 | 3.11E-05 | 2.54E+04 |
| Carbón importado | MJ | 8.19E+08 | 3.11E-05 | 2.54E+04 |
| Ecosistemas acuáticos afectados por ecotoxicidad por uso indirecto | | | | 7.69E+04 |

Continuación BOX 16.

5. Ecosistemas acuáticos afectados por acidificación (Jolliet et al. 2003)

Uso directo. En el ejemplo no se ha considerado la acidificación de agua y los impactos potenciales asociados.

Uso Indirecto. Se requiere de la siguiente información para calcular el impacto por acidificación de la Caliza.

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

Ecuación 0.

Cantidad normalizada x Valor de la base de datos

$2,035,259,500.00 \text{ kg} \times 3.84\text{E-}07$

$7.82\text{E+}02 \text{ PDF-m}^2\text{-año/UF}$

Continuación BOX 16.

| INSUMOS | UNIDAD NORMALIZADA SEGÚN BASE DE DATOS | CANTIDAD | VALOR DEL INDICADOR SUMINISTRADO POR LA BASE DE DATOS (PDF-m ² -y/m ³) | AQUATIC ACIDIFICACIÓN (PDF-m ² -y/UF) |
|--|--|----------|---|--|
| Cadena de suministros | | | | |
| Caliza | kg | 2.04E+09 | 3.84E-07 | 7.82E+02 |
| Puzolana | kg | 1.59E+07 | 7.03E-07 | 1.12E+01 |
| Yeso | kg | 9.11E+07 | 3.94E-07 | 3.58E+01 |
| Sílice | kg | 2.86E+07 | 5.32E-07 | 1.52E+01 |
| Mineral de hierro | kg | 1.69E+06 | 2.30E-06 | 3.90E+00 |
| Bolsas de papel | kg | 5.23E+06 | 5.42E-05 | 2.83E+02 |
| Clinker | kg | 4.45E+08 | 1.25E-05 | 5.57E+03 |
| Electricidad y combustibles | | | | |
| Electricidad | kWh | 1.50E+08 | 8.71E-06 | 1.31E+03 |
| Gas para hornos | MJ | 2.94E+09 | 3.53E-07 | 1.04E+03 |
| Diésel | kg | 1.60E+06 | 1.21E-05 | 1.95E+01 |
| Carbón nacional | MJ | 8.19E+08 | 6.60E-06 | 5.40E+03 |
| Carbón importado | MJ | 8.19E+08 | 6.60E-06 | 5.40E+03 |
| Ecosistemas acuáticos afectados por ecotoxicidad por uso indirecto | | | | 1.99E+04 |

2.4 INTERPRETEACIÓN DE LOS RESULTADOS

Al interpretar los resultados se debe dar cuenta por lo menos de los siguientes aspectos:

- Cuáles son las etapas del ciclo de vida o los procesos que más contribuyen a la huella hídrica, identificando los flujos que mayor huella generan.
- Identificar si la huella hídrica es mayormente directa o indirecta, si es mayor por cantidad (consumo de agua) o por calidad (emisión de contaminantes) y cuáles son los principales potenciales impactos asociados a la huella hídrica.
- Cuáles son las conclusiones y limitaciones del estudio. En las limitaciones se debe incluir todo lo que no se evaluó en el estudio.
- Se debe realizar un análisis de sensibilidad de los resultados, evaluando los flujos que presentaron mayor incertidumbre²². El análisis de sensibilidad analiza la solidez de las conclusiones. El objetivo es evaluar la sensibilidad de los resultados respecto de los supuestos establecidos para los parámetros clave y determinar si las principales conclusiones del estudio se mantienen.

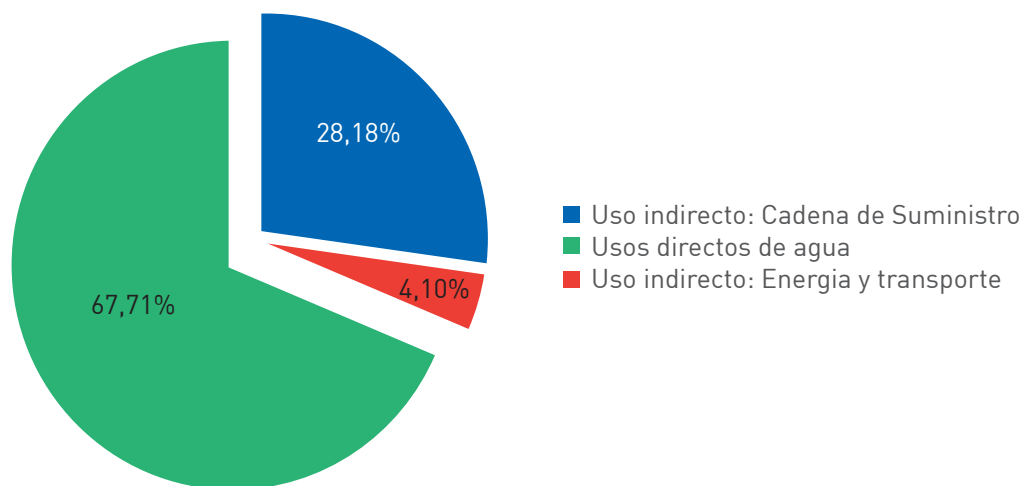
²² Flujos que mayores dudas presentaron en su modelamiento.

BOX 17. Ejemplo planta de cemento A1, resultados.

Resultados

El consumo total de agua por producción de cemento en un año es de $3.75E+09$ m³ de agua. El siguiente gráfico muestra el consumo porcentual por usos (directo e indirecto).

AGUA CONSUMIDA 2013

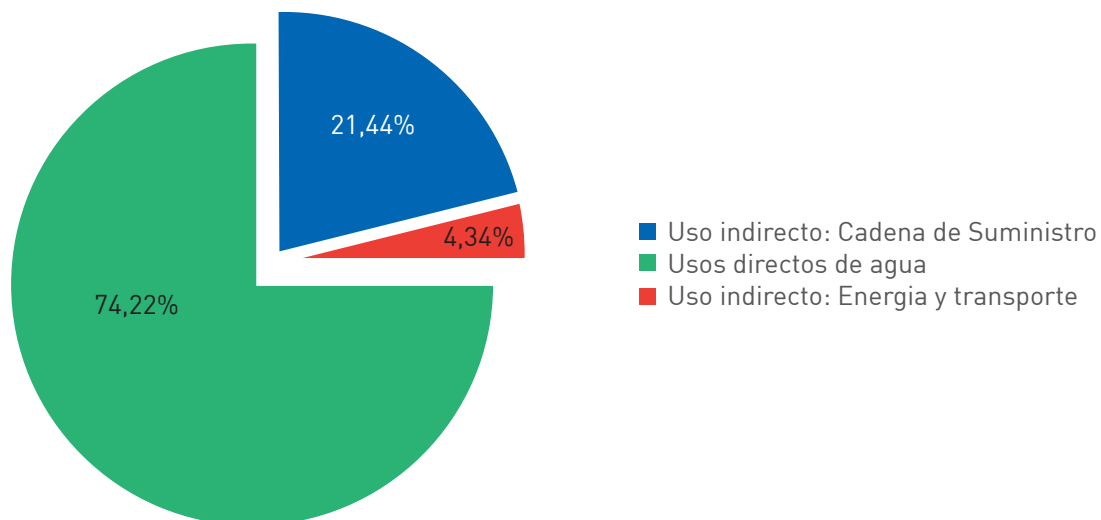


| AGUA CONSUMIDA POR PRODUCCIÓN ANUAL DE CEMENTO | |
|--|-------------------------------|
| Uso indirecto - cadena de suministro | 1.06E+06 m ³ |
| Uso directo | 1.54E+05 m ³ |
| Uso indirecto - energía y transporte | 2.54E+06 m ³ |
| AGUA CONSUMIDA TOTAL | 3.75E+06 m³ |

Continuación BOX 17.

El índice de impacto hídrico total es de $4.20E+06$ m³eq WIIX / año de producción de cemento.

ÍNDICE DE IMPACTO HÍDRICO 2013



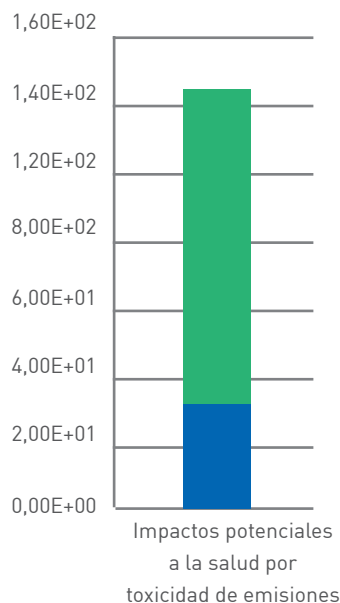
WIIX POR PRODUCCIÓN ANUAL DE CEMENTO

| | |
|--------------------------------------|--|
| Uso indirecto - cadena de suministro | $9.00E+05$ m ³ eq WIIX |
| Uso directo | $1,82E+05$ m ³ eq WIIX |
| Uso indirecto - energía y transporte | $3.11E+06$ m ³ eq WIIX |
| AGUA CONSUMIDA TOTAL | $4.20E+06$ m³ eq WIIX |

Continuación BOX 17.

El impacto potencial en salud humana total es de $1.49E+02$ DALY / año de producción de cemento.

IMPACTO POTENCIAL EN LA SALUD HUMANA 2013



| IMPACTOS EN SALUD HUMANA, POR PRODUCCIÓN ANUAL DE CEMENTO | | |
|--|--|--|
| USOS | DESNUTRICIÓN CAUSADA POR ESCASEZ DE AGUA | IMPACTOS POTENCIALES A LA SALUD POR TOXICIDAD DE EMISIONES |
| Uso indirecto Cadena de suministros | 3.02E-01 DALY | 3.39E+01 DALY |
| Uso directo | 1.79E-02 DALY | 0.00E+00 DALY |
| Uso indirecto Energía y combustible | 2.97E-01 DALY | 1.14E+02 DALY |
| TOTAL | 6.17E-01 DALY | 1.48E+02 DALY |

- Producción de cemento: uso indirecto: Energía y combustible
- Producción de cemento: usos directos de agua
- Producción de cemento: uso indirecto: cadena de suministros

El impacto potencial en ecosistema es de $1.67E+07$ PDF*m²*y / año de producción de cemento.

Continuación BOX 17.

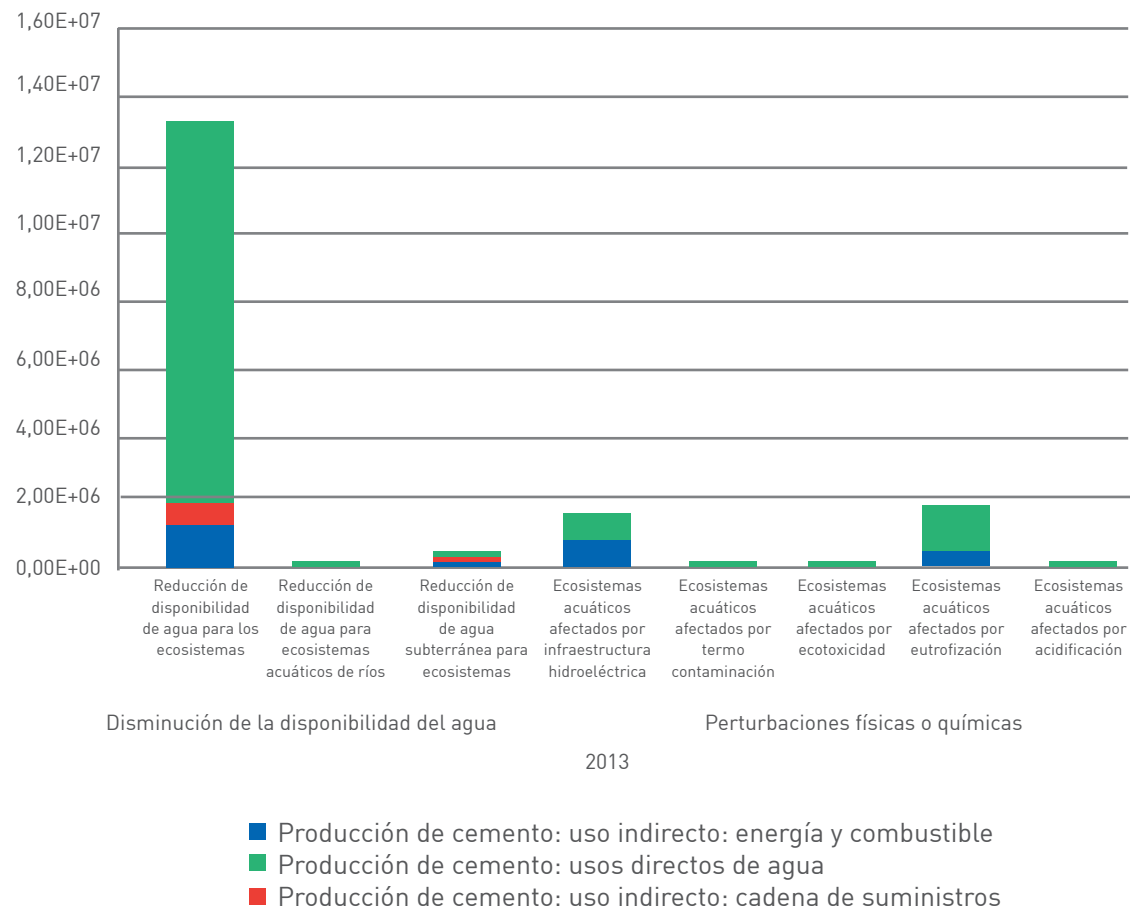
El impacto potencial en ecosistema es de 1.67E+07 PDF*m²*y / año de producción de cemento.

| IMPACTOS EN ECOSISTEMAS, POR PRODUCCIÓN ANUAL DE CEMENTO Perturbaciones físicas o químicas (PDF-m ² y/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 suministros | 6.21E+05 | 9.97E+01 | 1.77E+04 | 2.88E+05 | 6.70E+03 |
| Uso directo | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| Uso indirecto Energía y combustible | 7.20E+05 | 5.58E+01 | 5.92E+01 | 1.20E+06 | 1.32E+04 |
| TOTAL | 1.34E+06 | 1.55E+02 | 7.64E+04 | 1.49E+06 | 1.99E+04 |

| IMPACTOS EN ECOSISTEMAS, POR PRODUCCIÓN ANUAL DE CEMENTO Disminución de la disponibilidad del agua (PDF-m ² y/UF) | | | |
|---|--|--|--|
| USOS | Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas | Reducción de disponibilidad de agua para ecosistemas acuáticos de ríos | Reducción de disponibilidad de agua subterránea para ecosistemas |
| Uso indirecto Cadena de suministros | 1.03E+06 | 1.12E+03 | 4.70E+04 |
| Uso directo | 7.31E+05 | 1.63E+02 | 1.83E+04 |
| Uso indirecto Energía y combustible | 1.19E+07 | 1.62E+03 | 4.00E+03 |
| TOTAL | 1.37E+07 | 2.90E+03 | 6.94E+04 |

Continuación BOX 17.

IMPACTO POTENCIAL EN LA CALIDAD DE LOS ECOSISTEMAS 2013



Continuación BOX 17.

A continuación se resumen los resultados porcentuales por la generación anual de cemento.

| PRODUCCIÓN ANUAL DE CEMENTO | | | | |
|--|----------------|----------------------|--------------|-------------|
| HOTSPOTS | AGUA CONSUMIDA | IMPACTO HÍDRICO WIIX | SALUD HUMANA | ECOSISTEMAS |
| Uso indirecto Cadena de suministros | 28.18% | 7.00% | 5.52% | 12.71% |
| Caliza (Atocongo, Lima) | 4.83% | 7.00% | 5.52% | 12.71% |
| Puzolana (Atocongo, Lima) | 0.04% | 0.04% | 0.27% | 0.17% |
| Sílice (Huancayo) | 0.73% | 0.01% | 0.48% | 0.17% |
| Mineral de hierro (Marcona, Ica) | 0.06% | 0.36% | 0.13% | 0.10% |
| Bolsas de papel (Los Olivos, Lima) | 24.63% | 48.97% | 12.11% | 31.87% |
| Clinker (EEUU) | 69.65% | 43.54% | 81.13% | 54.86% |
| Uso directo | 4.10% | 4.34% | 0.01% | 4.49% |
| Uso indirecto - energía y combustibles | 67.71% | 74.22% | 76.94% | 83.48% |
| Electricidad | 96.33% | 95.27% | 5.41% | 88.44% |
| Consumo de gas (horno) | 1.21% | 0.77% | 10.53% | 1.30% |
| Consumo de petróleo | 0.01% | 0.01% | 0.08% | 0.01% |
| Carbón (nacional) | 1.23% | 2.25% | 41.99% | 5.59% |
| Carbón (importado) | 1.23% | 1.70% | 41.99% | 4.66% |

Matriz de puntos críticos

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En relación al agua consumida, los resultados muestran que los mayores consumos de agua e impactos se relacionan a los usos indirectos por energía y combustible (68%), específicamente al uso de electricidad. Ésta es utilizada principalmente para el funcionamiento de equipos y motores en el área de producción. De los usos indirectos en la cadena de suministros (28%), el clinker adquirido es la materia prima más importante en la producción de cemento en relación al consumo de agua; también figura el papel para las bolsas de cemento, en segundo lugar.

Al analizar el WIIX, el impacto hídrico del uso de energía eléctrica se incrementa (74.2%), mientras que el impacto referido a la cadena de suministro disminuye (21.5%), aunque cobra mayor importancia el uso de papel por sobre el uso de clinker.

Al analizar los impactos potenciales en salud humana, el uso indirecto en energía y combustibles es el más importante (77%), pero el impacto por uso de carbón (84%) reemplaza en importancia al impacto por uso de energía eléctrica (5.4%). En el análisis de la cadena de suministros (23%), el uso de Clinker se convierte en el impacto más representativo (81%).

Al analizar los impactos potenciales en ecosistemas, el escenario es similar al observado en el caso del WIIX, con mayor importancia del uso de energía (83.5%), representada por la energía eléctrica. El impacto de la cadena de suministro disminuye (12%), pero siempre representada por el clinker y el papel.

En general, los mayores consumos de agua e impactos están asociados al uso indirecto, principalmente por consumo de electricidad. Como se había mencionado, la electricidad es utilizada para el funcionamiento de motores, equipos y también utilizado en campamento.

En el análisis de consumo e impactos, el clinker tiene particular importancia. En este caso en particular, el clinker aparece como suministro porque es una adquisición de suministro adicional, es decir, se adquirió o importó como suministro además del que ya se produce en la planta. El clinker que se produce en la planta es un producto intermedio de la producción de cemento y su producción está incluida en el análisis de suministros de minerales y uso de energía.

La planta de producción de cemento se encuentra en un lugar con alto índice de escasez hídrica acorde a Pfister et al. (2009). El WSI del lugar tiene un valor de 1 y estima el estrés hídrico asociado al suministro y la demanda de agua en una zona determinada. Además, su magnitud en la zona donde se encuentra la planta indica que el riesgo de agotamiento es mayor.

En todos los casos los usos directos de agua no resultan representativos en comparación con los usos indirectos. Sin embargo, se ha evidenciado que el uso doméstico del área de campamentos y el uso para riego de áreas verdes pueden optimizarse.

Las principales recomendaciones son:

- Implementar un sistema de control de usos de agua (caudalímetros) en aquellas áreas donde la información de usos ha sido estimada solo como referencial.
- Fomentar y desarrollar proyectos de mejora continua relacionados al uso de electricidad. Evaluar la posibilidad de utilizar energías alternativas y más limpias como por ejemplo el gas natural.
- El consumo de agua que no se puede reducir se puede abordar desarrollando proyectos de compensación en la cuenca de influencia del estudio. El propósito de los proyectos de compensación debe dirigirse a un uso mejor y más equitativo del recurso hídrico por parte de otros actores de la cuenca, abordando temas como suministro, purificación y conservación del agua, para ayudar a un desarrollo sostenible en la cuenca donde son ejecutados.

3.1 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

- El ejercicio propuesto a modo de ejemplo, tiene como objetivo replicar la metodología utilizada en los estudios de evaluación de huella hídrica en Perú y ha sido desarrollado en base al esquema conceptual del manual de cálculo de huella hídrica. Aplicada a una situación real, la ejecución de la evaluación de huella hídrica podría variar de acuerdo a las consideraciones que deban tomarse en cada caso.
- La información contenida en el ejercicio de ejemplo no fue proporcionada ninguna de las empresas socias, sino que se utilizaron datos y valores referenciales.
- El ejercicio intenta ser muy simple y de fácil lectura. Por ello no ha considerado los inconvenientes en la recopilación de información.
- Se ha considerado un criterio cualitativo en la adaptación con los procesos de la base de datos de incertidumbre y representatividad.
- Se ha utilizado sólo el fósforo como parámetro contaminante del agua para que el desarrollo del ejemplo sea sencillo.
- No se han considerado emisiones que contengan elementos tóxicos. Por ello el impacto por disponibilidad de agua por uso directo en salud humana y ecosistemas es cero.
- Se han considerado a los procesos en el área de producción como un proceso integral de producción, es decir, no se han evaluado individualmente.
- Sólo se han considerado los insumos que luego de la regla de corte eran mayores al 2% de importancia.

4. REFERENCIAS

Bayart, J. B., Worbe, S., Grimaud, J., Aoustin, E. 2014. The Water Impact Index: a simplified single-indicator approach for water footprinting. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(6), 1336-1344.

Boulay, A. M., Bouchard, C., Bulle, C., Deschênes, L., Margni, M. 2011. Categorizing water for LCA inventory. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(7), 639-651.

Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., Hellweg, S., Hischier, R., Nemecek, T., Rebitzer, G., Spielmann, M. 2005. The ecoinvent database: Overview and methodological framework, *International Journal of Life Cycle Assessment* 10, 3-9.

Global Compact, 2014. The CEO Water Mandate, Driving Harmonization of Water Stress, Scarcity, and Risk Terminology. Discussion Paper.

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., van Zelm, R. 2009. ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, 1.

Hanafiah, M. M., Xenopoulos, M. A., Pfister, S., Leuven, R. S., Huijbregts, M. A. 2011. Characterization factors for water consumption and greenhouse gas emissions based on freshwater fish species extinction. *Environmental science & technology*, 45(12), 5272-5278.

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., Mekonnen, M. M. 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Earthscan, London, UK.

Humbert, S., Schryver, A., Margni, M., Jolliet, O. 2012. IMPACT 2002+: User Guide. Draft for version Q2.2 (version adapted by Quantis).

ISO 14040, 2006. Environmental management - Life Cycle Assessment – Principles and Framework.

ISO 14044, 2006. Environmental management - Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines.

ISO 14046, 2014. Environmental management - Water footprint - Principles, requirements and guidelines.

Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., Rosenbaum, R. 2003. IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(6), 324-330.

Maendly, R., Humbert, S. 2012. Empirical characterization model and factors assessing aquatic biodiversity damages of hydropower water use. *International Journal of Life Cycle Assessment*.

Pfister, S., Boulay, A. M. 2012. Water footprint workshop: "train the trainers".

Pfister, S., Koehler, A., Hellweg, S. 2009. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. *Environmental science & technology*, 43(11), 4098-4104.

Rosenbaum, R. K., Bachmann, T. M., Gold, L. S., Huijbregts, M. A., Jolliet, O., Juraske, R., ... & Hauschild, M. Z. 2008. USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(7), 532-546.

Veolia, 2011. The Water Impact Index and the First Carbon-Water Analysis of a Major Metropolitan Water Cycle.

Verones, F., Hanafiah, M. M., Pfister, S., Huijbregts, M. A., Pelletier, G. J., Koehler, A. 2010. Characterization factors for thermal pollution in freshwater aquatic environments. *Environmental science & technology*, 44(24), 9364-9369.

World Economic Forum, 2015. Global Risks 2015. 10th edition.

Zelm, R. V., Schipper, A. M., Rombouts, M., Snepvangers, J., Huijbregts, M. A. 2011. Implementing groundwater extraction in life cycle impact assessment: Characterization factors based on plant species richness for the Netherlands. *Environmental science & technology*, 45(2), 629-635.

5. ANEXOS

5.1 ANEXO A: EJEMPLO CÁLCULO DE ASIGNACIÓN

Siguiendo el caso de la Figura 3, la Figura 9 muestra un ejemplo para el cálculo de consumo de agua directo (agua consumida en el proceso) e indirecto (agua consumida en la fabricación de la materia prima X) para la fabricación del producto A.

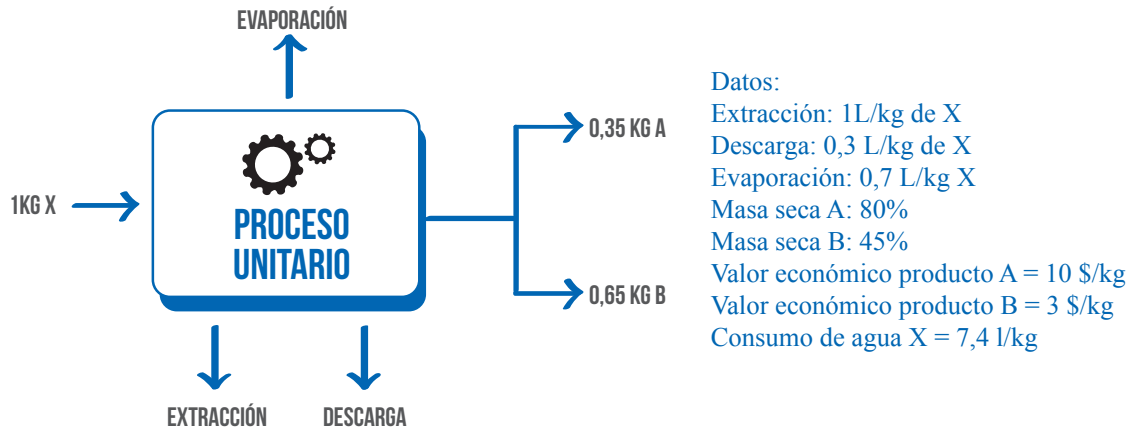


Figura 9: Ejemplo para el cálculo de consumo de agua.

A continuación se muestran los cálculos para determinar el agua consumida en la fabricación del producto A mediante factores de asignación másico y económico.

5.1.1 CÁLCULO DE AGUA CONSUMIDA EN LA FABRICACIÓN DEL PRODUCTO A EN BASE A FACTOR DE ASIGNACIÓN MÁSIKO

$$\text{Factor de asignación másiko} = \frac{0,35 * 0,8}{(0,35 * 0,8 + 0,65 * 0,45)} = 0,49\%$$

$$\text{Agua consumida producto A} = \left(\underbrace{\frac{0,7 \text{ L}}{(0,35 \text{ kg A})}}_{\text{Consumo directo}} + \underbrace{\frac{7,4 \text{ L/kg X}}{(0,35 \text{ kg A/ kgX})}}_{\text{Consumo indirecto}} \right) + 0,49 \approx 11 \text{ L/kg A}$$

5.1.2 CÁLCULO DE AGUA CONSUMIDA EN LA FABRICACIÓN DEL PRODUCTO A EN BASE A FACTOR DE ASIGNACIÓN ECONÓMICO

$$\text{Factor de asignación económico} = \frac{0,35 * 10}{(0,35 * 10 + 0,65 * 3)} = 0,64$$

$$\text{Agua consumida producto A} = \left(\underbrace{\frac{0,7 \text{ L}}{(0,35 \text{ kg A})}}_{\text{Consumo directo}} + \underbrace{\frac{7,4 \text{ L/kg X}}{(0,35 \text{ kg A/ kgX})}}_{\text{Consumo indirecto}} \right) + 0,64 \approx 15 \text{ L/kg A}$$

El consumo de agua aumentó en 36% al usar un factor de asignación económico en comparación a un factor de asignación másiko. Esto demuestra lo importante que es justificar adecuadamente la elección del factor de asignación al calcular la huella hídrica de un producto, si el sistema produce más que sólo ese producto.

EQUIPO DE TRABAJO

FUNDACIÓN CHILE (FCH), CHILE

Sebastián Papi Musatadi
Agustina Mohando
Claudia Galleguillos Canales
Ulrike Broschek Santelices
Axel Dourojeanni Ricordi
Sebastián Jofré
Juan Ramón Candía Jorquera

AGUALIMPIA, PERÚ

Alejandro Conza Salas
Rony Laura Espinoza
Mercedes Castro García

AGENCIA SUIZA PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO (COSUDE)

Carla Toranzo
Jean Gabriel Duss

COLABORADORES

Simon Gmünder, Quantis Latin America
Carmen Gloria Solís De Ovando Moreira, FCh

**MANUAL DE APLICACIÓN PARA
EVALUACIÓN DE HUELLA HÍDRICA
ACORDE A LA NORMA ISO 14046**



