



Dirección
General de
Aguas
Ministerio de Obras
Públicas

Gobierno de Chile

Guía para la evaluación de la Huella Hídrica productiva a nivel cuenca en Chile

Una herramienta base para la gestión
hídrica en el territorio

Realizado por:

FCH
FUNDACIÓN CHILE

Financiado por:
Agencia Suiza para la Cooperación
y el Desarrollo (COSUDE)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Santiago de Chile, 2016

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

Director General de Aguas
Sr. Carlos Estévez Valencia

Departamento de Estudios
Sr. Adrián Lillo
Sra. Andrea Osses

Contraparte técnica
Dr. Guillermo Donoso

FUNDACIÓN CHILE

Jefe de Proyecto
Sra. Ulrike Broschek

Especialistas
Carolina Jaramillo
Axel Dourojeanni
Jorge Herreros

Profesionales
Claudia Galleguillos
Agustina Mohando
Sebastián Jofré
Josefa Vergara
Polyhana Gómez

Water Footprint Network
Daniel Chico
Guoping Zhang

ÍNDICE:

UNA HERRRRRAMIENTO PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICO	07
PRÓLOGO	08
PRESENTACIÓN Y PROPÓSITO DE LA GUÍA	11
1. INTRODUCCIÓN	12
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS DE LA HUELLA HÍDRICA	13
3. EVALUACIÓN DE HUELLA HÍDRICA APLICADA A UNA CUENCA PASO A PASO	18
3.1 Fases para la evaluación hídrica	18
3.1.1 Fase1: Deficinición de los objetivos y alcances	18
3.1.2 Fase 2: Medición de la huella hídrica	22
3.1.3 Fase 3: Análisis de sustentabilidad de la huella hídrica	46
3.1.4 Fase 4: Formulación de respuesta	56
4. ABREVIATURAS	58
5. GLOSARIO	59
6. REFERENCIAS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre las huellas hídricas azul y verde y el balance hídrico de la cuenca	14
Figura 2. Representación esquemática de los componentes de la Huella Hídrica	16
Figura 3. Fases del análisis de Huella Hídrica	17
Figura 4. Medición de Huella Hídrica en cuenca	22
Figura 5. Huella Hídrica del sector agrícola	29
Figura 6. Huella Hídrica sector industrial	37
Figura 7. Análisis de sustentabilidad de la Huella Hídrica. Elaboración propia	46
Figura 8. Porcentaje de empleo que está relacionado con el sector silvo-agropecuario, a nivel comunal, en la cuenca del Río Rapel	51
Figura 9. Análisis territorial de la huella hídrica	52
Figura 10. Criterios utilizados para determinar el caudal ecológico mínimo	54
Figura 11. Restricciones para determinar el caudal ecológico mínimo	54
Figura 12. Territorio compartido por diferentes usuarios del agua	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información para caracterizar los sectores productivos de la cuenca	25
Tabla 2. Información requerida para estimar la huella hídrica de los distintos sectores	27
Tabla 3. Valores promedios mensuales de ETo para el país	31
Tabla 4. Supuestos utilizados por sector productivo	42
Tabla 5. Supuestos utilizados por sector productivo (continuación)	43
Tabla 6. Supuestos utilizados por sector productivo (continuación)	44
Tabla 7. Supuestos utilizados por sector productivo (continuación)	45
Tabla 8. Recopilación de información caso Piloto	49
Tabla 9. Recopilación de información caso Piloto	50



UNA HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

El agua fresca disponible para uso humano, agrícola, industrial y otros, que está presente en ríos, lagos y acuíferos subterráneos, sólo equivale al 0,62% del total. Se trata de un bien escaso que enfrenta una creciente presión demográfica sobre su uso, un desafío que obliga a las naciones a implementar nuevas herramientas para lograr un acceso universal y equitativo al agua, poner en práctica la gestión integrada de las aguas para garantizar calidad de vida a la población y a su vez, proteger los ecosistemas relacionados con este vital elemento. Se trata de una importante herencia que debemos dejar a los que vienen después de nosotros.

La huella hídrica se ha levantado a nivel mundial como un indicador del impacto en el agua de los distintos bienes que consumimos y como una herramienta que podría ayudar a crear conciencia y racionalidad en el uso del agua.

Este documento aborda el primer reporte de huella hídrica que realiza el análisis de sustentabilidad a nivel de cuenca en Chile, con indicadores propuestos por la organización sin fines de lucro Water Footprint Network, el trabajo y coordinación de Fundación Chile y la cooperación financiera internacional de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).

En el desarrollo del estudio se pudo concretar la interacción con distintos actores de la cuenca del río Rapel y la aplicación práctica de los indi-

cadores de sustentabilidad en talleres de capacitación, presentando la huella hídrica como una herramienta complementaria para el apoyo a la gestión integrada de las aguas.

Sin duda que esta experiencia significa una oportunidad de aprendizaje para la Dirección General de Aguas (DGA) del MOP, tanto en su metodología como para otras instituciones públicas y privadas que tengan acceso a esta información. En el caso particular de la DGA, esperamos considerar la incorporación de la huella hídrica como un indicador en nuestro ámbito de acción.

Este Reporte de Huella Hídrica se plantea entonces como un instrumento válido de apoyo para la planificación estratégica territorial del agua, que permite avanzar hacia una administración cada vez más justa, eficiente y sustentable del agua.

Carlos Estévez Valencia
Director General de Aguas
Ministerio de Obras Públicas



PRÓLOGO

Sostener el desarrollo humano y económico, conservando los ecosistemas naturales, requiere una gestión eficaz, integrada e inteligente de los recursos hídricos. Las sociedades humanas continuamos creciendo a la vez que el cambio climático nos impone mayores restricciones. Tenemos por ello el reto de aunar el desarrollo humano con entornos rurales vivos y paisajes sanos. Ese es nuestro desafío; lograr una gestión inteligente del agua que no se trate sólo de dar servicio, sino de conservar, que no es más que asegurar para el futuro.

Por ello, tendremos que ser más eficientes en el uso de nuestros recursos, sin por ello dejar de ser equitativos. El progreso socioeconómico plantea importantes retos a los gobiernos, que deberán encontrar nuevas formas de enfrentarse a ellos, buscando soluciones que sean a la vez viables, dinámicas y adaptativas. Para ello necesitamos herramientas que nos orienten y nos proporcionen la información necesaria para elaborar políticas e intervenciones en cuencas que son compartidas por múltiples actores. Es necesario compatibilizar los diversos intereses sociales, económicos y ambientales. Necesitamos aunar el esfuerzo de todos para avanzar en la gobernanza compartida, en un ejercicio de responsabilidad compartida.

La metodología de Evaluación de la Huella Hídrica es una herramienta que nos puede ayudar en esta tarea. Esta herramienta expone de for-

ma clara y directa nuestra dependencia de este recurso y su presencia en todas las actividades humanas. De este modo se convierte en un instrumento de información y por tanto de transparencia para la gestión del agua.

La huella hídrica es un indicador del consumo de agua que nos permite una visión holística del uso de agua en una región y de las presiones que la actividad humana imponen al recurso, sea en términos de cantidad o de calidad. Reconoce dónde y cuándo usamos el agua y lo relaciona con la disponibilidad y la capacidad de asimilar la contaminación que tienen nuestras aguas. La idea es ajustar la demanda a nuestra oferta de recursos, permaneciendo dentro de unos límites que nos permitirán mantener nuestra actividad como sociedad en el futuro.

Es un ejercicio de mapeo de los usos de agua en las cuencas, incluyendo la polución, que nos permite además encontrar las interrelaciones que se dan entre todos los actores de una cuenca a través del ciclo hidrológico. Nos permite así identificar las áreas prioritarias de actuación. Y con ello podemos elaborar respuestas inteligentes e innovadoras, para así lograr un manejo más eficiente y más justo del recurso.

En Chile se ha dado ahora un paso adelante con la elaboración de esta guía y su aplicación en la cuenca piloto del río Rapel. Representa uno de los esfuerzos más significativos en cuanto a la aplicación de la herramienta de Evaluación de la

Huella Hídrica desde la perspectiva de la gestión del agua y las administraciones públicas. Este esfuerzo sitúa así a la Dirección General de Aguas a la vanguardia mundial en el uso de huella hídrica en la gestión del agua.

Son de destacar algunos elementos innovadores del proyecto. La realización de una evaluación de huella hídrica implica un esfuerzo importante en cuanto a identificación y recopilación de datos y su articulación coherente, incluyendo los sectores agropecuario, forestal, industrial y minero. Esta guía logra adaptar la metodología al contexto y fuentes de datos chilenas, y de esta forma se constituye en una referencia esencial para la realización de otros estudios similares a nivel nacional.

Además, este trabajo propone un marco de análisis de los resultados en la fase de análisis de sostenibilidad de la Huella Hídrica que permite contextualizar los resultados y trabajar en la identificación de puntos críticos. Se logra una herramienta que nos permite categorizar las actuaciones y priorizar los esfuerzos a lo largo del territorio en función de la situación existente

en cada lugar. Esta sección del trabajo representa un elemento innovador en la aplicación de la metodología que puede ser de gran interés para las administraciones públicas al proponer soluciones concretas.

Es una aplicación innovadora que combina a la vez rigor científico y conocimiento del territorio y su realidad. Esperemos que sienta un precedente para organismos públicos y otros usuarios en la utilización de esta herramienta, sea a nivel nacional o internacional. Por todo ello se configura un trabajo importante y relevante, que esperamos permita a las autoridades chilenas continuar en el camino de una gestión sostenible, equitativa y eficiente de los recursos hídricos.



Ruth Mathews

Director Ejecutivo
Water Footprint Network





PRESENTACIÓN Y PROPÓSITO DE LA GUÍA

Esta guía es parte del proyecto “Huella Hídrica de Chile: Sectores prioritarios cuenca del río Rapel”, financiado por la Agencia de Cooperación Suiza (COSUDE)¹, para la Dirección General de Aguas (DGA)² y ejecutado por el área de Sustentabilidad de Fundación Chile³, con el apoyo de Water Footprint Network (WFN).

El propósito de esta guía es entregar los lineamientos metodológicos para evaluar la huella hídrica directa en las cuencas del país, apoyando así la gestión y facilitando la toma de decisiones con respecto al manejo del recurso hídrico. Así, el objetivo principal consiste en replicar la metodología de cálculo de la huella hídrica en otras cuencas de Chile.

La evaluación de huella hídrica es una herramienta mediante la cual se genera información relevante para la identificación de puntos críticos y la posterior formulación de respuestas. Proporciona indicadores definidos, que permiten evaluar la sustentabilidad del uso del recurso, brindando información relevante para la toma de decisiones a distintos niveles.

Para esta guía, la metodología de evaluación fue la desarrollada por Water Footprint Network (WFN)⁴, la cual fue adaptada por Fundación Chile a las condiciones nacionales para facilitar su aplicación como herramienta de gestión en un territorio compartido por diversos usuarios (cuenca).

Como parte de la guía se proponen criterios que permitirán la realización de los cálculos de huella hídrica en Chile a nivel local, facilitando así la réplica de la evaluación en otras cuencas del país. Asimismo, se listan las fuentes de información oficiales para facilitar el desarrollo de la metodología.

Esta publicación está dirigida a estudiantes, profesores, técnicos y profesionales (con conocimientos básicos de evaporación, evapotranspiración y balances de masas) de organizaciones públicas y privadas que deseen evaluar la huella hídrica de un territorio en particular. En ella se incluyen los pasos a seguir para la evaluación de la huella hídrica, los métodos de cálculo y una serie de lecciones aprendidas en base a las experiencias prácticas.

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 Dirección General de Aguas (DGA) es el organismo del Estado que se encarga de promover la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente, como también de proporcionar y difundir la información generada por su red hidrométrica y la contenida en el Catastro Público de Aguas con el objeto de contribuir a la competitividad del país y mejorar la calidad de vida de las personas.

³ 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.

⁴ Water Footprint Network es una organización que involucra empresas, inversores, institutos de investigación y agencias gubernamentales en la aplicación de la Evaluación Huella Hídrica en sus políticas, las empresas y en las cuencas de los ríos, lo que lleva al desarrollo sostenible a través de la administración del agua, eficiencia de los recursos y la gobernanza.



1. INTRODUCCIÓN

Chile cuenta con una gran variabilidad climática, la cual incide en las precipitaciones y, por ende, en la disponibilidad hídrica. Por otro lado, la demanda de agua en Chile se ha duplicado durante las últimas tres décadas (M. Interior, 2015). Se estima que hacia el año 2025 la demanda hídrica podría crecer entre un 35 y 60%, pudiendo incluso duplicarse para el año 2050 (The Millenium Project, 2009).

La condición de sequía en la cual nos encontramos, y las proyecciones de la oferta hídrica para la zona central muestran que la oferta hídrica tendería a disminuir o mantenerse, siendo que la demanda muestra una tendencia al alza que va de la mano con el crecimiento del país (Banco Mundial, 2011).

Es por ello que el uso del recurso tiene que ser gestionado de manera tal que permita el desarrollo de todos los sectores de manera sustentable. Una correcta gestión requiere, entre otros factores, conocer tanto la disponibilidad como la demanda de agua para así lograr un balance que permita evitar el impacto de las actividades antrópicas. El conocimiento sobre la disponibilidad y demanda permite tomar medidas para prevenir o reducir potenciales presiones sobre el recurso. La herramienta de Huella Hídrica (en adelante HH) resulta útil en este sentido ya que permite evaluar los consumos de agua dentro de un territorio mediante la generación de indicadores comparables en el tiempo.

La HH es un indicador del consumo de agua dulce, el cual toma en cuenta el consumo directo e indirecto de los diferentes usuarios o actores involucrados en un área definida (cuenca). El indicador está definido en términos de volumen de agua, bien sea consumida o contaminada, por unidad de tiempo. Por ejemplo, para una zona geográfica (cuenca) la huella hídrica es la suma de todos los consumos de las actividades que ocurren en el área definida por unidad de tiempo.

A partir del cálculo de HH de un territorio se generan insumos relevantes que permiten identificar los principales usuarios del agua, así como la presión que éstos generan en el territorio y su respectivo consumo. Lo anterior, junto a otros indicadores sociales, ambientales y/o económicos, facilita la evaluación de escenarios futuros y la generación de respuestas para asegurar la buena gestión del recurso hídrico.

Actualmente el principal desafío para Chile es el crecimiento sustentable, lo que implica una mejora en la gestión del recurso hídrico mediante la compatibilización de los distintos usos, permitiendo así el crecimiento económico sin comprometer el sistema ni los recursos naturales para las generaciones futuras.

Esta herramienta ha mostrado entregar información relevante para la toma de decisiones, siendo útil para distintas instituciones relacionadas con la gestión pública de los recursos hídricos. Asimismo, la información que es posible obtener de la evaluación de HH y sus indicadores de sustentabilidad entregan una base técnica

para el diseño e implementación de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).

De acuerdo a lo anterior, la presente guía busca entregar una metodología de evaluación de HH validada para las condiciones nacionales y así posibilitar un avance en la gestión hídrica del país, enriqueciendo el proceso de toma de decisiones al simplificar y contextualizar los problemas en los territorios compartidos por múltiples usuarios. Además, permite identificar puntos críticos en el territorio que ponen en riesgo la disponibilidad del recurso. Ofrece un enfoque innovador respecto a las problemáticas hídricas, permitiendo avanzar en la generación de soluciones estratégicas en el territorio para la eficiencia hídrica.

Esta adaptación tiene la ventaja de poder ser aplicada en cualquier cuenca hidrográfica del territorio nacional, lo que permite identificar, por ejemplo, focos de mayor consumo y así implementar medidas eficientes logrando un uso sostenible del recurso. Por otro lado, mediante una fácil replicabilidad es posible la comparación de resultados en distintas cuencas del país.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS DE HUELLA HÍDRICA

(BASADO EN LAS DEFINICIONES DE WATER FOOTPRINT NETWORK)

Los conceptos básicos del análisis de Huella Hídrica (HH), así como la definición de los indicadores relacionados a la HH, se describen en el manual "Water Footprint Assessment Manual-Global Standard" (Hoekstra, et al. 2011). En dicha publicación, también se entregan las bases teóricas para los cálculos de las HH Azul, HH Verde y HH Gris, y se describen las aproximaciones a los distintos tipos de análisis en los que puede ser aplicada la metodología (consumidor, productor, producto, sistema productivo, área geográfica) así como su posterior análisis de sustentabilidad.

En términos generales la Huella hídrica (HH) se define como "el volumen de agua fresca apropiada o no devuelta al sistema, tomando en cuenta los volúmenes de agua consumida y contaminada en las diferentes etapas de la cadena de suministros" (Water Footprint Network, 2011). La HH es un indicador multidimensional empírico que indica "dónde", "cuándo" y "cuánto" volumen de agua se consume y contamina.

La huella hídrica está conformada por tres indicadores de HH: azul, verde y gris, los que se describen a continuación:

Huella Hídrica Azul (HH Azul): se refiere al agua fresca que se extrae de fuentes superficiales y/o subterráneas que no retorna al ambiente de donde se extrajo. Esto se puede producir por:

- Agua evaporada.
- Agua incorporada en el producto.
- Agua que no retorna a la misma cuenca de extracción o que se vierte al mar.

Huella Hídrica Verde (HH Verde): se refiere al volumen de agua lluvia que no se transforma en escorrentía o en infiltración para la recarga de los acuíferos, sino que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en

la vegetación, y que eventualmente se evapora desde la superficie del suelo y evapotranspira desde la vegetación o se incorpora en la vegetación.

De un modo simplificado, es la fracción de agua lluvia contenida como humedad en el suelo que es evapotranspirada por las plantas y/o incorporada en productos. Esta se evalúa generalmente para productos agrícolas y forestales (productos a base de cultivos y madera).

Es importante destacar que sólo se consideran las huellas hídricas de los procesos relacionados con la producción antrópica y no de procesos naturales o no productivos que ocurren en el área estudiada.

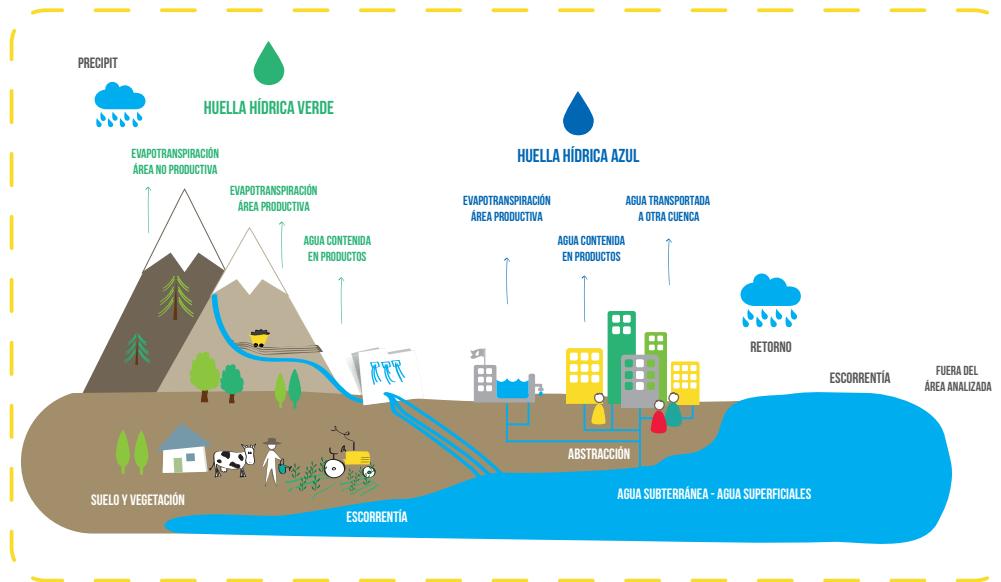


Figura 1: Relación entre las huellas hídricas azul y verde y el balance hídrico de la cuenca.
Fuente: Elaboración propia en base a Hoekstra, et al. (2011).

Huella Hídrica Gris (HH Gris): es un indicador virtual del grado de contaminación del agua fresca, y corresponde al volumen de agua fresca que se requiere para asimilar la carga de contaminantes de una descarga hasta niveles acorde a los estándares ambientales.

Ecuación 1: Estimación de la Huella gris

$$HG = \frac{C_{cont} \cdot Q}{C_{max} - C_{nat}}$$

Dónde:

HG: Huella Gris (volumen/tiempo).

Cont.: Concentración del contaminante evaluado (masa/volumen).

Q: Caudal de la descarga en donde se encuentra el contaminante (volumen/tiempo).

Cmax: Concentración máxima permitida del contaminante según las leyes de calidad ambiental del agua (masa/volumen).

Cnat: Concentración natural del contaminante en el cuerpo receptor (masa/volumen).

Fuente: (Hoekstra, et al. 2011)

Para la correcta estimación de la HH Gris se debe considerar el peor contaminante dentro de la descarga, el cual es aquel que requiere mayor cantidad de agua para que su asimilación llegue hasta niveles seguros.

A modo práctico, para contaminantes fabricados por el hombre, la concentración natural en el ambiente es cero. Para otros compuestos, tanto orgánicos como inorgánicos, la concentración natural es generalmente difícil de obtener o simplemente no hay registros, por lo que muchas veces la Ecuación 1 se simplifica en la siguiente ecuación:

Ecuación 2: Estimación de la Huella gris simplificada

$$HG = \frac{C_{cont} \cdot Q}{C_{max}}$$

Dónde:

HG: Huella Gris (volumen/tiempo).

Cont.: Concentración del contaminante evaluado (masa/volumen) Caudal de la descarga en donde se encuentra el contaminante (volumen/tiempo).

Cmax: Concentración máxima permitida del contaminante según las leyes de calidad ambiental del agua (masa/volumen).

Fuente: (Hoekstra, et al. 2011)

Las huellas azul, verde y gris se expresan en volumen/tiempo. Al dividir este valor por la cantidad de productos producidos en la cuenca durante ese período de tiempo (producto/tiempo) se obtiene una huella asociada a la producción (volumen/producto).

En la medición se pueden distinguir estos tres indicadores, tanto para el uso directo como para el uso indirecto de agua. Entiéndase como uso directo de agua o Huella Hídrica Directa (HH directa), al volumen de agua que es directamente abstraído desde el área o sistema analizado (por ejemplo, cuenca) y posteriormente consumido por cada uno de los distintos procesos que

ocurren dentro de esta (por ejemplo, la evapotranspiración en la producción de cultivos).

Por el contrario, el uso indirecto de agua o Huella Hídrica Indirecta (HH indirecta), se refiere al volumen virtual de agua o flujos virtuales de agua requerida para la producción de productos y/o servicios que son demandados por los distintos procesos que se desarrollan en el área analizada, pero no producida en él. El uso indirecto permite evaluar el impacto indirecto o la dependencia que posee el área o sistema productivo analizado en otros territorios (por ejemplo, importación de compuestos activos para la producción de agroquímicos).

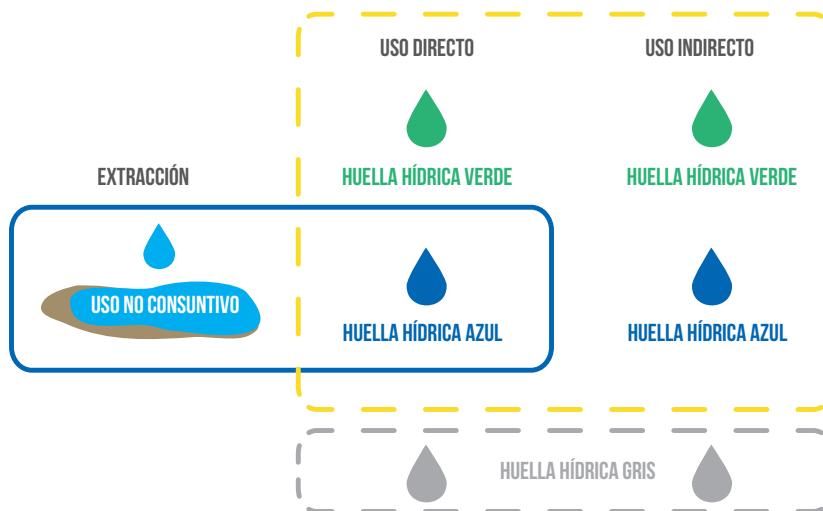


Figura 2: Representación esquemática de los componentes de la Huella Hídrica
Fuente: Elaboración propia en base a Hoekstra, et al. (2011).

En el caso de esta guía, el análisis se ha enfocado en la cuantificación y análisis de la huella hídrica directa. Esto debido a que la información que resulta del análisis proporciona elementos útiles para la gestión de los recursos hídricos en una cuenca.

Estos indicadores y conceptos presentados son adoptados por la metodología de evaluación de

huella hídrica propuesta por el Water Footprint Network. Ésta contempla 4 fases consecutivas permitiendo evaluar el consumo hídrico en el territorio evaluado.

Cada una de las fases va a ser explicada en el próximo capítulo.



Figura 3: Fases del análisis de Huella Hídrica.
Fuente: Elaboración propia en base a Hoekstra, et al. (2011).

3. EVALUACIÓN DE HUELLA HÍDRICA APLICADA A UNA CUENCA PASO A PASO

En esta guía se presentan los pasos y lineamientos requeridos para llevar a cabo la **Evaluación de Huella Hídrica Directa** en una cuenca. Ésta puede ser aplicada a unidades territoriales más pequeñas o más grandes, dependiendo de las necesidades del usuario. Cualquiera fuese el caso, se recomienda verificar que la información que se utilice sea lo más representativa al área de estudio en cuestión.

Asimismo, se listan las principales fuentes de información en el caso de que no se disponga de la información local requerida para la aplicación de la metodología. Por otro lado, se elaboró una base de datos de las huellas hídricas de diversos procesos productivos, lo que facilitaría el desarrollo de la evaluación de huella hídrica en cualquier cuenca del país. En el caso que se utilice información desde las bases de datos, es recomendable ajustar esta información con datos locales, ya que esto permitirá realizar un análisis más ajustado a la realidad.

El enfoque de la guía es la evaluación del uso directo de agua de cada uno de los sectores priorizados, debido a que esta información es la que permite identificar los principales usos para su posterior gestión. Es por esto que se han excluido del análisis los flujos que ocurran dentro de la cuenca (entre sectores), así como los flujos de productos dentro y fuera de la cuenca (importaciones y exportaciones). Esta Guía constituye así

una hoja de ruta, que atraviesa las fases propuestas por el manual del WFN, las cuales han sido adaptadas a las condiciones locales.

Es importante mencionar que este trabajo ha propuesto una serie de cambios en las fases finales de la metodología, de manera que esta herramienta permita obtener una evaluación más “contextualizada” a la realidad por la que atraviesa la cuenca, tanto a nivel ambiental como social y económico. Para facilitar la lectura y el seguimiento de la metodología, en cada apartado se pueden encontrar ejemplos referentes al estudio piloto, así como listados con la información requerida para llevar a cabo los cálculos, en el caso que no exista información local disponible.

3.1 FASES PARA LA EVALUACIÓN DE HUELLA HÍDRICA

3.1.1 Fase 1: Definición de los objetivos y alcances.

Esta es la fase más importante ya que en ella se debe definir cuál es el objetivo y el alcance del estudio. Es muy importante 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 los objetivos establecidos.

El **objetivo** se define mediante la respuesta a la pregunta *¿Para qué? o ¿Qué es lo que se busca con el estudio?* Los objetivos permiten determinar lo siguiente:

- Identificar principales usuarios
- Evaluar riesgos ambientales, sociales y/o económicos en el área geográfica definida
- Definir áreas sensibles y riesgos asociados
- Otros

En la medida que el objetivo esté mejor definido o sea más específico, va a facilitar la determinación del alcance y la definición de cuál será la información requerida para calcular los indicadores y realizar posteriormente el análisis de sustentabilidad. Además, se debe evaluar la calidad de los datos que se requiere para que los

resultados cumplan con los objetivos propuestos y permitan así obtener la información necesaria para formular una respuesta.

Como parte del alcance se debe determinar:

- **Unidad funcional (UF):** se refiere a la base de cálculo con respecto a la cual se normalizan las entradas y salidas. En este caso se refiere a la unidad territorial más pequeña que se esté estudiando. En base a esta unidad se expresan los resultados obtenidos en la evaluación de huella hídrica. Se debe escoger cuidadosamente la unidad, para que los resultados reflejen la realidad



y además permitan concluir y tomar decisiones respecto de los objetivos que se establecieron en el estudio.

- **Dimensión espacial:** se refiere al marco territorial en el cual se va a realizar el estudio y qué actores y/o sectores se incluirán en el análisis.
- **Dimensión temporal:** se refiere al periodo de tiempo en que van a ser evaluados o calculados los indicadores. Por ejemplo, la HH se va a medir en forma diaria, mensual o anual. Este punto tiene directa relación con la calidad y la disponibilidad de los datos que se requieran y con ello los resultados que se van a obtener. Si se quiere medir la Huella Hídrica de un año respectivo, la información debe ser representativa de ese periodo de tiempo.

- **Análisis de calidad de la información:** Entregue una descripción cualitativa de la calidad de los datos utilizados. Los siguientes criterios se utilizan para el análisis de la calidad de la información.

- **Exactitud:** se refiere a la fuente de los datos, y a la forma de adquisición y verificación de los mismos. Datos fiables son aquellos que han sido medidos y verificados directamente en terreno (Información primaria). En general, la información que es publicada por fuentes oficiales (información secundaria), es producto de protocolos de recopilación y estandarización de datos por lo que es fiable y verificable. En el caso de que la información se obtenga desde otras fuentes no oficiales, esta debe ser evaluada de manera que los análisis que se reali-

cen a partir de la misma sean representativos de la realidad y que posteriormente puedan ser comparables con otros estudios.

- **Integridad:** representa la exhaustividad de los datos recolectados.

- **Representatividad:** evalúa la correlación geográfica y tecnológica de los procesos que se incluyen en el estudio (medida en que los datos reflejan la realidad).

- **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 permiten reproducir los resultados del estudio.

- **Incertidumbre:** dependiendo de la calidad de la información con la que se cuente, esta va a permitir que el análisis final de los resultados estén más o menos ajustados a la realidad. Este punto está íntimamente ligado a la resolución espacial y temporal a la cual se esté desarrollando el estudio.

- **Indicadores que se van a evaluar:** se definen los indicadores que se van a calcular y si se van a analizar los impactos directos e indirectos.

- **Límites:** se establecen los sectores que se van a considerar en el estudio y con qué profundidad se va a analizar cada uno.

A nivel nacional, la información productiva no se encuentra cuantificada con respecto a una cuenca. Dentro de la información disponible,

la unidad territorial más pequeña en la cual se puede encontrar la información según la división político- administrativa del país es la comuna, división que no siempre corresponde con los límites de las cuencas.

Por este motivo, al analizar una cuenca es importante definir dentro de los alcances del estudio cómo se van a delimitar las cuencas, lo cual incluye criterios de inclusión de comunas y cómo se van a evaluar las comunas “bordes”⁵. En el caso que se disponga de información georeferenciada esto puede facilitar el análisis. Cualquier decisión debe quedar debidamente registrada de manera de contar con antecedentes para otros estudios y además permitir la replicabilidad del trabajo.

Caso Piloto: Medición de la Huella Hídrica río Rapel

Fase 1:

Objetivo: Realizar la evaluación de Huella Hídrica en la cuenca del Río Rapel.

Alcance:

- **Unidad Funcional:** la cuenca (y las comunas que pertenecen a la cuenca).
- **Dimensión espacial y temporal:** Se utilizaron datos publicados obtenidos desde fuentes oficiales. Estos se encuentran a distintas escalas espaciales (comunal y regional) y temporales (serie de tiempo anual).
- **Indicadores:** Se evaluaron las Huellas Hídricas Directas Verde, Azul y Gris.
- **Límites:** se consideraron 5 sectores:
 - Doméstico (Rural y Urbano)
 - Energía (Centrales Hidroeléctricas ya que las termoeléctricas presentes en la cuenca del Rapel no utilizan agua fresca en su operación)
 - Minería (Mina de Cobre)
 - Silvo-agropecuario (Eucaliptus y Pino Radiata, Frutales, Cereales, Cultivos industriales, Viñas y Hortalizas- Aves, Cerdos y Bovinos)
 - Industria (Producción de alimentos- faena de carne- producción de celulosa).

⁵ Se refiere a comunas cuyo territorio no esté 100% dentro de la cuenca en estudio.

Recopilación de Información

La información que debe ser recopilada va a estar determinada por los objetivos y los alcances definidos en la fase anterior.

Es importante mencionar que, dado que la información requerida proviene de distintas fuentes, la calidad de ésta debe ser evaluada al momento de ser utilizada y debe ser tomada en consideración al momento del análisis de los resultados y la evaluación de sustentabilidad.

La recopilación de información se divide en dos categorías: a) caracterización de las actividades que se desarrollan en la cuenca (o territorio analizado), b) información requerida para estimar las huellas hídricas de los distintos sectores o actividades que se realicen en la cuenca (o territorio analizado). A continuación se describe el detalle de estas categorías:

i. Caracterización de las actividades que se desarrollan en la cuenca

Dependiendo del objetivo y los alcances que se hayan definido, la información requerida para caracterizar la cuenca, debe dar la posibilidad de evaluar su HH directa.

Como marco conceptual, la huella hídrica DIRECTA (HH directa) de una cuenca (o territorio analizado), es la sumatoria de los consumos DIRECTOS específicos de cada uno de los sectores que se realicen en esta en el periodo definido en el estudio que se esté realizando.

Ecuación 3: Estimación de la Huella directa de la cuenca (Hoekstra, et al. 2011).

$$HH_{\text{cuenca (d)}} = \sum (HH_{\text{silvo-agropecuario (d)}} + HH_{\text{Minería (d)}} + HH_{\text{Industria (d)}} + HH_{\text{Energía (d)}} + HH_{\text{Doméstico}})$$

Dónde:

HHcuenca (d): Huella Hídrica directa (d) de la cuenca (m³).

HHSilvo-agropecuario (d): Huella Hídrica directa (d) del sector Silvo-agropecuario (m³).

HHMinería (d): Huella Hídrica directa (d) del sector Minero (m³).

HHEnergía (d): Huella Hídrica directa (d) del sector Energético (m³).

HHDoméstico(d): Huella Hídrica directa (d) del sector Doméstico (m³).

HHIndustria(d): Huella Hídrica directa (d) del sector Industrial (m³).

Fuente: (Hoekstra, et al. 2011)

A su vez, la huella hídrica directa de cada uno de los sectores es la sumatoria de las huellas hídricas directas de todas las actividades consideradas dentro de cada sector.

Ecuación 4: Estimación de la Huella directa del sector (Hoekstra, et al. 2011).

$$HH_{\text{sector } J} = \sum_{i=\text{actividad}}^n (HH_{\text{azul}}(d)_{ij} + HH_{\text{verde}}(d)_{ij} + HH_{\text{gris}}(d)_{ij})$$

Dónde:

HH Sector J: Huella total del Sector j (m³).

HH Azul(d)ij: Huella azul directa de la actividad i (m³).

HH Verde(d)ij: Huella verde directa de la actividad i (m³).

HH Gris(d)ij: Huella gris directa de la actividad i (m³).

Al momento de caracterizar a la cuenca y cada uno de los sectores productivos presentes en el territorio estudiado, se debe seleccionar una unidad que permita relacionar el sector o la actividad con su consumo hídrico. Por lo que es necesario que la unidad seleccionada posea ciertos criterios como:

1. Sea cuantificable (por ejemplo: hectáreas de cultivo, toneladas de metal producido, número de animales existentes, litros de vino producido, etc.)

2. Se pueda atribuir un consumo hídrico (por ejemplo: m³ consumidos por hectárea cultivada, m³ consumidos por MWh producido, m³ por kilo de carne faenada, etc.)

3. Que el origen de la información sea oficial o publicada por fuentes oficiales. En el caso que se quiera volver a repetir el estudio, idealmente se debiera preferir información que se actualice regularmente (y no proveniente de un estudio específico). De igual forma si se busca comparar las evaluaciones con otras cuencas (o áreas de estudio), preferiblemente se debiese preferir publicaciones nacionales donde la información haya sido recopilada y estandarizada a nivel nacional para eventualmente poder realizar comparaciones.

La mayoría de la información necesaria para caracterizar los sectores productivos presentes en la cuenca se encuentra publicada y es accesible para uso público.

La principal limitante de la información disponible a nivel nacional es que los catastros y/o estadísticas productivas no siempre se realizaron en un mismo año. Además, debido a que la resolución espacial de ésta es por región y/o comuna, si se quiere utilizar esta información en diferentes unidades territoriales la misma tiene que ser asignada. En estos casos, si la información esta georreferenciada se facilita la asignación los consumos al territorio en estudio.

Sector	Parámetro	Documento	Unidad espacial en la que se publica el dato	Institución
Sector Silvo-Agropecuario	- Superficie destinada a los diferentes cultivos agrícolas y forestales (ha). - Cantidad de animales por especie (cabezas).	Censo Silvo-agropecuario (2007)	País-Región Provincia-Comuna	Oficinas de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA).
	- Superficie destinada a los diferentes cultivos agrícolas y forestales (ha). - Productividad (ton/ha). - Cantidad de animales por especie (cabezas).	Varios (Publicaciones-boletines- otros)	Región	Oficinas de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)/ Instituto Nacional de Estadísticas (INE).
	- Superficie destinada a frutales (ha). - Productividad por especie frutal (ton/ha).	Catastro Frutícola (Varios años)	Región-Comuna	Oficinas de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)/ Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN).
Sector Energía	- Potencia instalada (MW).	Catastro Energético 2015	Comuna (Planta generadora)	Comisión Nacional de Energía (CNE).
	- Generación eléctrica (MWh).	Generación Bruta 2015	Comuna (Planta generadora)	Comisión Nacional de Energía (CNE).

Tabla 1: Información para caracterizar los sectores productivos de la cuenca.

Sector	Parámetro	Documento	Unidad espacial en la que se publica el dato	Institución
Sector Industrial (Fuentes: Variable de acuerdo a la industria)	- Número de empresas existentes y su consumo de agua.	Encuesta anual de la Industria (ENIA) 2012	Región	Instituto Nacional de Estadísticas (INE).
	- Cantidad de fruta procesada para el sector agroindustrial (kg).	Varios (Publicaciones-boletines- otros)	Región	Oficinas de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)/ Instituto Nacional de Estadísticas (INE).
	- Volumen de madera troza utilizada por la industria forestal (ton).	Estadísticas productivas (2013)	Región	Instituto Forestal (INFOR).
	- Número de animales faenados por la industria de la carne (cabezas).	Estadísticas productivas (2014)	Región	Oficinas de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)/ Instituto Nacional de Estadísticas (INE).
	- Litros producidos por la industria vitivinícola. (L).	Estadísticas productivas (2014)	Región	Oficinas de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)/ Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).
Sector Minero	- Mineral producido (ton).	Volúmenes producidos	Región	Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO).
Sector Doméstico	- Personas atendidas por sistema Rural/Urbano.	Censo poblacional 2002 Proyecciones población 2014	Región	Instituto Nacional de Estadísticas (INE).
	- Estado de funcionamiento de plantas de tratamiento existentes.	Estado de las plantas de tratamiento	Comuna	SUBDERE SISS.

ii. Información requerida para estimar las huellas hídricas de los distintos sectores.

La información requerida para calcular la HH de cada uno de los sectores se menciona en la sub-sección siguiente. Asimismo, en la si-

guiente tabla es posible encontrar una descripción de la información necesaria y disponible de forma pública.

Sector	Actividad	Información requerida	Fuente
Agrícola / forestal	General	Evapotranspiración referencia.	Ej. Santibañez, et al. 2015.
		Coeficiente Cultivo.	Allen, et al. 2006; Estudios de la DGA (http://sad.dga.cl/).
		Fertilización.	Varias Fuentes. Publicaciones INIA Varios Años.
		Requerimiento de agua de los cultivos.	FAO, 2006.
Pecuario	Todas las producciones pecuarias	Entradas de Agua – Salidas.	No existe información oficial.
		Calidad de descargas.	Decretos de descarga.
Industria	General	Entradas de Agua – Salidas.	No existe información oficial.
Energía	Hidroeléctricas	Superficie espejo de agua.	Imágenes satelitales/publicaciones oficiales.
		Evaporación.	DGA. Mediciones directas de evaporación desde embalses.
	Termoeléctricas	Entradas de Agua – Salidas.	NO aplica para Chile ya que la mayoría usa agua de mar. Ver casos especiales en el norte de Chile.
Minería	Metálica y no metálica	Entradas de Agua – Salidas.	Publicaciones de Minas sobre el uso del agua.

Tabla 2: Información requerida para estimar la huella hídrica de los distintos sectores.

Cálculo de las Huellas Hídricas por Sector

En esta sub-sección se calculan las huellas hídricas directas de los diferentes sectores productivos tales como agrícola, forestal, pecuario, industrial, minero, energía y doméstico.

Huellas Hídricas Directas

Las metodologías propuestas para estimar las HH directas de cada uno de los sectores son el resultado del análisis en un contexto territorial de otras experiencias desarrolladas en Chile y el mundo.

A continuación se presentan las bases teóricas que fundamentan la estimación de consumo hídrico y los métodos o programas que se han utilizado en cada caso. Al final de la descripción de los cálculos para cada uno de los sectores se definen las fuentes de información y alguno de los supuestos para desarrollar los cálculos.

En esta Guía cada uno de los sectores va a ser analizado por su consumo directo, es decir, por su impacto directo en la cuenca, por lo que los flujos entre sectores serán analizados sólo en el momento en que los productos salen del sistema.

Sector Agrícola

La Huella Hídrica (HH) del sector agrícola se define como la suma de las huellas hídricas azul, verde y gris de los sistemas productivos considerados como parte del sector. Las huellas azul

y verde corresponden a la cantidad de agua consumida directamente por los cultivos, la cual es producto de la evaporación directa del suelo sumada a la transpiración del cultivo y se denomina evapotranspiración (Martínez y Carvacho, 2011). La capacidad evapotranspiratoria de un cultivo va a estar determinada por las características propias del cultivo y por las condiciones agroclimáticas (ambientales) entre las que se encuentran: el tipo de suelo, la disponibilidad de agua y el manejo del cultivo. La huella hídrica gris corresponde al agua que no es consumida por los cultivos pero que ha sufrido una pérdida en su calidad original, producto de su uso.

El requerimiento hídrico o evapotranspiración (que corresponde a la suma de las huellas azul y verde) se puede obtener utilizando diferentes métodos de estimación. La selección va a depender de la información que se disponga. Asimismo, la calidad de la información con la que se cuente para alimentar a los métodos definirá si el resultado obtenido para el consumo hídrico se ajusta a la realidad.



Figura 5: Huella Hídrica del sector agrícola.
Fuente: Elaboración propia.

La evapotranspiración potencial de los cultivos (ET_c)⁶ está determinada tanto por las características del cultivo como por las condiciones agroclimáticas (ambientales) en las cuales este se encuentra. Para su cálculo, se multiplica la evapotranspiración de referencia (ET₀)⁷ de una zona por el coeficiente de cultivo, dando como resultado una estimación de la evapotranspiración del cultivo.

Ecuación 5: Estimación Evapotranspiración potencial de cultivos (ET_c) (Allen, et al. 2006).

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

Dónde:

ET₀: Evapotranspiración de referencia (mm/ha).

K_c: Coeficiente de cultivo (Kc).

La evapotranspiración de referencia (ET₀) es un parámetro relacionado con el clima, que expresa la capacidad que tiene la atmósfera para evaporar el agua presente en el suelo (Allen, et al. 2006). La estimación de la ET₀ incluye en su cálculo diferentes factores meteorológicos, tales como: radiación solar, temperatura del aire, humedad del aire y velocidad del viento.

Existen diferentes métodos empíricos que permiten estimar la ET₀, con mayor o menor precisión dependiendo de la calidad y disponibilidad de la información agroclimática existente. Por esto, la selección de un método sobre otro va a depender de la información disponible.

Uno de los métodos recomendados por FAO y por el WFN es el método de Penman y Monteith para la estimación de la ET₀.

Ecuación 6: Estimación Evapotranspiración potencial de cultivos (ET_c) (Allen, et al. 2006).

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34u_2)}$$

Dónde:

ET₀: Evapotranspiración de referencia (mm día-1).

R_n: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹).

R_a: Radiación extraterrestre (mm día-1).

G: Flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día-1).

T: Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C).

u₂: Velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹).

e_s: Presión de vapor de saturación (kPa).

e_a: Presión real de vapor (kPa).

⁶ Evapotranspiración potencial, se define como el máximo de evapotranspiración para un cultivo específico y depende únicamente del clima.

⁷ Evapotranspiración de Referencia, se define como la evapotranspiración correspondiente a un cultivo hipotético de pasto que tiene una altura de 12 cm, una resistencia de cubierta de 70 s/m, una resistencia aerodinámica de 208 u₂ s/m donde u₂ es la velocidad del viento a 2 metros de altura y un albedo de 0,23 (Allen, et al. 2006).

El método de Penman - Monteith requiere una gran cantidad de información para su cálculo. Para el caso de Chile, existen distintas fuentes nacionales donde las ETo han sido ya calculadas para distintas zonas del país. En la siguiente tabla se presentan los documentos donde se pueden encontrar valores promedios mensuales de ETo para el país.

Fuente	Documento
Santibañez, et al. 2015.	Evapotranspiración de referencia para la determinación de las demandas de riego en Chile.
Universidad de Chile, 2012.	Atlas Bioclimático de Chile.
CIREN & CNR, 1997.	Cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile.

Tabla 3: Valores promedios mensuales de ETo para el país.

El coeficiente de cultivo (Kc) es un valor adimensional que varía de acuerdo a las características del cultivo, siendo los valores de Kc específicos para cada uno de ellos. Estos coeficientes son el resultado de estudios en los cuales se ha analizado la fisiología de los cultivos y su capacidad evapotranspiratoria. A nivel nacional existen algunos estudios realizados de coeficientes de cultivos, pero en su mayoría provienen de los estudios de FAO (Allen, et al. 2006).

Como ya se mencionó, mediante la multiplicación del ETo por el Kc se puede calcular la evapotranspiración potencial de un cultivo (ETc), la cual es potencial ya que se asume que durante el periodo de crecimiento del cultivo la disponibilidad de agua nunca fue una limitante por lo que este corresponde al consumo máximo que puede efectuar una planta de acuerdo a las condiciones ambientales presentes y a su fisiología.

Dado que en la realidad eso no ocurre, este valor puede ser corregido ya sea limitando la evapotranspiración de acuerdo a la disponibilidad real de agua presente en el suelo durante el periodo analizado mediante un balance de agua (Osorio 2013) o corrigiéndola de acuerdo a la disminución de los rendimientos efecto de la disponibilidad de agua de riego. En el estudio FAO 66 (Steduto, et al. 2012), se aborda la respuesta del rendimiento a la disponibilidad al agua, la cual permite corregir la ETc utilizando un factor que ayuda a evidenciar el efecto de la menor evapotranspiración en el rendimiento (Ver Ecuación 7).

Ecuación 7: Respuesta del rendimiento a cambio en la evapotranspiración (Doorenbos y Kassam, 1979).

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = k_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_c}\right)$$

Dónde:

Ya: rendimiento actual cosechado (ton).

Ym: rendimiento máximo cosechado (ton).

Ky: factor del efecto sobre el rendimiento (adim.).

ETa: evapotranspiración actual (fracción de ETr) (mm).

ETc: evapotranspiración real o máxima (ETo x Kc) (mm).

Kc: coeficiente de cultivo (adim.).

El K_y es un factor de respuesta del rendimiento que representa el efecto de una disminución de la evapotranspiración sobre las pérdidas de rendimiento y puede ser aplicada a todos los cultivos agrícolas (herbáceos, arbóreos y vides). Esta información puede encontrarse en publicaciones de FAO (Steduto, et al. 2012).

Existen programas que han incorporado estas ecuaciones y que mediante el balance hídrico en el suelo se calcula el requerimiento hídrico de cada cultivo. El programa CROPWAT 8.0 de FAO (descargable en www.fao.org), fue desarrollado

como apoyo para crear programas de riego de acuerdo al requerimiento hídrico de los cultivos. Este modelo ha sido utilizado en otros estudios de huella hídrica ya que incorpora las condiciones climáticas y precipitaciones del lugar, el tipo de suelo y las características específicas de cada uno de los cultivos. Este programa posee la gran ventaja de que incorpora las bases de datos de K_c de los principales cultivos, las que pueden ser modificadas de acuerdo a las condiciones específicas de cada lugar.

En el caso de que no exista información agroclimática del área en estudio, se puede optar por el uso de CLIMWAT 2.0 (descargable desde www.fao.org) que es una base de datos climática donde se compila información de más de 5000 estaciones agroclimáticas alrededor del mundo. Para el caso de Chile, esta base de datos provee información de 34 estaciones entre Iquique y Punta Dungeness. La principal desventaja del programa CROPWAT es que si se quiere analizar una gran cantidad de cultivos estos deben ser modelados uno a uno.

Una vez conocido el requerimiento hídrico, se debe asignar cuánto de ese requerimiento hídrico fue cubierto por fuentes de agua azul y verde. Con esto se cuantifican las huellas hídricas azul y verde, las cuales están influenciadas por el aporte de las precipitaciones y el riego.

A nivel nacional la información de precipitaciones se puede obtener desde los registros de las estaciones de la Dirección General de Aguas, que posee un catastro de las precipitaciones para todo el país.

Para el caso de las precipitaciones sólo se considera la **Precipitación efectiva** (Pp_{ef})⁸ que ocurre en el lugar, existiendo diferentes metodologías para estimarla. La precipitación efectiva corresponde a la fracción de la precipitación que es infiltrada en el suelo. Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica realizada, basada en trabajos relacionados con huella hídrica en Chile, la metodología desarrollada, la metodología desarrollada por Doorembos y Pruitt (1977) calcula la Pp_{ef} mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 8: Estimación Precipitación efectiva (Doorembos y Pruitt, 1977).

$$P_{p_{ef}} = P_p \times \text{Factor de corrección}$$

Dónde:

Pp_{ef}: Precipitación efectiva, (mm día⁻¹)

Pp: Precipitación en mm (día⁻¹)

Factor de corrección depende de la ETC mensuales, por lo tanto si:

- ETC < 3 => Factor de corrección 0,65.
- ETC = 3-5 => Factor de corrección 0,76.
- ETC = 5-7 => Factor de corrección 0,90.
- ETC > 7 => Factor de corrección 0,98.

Una vez estimado el requerimiento hídrico y las precipitaciones, se analiza cuánto es el aporte que realizan las precipitaciones (Agua verde) a esta demanda y cuánto debe ser suplementado mediante el riego (Agua azul), asumiendo que la demanda de agua de los cultivos es cubierta.

De esta manera, la huella verde es la cantidad de agua evapotranspirada proveniente de la humedad del suelo producida por las precipitaciones durante el periodo de crecimiento del cultivo hasta su término.

Siendo:

$$HH \text{ Verde (mm día}^{-1}\text{)} = \text{Min (ETc, Pp}_{ef}\text{)}$$

Dado que se asume que el requerimiento hídrico de agua del cultivo está completamente satisfecho, la huella azul es la cantidad de agua evapotranspirada por el cultivo que no fue suplida por las precipitaciones y debió ser proporcionada mediante el riego durante el periodo de crecimiento del cultivo hasta su término.

Siendo:

$$HH \text{ Azul (mm día}^{-1}\text{)} = \text{Max (0, ETc-Pp}_{ef}\text{)}$$

De esta manera se obtienen los valores diarios de las HH Azul y HH Verde. La sumatoria de las HH diarias (mm) durante el periodo de crecimiento del cultivo o el periodo analizado entrega los valores de HH azul y verde totales del cultivo. Estos valores de HH deben ser transformados a volumen (m³) por una unidad de superficie (ha), y para ello se multiplican por 10 para llevarlos a m³/ha⁹.

⁸ Precipitación Efectiva: es aquella fracción de la precipitación total que es infiltrada en el suelo y aprovechada por las plantas. Depende de múltiples factores como pueden ser la intensidad de la precipitación o la aridez del clima, y también de otros como la inclinación del terreno, contenido en humedad del suelo o velocidad de infiltración [Dastane, 1978].

⁹ Considerar la siguiente equivalencia: 1mm = 1 L/m² = 10 m³/ha.

El análisis de ambas huellas hídricas nos indica:

- La HH Azul nos entrega el impacto directo de la actividad agrícola en las fuentes superficiales y subterráneas de agua, lo que conlleva a una menor disponibilidad de agua para el desarrollo de otras actividades en la cuenca.

- La HH Verde, por el contrario, nos entrega información sobre qué tan eficientemente se están manejando los cultivos. En la medida que los cultivos sean los más adecuados para la zona y los manejos sean oportunos (ej. Labores de suelo, fechas de siembra, entre otros) esto permite maximizar el uso de las fuentes de aguas verdes (precipitaciones) disminuyendo la presión sobre las fuentes de agua azul.

Para el caso de la huella hídrica gris (HH Gris), esta va a estar definida por el contaminante que requiera mayor cantidad de agua para su asimilación hasta niveles naturales. Se calcula utilizando la ecuación 1 o la ecuación 2, dependiendo de las condiciones e información disponible.

En otros estudios que han calculado la HH a productos agrícolas se ha considerado para la estimación de la HH Gris el uso de agroquímicos que se utilizan en la producción. Dentro de los agroquímicos, se ha evaluado principalmente el Nitrógeno debido a que es el producto que se aplica en mayor cantidad, es fácilmente lixiviable y existen mediciones relacionadas a la cantidad de nitrógeno en los cursos de agua en condiciones naturales. En general, otros productos agroquímicos, tales como los pesticidas, al ser

aplicados sufren de procesos de degradación y transformación por la acción de las condiciones ambientales o de los microorganismos presentes en el suelo, siendo difícil estimar cuánto de estos llega a los cursos de agua.

A lo anterior, se suma que muchas veces tales compuestos no son usualmente medidos en los análisis de calidad de aguas, por lo que no hay información de las concentraciones máximas o concentraciones naturales. En el caso que el compuesto no se encuentre en la naturaleza, su concentración natural es cero. Por el contrario, si es posible encontrar el compuesto en la naturaleza, las concentraciones naturales y máximas tienen que ser definidas, ya sea en normas secundarias o en normas de emisiones máximas.

Dependiendo de sus características, cada compuesto posee un grado de solubilidad y puede ser lixiviado a cursos subterráneos o transportado por la escorrentía a cursos superficiales. Para calcular la descarga se asume que parte del total del compuesto aplicado que se está analizando se pierde y por ende es lixiviado. El factor de lixiviación para el nitrógeno que se ha considerado en otros estudios nacionales e internacionales es del 10%. En el caso de considerar otros compuestos, el factor de lixiviación debe ser determinado de acuerdo a las características del mismo.

Una vez calculadas las huellas individuales de los cultivos presentes en la cuenca, se calcula la huella del sector en la cuenca, que es la sumatoria de las huellas verde, azul y gris de cada

uno de los cultivos presentes en la cuenca por sus respectivas superficies.

Ecuación 9: Estimación Huella hídrica del Sector agricultura.

$$HH_{\text{SECTOR AGRÍCOLA}} = \sum_{i=1}^n (HH_{\text{Azul}(i)} + HH_{\text{Verde}(i)} + HH_{\text{gris}(i)})$$

Dónde:

HH_{SECTOR AGRÍCOLA}: Huella total del Sector agricultura (m³).

HAzul i: Huella azul del cultivo agrícola i (m³ ha⁻¹).

HVerde i: Huella verde del cultivo agrícola i (m³ ha⁻¹).

HGris i: Huella gris del cultivo agrícola i (m³ ha⁻¹).

Superficie i: Superficie del cultivo agrícola i (ha)

Sector Forestal

La estimación de la HH del sector forestal se basa en los mismos fundamentos del cálculo de la huella hídrica de los cultivos agrícolas. En este caso, el requerimiento hídrico estimado de la plantación (bosque) es producto de la ETo del lugar y el coeficiente específico de las especies que componen el bosque o monocultivo. Se considera que, debido a que el bosque es un cultivo permanente, la ETo considerada en el cálculo

sea el promedio de los últimos 10 años.

De acuerdo a la existencia de riegos en el proceso productivo, las huellas hídricas se calculan al igual que los productos agrícolas. En el caso contrario, en que no haya riego, se considera solo la HH Verde. Esto implica que se asume que las precipitaciones fueron la única fuente de agua disponible.

En la medida de que existan estudios referentes a otras fuentes de agua utilizadas por las plantaciones forestales, tales como agua subterránea, estas deben considerarse como HH Azul.

La huella gris va a estar definida por el contaminante que requiera mayor cantidad de agua para su asimilación hasta niveles seguros y/o aceptados y se calcula utilizando la ecuación 1 o la ecuación 2, dependiendo de las condiciones e información disponible.

La huella del sector en la cuenca es la sumatoria de las huellas verde, azul y gris de cada uno de las plantaciones presentes en la cuenca por las respectivas superficies.

Ecuación 10: Estimación Huella hídrica del Sector forestal.

$$HH_{\text{FORESTAL}} = \sum_{i=1}^n [(HH_{\text{Azul}_i} + HH_{\text{Verde}_i} + HH_{\text{gris}_i}) \times \text{superficie}_i]$$

Donde:

HH_{FORESTAL}: Huella total del Sector forestal (m³).

HH Azul i: Huella azul especie forestal i (m³ ha⁻¹).

HH Verdei: Huella verde especie forestal i (m³ ha⁻¹).

HH Gris i: Huella gris especie forestal i (m³ ha⁻¹).

Superficiei: Superficie de la especie forestal i (ha).

Sector Pecuario

La HH del sector pecuario debe considerar el requerimiento directo de agua del animal, que incluye el agua necesaria para la vida del animal y aquella utilizada en el proceso productivo (limpieza de establos). A esto, se le resta el agua contenida en los purines de los animales por una unidad de tiempo definido. Se considera que el agua contenida en los purines es devuelta al sistema con un deterioro en su calidad, por lo que se contabiliza dentro de la medición de HH Gris. Este deterioro corresponde a la diferencia en calidad entre el agua natural y la devuelta a los cauces.

Dado que esta calidad de la descarga es variable, para conceptos generales se asume que la descarga de las aguas va a cumplir con el DS 90/2000. El decreto supremo 90 está definido por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) en sus diferentes tablas. En este caso, al igual que para el resto de los procesos industriales el agua descargada a cauces naturales debe

cumplir con este reglamento, a no ser que existan normas específicas que regulen la descarga de estas aguas.

La HH Gris va a estar determinada por el compuesto presente en las aguas de desecho que requiera mayor cantidad de agua para su asimilación hasta niveles aceptados, y se calcula utilizando la ecuación 1 o la ecuación 2 dependiendo de las condiciones e información disponible.

Dado que se está evaluando el uso directo, el análisis de HH de los alimentos que los animales consumen no se considera en esta parte ya que fue cuantificada anteriormente en la producción de los cultivos por el sector agrícola.

Ecuación 11: Huella hídrica del Sector Pecuario

$$HH_{\text{PECUARIO}} = \sum_{i=1}^n [(HH_{\text{Azul } i} + HH_{\text{Verde } i} + HH_{\text{gris } i}) \times \text{Total animales } i]$$

Dónde:

HH_{PECUARIO}:

Huella total del Sector pecuario (m³).

HH Azul i: Huella azul de la especie i (m³ animal⁻¹).

HH Verde i: Huella verde de la especie i (m³ animal⁻¹).

HH Gris i: Huella gris especie i (m³ animal⁻¹).

Total animales i: N° animales i en la cuenca (o territorio considerado) (n° animales).

Sector Industrial

La huella de agua del sector industrial es la sumatoria de las HH azul y gris de todas las industrias presentes en la cuenca.

La huella de cada industria corresponde al agua consumida y por lo tanto no devuelta al sistema. Su cálculo considera las entradas de agua desde las diferentes fuentes menos los consumos (aguas evaporadas, recirculadas, incorporadas en el producto y/o no devueltas al sistema dentro del periodo considerado en el estudio).

Ecuación 12: Huella hídrica del Sector Industrial (1)

$$HH_{INDUSTRIAL} = \sum_{i=1}^n [(HH_{azul\ i} + HH_{verde\ i} + HH_{gris\ i})]$$

Dónde:

$HH_{INDUSTRIAL}$: Huella total del Sector Industrial (m^3).

$HA_{z\ i}$: Huella azul de la industria i (m^3)

$HV_{e\ i}$: Huella verde de la industria i (m^3)

$HG_{r\ i}$: Huella gris industria i (m^3).



Figura 6: Huella Hídrica del sector agrícola.
Fuente: Elaboración propia.

En general, las industrias utilizan únicamente aguas desde fuentes superficiales o subterráneas, por lo que el análisis de HH se centra en la HH azul. Para el caso de la huella gris, los tratamientos y calidades de las descargas pueden variar de una industria a otra, aun cuando por ley todas las descargas deban cumplir con el DS90/2000.

En el caso que no se cuente con la información referente a las entradas y salidas de agua de todas las industrias presentes, este valor se puede estimar en base a su producción. La suma de todos los productos producidos en la cuenca entrega el valor de huella del sector industrial. En la base de datos se puede encontrar valores estimados de huella hídrica azul verde y gris de los principales procesos productivos nacionales.

Ecuación 13: Huella hídrica del Sector Industrial (2)

$$HH_{\text{INDUSTRIAL}} = \sum_{i=1}^n [(HH_{\text{Azul } i} + HH_{\text{Verde } i} + HH_{\text{Gris } i})]$$

Dónde:

HH_{INDUSTRIAL}: Huella total del Sector Industrial (m³).

HAzul i: Huella azul de la producción de j (m³ unidad producto j⁻¹).

HVerde i: Huella verde de la producción de j (m³ unidad producto j⁻¹).

HGris i: Huella gris de la producción de j

(m³ unidad producto j⁻¹).

Producto j: Unidades/volumen/peso producidas de producto j.

Sector Minero

La medición de la HH del sector minero tiene la misma lógica que la HH de un proceso industrial, siendo que el agua es consumida y no devuelta al sistema. El cálculo considera las entradas de agua a la mina y el agua requerida en los procesos de extracción y procesamiento del mineral desde fuentes superficiales y/o subterráneas. A lo anterior, se restan aquellas aguas que son consumidas en los distintos procesos (evaporadas, incorporadas en el producto y/o no devueltas al sistema dentro del periodo considerado en el estudio).

Ecuación 14: Huella hídrica del Sector Minero (1)

$$HH_{\text{MINERO}} = \sum_{i=1}^n [(HH_{\text{Azul } i} + HH_{\text{Verde } i} + HH_{\text{Gris } i})]$$

Dónde:

HH_{MINERO}: Huella total del Sector Minero (m³).

HAzul i: Huella azul de minera i (m³).

HVerde i: Huella verde de minera i (m³).

HGris i: Huella gris de minera i (m³).

La huella gris va a estar determinada por el compuesto presente en las aguas de descarga que requiera mayor cantidad de agua para su asimilación hasta niveles aceptados por la normativa ambiental vigente y se calcula utilizando la ecuación 1 o la 2 dependiendo de las condiciones e información disponible. En la mayoría de los casos no existe descarga por parte de las mineras por lo que se considera que es un proceso 100% consuntivo, salvo en pocas ocasiones (por ejemplo: Estero Carén- Minera el Teniente).

Al igual que para la estimación de la HH de la industria, en el caso de que no se cuente con la información referente a las entradas y salidas de agua de todas las minas presentes en el área de estudio, este valor se puede estimar en base a su producción. La suma de toda la producción de la cuenca entrega el valor de su huella del sector minero. En la base de datos se puede encontrar valores estimados de huella hídrica azul verde y gris de producción de los principales minerales metálicos y no metálicos producidos a nivel nacional.

Ecuación 15: Huella hídrica del Sector Minero (2)

$$HH_{\text{MINERO}} = \sum_{j=1}^n [(HH_{\text{Azul } j} + HH_{\text{Verde } j} + HH_{\text{Gris } j}) \times \text{producción mineral } j]$$

Dónde:

HH_{MINERO} : Huella total del Sector Minero (m^3).

$HH_{\text{Azul } i}$: Huella azul de mineral i ($\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$).

$HH_{\text{Verde } i}$: Huella verde de mineral i ($\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$).

$HH_{\text{Gris } i}$: Huella gris de mineral i ($\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$).

$\text{Producción mineral } j$: Producción del mineral j (ton).

Sector Energía

La huella hídrica del sector energía va a variar dependiendo de la tecnología que se utilice en la generación de la misma. En Chile, de acuerdo al reporte emitido por el Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central (CDECSIC) de operación real anual 2015, el 22% de la producción neta del sistema interconectado central (SIC) proviene de la generación hidráulica de embalse (CDECSIC, 2015).

La huella hídrica de la electricidad generada por una central hidroeléctrica de embalse es calculada dividiendo la cantidad de agua evaporada desde el reservorio por la producción de energía generada en un periodo de tiempo determinado (Mekonnen y Hoekstra, 2011).

La evaporación de una superficie de agua puede ser calculada utilizando distintas ecuaciones. Mekonnen y Hoekstra (2011), propusieron el uso de la ecuación de Penman –Monteith como base para la estimación de la evaporación desde superficies.

Ecuación 16: Evaporación diaria desde un espejo de agua Penman -Monteith.

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} + \frac{ho - G}{HV} + \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \times f(v) (e(a) - e(d)) \right)$$

Dónde:

E_{DIARIA} : Evaporación diaria (mm).

Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor de saturación (kPa°C⁻¹).

γ : Constante psicométrica (kPa°C⁻¹).

ho : Radiación solar neta (MJ m⁻²)

G : Cambio en el calor almacenamiento en el cuerpo de agua (MJ m⁻²).

HV : Calor latente de vaporización de agua (MJ kg⁻¹).

$f(v)$: Función de la velocidad del viento (mm (día Kpa)⁻¹).

$e(a)$: Presión de vapor de saturación a la temperatura media del aire (Kpa).

$e(d)$: Presión de vapor a la temperatura media del aire (Kpa).

Para el caso de Chile, existen mapas de isoyetas de evaporación de bandeja (DGA, 1988) que pueden ser utilizadas para inferir la evaporación de los embalses. En general, la disponibilidad de información agroclimática define las opciones de utilizar modelos que permitan realizar estimaciones más o menos ajustadas a la realidad.

Dependiendo de la fuente, la sumatoria de las evaporaciones diarias o mensuales obtenidas y/o calculadas, ocurridas dentro del periodo estudiados deben ser transformados a volumen (ej. m³) por una unidad de superficie (ha). Para ello estos valores se multiplican por 10 para llevarlos a m³/ha¹⁰. Para calcular la evaporación total del embalse este valor tiene que ser multiplicado por la superficie o el espejo de agua de este.

Ecuación 17: Evaporación de un espejo de agua.

$$E_{ESPEJO} = \sum E_{DIARIA} \times 10 \times S$$

Dónde:

E_{ESPEJO} : Evaporación total del espejo de agua (m³).

E_{DIARIA} : Evaporación diaria (mm)

10 : Factor de conversión (1mm = 1 L/m² = 10 m³/ha).

S : Superficie del espejo (ha).

La huella hídrica azul es igual a la sumatoria de las evaporaciones diarias correspondientes al periodo considerado dentro del estudio.

¹⁰ Considerar la siguiente equivalencia: 1mm = 1 L/m² = 10 m³/ha

Para el caso de las otras plantas dispuestas en el país, éstas deben ser analizadas caso a caso. En el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) la mayoría de las termoeléctricas se abastecen de agua de mar, en ese caso no habría HH ya que la fuente de agua no son las aguas continentales. De todas maneras, para otras plantas el cálculo del consumo de agua debe considerar, al igual que cualquier proceso industrial, el agua consumida y no devuelta al sistema. En el cálculo, se debe contabilizar las entradas de agua a cada proceso desde las diferentes fuentes (siempre que éstas sean de agua dulce) menos las aguas que son evaporadas, incorporadas en el producto y/o no devueltas al sistema dentro del periodo considerado en el estudio (ver Sector Industrial).

Sector Doméstico

La huella hídrica del sector doméstico considera en el análisis los procesos de extracción, potabilización, uso, tratamiento y descarga del agua a cursos superficiales o subterráneos. Para ello, se considera en los cálculos de huella hídrica el agua consumida en los procesos analizados y que no es devuelta al sistema.

Ecuación 18: Huella hídrica del sector doméstico

$$HH_{\text{SECTOR DOMÉSTICO}} = \left[\sum HH_{\text{Azul } i} + HH_{\text{Verde } i} + HH_{\text{Gris } i} \right] * n^{\circ} \text{ personas}$$

Dónde:

HH_{SECTOR DOMÉSTICO}: Huella Hídrica del sector en m³.

HH Azul i: HH azul proceso i m³ persona⁻¹.

HH Verde i: HH verde proceso i m³ persona⁻¹.

HH Gris i: HH gris proceso i m³ persona⁻¹.

Personas: n° de personas abastecidas.

El sector doméstico en Chile se puede dividir en dos grupos, el rural y el urbano. Las principales diferencias, fuera del número de personas abastecidas, son el tipo de abastecimiento de agua potable y el porcentaje de personas que cuentan con sistema de recolección y tratamiento de aguas servidas.

De acuerdo a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), cerca del 99% de la población urbana recibe agua potable en sus hogares. De esta cifra, cerca de un 96% cuenta con un sistema de tratamiento de aguas servidas que es posteriormente devuelto al sistema. La SISS publica a nivel nacional el porcentaje de personas abastecidas del sector urbano, así como también el porcentaje de estas aguas que tienen tratamiento.

El sector rural se abastece de agua potable desde distintas fuentes, siendo la principal los sistemas de agua potable rural (APR). Sin embargo, existe un porcentaje variable que se abastece de pozos de donde se extrae el agua directamente para su uso, los cuales no están declarados. De

acuerdo al DS N°45/2007 cualquier persona natural puede tener un pozo para la extracción de agua para su uso personal.

Para este sector la HH Azul corresponde al volumen de agua consumido (no devuelto al sistema), ya que solo una pequeña parte del volumen de agua extraído es consumido. El consumo directo puede deberse a pérdidas por evaporación

desde piscinas de tratamiento y agua evaporada desde superficies vegetales. Por el contrario, gran parte del volumen utilizado por el sector doméstico es tratado y descargado a cauces superficiales. La variación en la calidad se evalúa al momento de calcular la huella gris. A mayor HH gris, la calidad del efluente es peor si se la compara con la calidad original.

SUPUESTOS POR SECTOR - Huella Hídrica DIRECTA

Sector	Huella Hídrica Azul	Huella Hídrica Verde	Huella Hídrica Gris
Agrícola	<ul style="list-style-type: none"> • La evapotranspiración del cultivo corresponde a la suma entre las huellas azul y verde. Existen diversos métodos para calcular evapotranspiración. La selección de un método sobre otro se define de acuerdo al objetivo del estudio y a la información disponible. Se debe dejar explícito que método se está utilizando y considerar en su selección las posibles contrariedades que puedan aportar al análisis. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se maximiza el uso de agua lluvia (agua verde), por lo que se asume que el agua de lluvia es la primera fuente de agua al momento de hacer el balance hídrico en el suelo. • Las precipitaciones deben ser representativas del periodo considerado en el estudio. En el piloto se consideró el promedio de 12 años (El número de años depende de la disponibilidad de los datos para el área en estudio). 	<ul style="list-style-type: none"> • Se consideró al nitrógeno (fertilizante) como el producto químico aplicado (este compuesto ha sido utilizado para calcular la HH Gris en otros estudios de huella tanto a nivel nacional como internacional). • Como factor de lixiviación del Nitrógeno se asumió un 10% (INIA, 2012) • Se consideró una eficiencia de aplicación del 50% (INIA, 2012).
	<ul style="list-style-type: none"> • La huella azul corresponde a la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y las precipitaciones efectivas calculadas como parte del balance hídrico del suelo. 		

Tabla 4: Supuestos utilizados por sector productivo.

Sector	Huella Hídrica Azul	Huella Hídrica Verde	Huella Hídrica Gris
Pecuario	<ul style="list-style-type: none"> • Se consideró como huella hídrica azul a la suma del requerimiento hídrico del animal (BE-BIDA) y del sistema productivo (LIMPIEZAS Y OTROS). Este valor fue obtenido desde declaraciones de impacto ambiental aceptadas por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), de reuniones con las asociaciones de productores (ej. APA-ASPROCER) e información de la base de datos ECOBASE¹¹. • Se asume que el grado de tecnificación a nivel nacional es similar, por lo tanto la información generada sobre balances hídricos es representativa para toda la producción del país. • Los consumos totales por especie animal son la suma de los consumos de agua de las diferentes etapas productivas, ej. suma de la crianza+ engorda. • Para evitar la doble contabilidad de la huella hídrica del sector, la HH del alimento se dejó fuera ya que la producción de alimento producido en la cuenca ya ha sido contabilizado como parte de la huella hídrica del sector agrícola. Si el alimento es importado, corresponde a huella indirecta lo que esta fuera de lo que contempla la guía. 	<ul style="list-style-type: none"> • En este Sector no se considera la huella hídrica verde ya que los alimentos no son considerados dentro de este sector. 	<ul style="list-style-type: none"> • El volumen de agua descargada (PURINES +AGUA DE LIMPIEZA Y OTROS) la que correspondió al total de agua descargada por unidad animal. • El deterioro en la calidad se obtuvo asumiendo que la calidad de la descarga cumple con el DS 90. • Se asumió que esa agua fue descargada directamente a cauces superficiales.

Tabla 5: Supuestos utilizados por sector productivo (continuación).

¹¹ ECOBASE: es una base de datos ambiental 16 categorías de productos en el sector alimentos y vitivinícola de exportación Chileno.

Sector	Huella Hídrica Azul	Huella Hídrica Verde	Huella Hídrica Gris
Forestal	<ul style="list-style-type: none"> • Se asume que no hay utilización de Aguas azules¹², dado que no hay riegos en las plantaciones forestales. • De igual forma dado que no hay reportes/ estudios oficiales de uso de aguas subterráneas estas tampoco se consideran. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se maximiza el uso del agua proveniente de las precipitaciones efectivas, es por ello que solo se contabiliza esta huella y no la huella azul. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dado que las plantaciones forestales no se fertilizan se asume que no hay un deterioro de la calidad del agua, por lo que no habría huella gris. • n.a.¹³
Energía	<ul style="list-style-type: none"> • Dadas a los sistemas de generación presentes en el país, sólo las hidroeléctricas (embalse y pasada) tendrían un consumo de aguas azules en su sistema de producción debido a las pérdidas por evaporación desde el espejo de agua. • La información de evaporación se obtuvo desde el informe de cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile (CIREN, 1997). • La superficie de los embalses y pondajes se obtuvo desde publicaciones oficiales. 	<ul style="list-style-type: none"> • n.a. 	<ul style="list-style-type: none"> • n.a.

Tabla 6: Supuestos utilizados por sector productivo (continuación)

¹² Aguas azules: Corresponden a aguas provenientes desde Fuentes superficiales o subterráneas.

¹³ n.a.: No Aplica.

Sector	Huella Hídrica Azul	Huella Hídrica Verde	Huella Hídrica Gris
Pecuario	<ul style="list-style-type: none"> • La información para la identificación de los rubros con un mayor gasto hídrico en el país se recogió de la encuesta anual industrial que realiza INE una vez al año a nivel nacional (ENIA). De esta manera se definieron aquellas actividades relevantes para el área en estudio. • El consumo hídrico de cada actividad se estimó en base a balance hídrico (entradas menos salidas). Los balances se realizaron en base a declaraciones de impacto ambiental aceptadas por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) que están disponible en SEA, así como con datos obtenidos de ECOBASE. Para cada proceso definido se evaluó el consumo hídrico como las entradas menos las salidas, por unidad productiva. • Se asumió que el grado de tecnificación a nivel nacional es relativamente similar por lo que la información utilizada de ECOBASE sobre balances hídricos es representativa para toda la industria independiente del lugar donde la industria se encuentre. • Solo se consideró como fuente el agua extraída desde fuentes superficiales o subterráneas. 	<ul style="list-style-type: none"> • n.a. 	<ul style="list-style-type: none"> • La HH Gris se obtuvo del balance hídrico y correspondió al total de agua descargada por unidad funcional. Se asumió que las aguas descargadas (valor obtenido del balance hídrico) cumplían con el Decreto 90 el cual se comparó con la concentración natural (Normas secundarias para el caso de la cuenca del Rio Rapel).

Tabla 7: Supuestos utilizados por sector productivo (continuación)

3.1.3. Fase 3: Análisis de sustentabilidad de la Huella Hídrica.

Una vez calculadas las respectivas HH, se debe analizar su sustentabilidad en el contexto del territorio que se está analizando (cuenca).

En este punto Fundación Chile, como parte del estudio base, propuso ciertos cambios a la metodología original del Water Footprint Network (WFN) de manera de adaptarla a los requerimientos de la realidad del país y con el fin de transformar a la medición de huella hídrica en

una verdadera herramienta para la gestión hídrica en un territorio compartido por múltiples usuarios.

Según lo expresa la Directora Ejecutiva de WFN en el prólogo de esta publicación, el trabajo realizado en Chile representa “un paso adelante en cuanto a la aplicación de la herramienta de Evaluación de la Huella Hídrica desde la perspectiva de la gestión del agua y las administraciones públicas, situando a la Dirección General de Aguas a la vanguardia mundial en el uso de huella hídrica en la gestión del agua”.

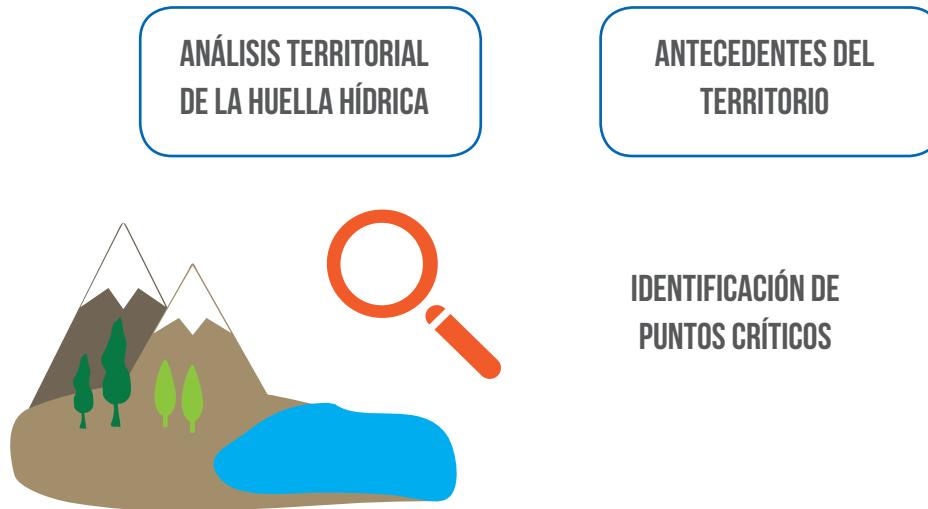


Figura 7: Análisis de sustentabilidad de la Huella Hídrica. Elaboración propia
Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, para la aplicación de la fase 3 (análisis de la sustentabilidad) se realizaron algunas innovaciones con el objetivo de enriquecer el análisis y fortalecer la herramienta, permitiendo así al usuario final identificar puntos críticos de una manera más holística. Este avance amplía las opciones en términos de posibilidad de disminuir o eliminar impactos y/o riesgos identificados en los puntos críticos, facilitando además la identificación de áreas prioritarias de actuación.

Como primer punto, y atendiendo a que la evaluación de la huella hídrica pueda ser utilizada como herramienta de gestión, se definió que la escala debe ser igual o menor a una cuenca. Esto se debe a que sólo a ese nivel es posible realizar el análisis de las HH azules y verdes con la cantidad de agua superficial y subterránea disponible, y la HH gris con la capacidad de asimilación de las fuentes de agua. De igual forma, la escala temporal que se recomienda es la mensual debido a que entrega una mejor visión sobre las fluctuaciones de los volúmenes durante el año¹⁴.

El análisis de sustentabilidad consta de dos pasos, el primero de los cuales consiste en conocer los antecedentes del territorio que se está evaluando. Los antecedentes de una cuenca pueden ser del tipo ambiental, social y económico. Este punto, en comparación con lo propuesto por Water Footprint Network (WFN), es más amplio, de manera que la identificación de puntos críticos entregue una mayor cantidad de información para la toma de decisiones. Estos antecedentes son inherentes al territorio estudiado.

¹⁴ Idealmente se requiere información mensual. Ahora bien, de no existir se debe utilizar la información disponible. En casos como el agrícola, sí se dispone de información dado que se estima de acuerdo al mes de producción.

¹⁵ Un punto crítico se define como una problemática social- económica y/o ambiental que afecta la disponibilidad hídrica en el territorio.

El segundo paso es el análisis territorial de la huella hídrica. En esta fase se debe:

- Zonificar el territorio: Evaluar los antecedentes socio-económicos-ambientales obtenidos para el territorio, a partir de los cuales se identifican problemáticas o situaciones relacionadas con la HH y que podrían comprometer el desarrollo sustentable del territorio. Asimismo, se elaboran mapas con información que pueda ilustrar tal situación.

- Cruce de información: Toda la información recogida se cruza con los resultados obtenidos para HH, identificando posibles necesidades básicas insatisfechas en términos de disponibilidad de agua, acceso a saneamiento (tratamiento de aguas servidas), daño a los ecosistemas y otros. Estas situaciones o necesidades constituyen puntos críticos (Hotspots).

- Evaluar los indicadores de sustentabilidad azul y gris.

- Una vez definidos los puntos críticos¹⁵ se debe identificar los actores relacionados con los puntos críticos, y que pueden participar en la búsqueda de una mejora de la situación.

a) Antecedentes del territorio

Como primer paso en el análisis de sustentabilidad se requiere identificar cuáles son los antecedentes -sean ambientales, sociales o económicos- que se van a contrarrestar con los resultados del análisis de la HH en el territorio.

Estos antecedentes deben ser acorde a los objetivos del estudio definido en la Fase 1.

La información socio- económica relevante tiene relación con la identificación de elementos que pueden ser considerados factores potenciales de cambio y/o impactos potenciales en el territorio, los cuales pueden afectar y/o favorecer la disponibilidad hídrica de la cuenca de acuerdo a cada caso.

Mediante el uso de herramientas de sistema de información geográfica, la zonificación del territorio puede ser visualizada, lo que permitiría una mejor comprensión y la identificación de oportunidades y puntos críticos que deben ser atendidos.

En este estudio se proponen algunos antecedentes que poseen indicadores claros medibles y que la información se encuentra para todas las regiones del país. Hay que mencionar que la herramienta es lo suficientemente plástica como para incluir nuevos antecedentes, que quizás sólo existan para el territorio estudiado, en la medida que estos sean relevantes y constituyan un aporte a la discusión y a la identificación de puntos críticos y generación de respuestas.

Para ampliar la cantidad de antecedentes a incluir en el estudio se debe para cada uno:

i. Definir alcance

Consiste en definir el nivel de alcance y detalle que tendrá la información a recolectar, el cual

debe guardar relación con el tipo de caracterización que se requiere. De esto, dependerá el tipo de información y por ende las fuentes a utilizar.

Gran parte de la información requerida para el análisis de este ámbito proviene principalmente de fuentes secundarias, por lo que se aconseja siempre trabajar con fuentes oficiales. La información existente es publicada por distintas instituciones y por ello puede estar dispersa.

Las principales limitaciones aquí se refieren a la escala de información disponible y al grado de agregación en que esta se encuentra. Por ello, cada caso debe ser analizado de acuerdo a los objetivos del estudio.

Finalmente, en caso de utilizar supuestos estos deben quedar correctamente descritos y se deben tomar en consideración al momento del análisis.

ii. Recolección y sistematización

Se debe identificar los tipos de datos disponibles que pudieran ser útiles para caracterizar la cuenca en estudio, así como su relevancia para el análisis posterior. Una vez realizado esto se definen las categorías a cubrir, en base a diferentes condiciones¹⁶ como por ejemplo:

- se relacionan de alguna manera con aspectos relativos a la huella hídrica,
- sirven para identificar problemáticas en las que podría trabajarse a través de proyectos de compensación de huella hídrica o RSEAgua¹⁷.

¹⁶ El criterio para definir las categorías se basará en el juicio experto del equipo, teniendo en cuenta las necesidades de información respecto de los objetivos del proyecto.

¹⁷ RSEAgua: Proyectos de Responsabilidad Social Empresarial diseñados para compensar el impacto de las empresas en la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca en la que se ubican. Como requisito principal, estas acciones de compensación deben estar relacionados directamente con los impactos de la empresa en el territorio y contribuir a disminuir o resolver sus riesgos hídricos.

A continuación, se procede con la recopilación de la información. Si bien lo más habitual es trabajar con datos de tipo secundario, puede darse el caso de que quiera realizarse un levantamiento

de datos primarios. En tal caso, se deben diseñar las herramientas de recolección que mejor se adapten.

Para el caso del piloto se consideraron:

Tipo	Antecedente	Fuente información	Nivel Temporal	Nivel Espacial	Indicador
A	Contaminación difusa ¹⁸	DGA	Mensual	Estaciones Monitoreo	Rangos propuestos por la CONAMA
A	Presencia Áreas de protección ¹⁹	Ministerio de medio Ambiente/ Municipalidades/ CONAF	Mensual	Estaciones Monitoreo	Área de protección vs área cuenca
A	Modificaciones hidromorfológicas ²⁰	Municipalidades	Anual	Comuna	Número por Comuna
A	Descargas de residuos líquidos ²¹	SISS	Anual	Comuna	Número por Comuna

Tabla 8: Recopilación de información caso Piloto.

¹⁸ Las fuentes de contaminación difusa que también son un elemento importante en temas de calidad hídrica. Si bien es complejo medir el impacto de las fuentes de contaminación difusa, se analiza la calidad de agua en base a la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para Aguas Continentales correspondiente para cada cuenca.

¹⁹ Las áreas con protección oficial representan el patrimonio natural protegido por el Estado y por organismos internacionales, las cuales son un componente fundamental para la preservación de las riquezas y ecosistemas del país. Se presentan como una oportunidad ya que se pueden implementar acciones de mejora, conservación y de desarrollo de proyectos con las comunidades que integran el manejo de las áreas protegidas. Los sitios de valor ecológico son aquellos que no cuentan con protección oficial, pero que por su valor ecosistémico deben ser prioridad para la conservación, restauración o rehabilitación ecológica. En el caso de los humedales, en su mayoría prestan servicios a especies de un hábitat único, sirven como zonas de paso para aves migratorias y son reguladores de regímenes hidrológicos (CONAF, 2005). Por otro lado, los glaciares son un importante reservorio de agua dulce, proveen de agua fresca río abajo, regulan las variaciones de temperatura del flujo y proveen de diversos servicios culturales (Pederson, et al. 2006).

²⁰ Las modificaciones hidromorfológicas consideran las extracciones de áridos, que implican diversos impactos a lo largo del río, algunos de ellos son el aumento en la turbidez del agua, alteraciones en la geometría del cauce, pérdida de hábitat y cobertura vegetal y compactación del lecho del cauce (DIA, 2008). También se consideran embalses e hidroeléctricas ya que obstruyen el paso de migración de peces y aumento del depósito de sedimentos (Kellogg y Zhou, 2014).

Tipo	Antecedente	Fuente información	Nivel Temporal	Nivel Espacial	Indicador
A	Extracción de Agua ²²	DGA	Anual	Comuna	Número por Comuna
S	Acceso a alcantarillado	SUBDERE-SISS	Anual	Comuna	% de la población CON ACCESO
S - E	Empleo por Sector	SII	Anual	Comuna	% de la población que trabaja está ligada al sector
E	Aporte del sector al PIB	Banco central	Anual	Regional	Aporte de cada una de las actividades
S	Distribución población	INE	Censo (10 años)	Comuna	Población por comuna
S	Población Rural/Urbana	INE	Censo (10 años)	Comuna	Distribución población
A	Especies en categoría de conservación ²³	MMA	Anual	Puntos de monitoreo	Distribución población

Tabla 9: Recopilación de información caso Piloto.

²¹ La **descarga de residuos líquidos** influye directamente en la calidad de las aguas, por ejemplo, las altas temperaturas significan un aumento en las reacciones químicas y una disminución en la solubilidad de gases (O₂, CO₂, N₂, CH₄), también se ve afectado el pH, pudiendo generar condiciones ácidas o básicas que no son naturales de los cuerpos de agua. Las descargas también pueden causar una disminución en el oxígeno disuelto debido a la mayor cantidad de materia orgánica y el aumento de la actividad microbiana que ello implica (WHO, 1996). En la mayoría de los casos, los residuos líquidos están asociados a empresas, por lo que es necesario identificar las fuentes puntuales de descarga por el DS 90, DS 80 y DS 46 de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

²² Las **extracciones de agua** ponen en riesgo el caudal ecológico y la disponibilidad hídrica de los acuíferos, para identificar las zonas y cantidad de extracciones se ubican los derechos de agua otorgados, los pozos, extracciones de agua potable de las sanitarias y bocatomas.

²³ La ubicación espacial de las **especies en categoría de conservación** permite proteger su hábitat. Con ello, identificar sitios prioritarios para la conservación en base a, por ejemplo, la distribución de la riqueza de flora, mamíferos, aves, reptiles y anfibios.

iii. Análisis de datos territoriales e identificación de puntos críticos.

En base a los antecedentes relevantes y los indicadores definidos, se debe evaluar el territorio para identificar en qué áreas se encuentran los puntos críticos (hotspots). A modo de ejemplo,

el siguiente mapa (generado a partir del análisis de información recogida) permite identificar claramente aquellas comunas de la cuenca del río Rapel que poseen una mayor dependencia del sector agroforestal en términos de empleos.

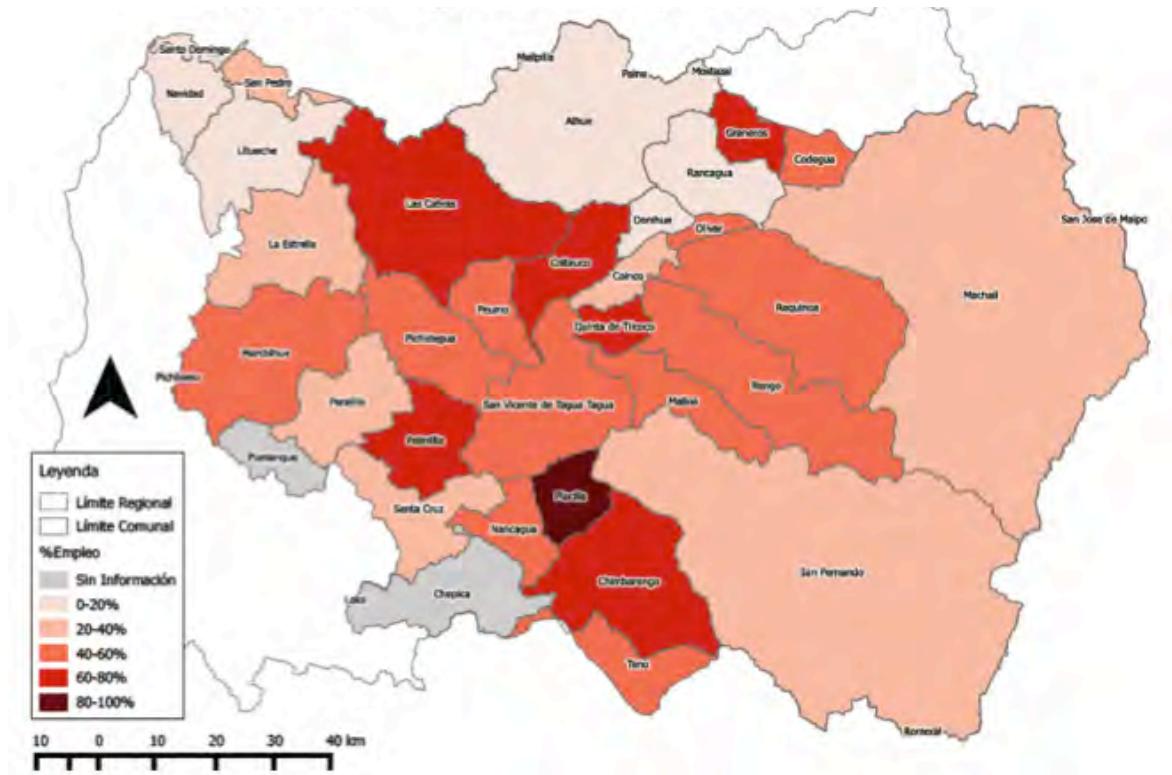


Figura 8: Porcentaje de empleo que está relacionado con el sector silvo-agropecuario, a nivel comunal, en la cuenca del Río Rapel.

Fuente: Elaboración propia en base a la Información en SII (2011). Elaboración propia en base a la Información en SII (2011)..

b) Análisis territorial de la Huella Hídrica

Como segundo paso se debe realizar el análisis territorial de la huella hídrica.



Figura 9: Análisis territorial de la huella hídrica.
Fuente: Elaboración propia.

El análisis territorial de la HH, consta a su vez de 2 partes, la primera es la evaluación de la situación del territorio, en donde se analiza cómo se distribuyen las huellas hídricas azul, verde y gris en el territorio. Este punto va a depender de la escala espacial a la cual se pudo estimar cada una de las huellas hídricas.

La segunda parte consiste en evaluar si las respectivas huellas ejercen una presión en el territorio, para lo cual WFN propone dos índices. Cabe aclarar que, en este caso, dichos índices debieron ser adaptados a los conceptos de las instituciones nacionales.

Índice de estrés: el índice de estrés relaciona la HH azul de un periodo con la disponibilidad u oferta superficial, permitiendo visualizar cuánto de la oferta se está utilizando. Donde se define la oferta superficial como la diferencia entre escorrentía natural del río y el requerimiento natural o caudal ecológico. Cuando la relación es cercana a uno hay mayores probabilidades de que en caso de sequía o aumento de la demanda el sistema natural (agua disponible) no va a ser suficiente para abastecer todas las necesidades.

Para la aplicación de este índice en Chile se realizaron una serie de adaptaciones a lo propuesto

por el WFN, de manera de que la terminología no creara confusión con términos ya utilizados y los valores utilizados fuesen acordes a la legislación vigente en el país.

En primer lugar se definió el término de “Caudal pasante”, para referirse a la disponibilidad u oferta superficial. Esto se debe a que el termino disponibilidad creaba confusión ya que coincide a como se describen a los derechos aun no otorgados en un cauce.

Ecuación 19: Índice de Estrés Azul (Hoekstra, et al. 2011, adaptada por Fundación Chile 2015).

$$\text{Índice de Estrés}_{AZUL} = \frac{\sum HH_{AZUL} [x,t]}{\text{Caudal pasante}_{AZUL} [x,t]}$$

Dónde:

Índice de estrés_{AZUL}: Relación entre la HH Azul y la disponibilidad u oferta de agua en la cuenca (Adimensional).

HH Azul: Sumatoria de las huellas azules que ocurren en la cuenca/ o sector en un periodo de tiempo.

Caudal pasante_{AZUL}: Es la diferencia escorrentía menos el caudal ecológico que ocurren en la cuenca / sector en un periodo de tiempo.

X=lugar; y =tiempo

A su vez se definió que el caudal pasante corresponde al caudal mensual (con el 85% probabilidad de excedencia) menos el requerimiento ambiental (caudal ecológico). Ambos caudales, se definieron de acuerdo a las últimas modificaciones del DS N°14/2014 de manera que el indicador fuese coherente con la legislación.

Ecuación 20: Caudal pasante (Hoekstra, et al. 2011, adaptada por Fundación Chile 2015).

$$\text{Caudal pasante (m}^3\text{/s)} = \text{Caudal mensual (85\% Probabilidad de excedencia)} - \text{Caudal ecológico}$$

Caudales mensuales para un 85% de probabilidad de excedencia (m³/s) significa que el caudal disponible es suficiente para satisfacer la demanda de agua durante el 85% del tiempo.

Caudal ecológico: De acuerdo a las últimas modificaciones del DS N°14/2014, se pueden definir dos metodologías de cálculo.

Para aquellos cauces en los que se determinaron caudales ecológicos en base al 10% del caudal medio anual (10%Qma), el caudal ecológico mínimo en el punto de captación solicitado se determinará considerando los siguientes criterios:

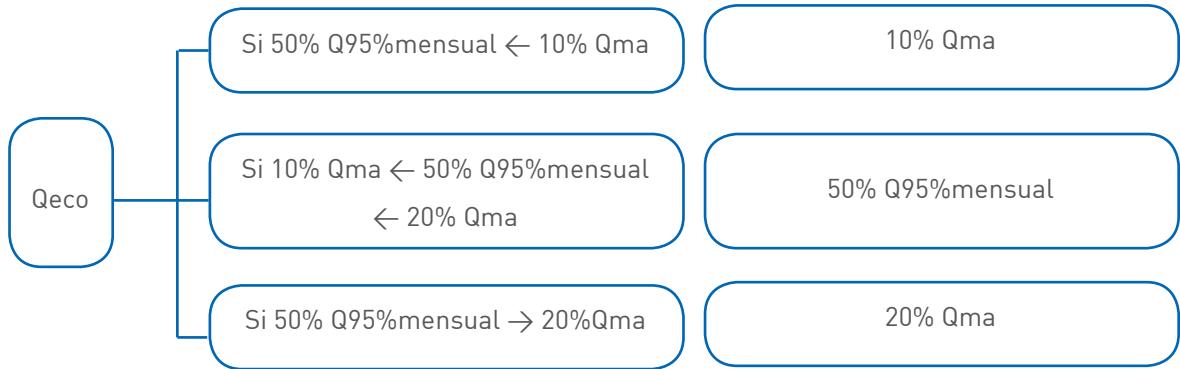


Figura 10: Criterios utilizados para determinar el caudal ecológico mínimo.
Fuente: Elaboración propia.

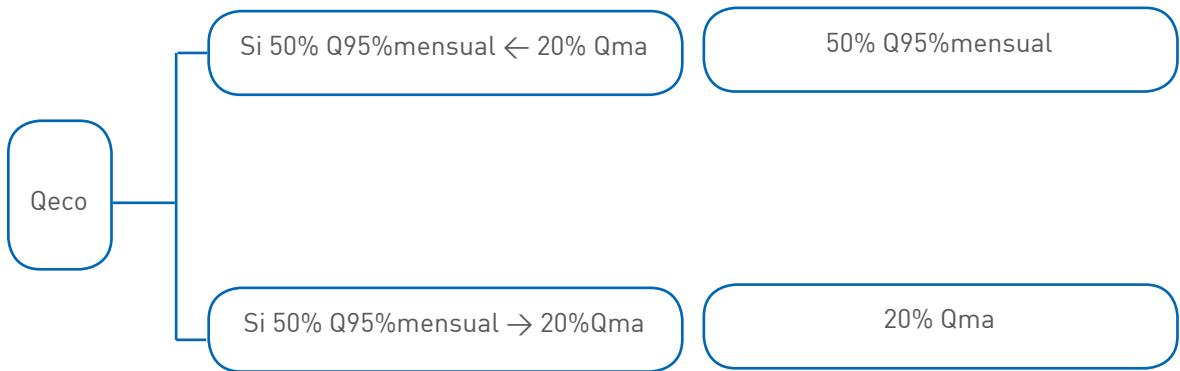


Figura 11: Restricciones para determinar el caudal ecológico mínimo.
Fuente: Elaboración propia.

Este indicador se mide preferentemente en una escala mensual para evaluar las variaciones, de la demanda y la oferta, que ocurren durante el año en un sector de la cuenca.

Índice de contaminación: Mide el impacto ambiental que tiene la HH gris en el contexto de la cuenca. Relaciona la HH gris de la cuenca con la calidad, evaluando así los periodos en donde el caudal no es suficiente para diluir los contaminantes descargados a los cauces. Es así que, cuando la relación entre huella hídrica gris (m³ requeridos para diluir a concentraciones naturales los contaminantes vertidos) y caudal del río receptor (oferta hídrica) es cercano a uno, este último no trae caudal suficiente para diluir los contaminantes vertidos y por ende se estaría afectando su calidad.

En este caso también se tuvo que adaptar el índice original propuesto por el WFN, para que coincidiera con parámetros estandarizados (aceptados). Es por ello que se definió que el caudal con 85% probabilidad de excedencia corresponde al caudal aprovechable para asimilar la HH Gris y por lo tanto construir el índice.

Ecuación 21: Índice de Contaminación (Hoekstra, et al. 2011, adaptada por Fundación Chile 2015).

$$\text{Índice de Contaminación}_{\text{GRIS}} = \frac{\sum \text{HH}_{\text{GRIS}} [x,t]}{\text{Caudal } 85\% [x,t]}$$

Dónde:

Nivel de contaminación: Ratio entre la HH Gris y la disponibilidad de agua en la cuenca (Adimensional).

HH Gris: Sumatoria de las huellas grises que ocurren en la cuenca.

Caudal 85%: Caudal 85% probabilidad de excedencia.

A partir del cruce de los resultados del análisis territorial se deben identificar zonas críticas que contienen los puntos críticos identificados. Esto permitirá entender la dinámica de la cuenca.

Se ha propuesto agrupar los puntos críticos (hotspots) en dos categorías:

- **Impactos primarios:** Son aquellos que se pueden relacionar directamente en la disponibilidad y calidad del recurso.
- **Impactos secundarios:** Son aquellos que producidos en forma multicausal, lo cual implica que dicho impacto no pueda ser atribuido en un 100% a una sola causa. A su vez, los impactos potenciales describen situaciones que se han identificado como puntos críticos. En este caso, las medidas que se sugieran deben velar por disminuir el potencial riesgo identificado.

Una vez identificados y jerarquizados los impactos, los tomadores de decisiones deberán generar soluciones o respuestas.

3.1.4. Fase 4: Formulación de respuesta.

Una vez concluidas las tres primeras fases de la medición de HH, ya se ha obtenido información concluyente para elaborar respuestas. Estas respuestas deben buscar reducir los impactos mediante el desarrollo de políticas o instrumentos que permitan mantener y/o recuperar el estado del sistema analizado. De manera de concretar esta fase y lograr el objetivo de utilizar esta herramienta en la creación de políticas, Fundación Chile realizó una segunda adaptación a la metodología original de la WFN.

Ya definidos los puntos críticos, estos deben ser priorizados de acuerdo a su implicancia para el territorio y de acuerdo a la capacidad de las instituciones para atender y dar solución a las distintas problemáticas que se presenten. La última etapa depende entonces de aquellas situaciones identificadas que necesiten solución.

En este caso se propone que los puntos críticos pueden agruparse de acuerdo al criterio que se prefiera, según los objetivos del estudio que se esté realizando. En el caso del presente proyecto, se han agrupado en tres tipos de soluciones posibles, desde la perspectiva del servicio público que esté desarrollando el estudio:

I. Prioritarios: son aquellos puntos críticos que están actualmente afectando el cumplimiento de las metas estratégicas regionales y sobre los cuales el Estado tiene injerencia y por ende puede actuar en miras de una solución. La

misma puede ser mediante la generación de nuevas políticas, incentivos, inyección de capitales, entre otros.

II. No prioritarios: son aquellos puntos críticos sobre los que el Estado tiene injerencia pero que sin embargo no son considerados como prioritarios ya que no afectan en forma inmediata el crecimiento de la región.

III. Desafíos: son aquellos puntos críticos que si bien están afectando el cumplimiento de las metas estratégicas regionales, el Estado no tiene injerencia para solucionarlos. Por ello debe trabajar en conjunto con actores privados y de la sociedad civil para que, mediante procesos voluntarios, logren solucionarse y así asegurar la disponibilidad del recurso para todos.

Una vez priorizados los puntos críticos, definidos cuales son aquellos que deben ser resueltos y propuestas las alternativas para disminuir los impactos, se deben utilizar otras herramientas de decisión (viabilidad económica- viabilidad legislativa-aprobación ciudadana- otros) que permitan concretizarlas.



Figura 12: Territorio compartido por diferentes usuarios del agua.
Fuente: Elaboración propia.

4. ABREVIATURAS

APA: Asociación de Productores Avícolas de Chile A.G.

APR: Agua Potable Rural.

ASPROCER: Asociación de Productores de Cerdo.

CASEN: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional.

CIEMAT: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.

CIU: Clasificación Internacional Industrial Uniforme.

CIREN: Centro de Información Recursos Naturales - Chile.

CNE: Comisión Nacional de Energía.

CNR: Comisión Nacional de Riego.

COCHILCO: Comisión Chilena del Cobre.

CONAF: Corporación Nacional Forestal.

COSUDE: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

DGA: Dirección Nacional de Aguas.

ECOBASE: Proyecto CORFO, base de datos de impactos ambientales de alimentos.

ENIA: Encuesta Nacional Industrial Anual.

ESSBIO: Empresas Sanitarias del Biobío.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

HHA: Huella Hídrica Azul.

HHG: Huella Hídrica Gris.

HH: Huella Hídrica.

HHV: Huella Hídrica Verde.

IDH: Índice de Desarrollo Humano.

INE: Instituto Nacional de Estadísticas.

INFOR: Instituto Forestal.

MMA: Ministerio del Medio Ambiente.

MOP: Ministerio de Obras Públicas.

PTAS: Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.

SII: Servicio de Impuestos Internos.

SIG: Sistema de Información Geográfica.

SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios.

WFN: Water Footprint Network.

5. GLOSARIO

Cuenca Hidrográfica: Se refiere a las áreas geográficas limitadas por la línea divisoria de aguas, que por su configuración topográfica contribuyen con los aportes de su escurrimiento a la formación del caudal de un río, el cual llega finalmente al mar. Las cuencas hidrográficas u hoyas, las forman todos los afluentes, subafluentes, quebradas, esteros, lagos y lagunas que afluyen a ellas, ya sea en forma continua o discontinua, superficial o subterránea.

Evapotranspiración de Referencia: Corresponde a la transferencia de agua desde una cubierta vegetal baja, que se mantiene en condiciones óptimas y sin restricción de agua, por ejemplo pastizales. Como resultado este valor entrega la demanda evaporativa de una superficie estándar la cual es dependiente únicamente de las condiciones climáticas.

Consumo: Es el volumen de agua fresca que es evaporada o incorporada en la elaboración de un producto, o transportada fuera de la cuenca dejándola indisponible para otros usuarios.

Agua Azul: Se refiere a las aguas superficiales (por ejemplo, ríos, lagos) y/o aguas subterráneas

Agua Verde: Se refiere a la porción de las precipitaciones que se infiltra y almacena en el suelo y que no alcanza a recargar las aguas subterráneas y se mantiene almacenada en el suelo. Eventualmente, esta humedad es evaporada directamente desde el suelo o evapotranspirada por los cultivos.

Huella Hídrica (HH): Se refiere al volumen de agua fresca apropiada o no devuelta al sistema, tomando en cuenta los volúmenes de agua consumida y contaminada en los diferentes procesos que se desarrollan dentro de los límites del sistema.

Huella Hídrica Verde (HH Verde): Se refiere al volumen de agua lluvia que no se transforma en escorrentía o en infiltración para la recarga de acuíferos. Es el agua que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación y que eventualmente se evapotranspira (sumatoria de la evaporación de la superficie del suelo y la vegetación, más la transpiración de la vegetación) o se incorpora en la vegetación. De un modo simplificado, es la fracción de agua lluvia evapotranspirada por las plantas y/o incorporada en productos. Se evalúa generalmente para productos agrícolas y forestales (productos a base de cultivos y madera).

Huella Hídrica Azul (HH Azul): Corresponde a un indicador de uso consuntivo de agua dulce superficial y/o subterránea. Este uso se refiere a cualquiera de los siguientes casos:

- Agua evaporada.
- El agua es incorporada a un producto.
- El agua no es devuelta al mismo lugar de donde se extrajo, por ejemplo, retorna a otro cauce o al mar.
- El agua extraída no retorna en el mismo periodo, por ejemplo, es extraída en un periodo de sequía y es retornada en un periodo húmedo.

Huella Hídrica Gris (HHG): Se refiere al volumen de agua fresca que se requiere para asimilar la carga de contaminantes de una descarga hasta niveles acorde a los estándares ambientales. Es un indicador virtual del grado de contaminación del agua fresca.

Huella Hídrica Directa: Se refiere al volumen de agua que es directamente substraída/consumida por el sistema analizado.

6. REFERENCIAS

- Allen R., Pereira L., Raes D., Smith M. (2006) Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. [En línea] <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>.
- Banco Mundial. (2011). CHILE Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. [En línea] www.dga.cl.
- Banco Mundial. (2013). Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua. [En línea] www.dga.cl.
- CDECSIC: Reporte operación anual 2015. [En línea] <http://www.cdecsic.cl/informes-y-documentos/fichas/operacion-real/>.
- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). (2009). Determinación de erosión actual y fragilidad de suelos en la V Región utilizando datos satelitales y SIG. 156 p.
- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN).y Comisión Nacional de Riego (CNR). (1997). Cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile. [En línea] bibliotecadigital.ciren.cl.
- Dastane, N. G. (Consultant FAO). (1978) Effective rainfall in irrigated agriculture. [En línea] <http://www.fao.org/docrep/X5560E/X5560E00.HTM#Contents>.
- Declaración de Impacto Ambiental (DIA). (2008). Diseño de Obras Fluviales Río Andalién, Esteros Nonguén y Palomares, VII Región del BíoBío. Ministerio de Obras Públicas. [En línea] http://www.e-seia.cl/archivos/48_Anexo_B_Evaluacion_de_Impactos_V4.pdf.
- Dirección General de Aguas (DGA). 1988. Balance Hídrico de Chile. Inscripción N° 70115 [En línea] <http://documentos.dga.cl/SUP1540.pdf>.
- Glenn, J., Gordon, T., Florescu, E., 2009, 2009 State of the Future, The Millenium Project, DC, USA.
- Hoekstra, A., Chapangain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). The water footprint assessment manual: Setting the global standard. London, UK. : Earthscan.
- Kellogg, C. y X. Zhou. (2014). Impact of the construction of a large dam on riparian vegetation cover at different elevation zones as observed from remotely sensed data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 32: 19-34.
- Martinez, M., & Carvacho, L. (2011). Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 50: 171-186.

- Mojica, F. J. (2009). Forecasting y Prospectiva, Dos Alternativas Complementarias para Adelantarnos al Futuro. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). [En línea] CROPWAT 8.0: http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2007). Cambio Climático y Desertificación. 4 p.
- Osorio, U. (2013). Huella Hídrica Determinación de la Huella del Agua y estrategias de manejo de recursos hídricos, Serie Actas n°50. La Serena: INIA.
- Pederson, G., S. Gray, S. Fagre y L. Graumlich. (2006). Long-Duration Drought Variability and Impacts on Ecosystem Services: A Case Study from Glacier National Park, Montana. *Earth Interactions*, 10(4): 1-28.
- Sánchez, B., I. Montoya y L. Montoya. (2013). Aplicación del enfoque integrado de prospectiva y estrategia para el mejoramiento al proceso de selección docente de la Universidad nacional de Colombia. *Innovar*, 23(48): 34-54.
- Santibáñez, F., Santibáñez, P., Caroca, C., Gonzales, P., Huiza, F., Perry, P., y otros. (2015). Centro Agrimed . Evapotranspiración de Referencia para la determinación de demandas de riego en Chile. [En línea] <http://agrimed.wix.com/>.
- Serey, I., M. Ricci y C. Smith-Ramírez (Eds.). 2007. Libro Rojo de la Región de O'Higgins. Corporación Nacional Forestal – Universidad de Chile, Rancagua, Chile, 222 p.
- Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E., & Raes, D. (2012). Estudio FAO: Riego y Drenaje 66 Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Roma: Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura (FAO).
- Strayer D., V. Evine, J. Jeschke y M. Pace. (2006). Understanding the long-term effects of species invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(11): 645-651.
- World Health Organization (WHO). 1996. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. E&FN Spon. Segunda Edición. 609 p.





Dirección
General de
Aguas

Ministerio de Obras
Públicas

Gobierno de Chile