



S.I.T. N° 393

Reporte Huella Hídrica en Chile
Sectores prioritarios de la cuenca del río Rapel
INFORME FINAL

REALIZADO POR:
FUNDACION CHILE



FINANCIADO POR:
Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza

SANTIAGO, MAYO 2016

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas

Sr. Alberto Undurraga Vicuña

Director General de Aguas

Sr. Carlos Estévez Valencia

Contraparte técnica

Dr. Guillermo Donoso (asesor)

Adrian Lillo

Andrea Osses

Gustavo Calle

AGENCIA SUIZA PARA EL DESARROLLO Y LA COOPERACIÓN

Sra. Carla Toranzo

FUNDACION 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

Tabla de Contenido

1. RESUMEN EJECUTIVO	6
2. INTRODUCCIÓN	16
3. OBJETIVOS	18
3.1. Objetivo General	18
3.2. Objetivos Específicos	18
4. HUELLA HÍDRICA	19
4.1. Revisión Bibliográfica: Huella Hídrica	19
4.1.1. Revisión Bibliográfica Huella Hídrica Internacional	19
4.1.2. Revisión Bibliográfica Huella Hídrica en Chile	33
4.1.3. Otros estudios que pudieran ser relevantes	54
4.1.4. Principales conclusiones y limitantes	60
4.2. Metodología para la cuantificación de la Huella Hídrica	62
4.2.1. Fundamentos	62
4.2.2. Descripción de la metodología de evaluación de HH directa	63
5. ESTIMACIÓN DE HUELLA HÍDRICA: MACROZONA CENTRAL	87
5.1. Fase 1: Definición de metas y objetivos.	87
5.2. Fase 2: Medición de la Huella Hídrica	91
5.2.1. Recopilación de información	91
5.2.2. Huella Hídrica Macrozona Centro de Chile	179
5.2.3. Resultados	181
6. ESTIMACIÓN HUELLA HÍDRICA PILOTO: CUENCA DE RÍO RAPEL	190
6.1. Caracterización de la Cuenca del Río Rapel	190
6.1.1. Descripción de la Cuenca del Río Rapel y su disponibilidad hídrica	190
6.1.2. Aspectos físicos de la Cuenca del Río Rapel	207
6.2. Fases de análisis de Huella Hídrica	215
6.2.1. Fase 1: Definición de metas y objetivos.	215
6.2.2. Fase 2: Medición de la Huella Hídrica	220
6.2.3. Fase 3: Análisis de Sustentabilidad de la Huella Hídrica	338
6.2.4. Fase 4: Formulación de Respuesta	388
6.2.5. Conclusiones	390
7. BRECHAS IDENTIFICADAS	393

7.1. Brechas de Información	393
7.1.1. Caracterización del territorio	393
7.1.2. Información para el cálculo de las HH de cada uno de los sectores	395
7.1.3. Información para el análisis de la HH	398
7.1.4. Información para el análisis de sustentabilidad e identificación de puntos críticos	398
8. HUELLA HÍDRICA EN POLÍTICAS PÚBLICAS	400
8.1. Marco conceptual	402
8.1.1. ¿Qué es la Huella Hídrica?	402
8.2. Casos internacionales en la aplicación de la Huella Hídrica	404
8.2.1. Huella Hídrica en escalas territoriales homogéneas.	404
8.2.2. Huella Hídrica para eficiencia y compensación de agua.	405
8.2.3. Identificación de demanda y consumos hídricos.	405
8.2.4. Cultura del Agua.	405
8.2.5. Fichas por países	406
8.3. Propuestas de aplicación de Huella Hídrica en Chile	425
8.3.1. Ajuste D.S. N°743 del 30 de agosto del 2005	425
8.3.2. Incorporar HH en el Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos	427
8.3.3. Incorporar Huella Hídrica en Planes Maestros de Recursos Hídricos Regionales	431
8.3.4. Herramienta para la coordinación sectorial	432
8.3.5. Evaluación y Seguimiento	434
8.3.6. Toma de decisiones	434
9. CONCLUSIONES GENERALES	435
10. REUNIONES Y ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN Y DIFUSIÓN	438
10.1.1. Reunión de Inicio	438
10.1.2. Reunión de presentación resultados Etapa 1	439
10.2. Actividades de Capacitación y Difusión	440
10.2.1. Capacitación N° 1	440
10.2.2. Capacitación N° 2	443
10.2.1. Listado de asistentes a capacitaciones	451
10.2.2. Presentaciones en capacitaciones	451
11. HITOS Y PRODUCTOS COMPROMETIDOS	452
11.1. Fichas Resumen (Revisión Bibliográfica)	452
11.2. Proyecto SIG y mapas	452
11.3. Guía para la evaluación de la Huella Hídrica en una cuenca	452

11.4. Video explicativo de la evaluación de Huella Hídrica	452
11.5. Tríptico y libretas	452
11.6. Base de Datos	452
11.6.1. Fichas de proceso	452
11.7. Planillas de Excel	453
12. TRABAJOS CITADOS	454
PÁGINAS DE INTERNET	460
13. ÍNDICE TABLAS	461
14. ÍNDICE FIGURAS	466
15. ÍNDICE ECUACIONES	468
16. ACRÓNIMOS	469

1. Resumen Ejecutivo

En Chile durante las tres últimas décadas, la presión sobre los recursos hídricos se ha intensificado. Esto debido a que el crecimiento poblacional en Chile y el mundo ha traído consigo un aumento en la demanda de productos, los cuales dependen del recurso hídrico como insumo clave en su producción (como por ejemplo, cobre, fruticultura, vino, celulosa, salmonicultura). A futuro se estima que las presiones sobre el recurso aumenten, ya que la oferta hídrica no sería capaz de satisfacer las crecientes demandas (Banco Mundial, 2013).

Hoy en día, el gran desafío está en enfrentar una creciente presión sobre los recursos hídricos y asegurar la correcta distribución de los mismos. El desafío de una buena gestión de los recursos hídricos está en compatibilizar los requerimientos de agua de los distintos usuarios con la oferta hídrica, permitiendo así asegurar la sustentabilidad económica, social y ambiental del territorio. Para lograrlo es necesario conocer la oferta natural y la consiguiente demanda por parte de los distintos sectores productivos y el medio ambiente. Esta información sirve como insumo para identificar los puntos críticos en el territorio y generar las medidas necesarias que permitan avanzar hacia este objetivo.

La huella hídrica es un indicador que permite medir el consumo hídrico (demanda hídrica), aportando a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) en un territorio previamente determinado. Es relevante destacar que esta herramienta no es aplicable para determinar la oferta natural de agua, así como la regulación o modificación de caudales que podrían afectar una cuenca aguas abajo de una intervención. Sin embargo, se complementa con otras herramientas que puedan abordar estos ámbitos, para obtener una visión integrada del territorio con todos sus componentes.

La evaluación de la huella hídrica (HH) es un indicador que entrega información técnica acerca del volumen físico de agua que es apropiado y/o consumido por los distintos procesos que ocurren en un territorio y, como herramienta de gestión, analiza su impacto en los ámbitos social, económico y ambiental. Este indicador está conformado por tres sub- indicadores de HH, estos son: Huella Hídrica azul (HH Azul), Huella Hídrica verde (HH Verde) y Huella Hídrica gris (HH Gris) (Figura 1).

La *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.

La *HH Verde* se refiere al volumen de agua lluvia que no se transforma en escorrentía o en infiltración, sino que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación.

La *HH Gris*, 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. Dado que muchas veces el volumen requerido para asimilar los contaminantes no existe, este sería un indicador virtual del grado de contaminación del agua fresca.

El análisis de la HH permite evaluar tanto el consumo directo como indirecto de agua. El consumo directo o HH directa, que se refiere al volumen de agua que es directamente sustraída del territorio analizado (por ejemplo, evaporación en el caso de la producción de cultivos). También se puede evaluar el uso indirecto de agua, agua virtual o HH indirecta, esta se refiere al volumen de agua requerido para la producción de aquellos productos y/o servicios desarrollados fuera del territorio analizado y consumido por este (por ejemplo, la cadena de suministros)

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



Fuente: elaboración propia, en base a Hoekstra et al.(2011).

En este informe se describen las actividades desarrolladas y los resultados obtenidos dentro del proyecto denominado "Reporte Huella Hídrica en Chile, Sectores prioritarios de la cuenca del Río Rapel" financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), para la Dirección General de Aguas (DGA).

El objetivo de este proyecto fue llevar a cabo la evaluación de la metodología HH, creada por el Water Footprint Network, a una cuenca e identificar las limitaciones y potencialidades que existen en su aplicación. Como resultado se generó una guía que permitirá replicar esta evaluación en las diferentes cuencas del país.

Para la evaluación de la metodología de medición y análisis en el territorio nacional, se desarrolló un piloto en la cuenca del Río Rapel (Región de O'Higgins), generando así insumos e información relevante para la guía de HH.

En base a las estimaciones realizadas para el piloto, se proyectó la medición de HH a la macrozona central de Chile, que abarca desde la Región de Valparaíso hasta la Región del Maule. Tanto en el piloto como en su posterior proyección a la macrozona central se consideraron 5 sectores productivos: sector silvoagropecuario, sector industrial, sector doméstico, sector energía y sector minero. Es importante aclarar que en los términos de referencia se solicitaba que el estudio incluyera también el sector servicios, pero dado que para el caso de Chile el sector doméstico incluye tanto es sector de servicios como los consumos domésticos urbanos y rurales no fue posible separarlos. Para mantener el número de sectores evaluados se decidió incluir al sector energía a cambio.

Para el análisis de HH en cada sector productivo, se consideraron los indicadores de HH azul y HH verde (agua consumida) e indicador de HH gris (agua contaminada) de manera directa. La metodología aquí detallada se centra en el cálculo de la HH desde el punto de vista de la producción. No toma en cuenta la HH indirecta del área analizada, al no incluir los consumos de los productos importados (en teoría se podría incluir más adelante). En base a los resultados de las distintas HH de los sectores, se generó una base de datos. La modelación de los diferentes procesos fue en base a antecedentes bibliográficos y mediciones reales en rubros empresariales que han autorizado el uso de su información.

Resultados:

Los primeros resultados para la macrozona muestran el aporte de las diferentes regiones a las distintas huellas.

HUELLA AZUL: Las regiones de O'Higgins y del Maule son aquellas que en conjunto contribuyen al 62% a la HH azul total, seguido de la región de Valparaíso. La región Metropolitana es aquella que menos aporta a la HH azul, con solo un 7% al total de la HH azul de la macrozona. Para la

macrozona se calculó un consumo total mínimo de 91,8 m³/s, donde el sector silvoagropecuario es el principal usuario (83%), seguido por la Industria (8%), el sector doméstico (6%) y Minería (4%).

Al analizar las HH azules de los distintos sectores productivos, se puede ver que para la industria la HH azul de la industria de la madera, papeles y cartones se atribuye el 98% del total del aporte del sector industria seguido por la de la industria de alimentos. Esta situación varía al analizarse región por región, dependiendo de las industrias presentes en cada una de ellas.

HUELLA GRIS: Está determinada principalmente por el sector doméstico en todas las regiones. Es importante tomar en cuenta que, dado que la proyección a la macrozona está basada en el modelo realizado para la cuenca del Río Rapel (Región de O'Higgins), los resultados de las otras regiones estén sesgados. Caso excepcional ocurre en la región de O'Higgins donde se consideraron las descargas de la mina El Teniente, lo que corresponde a un 60% de la huella hídrica de la región. En las demás regiones no existen descargas del sector Minero.

El principal obstáculo en la estimación de la huella gris del sector doméstico rural, es que cada sistema de tratamiento tiene un comportamiento propio dependiendo del tipo de tecnología y de las condiciones de operación. Por lo tanto, al no contar con datos reales se debe asumir un comportamiento general. A nivel nacional un 53% del sector rural no posee sistema de alcantarillado, utilizando sistemas individuales de tratamiento como pozos negros y fosas sépticas.

Para efectuar una estimación correcta de este sector, se debe realizar un estudio representativo en cada región para determinar la calidad de estas aguas servidas descargadas. Por otro lado, un 47% de la población rural conduce sus aguas servidas hacia una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS). Sólo un 48% de estas PTAS rurales tiene un buen funcionamiento de acuerdo a la normativa vigente y el 52% restante no tiene información sobre las calidades ni caudales de aguas descargadas. Esta condición es diferente para cada región, observando que para la región de O'Higgins un 75% de las PTAS rurales tiene un buen funcionamiento, mientras que en la Región Metropolitana, del Biobío y de Los Lagos, no existen plantas con buen funcionamiento. Por este motivo, los valores de huella gris a nivel regional pueden estar sub o sobre estimados.

Si bien a nivel nacional sólo un 15% de la población habita en zonas rurales, el escenario a nivel regional es heterogéneo. Por ejemplo, la Región Metropolitana tiene un 3% de ruralidad, mientras que la región de O'Higgins

posee un 30% de población rural. Estos datos nos indican que una estimación de la huella gris afecta de manera diferente a cada región.

HUELLA VERDE: La HH verde es 100% atribuida al Sector Silvoagropecuario. Es interesante ver que la región del Maule, la cual es principalmente silvícola, define la HH verde de la macrozona.

Caso piloto: Huella Hídrica Cuenca Río Rapel

A partir del trabajo realizado y aplicado en la cuenca del río Rapel se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- El mayor consumo hídrico en la cuenca está determinado por el sector agrícola, el cual absorbe más del 90% de la oferta hídrica de la cuenca.
- Dado los resultados de los Índices de estrés y contaminación, calculados para la realidad de la cuenca, es posible visualizar que no presenta estrés hídrico durante gran parte del año. Solo los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero (que coinciden con los meses de mayor consumo agrícola) la demanda podría superar a la oferta en los sectores bajos de la cuenca.
- En base a este análisis, los problemas que puedan presentarse con respecto a la disponibilidad hídrica, están relacionado a la distribución y no necesariamente a la disponibilidad.
- Asumiendo un caudal constante durante todo el año, la capacidad de asimilación de contaminantes de la cuenca no ha sido sobrepasada. Ahora bien, si los caudales disminuyeran o las cargas aumentaran a las estimadas en el estudio, podría presentarse un impacto negativo sobre la calidad de agua.
- En cuanto la Huella Hídrica Gris, existe un impacto puntual en el estero Alhué, debido a la descarga del embalse Carén proveniente del sector minero. Sin embargo, al analizar la HH Gris a nivel de la cuenca, el mayor impacto en el territorio es producido por las descargas domésticas rurales.
- De acuerdo a los datos recogidos y los resultados de HH para el sector rural, el déficit en saneamiento tendría un impacto directo en los valores de HH gris doméstica. Así, mejorar la cobertura y calidad del tratamiento de aguas servidas produciría un impacto positivo en la HH gris doméstica, en este caso rural.
- Otro punto importante a tener en cuenta es el impacto, aunque indirecto, entre la HH azul silvo-agropecuaria y el empleo en dicho sector, ya que podría implicar un riesgo en el caso de aquellas comunas de la cuenca en que la dependencia de esta fuente de trabajo sea alta.

- En base al análisis de vulnerabilidad ambiental, es posible concluir que las comunas de Machalí, San Fernando y Rancagua son comunas claves para la sustentabilidad hídrica de la cuenca. Esto se debe a que estas concentran la mayor cantidad de derechos otorgados y coinciden con las que presentan mayores HH Azules y Grises. En el caso de que se usen el 100% de los derechos otorgados afectaría directamente la disponibilidad de la cuenca aguas abajo.
- Por otro lado estas tres comunas presentan especies dulce acuícolas en categorías de conservación “vulnerables y en peligro”, destacando la presencia de la especie *Diplomystes chilensis*, que es endémica de Chile y aparentemente extinta en toda su distribución. Si bien se ha encontrado ejemplares en una localidad del río Tinguiririca, son estos los únicos registros conocidos en la actualidad.

A partir de los ejercicios realizados a tres niveles de análisis (macrozona-región- cuenca), se encontraron una serie de brechas que permitirían un mejor análisis de la información. Estas se refieren principalmente a la falta de información a nivel de cuenca y de sub-cuenca sobre:

- i. Disponibilidad de agua superficial y subterránea,
- ii. Parámetros de calidad que afectan los ecosistemas como son los Nitratos y Fosfatos.
- iii. La resolución espacial y temporal de los datos productivos
- iv. Datos climáticos insuficientes para la escala del estudio.

Pese a que existen estas brechas, en los talleres se pudo ver que la información de las huellas hídricas desplegadas en el territorio como información base permite a los distintos participantes entender como los actores de la cuenca influyen en la disponibilidad hídrica y como esta es necesaria para sus actividades. Estos pudieron identificar problemáticas que ocurren en el territorio y proponer soluciones en conjunto. Durante los talleres se identificaron otras brechas, como por ejemplo: falta de estudios específicos del impacto del sector agroforestal en las zonas costeras en las napas subterráneas y el impacto del uso de aguas industriales como agua de riego. Esta información resultaría valiosa para el mejor entendimiento de la dinámica hídrica y sus impactos.

Respecto a la aplicación de la HH en políticas públicas en Chile, según la investigación realizada, se ha comprobado que la aplicación de la HH como herramienta base para la gestión, debe considerar un espacio geográfico determinado cuyos usuarios comparten las mismas fuentes de agua para su provisión y desarrollo.

En políticas públicas, se analiza la Huella Hídrica en el marco de las atribuciones legales que posee la DGA, sin abordar toda la legislación Chilena vinculada a los recursos hídricos. En este contexto, la huella hídrica aportaría a cubrir brechas en Chile para mejorar la estimación de los consumos de agua de los diferentes usuarios, así como para la determinación de la demanda actual y futura del agua en territorios que son compartidos por diversos usuarios del agua.

Complementariamente, la nueva norma ISO 14.046 (aprobada en el año 2015) permite la verificación de la evaluación de la huella hídrica en empresas, facilitando la implementación de mecanismos de incentivo para la reducción y compensación de consumos de agua, así como la obtención de un indicador con base técnica sólida para medir el impacto en el tiempo de las acciones implementadas. Se recomienda analizar la factibilidad de transformar la norma ISO 14.046 en una Norma Chilena para su aplicación en políticas públicas de Chile.

El análisis de Huella Hídrica en políticas públicas identifica 7 espacios técnicos/estratégicos donde la DGA puede generar acciones, en el marco de sus atribuciones legales:

1. **Ajuste Decreto Supremo MOP N°743/2005:** La aplicación de la Huella Hídrica, entregará una base de datos nacional para determinar los consumos de agua por cada sector productivo, el cual se debe ir ajustando en el tiempo. Esta información servirá para actualizar el D.S. N°743/2005, que fija la Tabla de Equivalencia entre caudales de aguas y usos, reflejando las prácticas habituales en el país en materia de aprovechamiento de aguas.

Es importante destacar que el D.S. N°743 fue elaborado en el año 2005, considerando diversos criterios para establecer sus valores, en algunos casos se considera el consumo y en otros casos el nivel de extracción.

2. **Incorporar al Manual de normas y procedimientos del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos** (Departamento De Conservación Y Protección De Recursos Hídricos, 2007): se recomienda analizar la incorporación de Huella Hídrica dentro del manual interno de conservación, como un análisis deseable de realizar por parte de los titulares para mostrar su “buena gestión del agua”, establecer medidas voluntarias de reducción y/o compensación de agua, así como un indicador que permita medir el impacto en el tiempo. Si se busca medir el impacto de un proyecto en su área de influencia, se recomienda utilizar la Huella Hídrica a nivel

de territorio (cuenca). Por otro lado, para medir el consumo hídrico internamente en la empresa, se recomienda utilizar la metodología ISO 14.046 (análisis de ciclo de vida). La metodología ISO es posible transformarla en una herramienta de gestión obligatoria, a través de una Norma Chilena oficializada por un Ministerio competente.

3. **Incorporar en Planes Maestros de Recursos Hídricos Regionales¹:** la DGA podría incorporar la Huella Hídrica en estos Planes, dado que aporta información adicional sobre el consumo de agua, incorporando la mirada de territorio compartido (por diversos usuarios) en el diagnóstico, lo cual servirá para determinar las presiones sobre los recursos hídricos a escala de cuenca (demanda), identificadas como los mayores consumos de agua y sus impactos. La integración de la huella hídrica dentro del ciclo hidrológico y su balance a escala de cuenca, permitirá identificar a nivel territorial los sobreconsumos y las áreas donde la escasez hídrica en la cuenca puede ser una amenaza. Esta información será clave para determinar la necesidad de reorientación de la política del agua, teniendo en cuenta criterios no solo de oferta sino también de demanda y considerando aspectos económicos, sociales y ambientales, determinando los espacios territoriales prioritarios de intervenir.
4. **Herramienta para la coordinación sectorial:** La huella hídrica entrega una base técnica sólida que permite la coordinación con otros organismos de Estado y sectores productivos. Gran parte del manejo de los recursos hídricos en un territorio compartido por diversos usuarios (cuenca), dependerá del manejo de las intervenciones correspondientes al rubro que tenga un mayor consumo de agua.
5. **Identificación de mayores consumos de agua:** Cuando un derecho de agua otorgado es menor al nivel de producción que mantiene un rubro productivo, se recomienda identificar las fuentes de agua adicionales que están siendo utilizadas. Cuando se sospecha de este tipo de situaciones, se recomienda aplicar la Huella Hídrica a una escala más acotada en el territorio identificado.
6. **Evaluación y Seguimiento:** La Huella Hídrica es un indicador multipropósito que sirve de base para cuantificar los impactos de las intervenciones sobre el recurso hídrico en el tiempo.

¹ Según se expone en el documento de la Dirección General de Aguas “PLAN MAESTRO DE RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE TARAPACÁ”, un Plan Maestro se define como “un instrumento de planificación de carácter indicativo (no normativo) cuyo propósito es contribuir a orientar las decisiones públicas y privadas, en armonía con el medio ambiente, y permitiendo la sustentabilidad del recurso hídrico dentro de una visión de corto (<5 años), mediano (5-10 años) y largo plazo (>10 años)”.

7. **Toma de decisiones:** Permite visualizar los Puntos Críticos de consumo hídrico en el territorio compartido por los diversos usuarios y así focalizar los estudios e intervenciones a realizar para la sustentabilidad del recurso en el tiempo y espacio.

Perspectivas futuras

Si bien se han realizado estudios anteriores sobre huella hídrica en Chile, el presente trabajo es el primero en su tipo², ya que incluye avances metodológicos en cuanto a identificación, recopilación y articulación de datos en forma -que incluye los sectores agropecuario, forestal, industrial y minero-, así como la adaptación de la metodología al contexto y fuentes de datos chilenas.

Por otro lado, 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, generando una herramienta que permite categorizar las actuaciones y priorizar los esfuerzos a lo largo del territorio en función de la situación existente en cada lugar. Por estas razones, WFN expresa que *"este trabajo se constituye en una referencia esencial para la realización de otros estudios similares a nivel nacional"*.

Cabe aclarar que, por ser la primera vez que se realiza este tipo de ejercicio en Chile, se encontraron gran cantidad de brechas que pueden ser disminuidas en la medida que se realicen los estudios necesarios y se mejore la disponibilidad de información. El objetivo final de este estudio es aplicar esta herramienta como apoyo a la evaluación del consumo de agua a nivel territorial, incluyendo todos los sectores productivos (Sector Doméstico, Silvoagropecuario, Minero, Energético e Industrial), entregando una visión completa de la situación que ocurre en una cuenca y/o territorio analizado y por ende ser un aporte para mejorar la gestión.

En este estudio se han identificado un número variable de brechas que deben ser resueltas de manera de obtener números más ajustados a la realidad, sin embargo se ha visto que a pesar de ellas la huella hídrica desplegada a nivel territorial permite crear un espacio para el diálogo basado en indicadores simples, entregando así una base común para los distintos organismos públicos, tanto para la formulación de respuestas

² En una carta enviada a Fundación Chile, la Directora Ejecutiva de WFN, Ruth Mathews, expresa que este trabajo 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"*. La carta se encuentra en Anexo Digital.

individuales como en conjunto, que permita en el futuro mejorar y hacer más eficiente la gestión del recurso hídrico en el territorio nacional.

Esta herramienta entrega información relevante para la toma de decisiones y puede ser utilizada en diversas funciones de la gestión pública relacionadas con los recursos hídricos. Si bien existen diversas herramientas funcionales a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), la información que es posible obtener de la evaluación de HH y sus indicadores de sustentabilidad aportan una base técnica que puede ser útil tanto en etapas de diseño como de implementación³ de medidas concretas. En el futuro, en la medida de que las fuentes de información pública se mejoren y que aumente la transparencia en el uso del agua por los diferentes usuarios que esta herramienta va ser un mayor aporte para los tomadores de decisiones.

Por último, según los antecedentes de aplicación de huella hídrica en políticas públicas a nivel internacional, es posible determinar que ha sido utilizada como herramienta de gestión de recursos hídricos y en escalas territoriales homogéneas. Se plantea que la aplicación de Huella Hídrica debe realizarse a escalas territoriales menores, donde las fuentes de agua son compartidas por diversos usuarios en un mismo territorio.

Además, se plantea evolucionar hacia un enfoque integrado en la planificación y gestión del recurso hídrico que incida, sobre todo, en el control de los consumos e impactos sobre el agua, facilitando la integración de aspectos económicos, sociales y ambientales, teniendo en cuenta criterios no solo de oferta sino también de demanda y considerando aspectos económicos, sociales y ambientales. Esto es planteado en el caso presentado de California, EEUU y España. Además, en el caso de Andalucía, España, se plantea la necesidad de aplicar el concepto de huella hídrica a escala de cuenca para optimizar la distribución territorial de los cultivos de riego y minimizar el consumo de agua por parte del sector agrícola y, a escala de finca, combinado con otros indicadores de gestión, para la detección de ineficiencias en el proceso de cultivo (e.g. fresa), en particular del riego (sistema y manejo).

- Huella Hídrica para eficiencia y compensación de agua.
- Identificación de demanda y consumos hídricos.
- Cultura del Agua.

³ Ejemplo de su aplicación en distintos países, pueden encontrarse en el punto 8.2, Casos internacionales en la aplicación de la Huella Hídrica.

En Chile, se avanzó en diseñar una nueva herramienta para la planificación estratégica territorial del agua, que pueda constituirse en una base técnica para la gestión.

2. Introducción

Chile posee una geografía única que provee una gran variabilidad de condiciones climáticas y con ello de recursos hídricos a lo largo de las cuencas del país. Durante las tres últimas décadas la presión sobre los recursos existentes se ha intensificado de forma significativa. Esto debido a que principalmente, la demanda de productos que dependen del recurso hídrico para su producción (cobre, fruticultura, vino, celulosa, salmonicultura) ha aumentado, lo que sumado al incremento poblacional, ha originado situaciones de presión. (Banco Mundial, 2013).

Hoy en día el gran desafío es, frente a una creciente presión sobre los recursos hídricos, asegurar la correcta asignación de los recursos. Es por ello que se hace necesaria una buena gestión de los recursos. Esta tiene como objetivo, compatibilizar los requerimientos de los distintos usuarios con la oferta hídrica, permitiendo así, asegurar la sustentabilidad económica, social y ambiental del territorio. Para lograrlo, es necesario conocer la oferta natural y la consiguiente demanda por parte de los distintos sectores productivos y el medio ambiente. Esta información sirve como insumo para identificar las problemáticas y generar las medidas necesarias que permitan lograr este objetivo.

La evaluación de la Huella Hídrica (HH) es una herramienta que entrega información acerca del volumen físico de agua que es apropiado y/o consumido por los distintos procesos que ocurren en un territorio y analiza su impacto en los ámbitos sociales, económicos y ambientales. Este indicador está conformado por tres sub- indicadores de huella hídrica azul, verde y gris.

La Huella Hídrica (HH), entrega indicadores los que pueden tomar en cuenta usos directos e indirectos del agua consumida tanto por un producto como consumidor. La HH puede ser analizada a distintos niveles, como por ejemplo, para un proceso, producto, productor, consumidor o un lugar geográfico. Su unidad está definida en términos de volumen de agua, bien sea consumida o contaminada, en una unidad de tiempo o de producto. Este indicador se encuentra directamente relacionado con la zona geográfica; por lo tanto debido a su naturaleza, la HH puede variar dependiendo de la zona espacial y el tiempo en que sea calculada.

Al realizar la evaluación de HH a un territorio, esta entrega una herramienta de diagnóstico de la situación hídrica de dicho territorio en estudio la generando insumos relevantes que permiten identificar a los principales usuarios del agua y crear escenarios futuros.

A modo de contexto, la HH a nivel territorial puede ser vista desde distintas perspectivas, permitiendo cada una de ellas obtener diferentes niveles de análisis.

Por lo crucial que es el recurso hídrico para todos los sectores productivos que influyen en un territorio (economía, sociedad y medio ambiente) es que debe ser preservada y gestionada correctamente para asegurar la sostenibilidad del territorio que se esté estudiando y herramientas como la huella hídrica pueden contribuir precisamente a orientar a los tomadores de decisiones a lograr una mejor gestión.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Desarrollar un diagnóstico en la cuenca del Río Rapel en la Región de O'Higgins generando los insumos, información relevante y metodología ad-hoc para una adecuada aplicación, análisis y determinación de la huella hídrica a nivel de esta cuenca y su proyección a nivel de la macrozona central de Chile, considerando los sectores productivos prioritarios, es decir, agropecuario, industrial, doméstico, servicios y minería, además de los flujos de "agua virtual" que salen y entran del área de estudio a consecuencia de las relaciones comerciales con el exterior. Estos indicadores y metodología propuestos serán de utilidad para que en un futuro se pueda replicar la experiencia en otras cuencas del país.

3.2. Objetivos Específicos

- ✓ Desarrollar reporte sobre la cuenca del río Rapel referido al levantamiento de información para determinación de huella hídrica
- ✓ Desarrollar diagnóstico preliminar de la huella hídrica en macrozona central de Chile
- ✓ Fortalecer las competencias de la Dirección General de Aguas en el ámbito de determinación de huella hídrica
- ✓ Aplicación piloto de la estimación de la huella hídrica en la cuenca del río Rapel
- ✓ Realizar la evaluación de sostenibilidad de la huella hídrica multisectorial de la cuenca, basada en un análisis ambiental, económico y social de los resultados de cuantificación
- ✓ Identificar y aplicar indicadores económicos de consumo del agua de los distintos sectores productivos en la cuenca del río Rapel
- ✓ Generar una guía metodológica que facilite y oriente la réplica del ejercicio en otras cuencas del país

4. Huella Hídrica

4.1. Revisión Bibliográfica: Huella Hídrica

4.1.1. Revisión Bibliográfica Huella Hídrica Internacional

Descripción de los conceptos básicos de la Evaluación de Huella Hídrica (Definido por el Water Footprint Network)

La Huella Hídrica (HH) se define como “el volumen de agua fresca apropiada o no devuelta al sistema analizado, tomando en cuenta el agua consumida y contaminada en las diferentes etapas de la cadena de suministros” (Hoekstra, 2011). La HH es un indicador multidimensional empírico que indica “dónde”, “cuándo” y “cuánto” volumen de agua se consume y contamina. Este indicador está conformado por tres sub- indicadores de huella: HH azul, HH verde y HH gris.

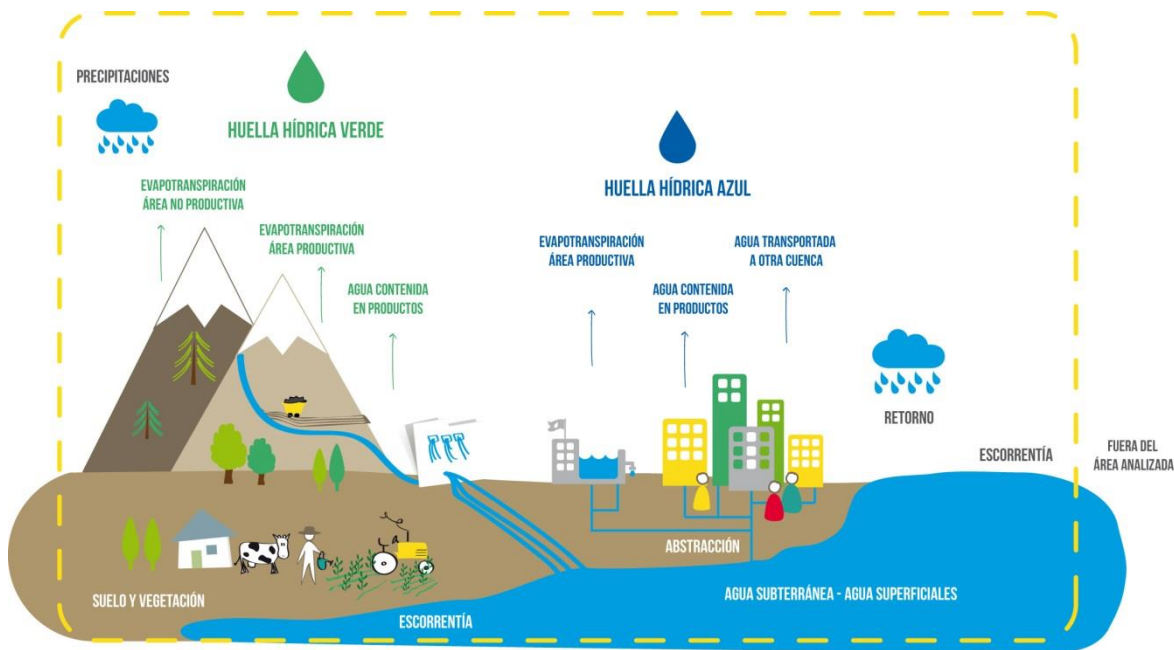
HH azul: Corresponde al volumen de aguas superficiales y/o subterráneas consumida. Se refiere al agua fresca que se extrae de fuentes superficiales y/o subterráneas y que no retorna al ambiente de donde se extrajo. Esto se puede producir por:

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

HH verde: Volumen de agua lluvia consumido. Se refiere al volumen de agua lluvia que no se transforma en escorrentía o en infiltración, sino que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación y que eventualmente se evapotranspira 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.

En la siguiente figura se ve la relación que tiene la HH verde y HH Azul con el balance hídrico. Es importante destacar que solo se consideran las huellas hídricas de los procesos relacionados con la producción y no de aquellos procesos naturales o no productivos que ocurren en el área estudiada.

Figura 2: 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 gris (HG): 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 (Ecuación 1).

Ecuación 1: Estimación de la Huella gris (Hoekstra, Chapangain, Aldaya, & Mekonnen, 2011)

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

Dónde:

C_{cont} : Concentración del contaminante evaluado (masa/volumen)

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

C_{max} : Concentración máxima permitida del contaminante según las leyes de calidad ambiental del agua (masa/volumen)

C_{nat} : Concentración natural del contaminante en el cuerpo receptor (masa/volumen)

Para la correcta estimación de la HH Gris se debe considerar el peor contaminante dentro de la descarga, donde se entiende por peor

contaminante a aquel que requiere mayor cantidad de agua para que su asimilación llegue hasta niveles seguros. Para contaminantes fabricados por el hombre, la concentración natural en el ambiente es cero. Generalmente es difícil obtener la concentración natural o simplemente no hay registros de todos los contaminantes, por lo que muchas veces la Ecuación 1 se simplifica a la siguiente ecuación:

Ecuación 2 Estimación de la Huella gris simplificada (Hoekstra, Chapangain, Aldaya, & Mekonnen, 2011)

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

Dónde:

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

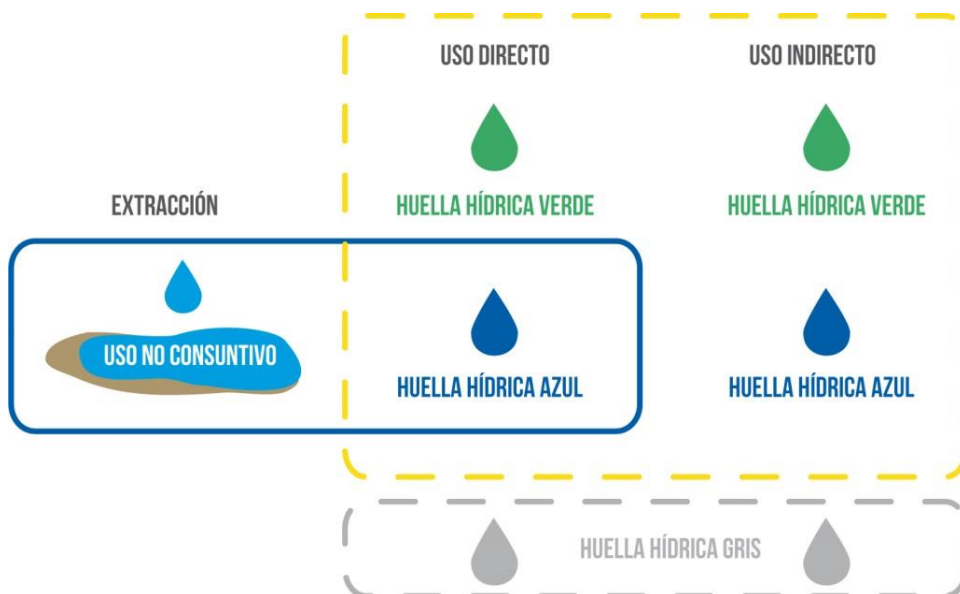
Q: Caudal de la descarga en donde se encuentra el contaminante (volumen/tiempo)

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

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

Para todos los tipos de análisis (consumidor, productor, producto, sistema productivo, y a un área geográfica), se puede distinguir estos tres sub-indicadores tanto para el uso directo como para el uso indirecto de agua (Figura 3). El uso directo de agua o HH directa, se refiere al volumen de agua que es directamente sustraída por el sistema analizado (ej., riego en el caso de la producción de cultivos). Por el contrario el uso indirecto de agua o HH indirecta, se refiere al volumen de agua que fue requerido para la producción de productos y/o servicios que son requeridos por el sistema analizado (ej., cadena de suministros). El uso indirecto permite evaluar el impacto que realiza el sistema analizado o sistema productivo analizado, en otros sistemas.

Figura 3: Representación esquemática de los componentes de la Huella Hídrica.



Fuente: elaboración propia en base a Hoekstra et al. (2011).

Los conceptos de HH directa e indirecta pueden ser aplicados para el análisis de la HH a nivel territorial.

Figura 4: Esquema para el análisis de la HH a nivel territorial (Cuenca).



Fuente: elaboración propia en base a Hoekstra et al. (2011).

La metodología de evaluación de Huella Hídrica (HH) está descrita en el manual "Water Footprint Assessment Manual- Global Standard" escrito por Hoekstra, A.Y., Chapangain, A.K., Aldaya, M.M. y Mekonnen, M.M, el año 2011. En él se definen las metodologías de cálculo de las HH Azul, HH Verde y HH Gris, se describen las aproximaciones a los distintos tipos de análisis a los que puede ser aplicada la metodología (consumidor, productor, producto, sistema productivo, y a un área geográfica) y su posterior análisis de sustentabilidad.

La metodología de evaluación de la HH propuesta por el Water Footprint Network contempla 4 fases las cuales se realizan de manera consecutiva (Figura 5).

Figura 5: Fases del análisis de Huella Hídrica.



Fuente: elaboración propia en base a Hoekstra et al. (2011).

Fase 1: Definición de metas y objetivos. Esta es probablemente la fase más importante ya que se define el objetivo, los límites y el contexto del estudio. Con los objetivos se busca delinear el propósito del estudio, y en base a esto definir qué parte del sistema se va a analizar (los límites), el tipo de información que se va a requerir y los supuestos que se van a tomar.

La HH puede ser analizada a diferentes niveles de detalle espacio-temporales (Tabla 1), dónde el grado de especificidad que requiera el estudio va a definir el tipo de información y por consiguiente los supuestos que se van a realizar (Hoekstra, Chapangain, Aldaya, & Mekonnen, 2011).

Tabla 1: Grado de especificidad para los distintos niveles de análisis de la Huella Hídrica.

Nivel	Nivel Espacial	Nivel Temporal	Fuente de Información
A	Promedio Global	Anual	Literatura disponible y bases de datos de consumos y contaminación de agua típicos por producto o procesos
B	Promedio Nacional o Área de captación específica	Anual – Mensual	Literatura disponible y bases de datos de consumos y contaminación de agua típicos por producto o procesos, pero utilizando datos específicos para el país, región o área de captación estudiada
C	Área de captación pequeña o un sitio específico	Mensual-Diario	Datos empíricos o estimaciones locales anuales de consumo y contaminación de agua, específicos para el lugar analizado.

Fuente: (Hoekstra, Chapangain, Aldaya, & Mekonnen, 2011)

Fase 2: Medición de la Huella Hídrica. Esta segunda fase busca medir la apropiación humana del agua e identificar cuánto fue el volumen de agua consumido y la calidad con la que el agua es retornada al sistema analizado⁴. Para cuantificar la HH es necesario entender cómo esta se relaciona con el balance hídrico del sistema que se esté analizando (Ver Figura 2).

La HH Gris no tiene influencia directa en el balance hídrico de un área específica, es un indicador del grado de afectación que es producido por la el sistema estudiado en la calidad original de las aguas superficiales y/o subterráneas.

Fase 3: Análisis de sustentabilidad de la Huella Hídrica. El análisis contempla la evaluación de los resultados obtenidos de la fase anterior.

⁴ Sistema analizado corresponde al territorio/sector/proceso que se está analizando y que ocurre dentro de los límites del estudio.

Figura 6: 4 pasos para el análisis de sustentabilidad de la Huella Hídrica.



Fuente: elaboración propia en base a Hoekstra et al. (2011).

Como primer paso en el análisis de sustentabilidad se requiere identificar cuáles son los criterios o indicadores para los ámbitos social-ambiental y económico que se van a considerar dentro del estudio. Los indicadores pueden ser cuantitativos o cualitativos y van a depender de la realidad del territorio geográfico en el cual se inserta la medición de HH.

Posteriormente se deben identificar los puntos críticos (Hotspots) dentro del área de estudio, ej. Periodos con mayor estrés hídrico cuando la HH es insostenible. En base a estos y a los puntos críticos (Hotspots) identificados se deben evaluar los impactos primarios y/o secundarios. La evaluación de los impactos corresponde a los pasos 3 y 4.

Una vez concluidas las tres primeras fases de la medición de HH, se realiza la cuarta fase que es la formulación de respuestas, lo que busca es reducir los impactos mediante el desarrollo de políticas, medidas o instrumentos que permitan mantener y/o recuperar el estado del sistema analizado.

En base a estas definiciones se han desarrollado distintos estudios de HH, abarcando los distintos niveles de análisis, i.e. nivel persona, producto, negocio o empresa, y nacional y/o territorial. Para este trabajo, el análisis y revisión de los diferentes estudios realizados en el mundo se ha enfocado principalmente en aquellos realizados a nivel territorial y/o nacional y aquellos estudios relacionados a sistemas productivos o sectores productivos. En base a esta información se van a definir las bases metodológicas para la guía para la medición de HH productiva a nivel cuenca.

Es importante mencionar que la gran mayoría de los estudios realizados hasta el momento, a nivel internacional, están disponibles en la página del Water Footprint Network (waterfootprint.org). La gran mayoría de estos

trabajos han sido publicados por revistas científicas por lo que sus resultados ya han sido evaluados y aceptados por la comunidad científica.

a) Huella hídrica enfocada al análisis del uso de agua en el territorio

Este primer grupo está conformado por aquellos estudios que se han enfocado a utilizar la metodología de HH para realizar un análisis del consumo de agua a nivel territorial (ej. WWF-Belgium, 2011; WWF-Mediterranean, 2010; Aldaya & Llamas, 2008, etc.).

Estos estudios de HH tienen la finalidad de evaluar el consumo de agua y sus efectos, tanto en la oferta del recurso hídrico como las calidades de este, circunscribiendo la problemática que se genera por el uso del recurso a un área definida, como por ejemplo país o cuenca. No existen muchos estudios que hayan evaluado la HH como herramienta de gestión.

Un ejemplo, es el caso de Sudáfrica (Pahlow, Snowball, & Fraser, 2015), donde los autores indican que el análisis que se realiza mediante la HH, entrega recomendaciones sobre comercio, medidas agronómicas selección de cultivos, patrones de consumo y producción de biocombustibles. Sin embargo, ellos consideran a la escala del estudio, como un factor que determina la utilidad de este. Postulan que, en algunos casos, se requieren estudios más precisos a nivel de cuenca para tomar decisiones de acuerdo a cada situación particular. Además indican, que este tipo de estudio debiese ser encargado a las agencias de gestión de aguas por cuencas, ya que se necesita información con un alto nivel de resolución la cual permitiría realizar el adecuado análisis y posterior recomendación.

Con respecto a la resolución de la información sugieren en lo posible utilizar datos locales para evaluar tendencias y además incluir en el análisis datos sociales ambientales y económicos, integrando temas de equidad en la asignación del agua. Como conclusión Pahlow, Snowball, & Fraser (2015), consideran que la información que obtiene de este tipo de estudios y las estrategias que se infieren a partir de estos, permite orientar cómo los recursos hídricos pueden ser usados, controlados y gestionados para el beneficio de la población.

Con respecto al uso de esta herramienta para la generación de políticas públicas, Fulton, Cooley, & Gleick, (2014) analizan el caso de California y la HH. Indican que la HH tiene mas relevancia para la generación de políticas cuando la escala de análisis es más acotada. Las principales limitantes que ellos identifican se refieren principalmente a los diferentes grados de incertidumbre de los datos con los que se trabajan.

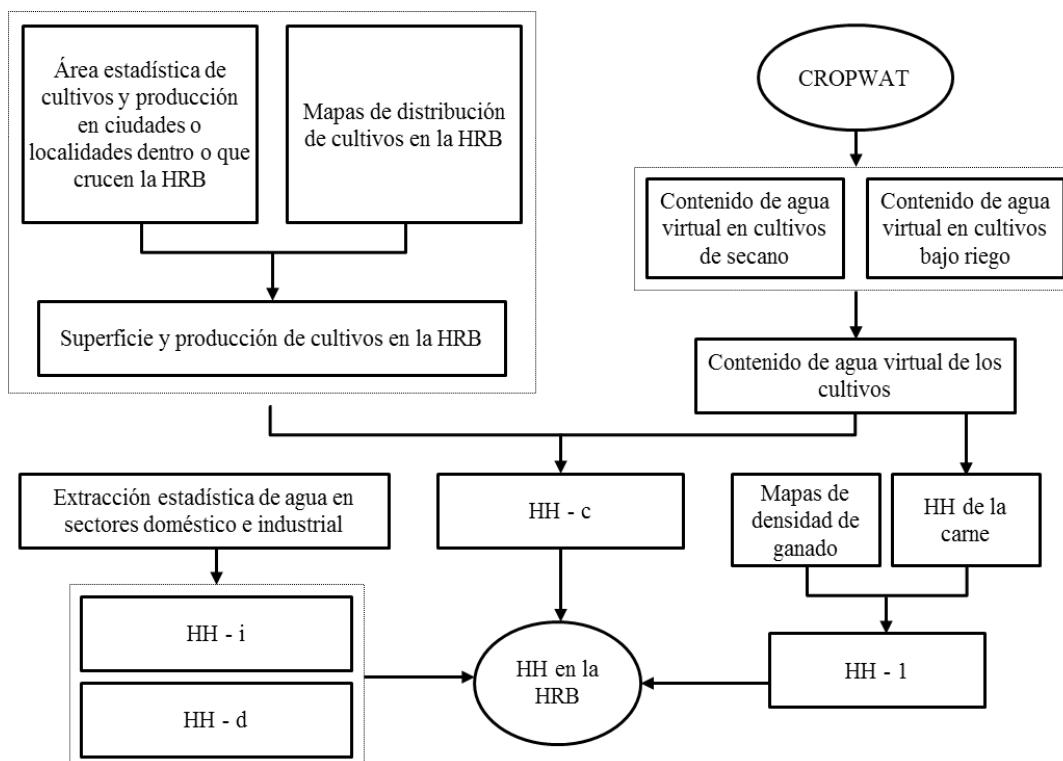
A la incertidumbre inherente de los datos se tiene que sumar la incertidumbre que aportan los diferentes supuestos que se realizan en los cálculos. Esta limitante ha sido identificada por varios autores, donde han determinado que, como por ejemplo, sólo la variabilidad referente a la información climática puede variar los resultados de HH en un $\pm 20\%$ (Zhao, Yang, & Yang, 2010).

Existen estudios realizados a nivel territorial pero más acotados, por ejemplo estudios que abarcan el análisis de uno o más sectores, como por ejemplo el estudio de Hoekstra, Booij, Hunink, & Meijer (2012) donde se analiza la HH azul de los sectores agrícola, industrial y doméstico en Holanda o el estudio desarrollado por Aldaya & Llamas (2008) donde se analiza la HH en la cuenca del río Guadiana considerando al sector agrícola.

La perspectiva con la que se desarrolla los estudios permite realizar diferentes análisis, por ejemplo con respecto al uso directo y/o indirecto del agua. La HH directa hace referencia a la cantidad de recursos hídricos locales que son consumidos para producir bienes y servicios dentro del territorio, esto incluye los usos de los sectores agropecuarios, industriales (industria, energía y minería) y del sector doméstico (Hoekstra, Booij, Hunink, & Meijer, 2012).

Para el cálculo de HH de cada uno de los sectores productivos analizados en un territorio, la aproximación metodológica más común es “bottom-up”, donde se estima la HH por procesos que ocurren en el territorio, y la suma de las respectivas HH de cada uno de estos permite obtener la HH de este (ej. país, región). Un ejemplo de esta aproximación es el marco metodológico adoptado por Zang, Van der Velde, & Kraxner (2012). En este estudio se consideran en el análisis sectores como la minería, la producción forestal y la eléctrica, siendo el resultado de la HH de la cuenca la suma de las HH de los sectores analizados.

Figura 7. Marco Metodológico seguido por Zeng, Liu, Koeneman, Zarate, & Hoekstra (2012).



HRB: Heihe River Basin (cuenca)

HH: Huella hídrica

La medición de la HH a nivel territorial permite realizar otro tipo de análisis que pueden estar enfocados en, por ejemplo, la HH relacionada a los patrones de consumo de la población mediante el análisis de los bienes y servicios que esta consume (Hoekstra & Chapangain, 2007; Liu & Savenije, 2008), producción e importación de insumos por un país o área (Hoekstra & Chapangain, 2007a), agua virtual y análisis de huellas específicas (HH verde y azul).

Por otra parte la HH indirecta o huella virtual analiza la dependencia o impacto del territorio por productos y servicios generados en otros territorios, los cuales requirieron destinar parte de sus recursos (en este caso agua) para ser producidos. En este punto se incluyen todas las cadenas de suministros de los distintos sectores económicos presentes en el territorio. Hasta el momento, diferentes estudios han evaluado las huellas virtuales producidas de la comercialización de productos a distintos niveles, tales como global, país, cuenca (Hoekstra & Hung, 2005; Ma, Hoekstra, Wang, Chapangain, & Wang, 2006; Chapangain & Hoekstra, 2008; Zeng, Liu, Koeneman, Zarate, & Hoekstra, 2012). Parte de estos estudios se han

centrado en la HH de productos agrícolas a nivel global y sus los flujos comerciales (Vanham, 2013; Mekonnen & Hoekstra, 2014), o los análisis productos específicos, por ejemplo, el algodón (Chapangain, Hoekstra, Sevenije, & Gautam, 2006), carne de cerdo (Galloway, 2007), carne y leche (Bosire, Ogutu, Said, Krol, De Leeuw, & Hoekstra, 2014), arroz (Chapangain & Hoekstra, 2011), trigo (Mekonnen & Hoekstra, 2010).

b) Huella hídrica enfocada al análisis del uso de agua por sectores productivos

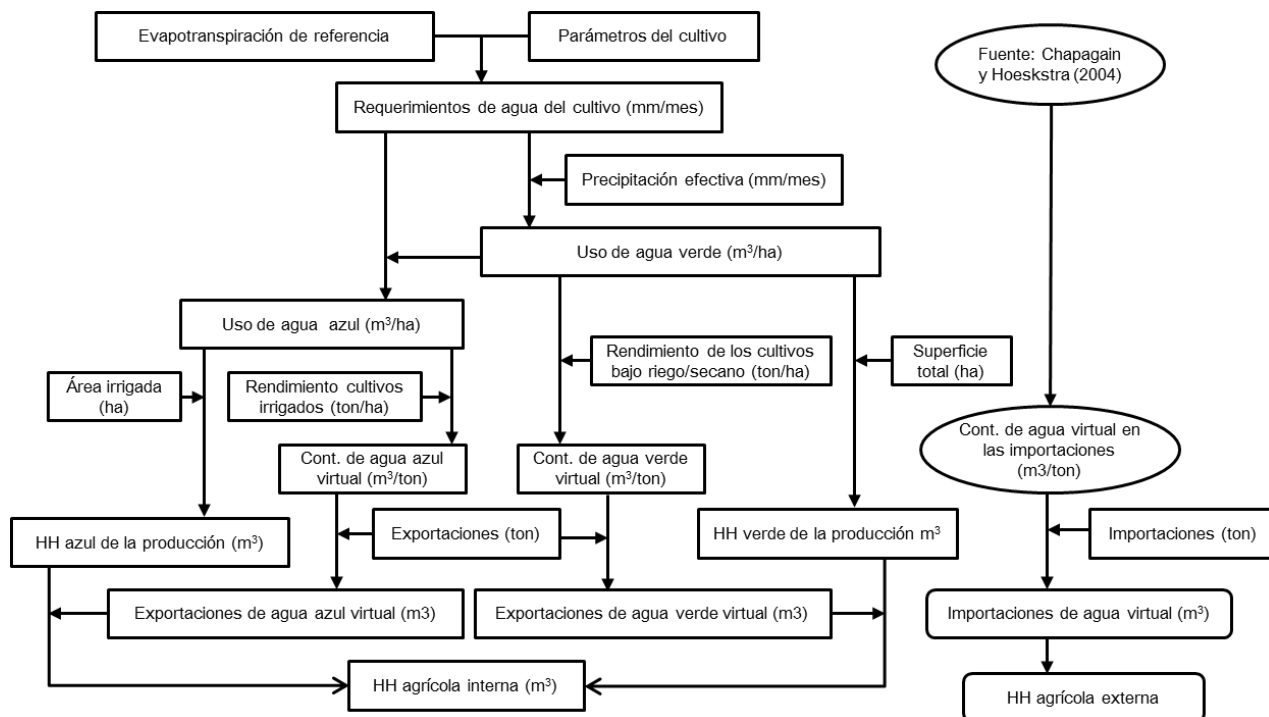
Un segundo grupo está conformado por estudios más específicos en donde, utilizando la misma metodología, se busca analizar el consumo de agua directo y/o indirecto de los distintos sistemas y/o sectores productivos en forma más específica (ej. Huella hídrica de la producción de biocombustible, energía, cultivos, animales, etc.). En general también se utiliza la aproximación “bottom up” para la estimación de las HH por sector.

El sector más analizado es el sector agropecuario, principalmente porque este sector es el principal usuario de agua a nivel mundial (Mekonnen & Hoekstra, 2011). Los cultivos requieren grandes cantidades de agua, la cual es absorbida desde el suelo y posteriormente evapotranspirada como parte del ciclo del agua. La magnitud de la HH es dependiente de las características físicas del cultivo y de las condiciones agroclimáticas del lugar donde se desarrolla el cultivo. La metodología para el cálculo de la HH verde y azul de productos agrícolas es bastante variable entre los diferentes estudios.

Existen estudios que no han contado con información del consumo de agua de los cultivos, por lo que han empleado datos de HH por producto agrícola (m^3/ton) obtenidos desde la base de datos (BBDD) de WaterStat (Mekonnen y Hoekstra, 2010). Estos valores poseen varias limitantes, por ejemplo no se puede distinguir entre riego y seco, pues ya está ponderado. Y pese a que estos datos están disponibles por cultivo y región, se pierde la variabilidad temporal ya que son los totales anuales.

Otros estudios han estimado la Evapotranspiración potencial (ET). La evapotranspiración potencial se estima en función de los requerimientos hídricos por cultivo y región (m^3/ha) y la han dividido por la producción para obtener valores por unidad productiva (m^3/ton). Esta metodología se ha seguido entre otros en (Garrido, Llamas, Varela-Ortega, Novo, & Rodríguez-Casado, 2010) y Rodríguez-Casado et al. (2010).

Figura 8: Metodología empleada por Garrido et al. (2010). Traducción propia al español.



HH: Huella hídrica

La mayor limitante es que no considera el balance de agua en el suelo, y en especial, asumiendo que las necesidades de agua de los cultivos irrigados se ven siempre cubiertas.

Los datos de cultivo necesarios se refieren a:

- Fecha de siembra para los cultivos.
- Coeficiente de cultivo K_c . Se puede obtener de estudios nacionales o de FAO (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)
- Duración de las fases de cultivo de la emergencia de la plántula a la senescencia. Se puede obtener de estudios nacionales o de FAO (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)
- Además, son necesarios datos de Precipitación y Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Se puede refinar esta metodología incluyendo consideraciones sobre la limitación de riego. (Chico, Salmoral, Llamas, Garrido, & Aldaya, 2010; Garrido, Llamas, Varela-Ortega, Novo, & Rodríguez-Casado, 2010).

Otra forma de corregir la evapotranspiración es tomando en consideración 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 ET_c utilizando un factor que ayuda a evidenciar el efecto de la menor evapotranspiración en el rendimiento.

Otra metodología de estimación de la ET (mm/año) es por el método del balance de agua en el suelo. Realizar un balance de agua en el suelo puede mejorar la calidad de la estimación, al incluir el efecto de la reserva de agua del suelo en la estimación de la ET. Esta aproximación requiere tener información sobre el tipo de suelos, datos de precipitación (mm/mes), datos de ET_o (mm/mes), datos de cultivo (kc, fecha de siembra, fases de cultivo), en los cultivos de regadío, modelización del riego (Irrigación neta, mm/mes, frecuencia y volumen de riego, estrés máximo admitido), reserva de agua en el suelo por tipo de suelo y una representación espacial de los datos de suelo para cruzar esa información con la información de áreas de cultivo y de clima.

En el balance, se contabilizan las entradas netas de agua en el suelo (Precipitación efectiva y riego) y las salidas (ET en el caso más simple). El programa más utilizado y recomendado por el WFN es CROPWAT (http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html) que realiza un balance de agua en el suelo detallado. La escala de análisis viene definida por la información suministrada, la agregación de cultivo-clima (año-región) y suelo. Aumentando de forma importante las posibilidades de análisis (ej. En el estudio de Salmoral, Dumont, Aldaya, Rodríguez-Casado, Garrido, & Llamas, 2011, sobre el olivar se multiplican 2 tipos de olivar X 3 tipos de suelo X 12 años = 72 combinaciones).

Tanto para la agricultura como para los otros sectores, la HH gris se estima dependiendo de la carga contaminante la cual se divide por la capacidad de asimilación del cauce receptor. Por lo que se requiere evaluar los contaminantes a tener en cuenta, estimar cómo y en qué cantidad alcanzan a las fuentes de agua.

Por la complejidad y falta de datos en otros contaminantes, la mayoría de los trabajos relacionados con la agricultura se centran en la contaminación como consecuencia de la lixiviación de fertilizantes, principalmente Nitrógeno y Fósforo. En función de esto, la información que se requiere y que se utiliza son las dosis de aplicación de fertilizantes y contenido en nitrógeno/fósforo de los mismos (Mekonnen & Hoekstra, 2011).

Franke, Boyacioglu, & Hoekstra (2013), publicó en la guía metodológica de huella gris de manera de refinar este porcentaje de lixiviación teniendo en cuenta:

- tipo de suelo,
- ocurrencia de erosión,
- tasa de aplicación de fertilizante
- prácticas de cultivo que mitiguen estos efectos

Este sector (agrícola) produce la materia prima para muchos otros productos (Mekonnen & Hoekstra, 2011). Un ejemplo de ello es la producción pecuaria (animales) donde la alimentación de estos está básicamente compuesta por productos agrícolas (cultivos). En este caso la HH de los animales y posteriormente de la carne de estos (producto final) debe considerar tanto el uso directo de agua por el animal (bebestible y limpieza) y además la huella de los alimentos (Mekonnen & Hoekstra, 2010a; Gerbens-Leenes, Mekonnen, & Hoekstra, 2013)

Algo parecido sucede con la industria del papel donde la HH de la producción es la suma del uso directo de agua de la industria más la HH de la principal materia prima la pulpa de árbol (Van Oel & Hoekstra, 2010). En este caso, al igual que cualquier cultivo la HH va estar condicionada por la capacidad del árbol para evapotranspirar agua presente en el suelo a lo largo de su vida.

La energía y el agua están directamente relacionadas, en el último estudio desarrollado por Mekonnen, Gerbens-Leenes, & Hoekstra (2015) se evaluó el uso consuntivo de agua de distintas fuentes de energía. La producción de energía requiere grandes cantidades de agua por lo que produce grandes impactos en los cursos de agua receptores. La HH Verde no es significativa en la mayoría de las fuentes de energía, fuera de la producción de biomasa, por lo que en general se considera que cuando se habla de HH de la electricidad o energía se está hablando de HH Azul. La HH de la energía es la suma de tres componentes, el agua necesaria para la extracción de los combustibles y la construcción más el agua necesaria para la operación.

4.1.2. Revisión Bibliográfica Huella Hídrica en Chile

En este punto se presenta en forma general los estudios realizados de HH a nivel nacional. Estos estudios se describieron detalladamente en las fichas de estudios incluidas en los anexos.

A modo de resumen la siguiente tabla enumera los estudios nacionales realizados por Fundación Chile y aquellos que se encuentran públicos. Cabe destacar que desde el año 2010 algunas consultoras han incluido entre sus servicios la medición de HH, lo que ha llevado a que varias empresas a nivel nacional han medido su HH, pero esta no se ha hecho pública.

Tabla 2: Listado: Recopilación de los trabajos realizados en Chile 2010-hasta hoy

Año	Autor	Título	Pública
2010	Fundación Chile	Huella de agua de productos agroforestales	N
2010	Fundación Chile	Huella de Agua en la cuenca del Huasco	N
2010	Fundación Chile	Empresas Agrícolas de Huasco y Copiapó"	N
2010	Fundación Chile	Viña Concha y Toro I	N
2010	Price Waterhouse Cooper	MASISA	N
2010	Fundación Chile	Municipalidad de VITACURA- Parque Bicentenario	N
2010	Fundación Chile	Agricom	N
2010	N.A.	Viña Errázuriz	N
2012	Osorio (ed.)	Huella Hídrica de productos agropecuarios	S
2013	Donoso et al.	Seguridad Hídrica y Alimentaria en América Latina y España: El caso de Chile	S
2013	Fundación Chile	Huella del agua Clariant, sector Industria Química, SuizAgua Andina	N
2013	Fundación Chile	Huella del agua Nestlé, sector Alimentos, SuizAgua Andina	N
2013	Fundación Chile	Huella del agua Tinguiririca, sector Hidroeléctrico, SuizAgua Andina	N
2013	Fundación Chile	Huella del agua Polpaico, sector Cementero, SuizAgua Andina	N
2013	Fundación Chile	Huella del agua Mall Plaza, sector Inmobiliario/servicios, SuizAgua Andina	N
2011	Garcés	Análisis técnico de la HH como indicador de sustentabilidad del uso del agua en la producción del concentrado de cobre en Div. El Teniente de CODELCO	S
2013	Peña & Huijbregts,	The blue water footprint of primary copper production in northern Chile.	S
2014	Fundación Chile	Huella del Agua VINILIT	N
Abreviaturas: Si se encuentra disponible (S) y No se encuentra disponible (N)			

Fuente: elaboración propia Fundación Chile.

La huella hídrica como concepto fue introducido en el país gracias al estudio de "Huella de agua de productos agroforestales", realizado por Fundación

Chile dentro del marco de trabajo con el Ministerio de Agricultura el año 2010 (Fundación Chile, 2010). En el estudio se analizó el indicador de Huella Hídrica (HH) y su metodología de estimación como posible futuro requerimiento por parte de nuestros mercados de destino de exportaciones.

En este trabajo se definió que tanto el concepto como la metodología de HH fueron creadas por el Water Footprint Network (WFN), y que en ella se planteaban para los distintos niveles de análisis (territorio- industria- producto) los conceptos de HH directa o HH indirecta con tres indicadores HH Verde, HH Azul y HH Gris cada uno, los cuales evalúan tanto el volumen utilizado como la contaminación que se produce. Los indicadores debían posteriormente ser analizados en los contextos de disponibilidad hídrica y sustentabilidad país (La descripción en detalle de la metodología fue desarrollada en el apartado 4.1.1: Revisión Bibliográfica Huella Hídrica Internacional)

En este estudio en particular se definieron cuáles eran los requerimientos de información necesarios para realizar el cálculo de HH y se evaluaron las fuentes de información y calidad de los datos disponibles en el país. Además se realizó el ejercicio de realizar la medición a 5 productos (Palto, arándano, manzana, uva de mesa y pino) a nivel regional y nacional.

A partir de este estudio, se han realizado numerosos trabajos enfocados en la medición de la HH a los distintos niveles. Con respecto al uso de la metodología dentro de un contexto territorial, el piloto de “Huella de Agua en la cuenca del Huasco” (Fundación Chile., 2010a), testeó la metodología como herramienta de contabilidad para el uso de agua por la agricultura existente en la cuenca del río Huasco, considerando el uso como la acción en la que el agua es sustraída del territorio dejándola indisponible para que otros usuarios la utilicen para otros fines.

Este es el primer estudio a nivel nacional que ha utilizado la metodología en este contexto. Las conclusiones más relevantes de este estudio fueron que los cultivos que poseen la mayor superficie no siempre son aquellos con la mayor HH y en el caso de Huasco donde el agua es un bien escaso, el uso del agua debiese ser analizada de acuerdo a los retornos económicos e impactos que esa actividad productiva produzca en el lugar.

Posteriormente en el estudio de “Seguridad Hídrica y Alimentaria en América Latina y España: El caso de Chile” (Donoso et al., 2012), desarrollado por la Pontificia Universidad Católica De Chile (PUC) se estimó la HH nacional incorporando todos los sectores económicos que participan en el territorio, i.e. sectores silvoagropecuario, industria, doméstico, minería y energía. El

estudio permite tener una visión de la HH nacional. Parte de las estimaciones de HH de se basaron en datos calculados en estudios internacionales.

Dentro del contexto empresa o sistema productivo distintos estudios han medido la HH para distintos fines. Uno de los primeros estudios conocidos es el de “Huella de agua empresas Agrícolas de Huasco y Copiapó” (Fundación Chile., 2010b), en él se utilizó la HH como un indicador que permitía comparar diferentes empresas mediante la evaluación de la HH de los cultivos y la eficiencia de riego. El concepto de eficiencia de riego se obtuvo de la comparación entre el requerimiento estimado de agua por el cultivo (HH Azul) y el riego efectuado.

Dentro de los proyectos realizados en el país con relación al uso de la HH como indicador, el año 2010, la empresa Agricom participó en un estudio desarrollado por el Gobierno de Francia para evaluar distintos tipos de eco-etiquetado por la Ley Grenelle 2 (Fundación Chile., 2010c). En este estudio Agricom presento dos indicadores como parte del eco-etiquetado, i.e. Huella de Carbono (HC) y HH (WFN). Para el cálculo de la HH se consideró los mismos procesos que los considerados para la HC, donde gran parte de las HH de la cadena de suministro (HH indirecta) fue obtenida desde bibliografía. Los resultados obtenidos son propiedad de la empresa y fueron utilizados por esta en el trabajo voluntario que estaba realizando con el Gobierno de Francia.

Por otro lado empresas como Concha y Toro (Fundación Chile., 2010d; Fundación Chile., 2012), MASISA (2010), Viña Errázuriz (2011) y municipalidad de Vitacura (Fundación Chile., 2010e), midieron su HH para fines internos. Los resultados de las HH de MASISA y Viña Errázuriz no han sido publicados, por lo que da a suponer que la información levantada y las estimaciones de HH fueron utilizadas para fines internos. En el caso de la HH de Concha y Toro, la empresa midió la HH directas e indirectas de todas sus viñas establecidas dentro del territorio nacional, sumado a las huellas de los procesos de vinificación y envasado. Las mediciones fueron realizadas por Fundación Chile, pero el uso de la información levantada y los resultados fueron confidenciales y quedaron a disposición de la empresa para su propia gestión.

El estudio realizado por Fundación Chile para la Municipalidad de Vitacura (Parque Bicentenario) fue realizado con el objetivo de definir indicadores para mejorar la ejecución de nuevos proyectos en parques y plazas. En este se evaluó la HH Azul para distintas cubiertas vegetales lo que permitió generar un mejor y más eficiente diseño de la segunda parte del parque.

Pese a que en un principio los estudios estaban fuertemente orientados a estimar la HH de productos agrícolas, a partir del 2013 con el proyecto SuizAgua y la incorporación de la norma ISO 14046 de Huella Hídrica (2014), la medición de HH ha sido realizada para empresas de otros rubros tales como cementero, químico, hidroeléctrico, retail e industria de alimentos. La metodología de medición de HH propuesta en la norma ISO no dista en su base conceptual de la metodología creada por el WFN para la evaluación del consumo de agua, pero en el posterior análisis de los resultados relacionados con los volúmenes consumidos y contaminantes liberados al ambiente, la norma ISO 14046 establece una serie de indicadores de impacto más específicos como eutrofización, acidificación, termo-contaminación entre otros. Es importante mencionar que los resultados obtenidos por Fundación Chile son propiedad de las empresas por lo que no se pueden difundir.

Existen además estudios específicos a productos o a sistemas que han sido abordados en tesis o por instituciones públicas. El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) el año 2013 publicó el libro "Determinación de la huella de agua y estrategias de manejo de los recursos hídricos", donde se calcularon las huellas hídricas de varios cultivos importantes para Chile y productos pecuarios. La para el cálculo de las huellas azul y verde utilizaron estaciones locales y además ajustó la HH Azul con respecto a los riegos reales que realizaron los agricultores.

Con relación a los procesos mineros, en específico la extracción y procesamiento del cobre, hay una publicación científica sobre la HH Azul de la producción primaria de cobre de Chile (Peña & Huijbregts, 2013) y una tesis de grado "Análisis técnico de la Huella Hídrica Como Indicador De Sustentabilidad Del Uso De Agua En La Producción Del Concentrado De Cobre En División El Teniente De Codelco" de la Universidad de Chile (Garcés, 2011).

Al analizar las metodologías de estimación utilizadas en la determinación del consumo de agua por los diferentes estudios, es importante destacar que en todos se entiende por consumo de agua, al agua extraída y no devuelta a la fuente de origen, por acción antropogénica desde cualquier cuerpo de agua, ya sea de manera temporal o permanente. Basándose en este concepto, las metodologías para calcular el consumo por tipo de actividad son similares. Para todas las actividades o procesos que utilizan sólo agua de fuentes superficiales o subterráneas (por ejemplo actividades industriales, minería, y otros) la HH azul es calculada mediante un balance hídrico, tomando en consideración las entradas y salidas de agua del sistema.

La HH de productos agrícolas, está determinado por el volumen de agua consumido por el cultivo el que se basa en la estimación de su requerimiento hídrico. El requerimiento hídrico se calcula utilizando la fórmula propuesta por FAO (ref. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)). A partir de esa información se asignan las HH Azul y HH Verde de acuerdo a las precipitaciones que ocurran en el lugar asumiendo que se cumplen el requerimiento del cultivo y por lo tanto no hay déficit. INIA en su publicación sobre HH, calcula la HH potencial y real. La HH real se diferencia de la potencial en que en la asignación de las huellas azul y verde, se basa en las precipitaciones y el riego real que se entregó al cultivo limitando el requerimiento del cultivo (Osorio, 2013).

Con respecto a las HH gris, el cual es un indicador de la pérdida de calidad que pueda sufrir el agua extraída y devuelta al sistema. En el caso de la industria, dado que estas deben reportar sus emisiones, existe registro de la calidad y volumen de las emisiones. Para la agricultura, las estimaciones son diferentes ya que el agua de riego arrastra principalmente parte del fertilizante u otros agroquímicos aplicados al suelo lixiviándolos. Dentro de los compuestos aplicados al suelo el nitrógeno es aquel que es más propenso a lixiviar, por lo que se considera este en el cálculo de la HH Gris. Tanto INIA como otras publicaciones internacionales consideran como factor de lixiviación del nitrógeno 10%.

a) Comparación de resultados de HH Azul, Verde y Gris entre diferentes autores

Resulta interesante incluir en este apartado una comparación entre los resultados a los que llegan los diferentes autores al analizar las distintas HH de productos desarrollados dentro de Chile. Es importante mencionar que el sector agrícola es el más analizado a nivel nacional. Las HH calculadas entre los principales estudios nacionales realizados en el país, comparado con el realizado fuera del país, advierte la existencia de ciertas diferencias que en algunos casos pueden llegar a ser considerables.

Estas diferencias tienen relación directa con la información base que requirió cada autor para alimentar los modelos utilizados para la estimación de la evapotranspiración de cada uno de los cultivos. Como factor adicional, se debe considerar que la magnitud de las huellas hídricas azules y verdes, están determinados por:

- Las precipitaciones efectivas consideradas

- Cómo se llevaron a cabo los balances de agua en el suelo (si se consideraron en forma diaria, mensual u otra)

Es importante mencionar además que los estudios evaluados tienen objetivos distintos, dado que van desde una visión global de las huellas hídricas, donde se busca evaluar diferentes productos agrícolas producidos en distintas partes del mundo mediante la comparación de sus huellas hídricas (Mekonnen & Hoekstra, 2011), a una visión muy local que busca comparar las huellas hídricas dentro de una misma región (Osorio, 2013).

A modo de análisis general, en todos los estudios la comparación entre las huellas hídricas azules, entregaron el impacto directo de la actividad agrícola (cultivo) sobre las fuentes superficiales y subterráneas de agua en el lugar estudiado, lo que da como resultado una menor disponibilidad de agua para el desarrollo de otras actividades humanas. Es así que, en una forma simple, se pueden analizar distintos cultivos de acuerdo a su requerimiento de agua azul (agua de fuentes superficiales o subterráneas).

Por el contrario, la huella hídrica verde entrega información sobre qué tan eficientemente se están utilizando las condiciones naturales que entrega el área en estudio. En la medida que los cultivos sean los más adecuados para la zona, esto permitirá maximizar el uso de las fuentes de aguas verdes (precipitaciones) disminuyendo la presión sobre las fuentes de agua azul. Estudios más acabados como los de Osorio (2013) permiten realizar análisis más finos, definiendo que tipo de variedades son las más adecuadas para la zona en estudio, así como los manejos agrícolas más adecuados para cada caso (ej. Labores de suelo, fechas de siembra, entre otros).

De esta manera, con la información entregada de ambas huellas, se pueden definir qué tipo de cultivos son los más eficientes para el área analizada.

Para evidenciar estas diferencias, a modo de ejemplo se analizaron tres regiones tipo: Valparaíso, O'Higgins y Región Metropolitana, debido a que estas regiones son parte importante de la macrozona central y poseen un gran desarrollo de agricultura.

A continuación se presenta la comparación entre los resultados de los autores chilenos, (Donoso et al. 2012) y (Osorio, 2013). Posteriormente, se comparará a cada uno de ellos con los resultados obtenidos por Mekonnen & Hoekstra (2011).

4.1.2.1. Autores nacionales

La comparación de los datos públicos de HH posee cierta complejidad, ya que ninguno de los autores presenta la información agroclimática base con la cual se realizaron las estimaciones. Esto implica que los datos sólo pueden ser comparados en orden de magnitud y no en su relación con el consumo real del cultivo.

En base a la descripción de los métodos utilizados en cada estudio, se puede rescatar que Osorio (2013) uso datos locales, lo que permitió calcular la HH de un mismo cultivo en distintos sectores dentro de cada región. En cambio el estudio realizado por Donoso et al. (2012) corresponde a una estimación regional por lo tanto, uso datos regionales. En este sentido, y para hacer comparables los resultados de ambos estudios, en el caso de Osorio (2013) se promediaron las HH específicas por cultivo de las distintas localidades estudiadas por región para obtener datos regionales.

Por otro lado, cabe aclarar que la comparación no ha podido realizarse para todos los cultivos, sino sólo para aquellos incluidos en ambas publicaciones. Así por ejemplo, en olivo se comparan sólo los resultados para la VI Región ya que Osorio (2013) no incluye resultados para este cultivo para la RM y la V Región. Cultivos como almendro, manzano, nogal, avena, trigo, papa y uva vinífera no fueron incluidas por este autor en ninguna de las tres regiones analizadas. Otro caso de ejemplo es el tomate fresco, analizado por Osorio (2013) y no en Donoso et al. (2012). Ver comparaciones entre autores en Tabla 3.

Tabla 3. Comparación de resultados de Huella Hídrica para diferentes cultivos.

	Producto	Osorio, 2013			Donoso et al. (2012)*			Mekonnen y Hoekstra, 2011		
		Huella hídrica (m³/ton)			Huella hídrica (m³/ton)			Huella hídrica (m³/ton)		
		Azul	Gris	Verde	Azul	Gris	Verde	Azul	Gris	Verde
Valparaíso	Uva de mesa	273,1	46,0	89,8	215,6	32,0	14,4	9,8	89,1	237,2
	Durazno	279,2	37,3	42,4	223,7	43,1	25,6	306,4	72,7	377,7
	Olivo				412,5		530,0	1405,3	210,1	1563,5
	Palta	308,2	34,7	68,2	584,3	121,9	139,6	1280,3	203,1	623,6
	Almendra				1894,7	611,1	230,2	3293,6	4071,8	3996,4
	Berries ¹	645,0	40,0	38,1						
	Cerezo	941,6	21,3	311,1	1603,7	51,7	139,6	1092,5	221,1	1161,5
	Ciruelo	522,7	60,0	77,9	202,3	48,4	14,4	350,2	70,9	372,4
	Cítricos ³	153,0	24,0	37,3	208,5	18,8	49,1	283,4	63,3	246,8
	Kiwi				337,7	41,6	11,8	455,2	64,4	220,8
	Manzano							176,6	35,7	187,8
	Nogal				3001,1	335,0	345,2	4003,0		4037,4
	Peral				197,1	16,6	14,9	218,6	44,2	232,4
	Maíz ²	414,6	200,0	8,8	338,4	153,9	1,7	555,9	245,7	104,8
	Choclo	379,5	92,0	15,1				443,3	71,8	54,9
	Avena					193,8	1710,5	963,6	296,7	430,7
	Trigo				242,0	162,6	346,3	601,9	308,6	964,7
	Papa				242,2	12,1	33,7	187,3	281,1	27,4
	Alfalfa				149,9		149,9			
	Uva vinífera				3666,7		858,1	11,4	103,6	275,8
	Forestal pino **						251,6			

	Producto	Osorio, 2013			Donoso et al. (2012)*			Mekonnen y Hoekstra, 2011		
		Huella hídrica (m³/ton)			Huella hídrica (m³/ton)			Huella hídrica (m³/ton)		
		Azul	Gris	Verde	Azul	Gris	Verde	Azul	Gris	Verde
	Forestal eucalipto **						125,4			
	Tomate fresco	103,4	37,3	0,6				8,9	16,5	36,3
	Tomate industrial							n/a	n/a	n/a
Región Metropolitana	Uva de mesa	273,4	46,0	105,6	398,2	31,2	36,7	5,5	89,0	232,2
	Durazno	268,4	37,3	50,8	341,6	42,0	42,8	253,0	73,1	408,8
	Olivo				1197,8		342,8	1189,5	211,5	1687,0
	Palta	291,0	34,7	78,8	1352,4	182,8	417,1	1161,2	204,0	682,1
	Almendra				3362,1	611,1	698,3	2754,7	4099,0	4296,3
	Berries ¹	661,0	40,0	41,7						
	Cerezo	749,7	21,3	272,8	1325,5	52,1	395,0	919,4	222,5	1261,7
	Ciruelo	518,6	60,0	87,2	350,4	45,8	38,1	294,7	71,3	404,5
	Cítricos ³	131,4	24,0	210,8	215,7	18,9	51,3	251,9	63,9	266,3
	Kiwi	330,4	49,3	50,5	379,4	39,6	64,6	410,3	64,7	243,5
	Manzano				262,5	81,3	11,2	148,7	36,0	204,0
	Nogal				3026,3	740,3	354,2	3380,6		4398,1
	Peral				217,4	65,5	15,0	183,9	44,5	252,4
	Maíz ²	450,1	200,0	26,4	524,1	147,1	39,7	527,4	250,5	118,1
	Choclo	347,7	92,0	19,5				427,7	71,9	58,9
	Avena					221,1	397,8	902,5	297,8	456,0
	Trigo				344,2	213,7	208,0	529,1	284,4	939,1
	Papa				171,0	15,8	40,2	182,0	273,8	30,9

	Producto	Osorio, 2013			Donoso et al. (2012)*			Mekonnen y Hoekstra, 2011		
		Huella hídrica (m³/ton)			Huella hídrica (m³/ton)			Huella hídrica (m³/ton)		
		Azul	Gris	Verde	Azul	Gris	Verde	Azul	Gris	Verde
	Alfalfa				83,1		158,6			
	Uva vinífera				5221,9		700,0	6,4	103,5	269,9
	Forestal pino									
	Forestal eucalipto									
	Tomate fresco	99,8	37,3	0,5				5,2	16,5	37,7
	Tomate industrial	126,7	37,3	0,8				n/a	n/a	n/a
O'Higgins	Uva de mesa	233,0	46,0	135,2	176,7	29,9	14,9	0,7	87,8	221,5
	Durazno	251,4	37,3	64,5	116,4	43,5	26,2	193,0	73,1	437,0
	Olivo	665,9	40,0	19,6	411,3		361,5	949,2	211,5	1797,7
	Palta				491,4	121,9	111,5	998,4	203,4	758,3
	Almendra				1503,3	615,4	363,3	2150,9	4099,0	4564,5
	Berries ¹	651,7	40,0	51,3	1037,0		115,7			
	Cerezo	582,3	21,3	195,6	819,8	47,1	74,3	720,8	222,5	1356,4
	Ciruelo	511,1	60,0	97,7	223,3	46,3	32,3	231,1	71,3	434,9
	Cítricos ³				182,0	18,4	78,7	212,5	63,9	282,3
	Kiwi	266,7	49,3	56,5	220,8	39,5	70,3	352,1	64,7	269,6
	Manzano	127,4	33,3	28,3	154,8	15,6	11,1	116,5	36,0	219,3
	Nogal				3926,4	230,9	348,5	2650,9		4766,1
	Peral				151,9	15,7	14,9	144,2	44,5	271,4
	Maíz ²	450,4	200,0	30,6	250,4	148,5	41,0	496,0	256,6	132,4
	Choclo	350,7	92,0	24,6				407,0	71,7	64,9

Producto	Osorio, 2013			Donoso et al. (2012)*			Mekonnen y Hoekstra, 2011		
	Huella hídrica (m³/ton)			Huella hídrica (m³/ton)			Huella hídrica (m³/ton)		
	Azul	Gris	Verde	Azul	Gris	Verde	Azul	Gris	Verde
Avena					158,4	295,7	823,9	297,7	484,6
Trigo					199,6	359,5	470,7	270,6	914,8
Papa				128,4	17,2	36,1	169,6	281,4	37,4
Alfalfa				74,3		152,2			
Uva vinífera				3558,3		456,5	1	102,1	257,5
Forestal pino ***						145,1			
Forestal eucalipto ***						103,0			
Tomate fresco	95,0	37,3	1,3				1,9	16,5	37,9
Tomate industrial	131,4	37,3	0,8				n/a	n/a	n/a

* Resultados: Valparaíso (2008), RM (2010) y O'Higgins (2009)

** En el caso de Donoso et al., para Valparaíso se calculó promedio de 11 años, entre 1997 y 2007

*** En el caso de Donoso et al., para O'Higgins sólo aparecen datos de 2007

¹ En el caso de INIA, sólo incluye arándanos. En Donoso et al. incluye también frambuesa

² En el caso de Donoso et al., entrega datos de maíz en general.

³ Donoso et al. incluyen Naranja, Clementina, Limón de pica y Limón. INIA considera naranja, limón y mandarina. WFN co

■ El estudio no incluye ese cultivo.

Fuente: Elaboración propia en base a Donoso et al. (2012), Osorio (2013) y Mekonnen y Hoekstra (2011).

Asimismo, la Tabla 4 muestra la razón entre las HH azul, verde y gris calculados por Osorio (2013) y las calculadas por Donoso et al. (2012). Tal como puede observarse, hay grandes diferencias entre los resultados a los que han llegado los autores mencionados para los mismos cultivos, acentuándose especialmente para el caso de HH Verde –ratios entre 0,19 o 9,1- aunque también en algunos casos de HH Azul –ratios entre 2,58 o 0,22- y en menor medida para HH Gris –ratios entre 0,19 y 1,54⁵.

Tabla 4: Razón comparativa entre los resultados obtenidos en Chile por Osorio (2013) y Donoso et al. (2012) para diferentes cultivos, por región.

	Cultivo	Ratio	Ratio	Ratio
		HH Azul	HH Gris	HH Verde
Valparaíso	Uva de mesa	1,27	1,44	6,23
	Durazno	1,25	0,87	1,65
	Palta	0,53	0,28	0,49
	Cerezo	0,59	0,41	2,23
	Ciruelo	2,58	1,24	5,39
	Cítricos*	0,73	1,28	0,76
	Maíz	1,23	1,30	5,25
Región Metropolitana	Uva de mesa	0,69	1,47	2,87
	Durazno	0,79	0,89	1,19
	Palta	0,22	0,19	0,19
	Cerezo	0,57	0,41	0,69
	Ciruelo	1,48	1,31	2,29
	Cítricos *	0,61	1,27	4,11
	Maíz	0,86	1,36	0,66
O'Higgins	Uva de mesa	1,32	1,54	9,10
	Durazno	2,16	0,86	2,46
	Cerezo	0,71	0,45	2,63
	Ciruelo	2,29	1,30	3,02
	Maíz	1,80	1,35	0,75

* Donoso et al. incluyen Naranja, Clementina, Limón de pica y Limón. INIA considera naranja, limón y mandarina.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se revisan los resultados por región:

- Región de Valparaíso: Osorio (2013) presenta valores más altos de HH Azul, Verde y Gris para uva de mesa, ciruelo y maíz –llegando a

⁵ Las ratios más alta y más bajas están marcadas con color rojo. La razón se hizo entre Osorio/Donoso et al.

diferencias importantes particularmente en HH Verde. A su vez, Donoso et al. (2012) llega a resultados más altos para los tres indicadores en palta. Por otro lado, se dan casos como durazno, cerezo y cítricos, donde la comparación de los tres indicadores HH son variables.

- Región Metropolitana: Osorio (2013) presenta valores más altos de HH Azul, Verde y Gris en ciruelo y maíz –acentuándose la diferencia en HH Verde. Tal como en la V Región, Donoso et al. (2012) llega a resultados más altos para los tres indicadores de HH en palta. Por otro lado, se dan casos como uva de mesa y cítricos, en donde Osorio (2013) presenta resultados más bajos para HH Azul, pero más altos en HH Gris y Verde –esta última con diferencias muy significativas. Finalmente, casos similares se dan en cultivos como durazno y maíz, donde los resultados son variables entre los autores
- Región de O’Higgins: Se observa que para uva de mesa y ciruelo, Osorio (2013) estima valores más altos de HH Azul, Gris y Verde –destacándose particularmente esta última para el caso de la palta. Por otro lado, se dan casos como el durazno y el cerezo, en donde Donoso et al. (2012) obtiene resultados más elevados en HH gris aunque más bajos en HH Verde, estableciéndose además una importante diferencia en HH Azul.

4.1.2.2. Autores nacionales e internacional

A continuación, se presentará la comparación entre cada uno de los autores nacionales con la referencia de Mekonnen & Hoekstra, (2011). Dicha comparación se realiza entre cada autor nacional por separado, para facilitar la lectura de los datos.

Al igual que con los autores nacionales, los autores internacionales no entregan los datos agroclimáticos de origen con los cuales se estimaron las diferentes HH. Tal como en el caso anterior, se aclara que la comparación no ha podido realizarse para todos los cultivos, sino sólo para aquellos coincidentes en las diferentes publicaciones.

En primer lugar, se presenta la comparación entre los resultados obtenidos por Osorio (2013) y los de referencia internacional para ciertos cultivos, mostrados en términos de razón. Tal como muestra la Tabla 5, se puede observar que habría una tendencia general por parte de Mekonnen & Hoekstra (2011) a que sus resultados sean más altos. Existiendo casos con diferencias de cálculo muy significativas, particularmente en términos de HH

Azul, que podría indicar una sobreestimación importante por parte de Osorio (2013) o una subestimación importante de Mekonnen & Hoekstra (2011). De hecho, para uva de mesa se observan ratios de 27,92 –V Región- 49,70 –Región Metropolitana- y hasta 336,85 –en la VI Región-, y contrariamente, de 00,1 o 0,02 para tomate fresco –Regiones Metropolitana y IV, respectivamente⁶.

⁶ Las ratios más alta y más bajas están marcadas con color rojo.

Tabla 5: Razón comparativa entre los resultados obtenidos en Chile Osorio (2013) y Mekonnen & Hoekstra, (2011) para los diferentes sistemas productivos⁷.

	Cultivo	Var (%)	Var (%)	Var (%)
		Azul	Gris	Verde
Valparaíso	Uva de mesa	27,92	0,52	0,38
	Durazno	0,91	0,51	0,11
	Palta	0,24	0,17	0,11
	Cerezo	0,86	0,10	0,27
	Ciruelo	1,49	0,85	0,21
	Cítricos *	0,54	0,38	0,15
	Maíz	0,75	0,81	0,08
	Choclo	0,86	1,28	0,27
	Tomate fresco	11,58	2,26	0,02
Región Metropolitana	Uva de mesa	49,70	0,52	0,45
	Durazno	1,06	0,51	0,12
	Palta	0,25	0,17	0,12
	Cerezo	0,82	0,10	0,22
	Ciruelo	1,76	0,84	0,22
	Cítricos *	0,52	0,38	0,79
	Kiwi	0,81	0,76	0,21
	Maíz	0,85	0,80	0,22
	Choclo	0,81	1,28	0,33
	Tomate fresco	19,29	2,26	0,01
O'Higgins	Uva de mesa	336,85	0,52	0,61
	Durazno	1,30	0,51	0,15
	Olivo	0,70	0,19	0,01
	Cerezo	0,81	0,10	0,14
	Ciruelo	2,21	0,84	0,22
	Kiwi	0,76	0,76	0,21
	Manzano	1,09	0,93	0,13
	Maíz	0,91	0,78	0,23
	Choclo	0,86	1,28	0,38
	Tomate fresco	49,47	2,26	0,03

* Osorio (2013) considera naranja, limón y mandarina. WFN considera naranja y limón.

Fuente: elaboración propia.

⁷ La razón se hizo entre Osorio/Mekonnen.

A continuación, se revisan los resultados por región:

- Región de Valparaíso: Osorio (2013) presenta valores más bajos de HH Azul, Verde y Gris para durazno, palta, cerezo, cítricos y maíz, acentuándose la diferencia en HH Verde –donde se dan ratios de hasta 0,11. Por otro lado, se dan cultivos en los que se presentan valores menores en HH Gris y Verde por parte del autor chileno, mientras que la HH Azul presenta valores más altos que los de Mekonnen & Hoekstra, (2011). Tales son los casos de ciruelo y uva de mesa, presentando este último un resultado de casi 28 veces lo calculado por los autores internacionales. Finalmente, se dan casos como choclo –en donde las HH azul y Verde calculadas por Osorio (2013) son menores, mientras que la HH Gris es mayor a la referencia internacional- o tomate fresco –donde las HH Azul y Gris son significativamente más altas en la publicación nacional y la HH Verde representa sólo el 2% de la referencia internacional.
- Región Metropolitana: Osorio (2013) presenta valores más bajos de HH Azul, Verde y Gris para palta, cerezo, cítricos, kiwi y maíz, acentuándose la diferencia en HH Verde –donde se dan ratios de hasta 0,12. Por otro lado, se dan cultivos en los que los menores valores son entregados por parte del autor chileno (se da sólo en HH Gris y Verde), mientras que la HH Azul presenta valores más altos que los de Mekonnen & Hoekstra, (2011). Tales son los casos de durazno, ciruelo y uva de mesa, presentando este último un resultado de casi 50 veces lo calculado por los autores internacionales. Finalmente, se dan casos como choclo –en donde las HH azul y Verde calculadas por Osorio (2013) están por debajo, mientras que la HH Gris es mayor a la referencia internacional- o tomate fresco –donde las HH Azul y Gris son significativamente más altas en la publicación nacional y la HH Verde sólo el 1% de la referencia internacional.
- Región de O'Higgins: Osorio (2013) presenta valores más bajos de HH Azul, Verde y Gris para olivo, cerezo, kiwi y maíz, acentuándose la diferencia en HH Verde –donde se dan ratios entre 0,23 y 0,01. Por otro lado, se dan cultivos en donde el autor chileno presenta los valores más bajos(HH Gris y Verde), mientras que la HH Azul presenta valores más altos que los de Mekonnen & Hoekstra, (2011). Tales son los casos de durazno, ciruelo, manzano y uva de mesa, presentando este último un resultado de casi 340 veces lo calculado por los autores internacionales. Finalmente, se dan casos como choclo –en donde las HH azul y Verde calculadas por Osorio (2013) están por debajo, mientras que la HH Gris es mayor a la referencia internacional- o tomate fresco –donde las HH Azul y Gris son

significativamente más altas en la publicación nacional y la HH Verde sólo el 3% de la referencia internacional.

En cuanto a la comparación entre los resultados obtenidos por Donoso (2012) y los de referencia internacional para ciertos cultivos, estos se muestran en la Tabla 6. Allí se puede observar que, si bien en menor grado que en el caso del autor anterior, habría una cierta tendencia general hacia obtener valores más altos de HH por parte de Mekonnen & Hoekstra, (2011).

Ahora bien, aparecen en Donoso et al. (2012) casos con diferencias de cálculo mucho más significativas que las notadas en el caso de Osorio (2013), particularmente en términos de HH Azul. De hecho, para uva de mesa se observan ratios de 322,48 –V Región-, 816,53–Región Metropolitana- y hasta 255,47–en la VI Región. Para uva vinífera las ratios son aún mayores, desde de 22,04 –V Región-, 72,04 –Región Metropolitana- llegando hasta 4424,56–en la VI Región. En cuanto a subestimación, los casos más significativos se dan en HH Verde en maíz y HH Gris en papa⁸ - ambas en la V Región.

⁸ Las ratios más alta y más bajas están marcadas con color rojo. La razón se realizó entre Donoso/Mekonnen. Las celdas vacías corresponden a cultivos cuya huella no se encontraba calculada en ambos estudios.

Tabla 6. Razón comparativa entre los resultados obtenidos en Chile Donoso et al. (2012) y (Mekonnen & Hoekstra, 2011) para los diferentes sistemas productivos (continúa en la página siguiente).

	Cultivo	Ratio	Ratio	Ratio
		HH Azul	HH Gris	H Verde
Valparaíso	Uva de mesa	22,04	0,36	0,06
	Durazno	0,73	0,59	0,07
	Olivo	0,29		0,34
	Palta	0,46	0,60	0,22
	Almendra	0,58	0,15	0,06
	Cerezo	1,47	0,23	0,12
	Ciruelo	0,58	0,68	0,04
	Cítricos *	0,74	0,30	0,20
	Kiwi	0,74	0,65	0,05
	Nogal	0,75		0,09
	Peral	0,90	0,38	0,06
	Maíz **	0,61	0,63	0,02
	Avena (secano)		0,65	3,97
	Trigo	0,40	0,53	0,36
	Papa	1,29	0,04	1,23
	Uva vinífera	322,48		3,11
Región Metropolitana	Uva de mesa	72,40	0,35	0,16
	Durazno	1,35	0,57	0,10
	Olivo	1,01		0,20
	Palta	1,16	0,90	0,61
	Almendra	1,22	0,15	0,16
	Cerezo	1,44	0,23	0,31
	Ciruelo	1,19	0,64	0,09
	Cítricos *	0,86	0,30	0,19
	Kiwi	0,92	0,61	0,27
	Manzano	1,77	2,26	0,05
	Nogal	0,90		0,08
	Peral	1,18	1,47	0,06
	Maíz **	0,99	0,59	0,34
	Avena	0,00	0,74	0,87
	Trigo	0,65	0,75	0,22
	Papa	0,94	0,06	1,30
	Uva vinífera	816,53		2,59

Tabla 7. Tabla 6. Razón comparativa entre los resultados obtenidos en Chile Donoso et al. (2012) y (Mekonnen & Hoekstra, 2011) para los diferentes sistemas productivos (continuación).

	Cultivo	Ratio	Ratio	Ratio
		HH Azul	HH Gris	H Verde
O'Higgins	Uva de mesa	255,47	0,34	0,07
	Durazno	0,60	0,60	0,06
	Olivo	0,43		0,20
	Palta	0,49	0,60	0,15
	Almendra	0,70	0,15	0,08
	Cerezo	1,14	0,21	0,05
	Ciruelo	0,97	0,65	0,07
	Cítricos *	0,86	0,29	0,28
	Kiwi	0,63	0,61	0,26
	Manzano	1,33	0,43	0,05
	Nogal	1,48		0,07
	Peral	1,05	0,35	0,05
	Maíz **	0,50	0,58	0,31
	Avena		0,53	0,61
	Trigo		0,74	0,39
	Papa	0,76	0,06	0,96
	Uva vinífera	4424,56		1,77

* Donoso et al. (2012) incluye al Naranja, Clementina, Limón de pica y Limón. WFN considera naranja y limón.

** En el caso de Donoso et al. (2012), entrega datos de maíz en general.

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se revisan los resultados por región:

- Región de Valparaíso: Donoso et al. (2012) presenta valores más bajos de HH Azul, Verde y Gris para durazno, olivo, palta, almendra, ciruelo, cítricos, kiwi, nogal, peral, trigo y maíz, acentuándose la diferencia en HH Verde –donde se dan ratios de hasta 0,02 en el caso del maíz. Por otro lado, se dan cultivos en que los menores valores (HH Gris y Verde) son proporcionados por el autor chileno, mientras que la HH Azul presenta valores más altos que los de Mekonnen & Hoekstra, (2011). Tales son los casos de cerezo, papa y uva de mesa, presentando este último un resultado de 22 veces lo calculado por los autores internacionales. Finalmente, se dan casos como la avena –en donde la HH Gris calculada por Donoso et al. (2012) está por debajo, mientras que la HH Verde es mayor a la referencia internacional- o uva vinífera donde las HH Azul y Verde son

significativamente más altas en la publicación nacional –llegando en el primer caso a representar casi 322 veces y más.

- Región Metropolitana: Donoso et al. (2012) presenta valores más bajos de HH Azul, Verde y Gris para cítricos, kiwi, nogal, trigo, avena y maíz, acentuándose la diferencia en HH Verde –donde se dan ratios de hasta 0,08 en el caso del nogal. Por otro lado, se dan cultivos en que los menores valores (HH Gris y Verde) son proporcionados por el autor chileno, mientras que la HH Azul presenta valores más altos que los de Mekonnen & Hoekstra, (2011). Tales son los casos de durazno, olivo, palta, almendra, cerezo, ciruelo, peral y uva de mesa, presentando este último un resultado de casi 72 veces y media lo calculado por los autores internacionales. Asimismo, se dan casos como la papa –en donde las HH Gris y Azul calculadas por Donoso et al. (2012) están por debajo, mientras que la HH Verde es mayor a la referencia internacional- o el manzano y el peral –donde por el contrario las HH Azul y Gris son más altas mientras que la verde es significativamente más baja. Finalmente, observamos a la uva vinífera donde las HH Azul y Verde son significativamente más altas en la publicación nacional –llegando en el primer caso a representar 816 y media más.

- Región de O'Higgins: Donoso et (2012) presenta valores más bajos de HH Azul, Verde y Gris para durazno, olivo, palta, almendras, ciruelo, cítricos, kiwi, maíz, avena, trigo y papa, acentuándose la diferencia en HH Verde –donde se dan ratios de hasta 0,06 en el caso del durazno. Por otro lado, se dan cultivos en que los menores valores (HH Gris y Verde) son proporcionados por el autor chileno, mientras que la HH Azul presenta valores más altos que los de Mekonnen & Hoekstra, (2011). Tales son los casos de cerezo, manzano, nogal, peral y uva de mesa, presentando este último un resultado de casi 255 veces y media lo calculado por los autores internacionales. Finalmente, observamos a la uva vinífera donde las HH Azul y Verde son significativamente más altas en la publicación nacional –llegando en el primer caso a representar 4424 veces y media más.

4.1.2.3. Problemas en la comparación

Al comparar los resultados obtenidos para un mismo cultivo, estos presentan una gran dispersión para los tres indicadores.

Un posible motivo que explicaría esta diferencia, es que la información base que alimenta los modelos sea muy diferente. A nivel nacional e internacional existen distintas fuentes de información climática que permite calcular directamente la evapotranspiración y/o alimentar programas que calculan

requerimiento mediante modelos de balance hídrico en el suelo (CROPWAT 8.0). La gran diferencia entre estas fuentes de información son que:

- Las estaciones que recopilan la información no son las mismas por lo que representan áreas diferentes. Dada las características del territorio, este no es homogéneo por lo que una estación puede no es representativa de todo el territorio o la cuenca.
- la información agroclimática corresponde a promedios de series de tiempo variables.
- Existe una gran variabilidad entre las precipitaciones de un año a otro, lo que generaría diferencias entre las proporciones de HH azul y HH verde.
- Las ecuaciones y/o modelos utilizados para estimar el requerimiento (HH) no sean los mismos.

4.1.3. Otros estudios que pudieran ser relevantes

Dentro del Revisión Bibliográfica se evaluaron otros estudios, que no necesariamente está relacionado con la HH. Para cada uno de estos se elaboraron 9.2 Fichas Resumen (Revisión Bibliográfica) la cual resume aquella información relevante para la metodología y el cálculo de la HH.

A continuación se presenta un breve resumen de cada uno de estos y su evaluación sobre su aporte para el proyecto

4.1.3.1. Trabajos relacionados con Huella Hídrica

- ✓ **Determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de los recursos hídricos, 2011** (Osorio, 2013)

Este trabajo fue desarrollado por INIA, en él se estima la HH de algunos productos agropecuarios para Chile entre ellos uva de mesa, uva pisquera, manzanas, paltas y otros. En este trabajo se estiman dos consumos de agua (evapotranspiraciones) o HH. La primera se basa en la evapotranspiración potencial, la cual utiliza la metodología propuesta por el WFN y la real, donde la evapotranspiración potencial es corregida de acuerdo a la disponibilidad hídrica del suelo. Este trabajo contribuye al estudio en la elección de la metodología de cálculo y entregando valores referenciales para la comparación de los resultados obtenidos o para utilizarlos directamente en el caso de que se realicen estimaciones para las regiones y los productos evaluados.

- ✓ **Seguridad Hídrica y Alimentaria en América Latina. El caso de Chile, 2012** (Donoso et al., 2012)

Este es un informe sobre la situación del recurso del agua en Chile, donde se entrega una completa descripción sobre las instituciones relacionadas con la administración del recurso hídrico en Chile. Además realiza un cálculo de la HH de Chile, considerando los diferentes sectores productivos presentes en el país. Los cálculos para algunos sectores como la agricultura y energía se basaron en información nacional y para otros sectores como la industria se tomaron valores de estudios internacionales. Este trabajo sirve de guía para comparar los resultados generales ya que es el único trabajo nacional que analiza los sectores doméstico, industrial, minero y energético.

✓ **Análisis de la Huella extendida del Guadalquivir, 2011**

En este estudio se analizó la huella hídrica verde y azul (superficial y subterránea) y, en un sentido más amplio, la huella hídrica extendida en la cuenca del Guadalquivir con el fin de facilitar información para conseguir una mejor asignación y gestión de los recursos hídricos en esta región. Este estudio está más orientado en el sector agropecuario. Puede ser un apoyo para evaluar la metodología para estimar el valor aparente de agua para el cado de algunos cultivos.

✓ **Evaluación de la huella de la cuenca del río Ponce, 2013**

En él se realiza la evaluación geográfica de huella hídrica en la cuenca, considerando los sectores: agropecuario, industrial, doméstico, generación de energía hidroeléctrica y minería. De este estudio se rescatan las limitaciones que se presentaron, los que sirven como precedente para identificar si en Chile existen las mismas limitaciones.

✓ **Water Footprint in Portugal, 2010** (WWF-Mediterranean, 2010)

Este estudio busca analizar el uso de agua y la huella hídrica y su relevancia para el manejo y consumo responsable del agua en el país. Del trabajo solo se puede rescatar los análisis que se llevaron a cabo a nivel país y las respuestas que se propusieron. En este caso las respuestas propuestas que se plantean son principalmente recomendaciones a tomar en consideración al momento de generar medidas.

✓ **Belgium and its Water Footprint, 2011** (WWF-Belgium, 2011)

Este trabajo busca demostrar que el uso de la huella hídrica es un indicador útil para definir los requerimientos y usos del agua en el país e identificar las líneas de acción para reducir impactos. Del trabajo solo se puede rescatar los análisis que se llevaron a cabo a nivel país y las respuestas que se propusieron. En este caso las respuestas propuestas que se plantean son principalmente recomendaciones a tomar en consideración al momento de generar medidas.

✓ **La Huella Hídrica Española en el contexto del Cambio Climático, 2010**

Estimación de la huella del agua para los sectores de Agricultura, ganadería, urbano e industrial, usando metodología de Chapagain y Hoekstra (2004), y actualizada en Hoekstra et al. (2009). Este estudio está un poco desactualizado, ya que hoy en día hay estudios más acabados aunque parte de las limitaciones encontradas se mantienen

✓ **El metabolismo hídrico y los flujos de Agua virtual. Una aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía, 2008**

Busca proponer el concepto de Metabolismo Hídrico, como un nuevo marco de análisis para la gestión de la “demanda” de agua mediante la incorporación del estudio de los flujos de Agua Virtual en el sector hortofrutícola. Su aporte radica principalmente en el desarrollo de los conceptos de agua Virtual como indicador de la exportación.

✓ **Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica (HH), 2012**

Este trabajo busca ofrecer una visión del agua distinta a la convencional, mediante la incorporación del concepto de HH. El uso de este concepto permitiría facilitar la evaluación de los impactos sobre el recurso hídrico por los hábitos de consumo de grupos de población. En este caso el enfoque de este trabajo no se alinea al objetivo del estudio chileno, ya que lo que se busca en este caso es evaluar la HH de la producción para poder gestionar la demanda de los sectores productivos y no evaluar los consumos de la población.

✓ **De lo global a lo local, liberación comercial y uso del agua en la agricultura Colombiana: Balance para el periodo 1961-2004, 2005**

En este trabajo se realiza una evaluación de los impactos en el uso del agua en la agricultura asociados a los cambios en el modelo de desarrollo de la economía colombiana entre 1961 y 2004. Es interesante la evaluación que se realiza y algunas conclusiones e identificación de impactos pueden ser aplicadas al estudio.

4.1.3.2. Justificación estudios de gestión

Estos estudios son importantes, ya que permiten realizar un análisis de cuenca considerando variados parámetros. A continuación se presenta un breve resumen de cada uno de ellos.

✓ **Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad, Cuenca del río Huasco, 2004**

Realización de un diagnóstico y clasificación de los cursos de agua de la Cuenca del río Huasco, a partir de la calidad de estos. Es un estudio puntual realizado a una cuenca completamente diferente a la cuenca piloto.

✓ **Mejoramiento del riego de la cuenca del río Teno, 2011**

Entrega de resultados de caudales afluentes a la zona donde se contempla la construcción de un embalse y las curvas de variación estacional de estos para distintas probabilidades de excedencia. Si bien no representa un aporte directo al estudio, el mejoramiento de riego tiene efectos productivos y sociales los que pueden ser tomados en consideración al momento de proponer respuestas y medidas.

✓ **Estudio Nacional del Agua, 2010**

Entrega de un documento de referencia nacional con alta relevancia para la gestión del agua en Colombia con un alto valor agregado. Este trabajo resume la información y los estudios que se han realizado en Colombia los cuales permiten conocer a cabalidad el estado de los recursos del país. No representa un aporte al proyecto ya que muestra la realidad de Colombia no de Chile. Lo que sí es destacable, y posiblemente provechoso imitar como ellos están desarrollando sus estudios y mediciones en un marco lógico estandarizado.

✓ **Política Nacional para la Gestión Integrada del recurso Hídrico en Colombia, 2010**

Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y el uso eficiente y eficaz del agua. Siendo este articulado al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica. Este documento puede ser tomado como referencia para la creación de políticas que mejoren la gestión hídrica en Chile, siguiendo las estrategias y líneas de acción propuestos en él y estudiando si los programas y proyectos pueden ser replicados en nuestro país.

✓ **Desafíos para la gestión integrada de los recursos hídricos, 1999**

Indicar las principales acciones y pasos que se deben realizar en América Latina y el Caribe, para lograr una efectiva Gestión de los Recursos Hídricos. Este documento sirve de base para entender cómo funciona la gestión de los recursos hídricos en los diferentes países de la zona, además se logra visualizar los principales problemas que dificultan los procesos de reforma y

las acciones a seguir para planificar y lograr una gestión adecuada del agua integrada

✓ **Gestión de Aguas a nivel Cuencas: Teoría y práctica, 2002**

Descripción y análisis de las experiencias recientes de los países de América Latina y el Caribe en la creación de entidades de gestión del agua a nivel de cuencas. Lo interesante de este trabajo es la teoría sobre la gestión hídrica integrada a nivel de cuencas de la zona considerando el creciente interés en este tipo de proyectos, además se encuentra la base para la creación de estructuras participativas y multisectoriales de coordinación y concertación en cuencas. También expone una reciente experiencia mexicana en este ámbito, lo que permitiría considerarlo para Chile.

✓ **Manejo Integrado de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe, 1998.**

Entrega de la Estrategia del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en cuanto a su participación en el manejo integrado de los recursos Hídricos en América latina y el Caribe. Este documento presenta resultados a corto y largo plazo de financiamiento a proyectos y programas relacionados a la gestión hídrica, por lo que su análisis resulta de gran interés para considerarlo como fuente de financiación. El financiamiento a corto plazo considera proyectos de respuesta rápida para resolver problemas inmediatos en conservación o utilización del agua. En tanto, preparación de programas a mediano y largo plazo tiene en cuenta diversas alternativas a fin de alcanzar objetivos concretos en plazos determinados.

✓ **Temas Prioritarios para una Política Nacional de Recursos Hídricos, 2011**

Caracterización de la situación de los recursos hídricos del país, formulando un diagnóstico sobre el sector hídrico y proponiendo políticas que pudieran superar los problemas identificados. La importancia de este estudio es que entrega las principales limitaciones para enfrentar los desafíos en los temas hídricos del país. Además, el diagnostico entrega una caracterización general de los recursos hídricos y de la institucionalidad que regula la gestión del agua, dando la base para la realización de estudios posteriores con mayor nivel de detalle.

✓ **Agua y cultivos logrando el uso óptimo del agua en la agricultura, 2002**

Entrega los lineamientos para lograr un uso óptimo y eficiente del agua en la agricultura, para así aumentar la seguridad alimentaria. Considerando que la agricultura es el sector con mayor consumo, este documento resulta de gran importancia al entregar acciones para optimizar el uso de agua

considerando como prioridad principal el aumento en la eficiencia de riego, produciendo más por cada m³ de agua empleado.

✓ **Estudio para el mejoramiento institucional para la gestión del agua, 2013**

Asistir al Gobierno de Chile (GdC) mejorando la capacidad institucional de la DGA y analizando las opciones de reforma del marco institucional del agua en Chile para alcanzar una gestión integrada, sustentable y eficiente de los recursos hídricos. Este estudio evidencia el desempeño de la estructura institucional en materia de gestión hídrica de Chile considerando aspectos de la experiencia internacional que puedan aportar datos importantes en relación al tema. Además busca identificar las alternativas de reforma para mejorar el marco institucional chileno y la capacidad actual de la DGA.

✓ **Aspectos legales de la estrategia nacional de la gestión integrada de cuencas hidrográficas, 2010**

Realización de un ejercicio de armonización normativa para el componente aguas, y dar cumplimiento al compromiso ambiental asumido por el gobierno. La principal importancia de este estudio es la identificación de normas ambientales que regulen componente aguas y reconocer los conflictos jurídicos, desuso, superposiciones y fragmentación de la administración de la cuenca, buscando soluciones a través de la misma normativa vigente y proponer en el caso que sea necesario una nueva normativa y características de ella.

✓ **Guía Técnico científica para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia, 2004**

Orientar la ordenación de cuencas de manera que se consiga mantener un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos. Este documento entrega una guía del manejo de cuencas hidrográficas considerando el funcionamiento de la cuenca, lineamientos políticos para el manejo integral del agua y planes de ordenamiento y los límites de ella.

✓ **The economics and the financial gains from water markets in Chile, 1997**

Análisis del impacto de los mercados de agua y los costos de las transacciones en Chile, específicamente en cuatro valles (Maipo, Elqui, Limarí y Azapa). Además analiza la asignación de agua y las ganancias de las transacciones del mercado. Este estudio concluye que el mercado de derechos de agua produce un beneficio económico para los valles de Elqui y Limarí, sin embargo existe una baja actividad en el número de transacciones

en los mercados de agua. Este estudio no significa un aporte directo a este estudio.

4.1.4. Principales conclusiones y limitantes

- Los estudios de medición de HH a nivel territorial, se centran en evaluar la presión directa e indirecta que se genera por los patrones de consumo y producción del territorio evaluado (importaciones-exportaciones). Este nivel de análisis identificar posibles riesgos relacionados a la seguridad de: mantener actuales patrones de consumo de la población y de cómo se están presionando los recursos internos externos para abastecer estas demandas (WWF-Belgium, 2011; WWF-Mediterranean, 2010; Aldaya & Llamas, 2008)
- Los estudios a nivel global están orientados a generar lineamientos que apoyen a los tomadores de decisión en la formulación de medidas que permitan regular el comercio, generar medidas agronómicas (ej. selección de cultivos), evaluar patrones de consumo y producción (Chapangain & Hoekstra, 2011; Chapangain & Hoekstra, 2008; Hoekstra & Chapangain, 2007a; Mekonnen, Aldaya, Zarate, & Hoekstra, 2014a; Pahlow, Snowball, & Fraser, 2015).
- Estudios más específicos, a nivel cuenca o a nivel de sectores productivos, entregan información que puede ser utilizada para orientar la gestión local. Algunos autores indican que el verdadero aporte que puede entregar esta herramienta a la gestión, es cuando se aplica a una escala acotada. Esto permite evaluar el territorio e identificar potenciales conflictos (Fulton, Cooley, & Gleick, 2014; Pahlow, Snowball, & Fraser, 2015).
- La temática de los estudios, tanto a nivel internacional como nacional, está relacionada principalmente a la evaluación de la HH de productos silvoagropecuarios. En estos destacan los estudios globales realizados por Hoekstra & Hung (2005); Hoekstra, Sevenije, & Gautam (2006); Chapangain & Hoekstra (2008); Chapangain & Hoekstra (2011); Chapangain, Mekonnen & Hoekstra (2011). Las temáticas menos abordadas tienen relación con la industria, y productos específicos. Existen estudios desarrollados por algunas compañías como Coca cola, Sab Miller y Unilever que han analizado su cadena de suministros, pero siempre relacionados con productos agrícolas a un nivel global.

- La principal limitante identificada, en todos los niveles de análisis es la disponibilidad y resolución de información requerida para la estimación de las respectivas HH. De igual forma se analiza el tema del desconocimiento de cuanta incertidumbre albergan los datos que se utilizan (Zhao, Yang, & Yang, 2010; Fulton, Cooley, & Gleick, 2014).
- A nivel nacional se han desarrollado varios estudios de HH, principalmente enfocados en productos agrícolas específicos. Estos estudios presentan la gran limitante de que sus resultados no son comparables entre sí, ya que información base que alimenta los modelos de estimación y evaluación de las HH no se publica o se trabajan con promedios por lo que poseen un error que no es estimable. Esto confirma las conclusiones de Fulton, Cooley, & Gleick (2014)

4.2. Metodología para la cuantificación de la Huella Hídrica

4.2.1. Fundamentos

La evaluación de la Huella Hídrica (HH) está basada en los conceptos y metodología desarrollada por el Water Footprint Network (WFN) (Hoekstra, Chapangain, Aldaya, & Mekonnen, 2011). Esta busca cuantificar el agua consumida y contaminada de las principales actividades o sectores productivos y vincularlos al espacio geográfico donde estas se están desarrollando.

4.2.1.1. Evaluación de Huella Hídrica (HH) en un territorio

A modo de contexto, la Huella Hídrica (HH) a nivel territorial puede ser vista desde distintas perspectivas, cada una de ellas permite obtener diferentes tipos de análisis. La HH total de un área estudiada es la suma de las HH sobre los recursos del área estudiada y la huella de los productos importados y consumidos por esta.

Figura 9: Perspectivas de la huella hídrica dentro de la Cuenca.



Fuente: elaboración propia en base a Hoekstra et al. (2011, adaptado por Salmoral et al. 2011)

La HH sobre los recursos de la cuenca es el resultado de los consumos de las distintas actividades que ocurren dentro del territorio estudiado más los productos que son importados y consumidos por este.

El principal objetivo del estudio *"Evaluar esta herramienta en el diagnóstico de la situación hídrica dentro de un territorio definido (cuenca) y la relevancia de la información generada como apoyo en la toma de decisiones sobre la gestión del recurso"*.

Por ello, después de una serie de análisis, se ha dado prioridad la evaluación el uso directo de agua o agua consumida por cada uno de los sectores priorizados presentes en las respectivas cuencas. Esto se debe a que, por

una parte la información que se generará permitirá identificar los principales usos e impactos del consumo de agua, para gestionarlos posteriormente.

Por otra parte, para poder realizar un análisis de la huella indirecta a este nivel, se requiere información y catastros con información específica de los productos importados a la cuenca tanto desde fuera del país como desde otras cuencas. La principal brecha identificada se refiere a la información referente a cómo se distribuyen en el territorio nacional los insumos importados desde fuera del país y al movimiento de productos producidos dentro del país.

4.2.2. Descripción de la metodología de evaluación de HH directa

Los conceptos básicos relacionados con la descripción de conceptos de Huella Hídrica (HH) se definieron anteriormente. La evaluación de la HH a nivel territorial sigue las cuatro fases propuestas por el manual del WFN (Ver Figura 6), las cuales son necesarias para la correcta evaluación de la HH y su posterior análisis. Al ser una metodología validada a nivel internacional, mantener las fases propuestas permite futuras comparaciones con otros análisis de HH.

Una vez definido los objetivos y alcance se pasa a la fase 2. En este punto se debe realizar la estimación de la HH desde un punto de vista geográfico. Para ello es importante la identificación, inventariado y categorización de los diferentes sectores que se desarrollan en el área de estudio (por ejemplo, usos domésticos (urbanos- rurales), industriales, agrícolas y ganaderos, mineros, generación de electricidad y otros).

Para ello se debe evaluar:

- ✓ Qué usos son relevantes para el territorio analizado y cuáles son los más importantes al (priorizarlos).
- ✓ Evaluar si existe información de los mismos, discriminando hasta qué nivel territorial es posible asignarlos (Región –Comuna-Cuenca)
- ✓ Categorizarlos en función de su consumo y contaminación de agua, para trabajar con categorías más amplias y por tanto fáciles de manejar (por ejemplo, en lugar de manejar “Refinerías de petróleo” manejar “industrias petroquímicas” o industrias”). En muchos casos esto representará una generalización excesiva pero que dependerá de la escala de trabajo.

La metodología que se propone es una aproximación “bottom-up”, ya que se estimaron las HH por procesos, y al agregar las HH de los distintos procesos que ocurren en el territorio se obtuvo la HH de la cuenca o el territorio estudiado.

Como ya se mencionó, la metodología aquí detallada se centra en el cálculo de la HH desde el punto de vista de la producción. No toma en cuenta la HH del consumo, al no incluir la HH de los productos importados ni exportados.

En términos generales la HH de una región geográfica (cuenca), se estimaría como la suma de las HH individuales de los diferentes sectores presentes:

$$HH_{total,r,y} = HH_{doméstica,r,y} + HH_{minería,r,y} + HH_{energía,r,y} + HH_{agrícola,r,y} + HH_{industrial,r,y}$$

Para r = área ; y = año

Las diferentes HH son la sumatoria de las respectivas HH azul, verde y gris de cada sector.

4.2.2.1. Metodología de cálculo de HH directa por Sector Productivo

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

Es importante destacar que para cada caso en particular, el cálculo estimativo de la HH para cada uno de los procesos analizados, se basó en la mejor información disponible. En el piloto las estimaciones y los supuestos fueron validados y ajustados.

Sector Agrícola

La Huella Hídrica (HH) del sector agrícola incluye la medición de las huellas individuales de los distintos cultivos que se desarrollan en el área de estudio. El cálculo a nivel territorial “bottom-up” requiere datos de:

- Superficies agrícolas (ha/año): en lo posible distinguiendo por cultivo y superficie regada.

- Rendimientos obtenidos en esas superficies (t/ha): En la medida de lo posible manteniendo la coherencia con los datos de superficie; a nivel de cultivo y distinguiendo entre producción irrigada o no.
- Una representación espacial de esta información, para poder trasladar la información de divisiones administrativas (regiones, comunas.) a otra de divisiones físicas (cuenca).
- Estimación de la evapotranspiración (ET, m³/ha o mm) de los cultivos. (En los puntos siguientes se proponen varias opciones para estimarla)
- Para la HH azul y HH verde, las precipitaciones efectivas y los riegos
- Para la HH gris, una estimación de las cargas contaminantes resultantes de la actividad agraria para la estimación de esta.

El requerimiento hídrico (que corresponde a la suma de las huellas azul y verde) se puede obtener utilizando diferentes métodos de estimación. La selección de uno sobre otro va a depender de la información que se disponga. Dónde la calidad de la información con la que se cuente para alimentar a los métodos definirá si el resultado obtenido para el consumo hídrico es más o menos ajustado a la realidad.

Todos los modelos de estimación de requerimiento hídrico están determinados por la evapotranspiración. La evapotranspiración es la cantidad de agua que es consumida por las plantas y evaporada desde el suelo producto del riego o las precipitaciones. La evapotranspiración potencial de los cultivos (ET_c)⁹ están determinados tanto por las características de este como por las condiciones agroclimáticas (ambientales) en la cual este se encuentra. Para su cálculo se multiplica la evapotranspiración de referencia (ET_o)¹⁰ de una zona por el coeficiente de cultivo dando como resultado una estimación de la evapotranspiración del cultivo.

Ecuación 3 Estimación Evapotranspiración de cultivos (ET_c) (Fuente Allan et al., 2006)

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Donde

ET_o Evapotranspiración de referencia

⁹ Evapotranspiración potencial, se define como el máximo de evapotranspiración para un cultivo específico y depende únicamente del clima.

¹⁰ Evapotranspiración de Referencia, se define como la evapotranspiración correspondiente a un cultivo hipotético que tiene una altura de 12 cm, una resistencia de cubierta de 69 s/m, una Resistencia aerodinámica de 208 U₂s/m donde U₂ es la velocidad del viento a 2 metros de altura y un albedo de 0,23.

Kc Coeficiente de cultivo (Kc)

La evapotranspiración de referencia (ET_o) es un parámetro relacionado con el clima que expresa cuanto es la capacidad que tiene la atmosfera para evaporar (Allan et al. 2006). La evapotranspiración es la suma de dos procesos que ocurren simultáneamente, la evaporación y la transpiración de la planta (Martínez y Carvacho, 2011).

La estimación de la ET_o incluye en su cálculo diferentes factores meteorológicos, tales como, la radiación solar, temperatura del aire, humedad del aire y velocidad del viento.

Los distintos métodos existentes, se pueden agrupar en tres tipos basados en, i) la temperatura del aire, ii) radiación solar y temperatura y iii) combinación de la ecuación de balance de energía y de transferencia turbulenta del vapor de agua. Los del primer grupo son útiles cuando no se dispone de suficientes datos, pero los resultados son menos confiables a los otros tipos de métodos (Martínez y Carvacho, 2011).

Uno de los métodos recomendados por FAO para la estimación de la ET_o es la ecuación Penman y Monteith

Ecuación 4 Estimación Evapotranspiración de referencia (ET_o) método Penman- Monteith (Fuente Allan et al., 2006)

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

Dónde:

ET _o	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)
u ₂	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)
e _s - e _a	déficit de presión de vapor (kPa)
Δ	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C ⁻¹)
γ	constante psicométrica (kPa °C ⁻¹)

Existen otros métodos conocidos que también han sido utilizados en Chile para estimar evapotranspiración potencial, estos son Ivanov, Hargreaves,

Turc, Jensen-Haise, Penman y Priestley-Taylor. Estudios realizados en Chile han comparado estos métodos, destacando que aquellos basados en la radiación solar y en la ecuación de combinación son los más consistentes y ajustados (Martínez y Carvacho, 2011).

En 1997, el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) en conjunto con la Comisión Nacional de Riego (CNR) elaboraron un documento en el cual se publicó la cartografía en la cual se da cuenta del comportamiento espacial de la evapotranspiración con el propósito de estimar este parámetro en cualquier punto del territorio nacional. El método seleccionado fue el método Penman y en el caso que no existiera la información climática necesaria se utilizaron los métodos de Turc, de Ivanov, y el método de la bandeja de evaporación, las cuales fueron ajustadas mediante coeficientes de regresión.

El año 2015 se publicó el Atlas del Cambio climático que posee una actualización de todos los ETo del país (Santibáñez, et al., 2015), en la misma publicación se estima los requerimientos hídricos de los distintos cultivos basados en la disponibilidad hídrica. El coeficiente de cultivo (Kc) es un valor adimensional que varía de acuerdo a las características del cultivo. Los valores de Kc son específicos para cada cultivo. Estos coeficientes son el resultado de estudios específicos en los cuales se ha estudiado la fisiología de cada uno de ellos. FAO, ha realizado varios estudios con respecto a al cálculo del kc de diversos cultivos, los que sirven de guía en el caso de que el estudio no se haya realizado en el país.

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 (Ecuación 5).

Ecuación 5 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
- Ym = rendimiento máximo cosechado
- Ky = factor del efecto sobre el rendimiento
- ETa = evapotranspiración actual (fracción de ETr
- ETc = evapotranspiración real o máxima (ETo x kc)
- Kc = coeficiente de cultivo

El Ky 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 cultivos agrícolas (herbáceos y vides).

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 CROPMWAT 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 HH 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 posee las bases de datos de kc 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 (también 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 Dúngenes. La principal desventaja del programa CROPWAT es que si se quiere analizar una gran cantidad de cultivos estos deben ser modelados uno a uno. La gran limitante de este programa es que para realizar análisis más locales de un gran número de cultivos el análisis de esto se debe realizar caso a caso.

Existen modelos más sofisticados que permitirían obtener una mejor estimación del requerimiento hídrico como mediante el desarrollo de modelos hidrológica con SIG. Es importante aclarar que en todos los casos estos métodos son estimaciones las cuales serán más o menos cercanas a

la realidad en la medida que la información base con la que se cuente más fidedigna.

Como ya se mencionó, cada método implica un nivel variable de incertidumbre que debe ser incorporado en el análisis y en la comparación con las HH calculadas de otros sectores.

Una vez calculado el requerimiento hídrico se debe asignar cuanto de este corresponde a huella azul y verde.

Es importante mencionar que, en el caso de que no exista información necesaria para el cálculo del requerimiento hídrico y su posterior asignación a las HH azul y HH verde, es posible obtener la información ya calculada desde otras fuentes, como por ejemplo:

- a) Se pueden obtener los valores de HH directamente por unidad de producto (m^3/t) desde bases de datos como WaterStat (Mekonnen y Hoekstra, 2010),
- b) o emplear valores de HH (m^3/t) de estudios locales, como por ejemplo desde el trabajo de INIA (Osorio, 2013).

Las HH azul y verde dependen del consumo directo de agua (ET) de cada tipo de cultivo, y la magnitud de estas estará influenciada por el aporte de las precipitaciones y riego que ocurran en el área considerada dentro del análisis.

Para el caso de las precipitaciones solo se considera la precipitación efectiva (Pp_{ef}) que ocurre en el lugar. Existen diferentes metodologías para estimar la Pp_{ef}. Basados en el Revisión Bibliográfica realizado para los trabajos relacionados con huella hídrica en Chile, la metodología desarrollada por Doorembos y Pruitt (1977), es la más aceptada y se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 6 Estimación Precipitación efectiva (Doorembos y Pruitt, 1977)

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

Dónde:

P_p precipitación en mm

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

- a) ET_c < 3 => Factor de corrección 0,65
- b) ET_c = 3-5 => Factor de corrección 0,76
- c) ET_c = 5-7 => Factor de corrección 0,90
- d) ET_c > 7 => Factor de corrección 0,98

Una vez estimado el requerimiento hídrico y las precipitaciones, se analiza cuanto es el aporte que realizan las precipitaciones (componente verde) a esta demanda y cuánto debe ser suplementado mediante el riego (componente azul), asumiendo que la demanda de agua calculada de los cultivo son cubiertas.

De esta manera la HH 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:

$$\text{HH verde} = \min (\text{ETc}, \text{Pp ef})$$

Dado que se asume que la demanda de agua del cultivo está completamente satisfecha, la HH azul es la cantidad de agua evapotranspirada por el cultivo que no fue suplido por las precipitaciones y debió ser proporcionada mediante el riego durante el periodo de crecimiento del cultivo hasta su término.

$$\text{HH azul} = \max (0, \text{ETc}-\text{Pp ef.})$$

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

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

Ecuación 7 Estimación Huella hídrica del Sector agricultura

$$HH_{\text{AGRICULTURA}} = \sum_{i=1}^n [(HH_{\text{azul}_i} + HH_{\text{verde}_i} + HH_{\text{gris}_i}) \times \text{superficie}_i]$$

Dónde:

$HH_{\text{AGRICULTURA}}$	Huella total del Sector agricultura m^3 área estudio $^{-1}$
HH_{Azul_i}	Huella azul del producto i $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$
HH_{Verde_i}	Huella verde del producto i $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$
HH_{Gris_i}	Huella gris del producto i $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$
Superficie_i	Superficie del cultivo i

Para analizar los flujos internos y/o externos de los productos producidos por la agricultura (ej. exportaciones fuera del área de estudio o que la

producción sirva de insumo para otro sector), las huellas tienen que ser transformadas a unidades productivas para que sean consideradas como “agua virtual” en el proceso siguiente.

La huella hídrica del cultivo cosechado es la evapotranspiración dividido la producción.

Ecuación 8 Huella hídrica de la cosecha

$$HH_{cosecha\ i} = \frac{ET_{ci}}{P_{cosechada\ i}}$$

Dónde:

$HH_{cosecha\ i}$ Huella Hídrica de la producción cosechada del cultivo i en $m^3\ ton^{-1}$

ET_{ci} Evapotranspiración del cultivo i $m^3ha^{-1}\ año^{-1}$

$P_{cosecha\ i}$ Producción del cultivo i $m^3ha^{-1}\ año^{-1}$

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. 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 en 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.

La HH 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 y/o Ecuación 2 dependiendo de las condiciones e información disponible.

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

Ecuación 9 Estimación Huella hídrica del Sector forestal

$$HH_{FORESTAL} = \sum_{i=1}^n [(HH_{azul_i} + HH_{verde_i} + HH_{gris_i}) \times superficie_i]$$

Dónde:

HH _{FORESTAL}	Huella total del Sector forestal m ³ área en estudio ⁻¹
HH Azul _i	Huella azul del producto i m ³ ha ⁻¹
HH Verde _i	Huella verde del producto i m ³ ha ⁻¹
HH Gris _i	Huella gris del producto i m ³ ha ⁻¹
Superficie _i	Superficie del cultivo i

Para analizar los flujos internos y/o externos de los productos forestales producidos por el sector (ej. exportaciones fuera del área de estudio o que la producción sirva de insumo para otro sector) las huellas tienen que ser transformadas a unidades productivas para que sean consideradas como “agua virtual” en el proceso siguiente.

La huella hídrica de la madera cosechada es la sumatoria de la evapotranspiración de la plantación por el tiempo de crecimiento, dividido por la producción de madera cosechada.

Ecuación 10 Huella Hídrica de la Madera (UPM-Kymmene, 2011)

$$HH_{madera} = \frac{ET_c}{P_{madera}}$$

Dónde:

HH madera	Huella Hídrica de la producción de madera o trozas en m ³ ton ⁻¹
ET _c	Evapotranspiración del cultivo m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹
P _{madera}	Producción de madera m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹

Sector Pecuario

La Huella Hídrica directa (HH directa) del sector pecuario debe considerar el requerimiento directo de agua del animal, el que incluye el agua necesaria para la vida del animal (HH_{bebida}, m³/animal), más el agua utilizada en el proceso productivo (limpieza de establos) (HH_{servicio}, m³/animal), menos 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.

Los datos de agua de bebida y de servicio se pueden obtener los datos de WaterStat (Mekonnen y Hoekstra 2011) o de fuentes nacionales (SAG).

Dado que el análisis que se está realizando es sobre la presión directa sobre el recurso hídrico en una cuenca, el agua virtual que consume el animal como parte de su alimento ($HH_{\text{alimento}} \text{ m}^3/\text{animal}$), no se consideraría ya que estos han sido contabilizados al medir las HH de las producciones forrajeras del área estudiada (ej. maíz de grano, alfalfa, praderas) (Dumont et al. 2012). De esta manera se estaría evitando **la doble contabilidad**.

La HH gris va a estar determinada por el compuesto presente en las aguas de desecho que requiera mayor cantidad de agua para su dilución hasta niveles aceptados/seguros y se calcula dependiendo de las condiciones e información disponible.

En el caso de las explotaciones de animales intensivas sería necesario:

- Definir los contaminantes a considerar (Nitratos, Fósforo, SS)
- El destino de los mismos: re-empleo en agricultura, tratamiento en la explotación y posterior vertimiento
- La tasa de remoción del contaminante en el caso de tratamiento en sistemas de depuración
- El sistema de aplicación y la cantidad de contaminante (Nitrógeno) que alcanza los cuerpos hídricos.

Se debe evitar la doble contabilidad con la HH de las producciones agrarias, puesto que algunos de los residuos pueden ser empleados en agricultura.

Ecuación 11 Huella hídrica del Sector Pecuario

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

Dónde:

HH_{PECUARIO}	Huella total del Sector pecuario $\text{m}^3 \text{ área es estudio}^{-1}$
HH_{Azul_i}	Huella azul de la especie $i \text{ m}^3 \text{ animal}^{-1}$
HH_{Verde_i}	Huella verde de la especie $i \text{ m}^3 \text{ animal}^{-1}$
HH_{Gris_i}	Huella gris especie $i \text{ m}^3 \text{ animal}^{-1}$
Total animales i	Nº animales i en el área de estudio

Para analizar los flujos internos y/o externos de los animales y/o productos producidos por el sector pecuario (ej. exportaciones fuera del área de estudio o que la producción sirva de insumo para otro sector), las huellas

tienen que ser transformadas a unidades productivas para que sean consideradas como “agua virtual” en el proceso siguiente.

La HH de la producción pecuaria es la suma de las huellas azul verde y gris de los alimentos más el agua consumida tanto por el animal como por el proceso multiplicada por el número de animales. La HH de los alimentos se calcula de igual manera que los cultivos. Pero se debe definir:

- i) la dieta para cada tipo de animal y cada tipo de explotación ganadera (intensiva, extensiva, mixta).
- ii) Edad al sacrificio y cantidad ingerida para cada tipo de animal y tipo de explotación

La composición de las dietas se puede obtener desde publicaciones nacionales o internacionales. En el caso de que no exista información local se puede emplear los datos de Rodríguez-Casado *et al.* (2009), que se basaron a su vez en la publicación ‘Canada Statistics Division’ (Statistics Canada, 2003) y en el caso de aves y porcino en la publicación de Steinfeld *et al.* (2006).

Ecuación 12 Huella hídrica de la productos pecuarios

$$HH_{Producto\ j} = \sum_{i=0}^n \frac{HH_{Alimentos\ i} + HH_{Especie\ i}}{P_j}$$

Dónde:

HHproducto j	Huella Hídrica del producto animal en m ³ ton ⁻¹
HH alimento i	HH del alimento m ³ animal ⁻¹ año ⁻¹
HH especie i	HH del uso directo de agua del animal m ³ animal ⁻¹ año ⁻¹
Pj	Producción de j ton animal ⁻¹ año ⁻¹

En el caso que el animal produzca más de un producto a la vez se tiene que dividir la HH entre los productos producidos mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 13 Huella hídrica de la productos (Hoekstra et al. 2011)

$$HH_{prod}[p] = \left(HH_{proceso}[p] + \sum_{i=1}^y \frac{HH_{prod}[i]}{f_p[p, i]} \right) \times f_v[p]$$

Dónde:

HH _{prod} [p]	Huella Hídrica del producto p en m ³ ton ⁻¹
HH _{proceso} [p]	Huella Hídrica del proceso en m ³ ton ⁻¹
HH _{prod} [i]	Huella Hídrica del producto i en m ³ ton ⁻¹

$f_i[p]$	Fracción de valor (adimensional)
$f_p[i,p]$	Fracción de producto (adimensional)

Sector Industrial

La HH azul del sector industrial es el agua consumida por las industrias. Se considera consumo al agua evaporada, incorporada en el producto y/o no devuelta al sistema dentro del periodo considerado en el estudio. El cálculo de la HH azul del sector considera el volumen extraído por cada industria desde las diferentes fuentes superficiales y/o subterráneas menos el volumen devuelto como efluente.

$$HH_{azul\ i,y} = Vol_{extracción\ i,y} - Vol_{efluente\ i,y}$$

Para i =industria ; y =año

La huella 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/seguros y se calcula utilizando la Ecuación 1 y/o Ecuación 2 dependiendo de las condiciones e información disponible.

Ecuación 14 Huella hídrica del Sector Industrial

$$HH_{INDUSTRIAL} = \sum_{i=1}^n [(HH_{azul_i} + HH_{gris_i})]$$

Dónde:

$HH_{INDUSTRIAL}$ Huella total del Sector Industrial m^3 área es estudio⁻¹

HH_{Azul_i} Huella azul de la industria i m^3

HH_{Gris_i} Huella gris de la industria i m^3

Para los cálculos de HH azul y gris es necesario definir:

- Cuáles son las industrias existen en el territorio en estudio.
- Cuál es el consumo de agua asociado a cada una de esas industrias.
 - Usar los datos del inventario de BBDD nacionales o internacionales de uso análisis de ciclo de vida, con la apropiada adaptación metodológica, esto es, descontando usos indirectos como electricidad, materiales de construcción, y cuidando la distinción entre uso y consumo de agua.
 - Usar datos de una industria representativa y generalizarlos para el resto de las mismas

Para analizar los flujos internos y/o externos de los productos producidos por el sector industrial (ej. exportaciones fuera del área de estudio o que la producción sirva de insumo para otro sector), las huellas tienen que ser transformadas a unidades productivas para que sean consideradas como “agua virtual” en el proceso siguiente.

Ecuación 15 Huella hídrica de la productos industriales

$$HH_{Producto\ j} = \sum_{i=0}^n \frac{HH_{industria\ i}}{P_j}$$

Dónde:

HH _{producto j}	Huella Hídrica del producto j en m ³ ton ⁻¹
HH industria i	HH de la industria i año ⁻¹
P _j	Producción de j ton año ⁻¹

En el caso que la industria produzca más de un producto a la vez el cálculo específico para ese producto tiene que considerar la división de la HH total de la industria entre los productos producidos mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 16 Huella hídrica de la productos (Hoekstra et al. 2011)

$$HH_{prod}[p] = \left(HH_{proceso}[p] + \sum_{i=1}^y \frac{HH_{prod}[i]}{f_p[p, i]} \right) \times f_v[p]$$

Dónde:

HH _{prod} [p]	Huella Hídrica del producto p en m ³ ton ⁻¹
HH _{proceso} [p]	Huella Hídrica del proceso en m ³ ton ⁻¹
HH _{prod} [i]	Huella Hídrica del producto i en m ³ ton ⁻¹
f _i [p]	Fracción de valor (adimensional)
f _p [i,p]	Fracción de producto (adimensional)

Sector Minero

La HH azul del sector minero es el agua consumida y no devuelta al sistema. El cálculo considera las entradas de agua a la mina desde las diferentes fuentes superficiales y/o subterráneas menos las devueltas. El consumo considera a las aguas que son evaporadas y/o no devueltas al sistema dentro del periodo considerado en el estudio.

$$HH_{azul\ m,y} = Vol_{extracción\ m,y} - Vol_{efluente\ m,y}$$

Para m=mina ;y=año

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/seguros y se calcula utilizando la Ecuación 1 y/o Ecuación 2 dependiendo de las condiciones e información disponible.

Ecuación 17 Huella hídrica del Sector Minero

$$HH_{MINERÍA} = \sum_{i=1}^n [(HH_{azul_i} + HH_{gris_i})]$$

Dónde:

$HH_{MINERÍA}$	Huella total del Sector Minero m^3 área es estudio ⁻¹
HH_{Azul_i}	Huella azul de la mina i m^3 año i ⁻¹
HH_{Gris_i}	Huella gris mina i m^3 año i ⁻¹

Para analizar los flujos internos y/o externos de la cuenca de los productos producidos por el sector minero (ej. exportaciones fuera del área de estudio o que la producción sirva de insumo para otro sector), las huellas tienen que ser transformadas a unidades productivas para que sean consideradas como "agua virtual" en el proceso siguiente.

Ecuación 18 Huella hídrica de la productos mineros

$$HH_{Producto\ j} = \sum_{i=0}^n \frac{HH_{mina\ i}}{P_j}$$

Dónde:

$HH_{producto\ j}$	Huella Hídrica del producto j en m^3 ton ⁻¹
$HH_{mina\ i}$	HH de la industria i año ⁻¹
P_j	Producción de j ton año ⁻¹

En el caso que la mina produzca más de un producto a la vez, el cálculo específico para ese producto tiene que considerar la división de la HH total de la mina entre los productos producidos mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 19 Huella hídrica de la productos (Hoekstra et al. 2011)

$$HH_{prod}[p] = \left(HH_{proceso}[p] + \sum_{i=1}^y \frac{HH_{prod}[i]}{f_p[p,i]} \right) \times f_v[p]$$

Dónde:

$HH_{prod}[p]$	Huella Hídrica del producto p en $m^3 ton^{-1}$
$HH_{proceso}[p]$	Huella Hídrica del proceso en $m^3 ton^{-1}$
$HH_{prod}[i]$	Huella Hídrica del producto i en $m^3 ton^{-1}$
$f_i[p]$	Fracción de valor (adimensional)
$f_p[i,p]$	Fracción de producto (adimensional)

Sector Energía

La huella hídrica del sector energía va a variar dependiendo de la tecnología que se utilice en la generación de la energía. En Chile, en base al último catastro de generación energético, el 27% de la producción neta del sistema interconectado central SIC es producida por generación hidráulica de embalse.

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

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

Ecuación 20 Evaporación desde superficies Penman –Monteith

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

E	Evaporación diaria (mm)
Δ	Pendiente de la curva de presión de vapor de saturación (kPa/°C)
γ	Constante psicométrica (kPa/°C)

h_o	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),
(v)	Función de la velocidad del viento (mm/día Kpa)
(a)	Presión de vapor de saturación a la temperatura media del aire (Kpa)
(d)	Presión de vapor a la temperatura media del aire (Kpa)

El resto de las tecnologías deben ser analizadas caso a caso, y deben ser consideradas como un proceso industrial en el cual la huella hídrica es el agua consumida y no devuelta al sistema. El cálculo considera las entradas de agua a cada proceso desde las diferentes fuentes 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)

Para estimar la HH del sector eléctrico sería necesario conocer el mix energético y la situación espacial de la producción eléctrica del país. De nuevo hay que tener en cuenta, dependiendo de las fuentes finales de datos, de **evitar la doble contabilidad** con la HH industrial y urbana.

La HH del sector eléctrico presenta dos casos muy concretos. La HH de la producción hidroeléctrica y el resto de tecnologías.

Sector Doméstico (consumo de agua urbano y rural)

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

Ecuación 21 Huella hídrica del sector doméstico

$$HH_{Sector\ Doméstico} = \left[\sum HH_{Azul\ i} + HH_{Gris\ i} \right] * n^{\circ} personas$$

Dónde:

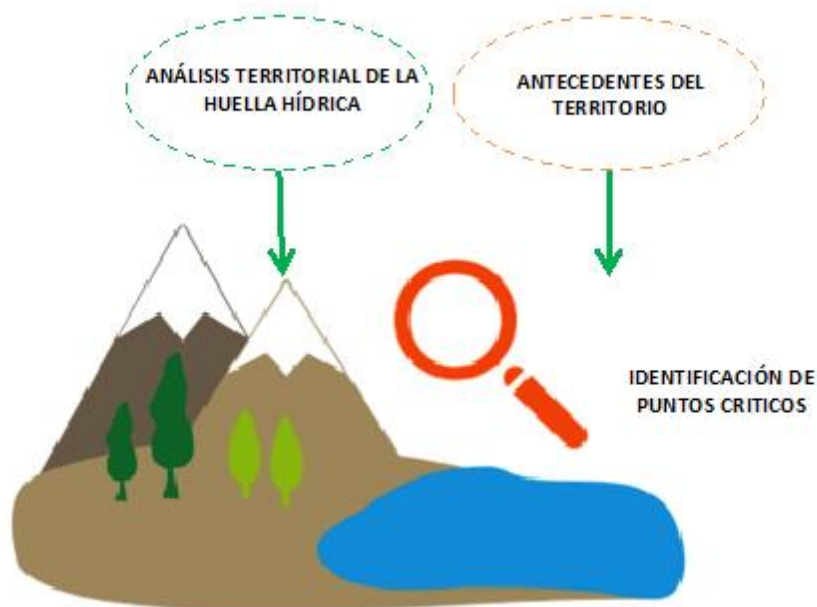
HH sector doméstico	Huella Hídrica del sector en m ³
HH Azul i	HH azul proceso i m ³ año ⁻¹
HH Gris i	HH gris proceso i m ³ año ⁻¹
Personas	n° de personas m ³ año ⁻¹

4.2.2.2. Descripción del Análisis de sustentabilidad de la Huella Hídrica¹¹

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 (cuenca) por múltiples usuarios.

Figura 10. Representación gráfica del análisis de sustentabilidad propuesto por Fundación Chile, en base a metodología de Water Footprint Network.



Fuente: elaboración propia.

Dentro de la metodología de evaluación de la Huella Hídrica propuesta por el WFN (Hoekstra, Chapangain, Aldaya, & Mekonnen, 2011) se mantuvieron los pasos o fases 1 y 2, pero para la aplicación de la fase 3 (análisis de la sustentabilidad) se realizaron algunas modificaciones que buscaron enriquecer el análisis y fortalecer la herramienta, permitiendo así al usuario final (DGA u otro servicio público o privado) identificar puntos críticos de

¹¹ Propuesta de Fundación Chile en base a la metodología del Water Footprint Network.

una manera más holística lo que amplía las opciones que permitirán disminuir o eliminar los impactos y/o riesgos identificados en los puntos críticos.

Además se definió que para evaluar la sustentabilidad de las diferentes Huellas Hídricas (HH), se ha visto que es importante que la escala sea igual o menor a una cuenca. Esto se debe a que a ese nivel es posible comparar las HH azules y verdes con la cantidad de agua superficial y subterránea disponible y la HH gris con la capacidad de asimilación de los diferentes ríos. 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 año.

El análisis de sustentabilidad consta de dos pasos:

El **primero** consiste en conocer los antecedentes del territorio que se está evaluando. Existen antecedentes del tipo ambiental, social y económico. Este punto, en comparación con lo propuesto por el Water Footprint Network (WFN), se amplió la información a recopilar y evaluar en el territorio de manera que la identificación de puntos críticos entregase una mayor cantidad de información para la toma de decisiones. Estos antecedentes son inherentes al territorio estudiado. 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 solo 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.

Por ejemplo en el caso del piloto se consideraron:

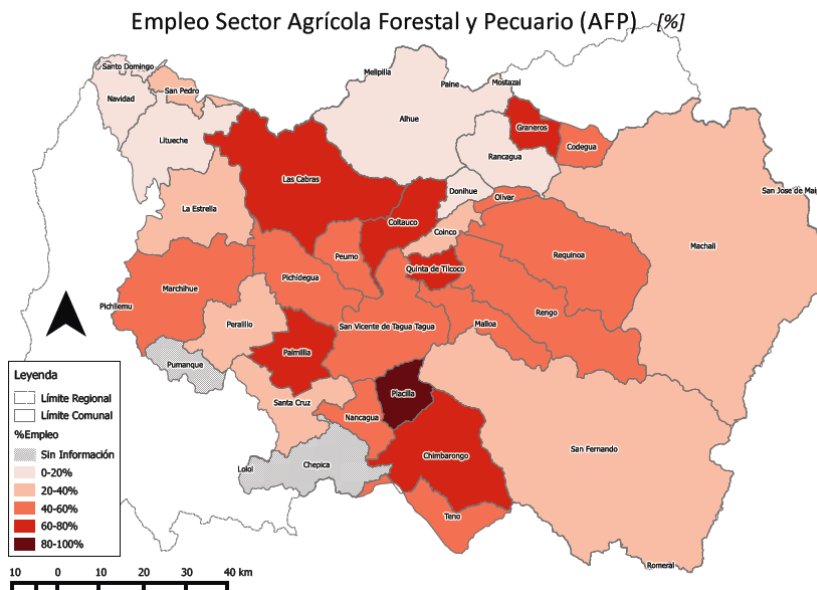
- Antecedentes Ambientales
 - Evaluación de la contaminación difusa – En el caso del piloto, la contaminación difusa se evaluó de acuerdo a los rangos propuestos por la CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad. Se consideró esta metodología ya que actualmente no existen normas secundarias para todos los sectores de la región, sin embargo, se recomienda utilizar la normativa vigente en caso de existir.
 - Presencia de áreas de protección
 - Presencia de especies acuáticas vulnerables
 - Modificaciones hidro-morfológicas

- Descargas de residuos
- Extracciones de agua
- Antecedentes socio económicos
 - Acceso a alcantarillado
 - Empleo por sector
 - Aporte del sector al PIB regional

Para cada uno de estos antecedentes se definió un indicador y un rango de afectación.

Basado en los antecedentes relevantes y los indicadores definidos que se debe evaluar el territorio y en base a estos para identificar en qué áreas se encuentran los puntos críticos (hotspots). Como por ejemplo, en la siguiente figura muestra se puede identificar claramente en qué comunas de la cuenca del río Rapel poseen una mayor dependencia del sector agroforestal.

Figura 11: Porcentaje del empleo que está relacionado con el sector silvoagropecuario



Fuente: elaboración propia en base a la Información obtenida desde el Servicio de Impuestos Internos (SII)

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



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 analizan como se distribuyen las huellas hídricas azul, verde y gris en el territorio.

La segunda parte consiste en evaluar si las respectivas huellas ejercen una presión en el territorio, para ello WFN propone dos índices para evaluar el territorio.

- Índice de estrés: compara la HH azul total del territorio con la cantidad/volumen de agua disponible para el consumo.

El volumen de agua disponible o "*caudal pasante*" se define como la diferencia entre la escorrentía natural del río y el requerimiento ambiental (caudal ecológico). Este indicador se mide preferentemente en una escala mensual, con el fin de evaluar las variaciones, de la demanda y la oferta que ocurren durante el año.

Ecuación 22 Índice de Estrés Azul (Hoekstra, et al. 2011,, adaptada por Fundacion Chile 2015)

$$Indice\ de\ Estrés_{azul} = \frac{\sum HH_{azul} [x, t]}{Caudal\ pasante[x, t]}$$

Dónde:

Índice de estrés _{azul}	Ratio entre la HH Azul y la disponibilidad de agua en la Cuenca (Adimensional).
HH azul	Sumatoria de las huellas azules que ocurren en la cuenca en el periodo de tiempo analizado.
Caudal pasante _t	Es la diferencia escorrentía menos el caudal ecológico que ocurren en la cuenca en un periodo de tiempo.
X=lugar; y =tiempo	

Ecuación 23 Disponibilidad (Hoekstra, et al. 2011, adaptada por Fundación Chile 2015)

Caudal Pasante (m^3/s)

= Caudal mensual(85% Probabilidad de excedencia)

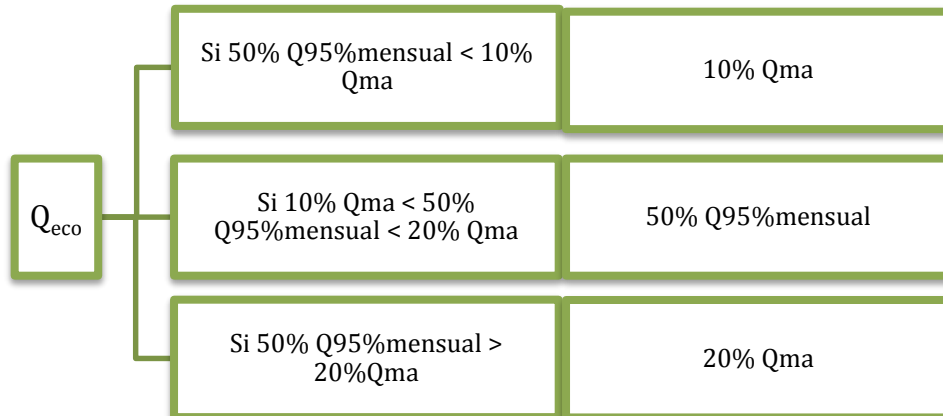
– Caudal ecológico

Caudales mensuales para un 85% de probabilidad de excedencia (m^3/s): corresponde caudal de un 85% de probabilidad de excedencia, 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 Decreto Supremo 14, se pueden definir dos metodologías de cálculo:

1. Para aquellos cauces en 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:

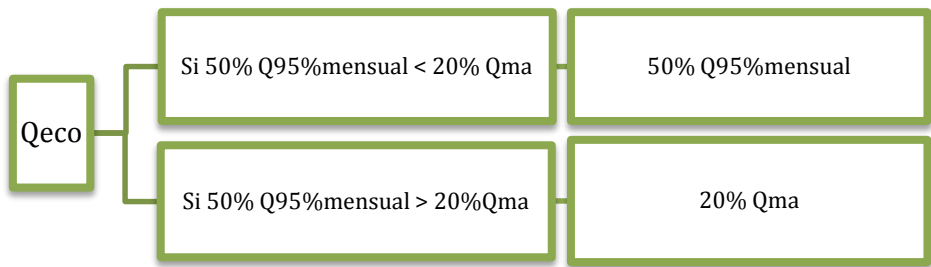
Figura 12. Criterios de determinación de Q_{eco} en base al 10% del caudal medio anual.



Fuente: Elaboración propia.

2. Para aquellos cauces en que se determinaron caudales ecológicos del menor cincuenta por ciento del caudal con 95% de probabilidad de excedencia, se considerará como caudal ecológico mínimo el cincuenta por ciento del caudal con 95%, para cada mes, con las restricciones siguientes:

Figura 13. Restricciones para determinación de caudal ecológico mínimo.



Fuente: elaboración propia.

Índice de contaminación: evalúa la capacidad de asimilación de contaminantes del ambiente mediante la comparación entre la HH gris total y la esorrentía

Ecuación 24 Índice de Contaminación (Hoekstra, Chapangain, Aldaya, & Mekonnen, 2011)

$$Indice\ de\ Contaminación_{gris} = \frac{\sum HH_{gris} [x, t]}{Caudal\ 85\% [x, t]}$$

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.

X=lugar; y =tiempo

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

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

- *Impactos primarios:* son aquellos que se pueden relacionar directamente en la disponibilidad y calidad del recurso

- *Impactos secundarios:* son aquellos impactos que no pueden ser atribuibles en un 100% a una causa, siendo multicausales. Por su parte, los impactos potenciales describen situaciones que se han identificado como puntos críticos, y que pueden eventualmente producir impactos. En este caso las medidas que se sugieran deben velar por disminuir el potencial riesgo identificado.

Una vez identificados y jerarquizados los impactos, esta información sirve a los tomadores de decisiones para generar soluciones o 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 territorial analizado.

Los puntos críticos 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 de aquellas situaciones identificadas que necesitan soluciones aplicadas.

En este caso, los puntos críticos han sido agrupados en tres tipos de soluciones posibles, **desde la perspectiva del servicio público que está desarrollando el estudio:**

- I. **Prioritarios:** Son aquellos puntos críticos que afectan el cumplimiento de las metas estratégicas regionales y el Estado tiene facultades para aportar en sus soluciones.
- II. **No prioritarios:** Son aquellos puntos críticos que no son prioritarios para la región por que no afectan en forma inmediata el crecimiento de la región, sin embargo el tiene facultades para aportar en soluciones concretas.
- III. **Desafíos:** Son aquellos puntos críticos que están afectando el cumplimiento de las metas estratégicas regionales, pero el Estado no tiene facultades para aportar en soluciones concretas. Por ello, el desafío es lograr coordinar a los distintos usuarios del agua (sociedad civil, Estado y privados principalmente), para buscar soluciones conjuntas de carácter voluntario y asegurar la disponibilidad del recurso para todos.

5. Estimación de Huella Hídrica: Macrozona Central¹²

Figura 14. Fases incluidas en el análisis.



Fuente: elaboración propia.

5.1. Fase 1: Definición de metas y objetivos.

En este caso el objetivo de esta actividad fue realizar la proyección de los resultados obtenidos para el piloto en el territorio comprendido entre la región de Valparaíso y la región del Maule (Macrozona Central) y evaluar si:

- i. **¿La información existente permite la medición de las HH azul, verde y gris?**
- ii. **¿Es posible medir tanto las HH directas e indirectas?**
- iii. **¿Cuáles son las principales limitantes para los cálculos?**
- iv. **¿Los resultados permiten realizar algún análisis relevante?**

Siguiendo con la metodología se definió el alcance del estudio en el cual se establecieron:

- **Resolución espacial:** El territorio comprendido fue desde la región de Valparaíso hasta la región del Maule.
- **Resolución temporal:** Dado que el estudio se basa únicamente en información oficial publicada existe alguna discordancia entre los años de publicación de datos de algunos sectores. En la siguiente tabla se puede apreciar que información se tomó en consideración para este análisis y las diferencias en temporalidad.

¹² La Macrozona Central incluye las regiones desde la Región de Valparaíso hasta la Región del Maule.

Tabla 8: Recopilación de Información por sector (continúa en la página siguiente)

Sector	Parámetro	Documento	Unidad espacial en la que se publica el dato	Institución
Sector Silvo agropecuario	<ul style="list-style-type: none"> - Superficie destinada a los diferentes cultivos agrícolas y forestales (ha) - Cantidad de animales por especie (cabezas) 	Censo Silvoagropecuario (2007)	País-Región Provincia-Comuna	Oficinas de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)
	<ul style="list-style-type: none"> - 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)
	<ul style="list-style-type: none"> - 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)

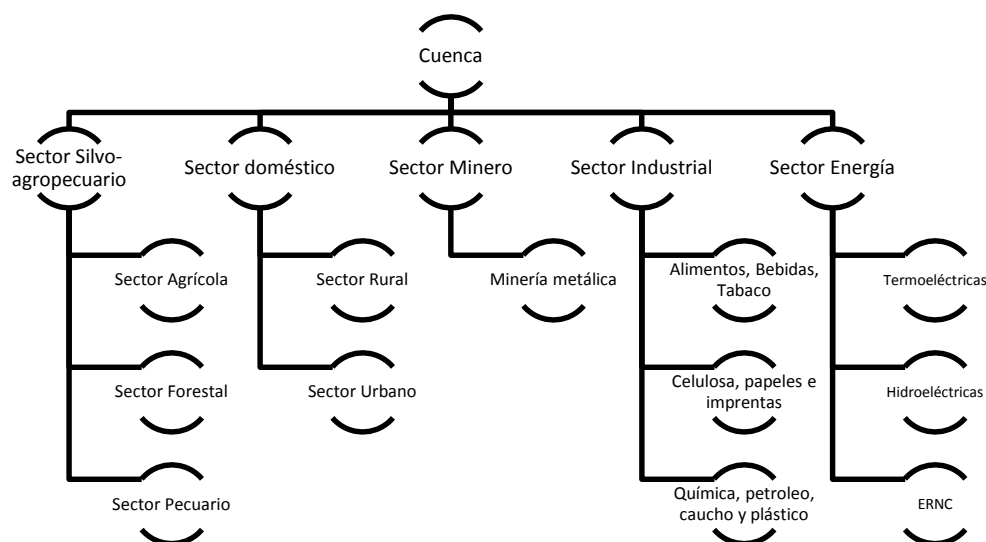
Tabla 9. Recopilación de Información por sector (continuación).

Sector	Parámetro	Documento	Un.espa cial 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)	Catastro Agroindustrial (2012)	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

Fuente: Elaboración propia.

- **Incertidumbre:** El grado de incertidumbre de la información es variable. En la estimación del uso de agua de los sectores se utilizaron fuentes secundarias de información que alimento a los modelos y con las cuales se calcularon las diferentes huellas.
- **Dada la escala del estudio la información que se utilizó fue a nivel regional lo que se debe tomar en consideración al momento del análisis. En este caso el estudio solo se llevó a cabo hasta la fase de contabilización de la huella por lo se analizaron solo los resultados obtenidos.**
- **Indicadores que se van a evaluar:** El objetivo del estudio fue realizar una medición de los tres parámetros de huella hídrica (azul, verde y gris) y considerar tanto el uso directo como indirecto en la medida que la información disponible así lo permita.
- **Límites:** En este caso se van a evaluar 5 sectores (Doméstico, Energía, Minería, Agroforestal y pecuario y la industria)

Figura 15: Actividades por sector que se puede encontrar en una cuenca



Fuente: Elaboración propia.

5.2. Fase 2: Medición de la Huella Hídrica

5.2.1. Recopilación de información

La recopilación de información se realizó en 2 líneas: i) Caracterización de las actividades que se desarrollan en el territorio en estudio, y ii) Información requerida para estimar las huellas hídricas de los distintos sectores.

5.2.1.1. Caracterización de las actividades que se desarrollan en la Macrozona

Según la DGA, en Chile se utilizan 4.710 m³ /s de agua al año, de éstos el 89% corresponde a usos no consuntivos y el 11% a usos consuntivo (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015). Dentro de los usos consuntivos el principal usuario de agua es el sector silvoagropecuario (73%), seguido por el sector industrial (12%), minero (9%) y sanitario (6%). En los usos no consuntivos las hidroeléctricas son las principales usuarios con aproximadamente 4.000 m³/s (Ayala, 2010; Banco Mundial., 2011; MOP., 2013; Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015).

Parte del sector sanitario a nivel nacional se abastece principalmente de aguas subterráneas. Cerca de un 40% de las zonas urbanas se abastece desde acuíferos y, para la zona rural este valor aumenta a un 76% (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015). Esta situación varía a lo largo de Chile, en la zona central 83% del agua potable rural se obtiene el agua a partir de algún acuífero. En el norte de Chile el agua potable se obtiene principalmente desde cursos superficiales o es obtenida a partir de la desalación de agua de mar y sólo localidades pequeñas se abastecen de aguas subterráneas (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015)

En relación a la situación productiva es variable dependiendo de la región de la que se trate. Para caracterizar las regiones que componen la macrozona, se evaluó qué información estaba disponible y a qué grado de agregación territorial esta se encontraba, ej.: país- región- comuna-cuenca.

Se realizó un levantamiento de información referente a la producción existente en el país (ej. superficie plantada, número de personas, tipo de empresas y productividad, etc.), la institución que la recoge y la periodicidad en que esta es publicada. Para ello se revisaron las páginas web de las distintas instituciones de gobierno recopilando la información disponible.

También se solicitó vía transparencia aquella información que fuese relevante pero que no estuviese publicada (Ver Tabla 8).

La importancia de cada uno de los sectores se puede ver reflejada en su aporte al Producto Interno Bruto Regional (PIBR), publicado anualmente para todas las regiones (Ver Tabla 10)

Tabla 10: Aporte de los Sectores económicos al PIB regional.

	Región de Valparaíso	Región de RM	Región Gral. Bdo O'Higgins	Región de Maule
Agropecuario-silvícola	3%	1%	12%	12%
Pesca	0%	0%	0%	0%
Minería	17%	1%	25%	1%
Industria Manufacturera	15%	11%	13%	16%
Electricidad, gas y agua	0%	2%	5%	16%
Construcción	7%	5%	9%	10%
Comercio, Restaurantes y hoteles	8%	16%	6%	8%
Transporte y Comunicaciones	15%	7%	6%	8%
Servicios financieros y empresariales	8%	36%	8%	6%
Servicios de vivienda	7%	6%	4%	4%
Servicios personales	13%	13%	8%	13%
Administración pública	6%	4%	4%	6%

Fuente: (Banco Central, 2015)

A continuación se caracteriza cada uno de los sectores para cada región analizada.

5.2.1.1.1. Sector Silvoagropecuario

En este sector se incluyen las actividades agrícolas, pecuarias. El uso de agua es principalmente para riego. Las extracciones consuntivas permite el

riego de 1,1 millones de hectáreas entre la región de Coquimbo y Los Lagos (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015; MOP., 2013).

En relación a la productividad, el sector silvoagropecuario en año 2013 aportó en un 2.6% al PIB Nacional, siendo las regiones de O'Higgins (19,0%), seguida por Biobío (16,0%), Maule (15,2%) y Metropolitana (11,6%) las que más aportan a este número (ODEPA. O. d., 2013b)

El aporte del sector al PIB regional (PIBR) se comporta en forma diferente, dado que otros sectores económicos, como la minería o la industria, pueden pasar a ser proporcionalmente más relevantes para la región. De acuerdo a datos del 2012 el sector silvoagropecuario contribuyó de manera importante para la Región del Maule (12,2%), seguida por O'Higgins (12,0%) (ODEPA. O. d., 2013b).

La importancia del sector agropecuario a nivel económico va de la mano con la generación de empleo. El empleo para el sector es en gran medida estacional ya que tiende a aumentar en la temporada de primavera-verano, cuando se concentran las principales labores agrícolas, y se contrae en la temporada otoño-invierno. A pesar de estas variaciones estacionales el sector es uno de los sectores que provee más puestos de trabajo en la economía (cerca de 10% en promedio, en la temporada alta) (INE., 2014a). A nivel regional esto se intensifica, donde en algunas regiones la agricultura aporta cerca de 30% del empleo regional, como es el caso de Maule (27,5%), O'Higgins (23,8%), La Araucanía (21,3%) y Los Ríos (19,5%).

5.2.1.1.1.1. Subsector Agrícola

En base al catastro de bosque nativo (disponible en <http://sit.conaf.cl>), del total de 75,6 millones de hectáreas que conforman Chile continental, la superficie destinada a explotaciones agropecuarias suma aproximadamente 3,4 millones de hectáreas.

En cuanto a otros usos de suelo, un total de 16,5 millones de hectáreas están cubiertas por bosque; 21,3 millones de hectáreas, por praderas naturales; 30,5 millones de hectáreas corresponden a áreas sin vegetación, humedales, nieves y glaciares y otros y 242 mil hectáreas presentan un uso indirecto en infraestructura, fundamentalmente en caminos y canales (CONAF, Varios años; INFOR 2014).

a) *Frutales Mayores y Menores*

De acuerdo a publicaciones de ODEPA (catastros e inter-catastros frutícolas), la superficie plantada con frutales ha experimentado un aumento de un 25% durante el periodo 2007-2014 de 237 mil hectáreas el año 2007 (INE., 2007) a 297 mil hectáreas estimadas en base a los catastros frutícolas para el 2014. Las 10 especies que concentran las mayores superficies a nivel nacional son: la vid de mesa, nogales, Manzanos rojo y verde, paltos, olivos, ciruelos, cerezos, duraznos, kiwis y almendros (Ver tabla 9).

Tabla 11: Variación en la superficie nacional por tipo de especie frutal.

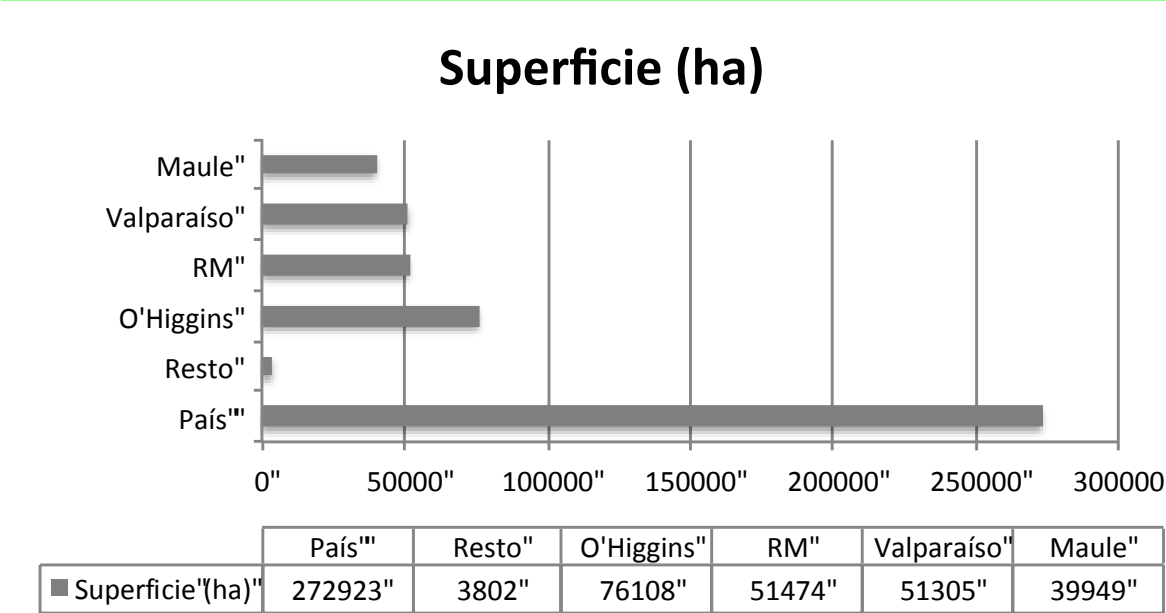
Especies	2007 (has)	2014 (has)	% Variación	Aporte a la Superficie nacional Frutales (2014)
Vid de mesa	50846	52234	3%	18%
Manzanos	34972	37207	6%	13%
- <i>Manzano rojo</i>	27697	29698	7%	10%
- <i>Manzano verde</i>	7275	7509	3%	3%
Paltos	26759	31727	19%	11%
Nogal	10067	24404	142%	8%
Olivos	8001	19737	147%	7%
Ciruelos total	14889	17408	17%	6%
- <i>Ciruelo japonés</i>	8437	5612	-33%	2%
- <i>Ciruelo europeo</i>	6452	11796	83%	4%
Cerezos	9922	16933	71%	6%
Duraznos total	13152	12928	-2%	4%
- <i>Durazno consumo fresco</i>	5606	2787	-50%	1%
- <i>Durazno conservero</i>	7546	10140	34%	3%
Kiwis	8734	10632	22%	4%
Almendros	5827	8569	47%	3%
Naranjos	8210	7452	-9%	3%
Perales (europeo y asiático)	6639	7299	10%	2%
Limoneros	7173	5993	-16%	2%
Nectarinos	6819	5209	-24%	2%
Otros frutales	25649	39313	53%	13%
Total	237660	297044	25%	100%

Fuente: Estimaciones ODEPA, 2015.

El aporte de las distintas regiones a la superficie total nacional plantada de frutales es variable (Tabla 12). La zona desde la región de Valparaíso hasta

la región del Biobío, incluyendo la región Metropolitana, concentran el 82% de la superficie plantada. De estas, destacan las regiones de O´Higgins (25%) y el Maule (21%) (Ver Figura 16 y Tabla 12)

Figura 16: Estimación del aporte regional a la superficie total nacional.



Fuente: elaboración propia en base a Censo Agropecuario 2007.

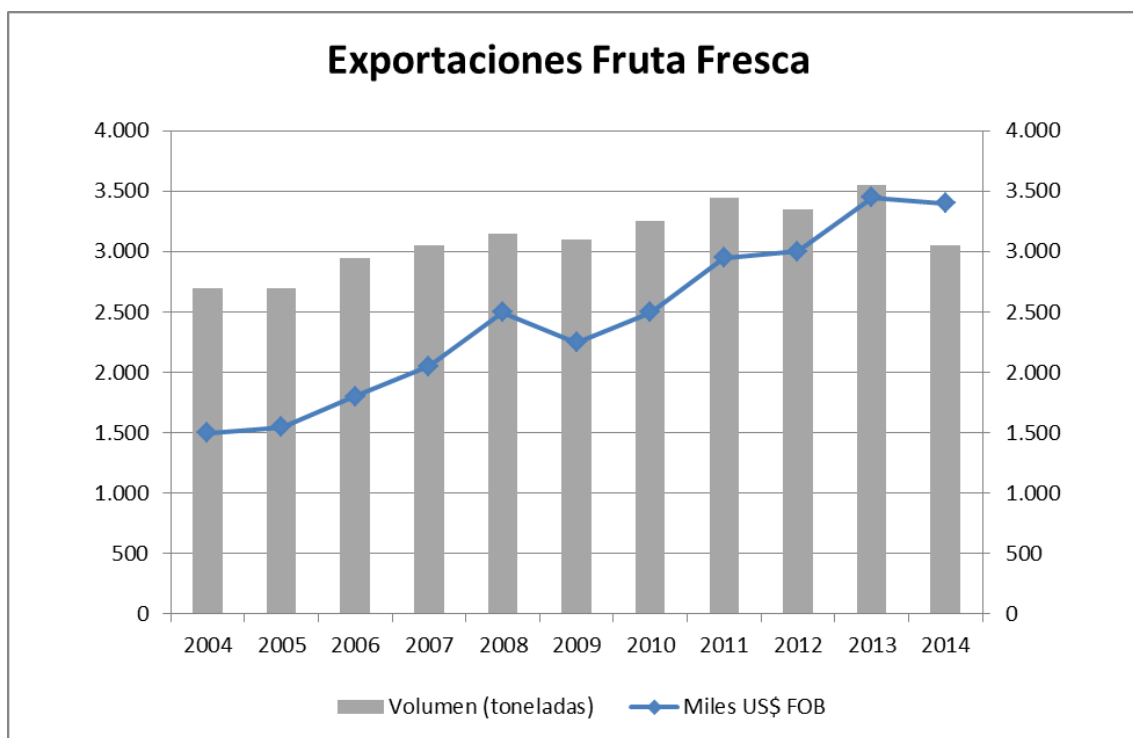
Tabla 12 Superficie principales frutales Macrozona central (Región Valparaíso – Región del Maule), en ha.

	Superficie (ha)				
	V	VI	VII	RM	País
Totales	51305	76108	39949	51474	272923
Uva de mesa	13031	16942	349	12453	62463
Manzano rojo	140	6911	16517	462	28384
Manzano verde	147	3764	3324	153	9029
Palto	22242	2954	87	7214	39887
Nogal	2945	2626	728	6162	14720
Olivo	1505	2377	3539	1425	16121
Ciruelo europeo	268	7335	755	3723	12169
Ciruelo japonés	269	3300	878	2376	6878
Cerezo	175	4204	5964	966	13584
Duraznero consumo fresco	580	3212	119	1893	6496
Duraznero tipo conservero	3456	5021	513	1322	10387
Nectarino	363	3137	23	1698	5314
Kiwi	256	3051	5048	887	9957
Almendro	882	2578	105	3399	7892
Limonero	2067	912	183	3070	7974
Naranja	1821	3618	141	2396	9291
Peral europeo	192	3582	1487	889	6625

Fuente: Censo Agropecuario (2007)

También se considera a la industria frutícola una de las más importantes para el desarrollo de nuestro país, al generar una fuente importante de empleos e inversiones. En la Figura 12, se ve que las exportaciones de fruta fresca han aumentado un 10% en los últimos 10 años, y su valor se ha más que duplicado durante el mismo periodo.

Figura 17: Evolución de las exportaciones de fruta fresca entre el 2004 y 2014.



Fuente: Elaboración propia en base a Aduanas de Chile, 2015.

Las principales especies exportadas se presentan en la siguiente tabla, destacando en los dos primeros lugares la uva de mesa y manzana. Seguido por las cerezas, arándanos y paltas, que han crecido intensamente estos últimos años.

Si bien son muchas las especies frutales las que se exportan, términos del valor, las principales son: uva de mesa, manzanas, cerezas, arándanos, paltas, kiwis, peras, ciruelas y cítricos (clementinas, naranjas y limones). Ver tabla 11.

Los principales destinos de las exportaciones (Tabla 14) son Estados Unidos, que es el principal importador de fruta chilena, seguido por en importancia el bloque europeo, donde Holanda y Reino Unido son la puerta de entrada para abastecer a otros países de la región.

Tabla 13: Principales frutas exportadas durante el 2014

Fruta	Miles US\$ FOB	Volumen (Toneladas)
Uvas	1.129.858	732.306
Manzanas	693.852	820.883
Cerezas	414.935	85.246
Arándanos	407.318	83.551
Paltas	169.040	111.654
Kiwis	162.572	102.746
Peras	138.934	139.396
Ciruelas	69.166	45.609
Clementinas	60.898	56.040
Naranjas	54.016	57.445
Limones	47.076	43.189
Nectarinos	45.913	27.744
Duraznos	31.925	20.436
Otras frutas	24.056	10.082

Fuente: Aduanas de Chile, 2015.

Tabla 14: Exportaciones por país (Volúmenes y valores).

País	Volumen (toneladas)		Valor (USD miles FOB) *	
	2013	2014	2013	2014
Estados Unidos	881.687	744.794	1.560.594	1.535.646
Países Bajos	282.435	234.284	424.485	653.081
China	171.272	170.861	503.207	409.154
Colombia	126.696	125.744	132.116	207.914
Reino Unido	102.809	106.046	191.561	181.971
Brasil	110.969	96.097	191.140	171.943
Ecuador	79.938	85.241	79.554	126.290
Taiwán	67.302	66.512	104.499	111.213
Perú	57.882	62.364	48.111	98.001
Corea del Sur	59.902	58.270	150.063	90.796
Rusia	98.367	55.585	132.358	85.526
India	17.491	48.762	14.858	80.831
Subtotal	2.056.750	1.854.559	3.532.547	3.752.366
Otros países	649.451	510.734	1.056.748	871.196
Total	2.706.201	2.365.293	4.589.295	4.623.562

Fuente: (ODEPA. O. d., Boletín frutícola 2015, 2015h)

Cultivos Anuales

La superficie destinada a cultivos anuales ha disminuido 17,4% si se comparan las temporadas 2002-2012 (ODEPA, 2013). Esta reducción ha ocurrido principalmente en trigo, leguminosas, remolacha y papas, las que han sido parcialmente (Aduanas Chile., 2015) compensadas con aumentos maíz, raps, avena, triticale y lupino (Tabla 15) (ODEPA, 2013).

Tabla 15: Variación en la superficie y rendimiento de los principales cultivos anuales.

Tipo	Cultivo	Superficie nacional		Variación %	Rendimiento qqm/ha)		Variación %
		2001/02	2014/15		2001/02	2014/15	
Granos	Trigo	426100	270.108	-37%	42,7	52,9	24%
	Maíz	87270	124.019	42%	105,9	118,8	12%
	Avena	93250	107.102	15%	44,6	38,2	-14%
	Arroz	27980	23.220	-17%	50,7	62,7	24%
	Cebada	17450	6.341	-64%	44,2	44,7	1%
Leguminosas y tubérculos	Lupino	14540	8.340	-43%	21,4	11,3	-47%
	Poroto	28190	15.604	-45%	16	10,5	-34%
	Papa	61360	51.167	-17%	212,4	180,3	-15%
Cultivo Industrial	Remolacha	47430	19.210	-59%	673	904,3	34%
	Raps	750	48.680	6391%	26,9	38,8	44%
	Maravilla	1530	2.632	72%	17,6	15,7	-11%

Fuente: INE, 2015.

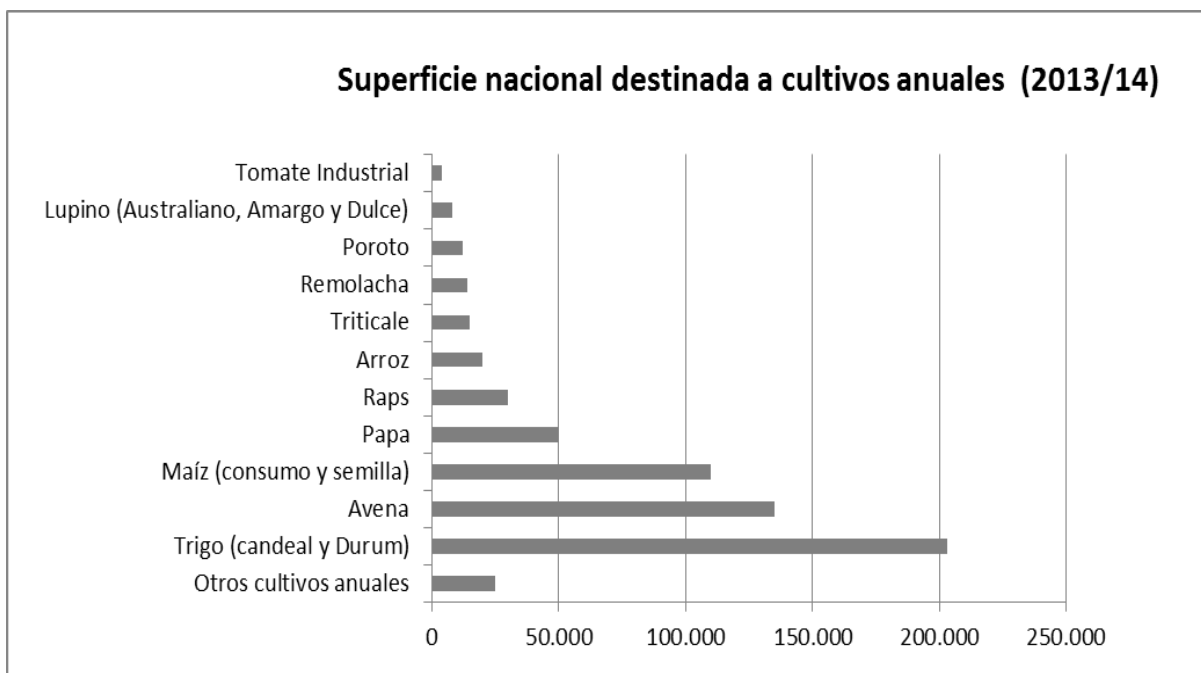
Según INE (2014) los cultivos más importantes a nivel nacional son trigo (37%), avena (19%), maíz (17%), papa (7%) y raps (5%). En la siguiente tabla se puede ver la distribución de la superficie por región basado en los resultados del Censo Agropecuario 2007. En la Figura 18, se puede observar la distribución actual de la superficie nacional por cultivo (2014/2015)

Tabla 16: Superficie destinada a cultivos anuales por región (Macrozona central).

Región	Superficie (ha)				
	V	VI	VII	RM	Total País
Total Regional	10.235	83.373	132.454	28.270	893.880
Trigo	2.384	7.487	24.196	3.505	230.669
Avena	484	999	1.322	160	82.113
Maíz	1.162	56.676	40.253	14.086	125.784
Cebada	193	299	917	203	18.593
Arroz	0	273	17.336	0	21.765
Poroto	267	755	5.220	383	11.643
Papa	2.195	1.727	3.377	5.258	54.189
Remolacha	52	576	5.222	34	20.915
Maravilla	6	914	1.491	550	3.548
Raps	276	0	141	5	11.312
Lupino	0	46	82	0	2.046
Tomate Industrial	100	2.635	4.062		7.022

Fuente: Censo Agropecuario 2007.

Figura 18: Superficie nacional destinada a cultivos anuales temporada 2013/14.



Fuente: Elaboración propia con Información INE (2015).

De acuerdo a los resultados de la siguiente tabla, las regiones de la Araucanía, BioBio, Maule y O'Higgins concentran el 88% de la superficie

destinada a cultivos anuales. El 13 % restantes se distribuye en el resto de las regiones.

Tabla 17: Distribución de la superficie nacional destinada a los cultivos anuales e industriales más importantes, por región.

	Trigo	Avena	Maíz	Papa	Raps	Arroz	Remolacha	Tomate industrial
Coquimbo	1%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	0%
Valparaíso	1%	0%	1%	3%	0%	0%	0%	0%
O'Higgins	4%	1%	41%	3%	0%	0%	0%	56%
Maule	12%	2%	34%	7%	2%	78%	29%	44%
Biobío	33%	22%	15%	18%	18%	22%	68%	0%
Araucanía	39%	63%	0%	27%	66%	0%	3%	0%
Los Lagos	4%	5%	0%	22%	6%	0%	0%	0%
RM	2%	1%	9%	7%	0%	0%	0%	0%
Los Ríos	5%	5%	0%	8%	7%	0%	0%	0%

Fuente: INE, 2015.

A nivel regional, las regiones del Biobío y La Araucanía concentran el 72% de las siembras de trigo. El rendimiento promedio nacional fluctúa entre los 52 qqm/ha. Pese a que existe producción nacional de trigo, esta no da abasto para satisfacer la demanda nacional que debe ser importado. En la Tabla 18, se puede ver la proyección de las importaciones de trigo.

Tabla 18: Importaciones Trigo.

Importaciones de Trigo		
Año	Volumen (Toneladas)	Valor CIF (Miles US\$)
2007	996.333	259.942
2008	778.467	301.489
2009	663.605	160.743
2010	614.636	152.152
2011	625.442	214.829
2012	873.949	272.573
2013	890.022	308.024
2014	746.723	232.523
Ene-Abr 2015	190.440	55.569
Ene-Abr 2014	170.827	55.471
Var. %	11,5%	0,2%

Fuente: Servicio Nacional de Aduanas, 2015.

Los precios de internación de trigo varían según los stocks disponibles de los principales países exportadores de relevancia para nuestro país (EEUU, Canadá y Argentina) y la demanda internacional

Las regiones del Biobío y La Araucanía concentran el 86% de las de avena donde los rendimientos son cercanos a los 38 qqm/ha, respectivamente (INE, 2015) El maíz en cambio se concentra su producción principalmente en las regiones de O'Higgins y el Maule (75%) pero es principalmente destinado a la producción animal. Las siembras de papa se concentran en el sur del país: entre las regiones del Biobío y Los Lagos se siembra el 67% de la superficie nacional.

El raps se concentra en las regiones del Biobío y La Araucanía, que reúnen el 81% de las siembras. La mayor parte del arroz se siembra en la Región del Maule, que concentró el 78% de la superficie nacional. Las importaciones de arroz son relevantes para el mercado nacional.

b) Vides

Según el último Censo Agropecuario (2007) el 80 % de la superficie destinada a vides se encontraba entre las regiones de Coquimbo y el Maule (Tabla 19).

Tabla 19: Superficie (ha) destinada a viñas (2007).

Regiones	Total Viñas Riego	Total Viñas Secano	Total Parronales	Total Región	% participación
Valparaíso	7.027	107	125	7.258,7	6%
O'Higgins	29.917	1.471	4.489	35.876,4	28%
Maule	32.091	9.612	4.407	46.110,2	35%
RM	11.603	92	631	12.326,3	9%
Total general	84.997	25.331	20.113	130.440,8	100%

Fuente: Censo Agropecuario 2007.

En Chile para el año 2013 existían 130,361 hectáreas dedicadas a Uva vinífera, de las cuales la zona central comprendida entre la región

metropolitana y la séptima región concentra el 83% de la superficie nacional (Catastro Vitivinícola nacional, 2013).

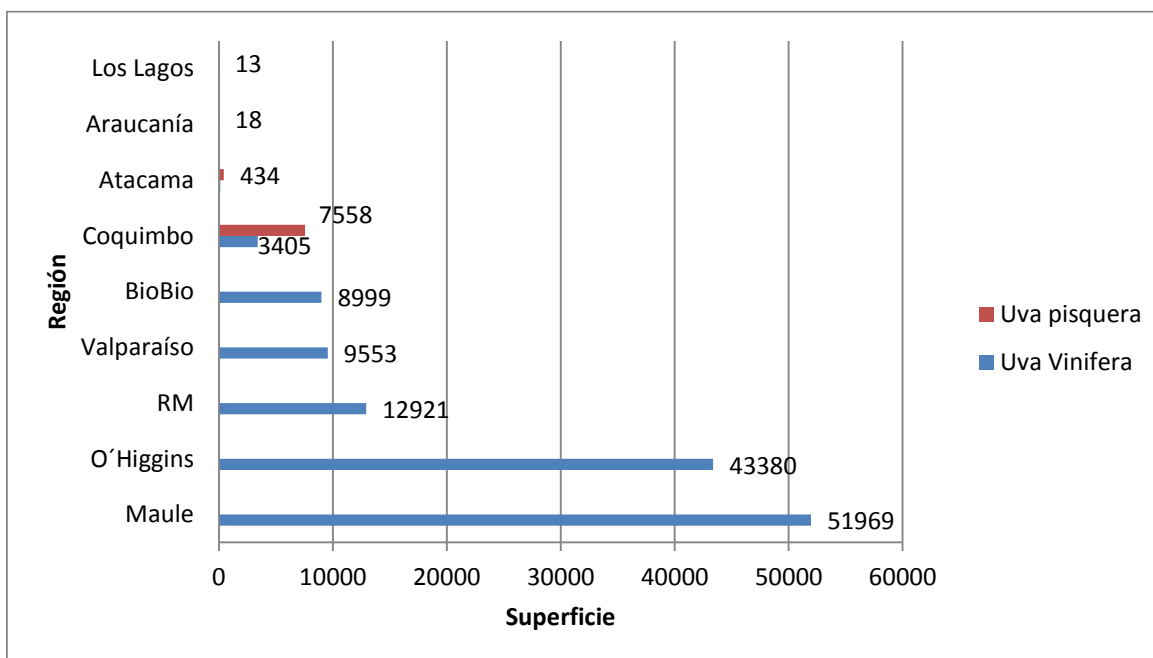
Tabla 20: Superficie y producción de vides para vinificación, de mesa y pisqueras.

Año	Superficie de Vides				Producción de vinos para consumo			Producción
	Viníferas	De mesa	Pisqueras	Total	Viníferas	De mesa	Total vino	Vino
	(hectáreas)				(miles de litros)			pisquero
2007	117.559	55.119	9.982	182.661	791.794	35.952	827.746	120.083
2008	104.717	-	-	-	824.642	43.655	868.297	92.221
2009	111.525	-	-	-	981.772	27.520	1.009.292	39.722
2010	116.831	-	-	-	840.891	43.522	884.413	63.411
2011	125.946	-	7.463	149.237	946.640	99.741	1.046.381	116.408
2012	128.638	-	7.721	136.359	1.187.672	67.699	1.255.371	105.958
2013	130.362	-	7.994	138.355	1.210.742	71.353	1.282.095	105.157

Fuente: ODEPAe, 2015.

La región del Maule (40%) y la región de O´Higgins (33%) concentran el 73 % de la superficie destinada a uva vinífera.

Figura 19: Distribución de la superficie nacional destinada a uva vinífera, por región.



Fuente: Catastro vitivinícola, 2013.

Tabla 21: Evolución de la superficie plantada por región.

Regiones	Catastro 2012 (ha)			Catastro 2013 (ha)			Var 2012/13
	Blancas	Tintas	Total	Blancas	Tintas	Total	Total
Valparaíso	5.962	3.505	9.467	5.974	3.579	9.553	1%
RM	1.749	11.222	12.679	1.742	11.179	12.679	0%
O'Higgins	5.942	36.251	42.193	6.112	37.268	43.380	3%
Maule	13.868	37.745	51.613	14.023	37.946	51.969	1%
Total nacional	97	7	104	97	7	104	1%

Fuente: ODEPAe, 2015.

No toda la superficie destinada a uva vinífera está bajo riego, a nivel nacional un 89% de la superficie recibe riego tecnificado de algún tipo, 10%

produce en condiciones de secano y un 1% en condiciones de vega (Tabla 22) (Catastro Vitivinícola Nacional, 2013).

Tabla 22: Principales tipos de riego que se realizan por región

Regiones	Riego	Secano	Vega
Valparaíso	99%	0%	1%
O'Higgins	98%	2%	0%
Maule	86%	12%	1%
R M	100%	0%	0%
Total Nacional	89%	10%	1%

Fuente: Catastro Vitivinícola 2013.

La superficie dedicada a uva pisquera es considerada en forma separada en el catastro, registrándose 7.993 hectáreas (Figura 19) declaradas al año 2013. De éstas, el 95% se encuentra en la región de Coquimbo y el 5% restante se encuentra en la región de Atacama (Catastro Vitivinícola nacional 2013). En ambas regiones la producción es 100% bajo riego.

La producción se destina a la producción de vinos, que posteriormente son comercializados tanto en el mercado nacional como internacional.

c) Hortalizas

Según el Censo agropecuario 2007, las principales especies cultivadas por región son el choclo, lechuga, tomate consumo fresco, zapallo temprano y de guarda y las principales regiones productivas se encuentran entre Coquimbo y la región del Biobío.

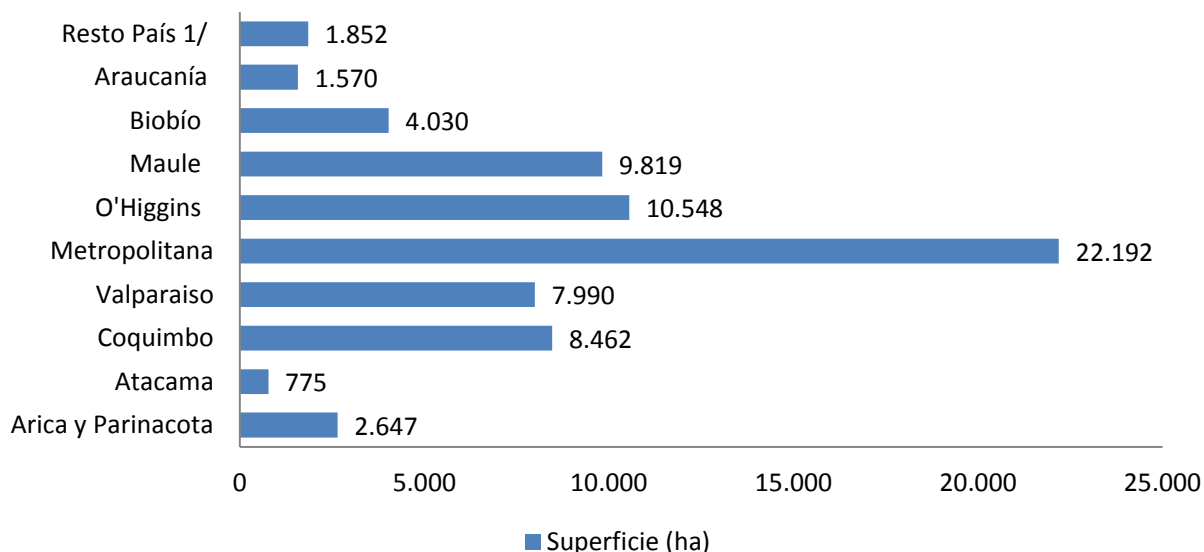
Tabla 23: Superficie (ha) destinada a hortalizas, por región (Macrozona central).

	Valparaíso	L B O'Higgins	Maule	RM	Total País
Totales	10.225	13.134	11.784	25.417	95.954
Choclo	982	1.593	1.794	3.324	10.592
Lechuga	1.293	151	438	3.251	7.040
Tomate consumo fresco	1.186	1.069	945	1.087	6.364
Zapallo temprano y de guarda	62	1.813	675	2.471	5.230
Alcachofa	1.114	61	66	763	5.153
Cebolla de guarda	308	1.647	509	1.493	4.133
Zanahoria	828	73	87	1.032	3.988
Melón	64	1.567	496	721	3.116
Arveja verde	261	266	465	366	3.036
Sandia	48	1.246	1.133	410	2.986
Poroto granado	716	253	451	939	2.816
Espárrago	15	71	916	120	2.630
Cebolla temprana	257	219	90	1.072	2.027
Haba	137	67	124	837	1.978
Pimiento	138	375	136	241	1.662
Repollo	518	157	282	354	1.603
Ajo	253	402	7	322	1.224

Fuente: Censo Agropecuario 2007.

Al año 2013 las hortalizas se cultivan en la zona central del país entre las regiones de Atacama y del Biobío, incluida la Región Metropolitana (90% superficie nacional destinada a hortalizas) (INE, 2014).

Figura 20: Distribución de la superficie nacional destinada a hortalizas, por región.



Fuente: INE., Encuesta de superficie hortícola 2014, 2014b.

La Región Metropolitana es la mayor región productora, por su cercanía a los principales mercados mayoristas del país.

Al comparar las últimas estimaciones con las publicadas en el Censo del 2007, se puede observar que la superficie con hortalizas ha disminuido notablemente (Tabla 24). Según el catastro publicado por INE (2014) se estimó que superficie total de hortalizas para el 2014 fue de 69.884 hectáreas, lo que implicó un aumento del 4% con respecto al 2013. Dentro de las especies a las cuales se les destina más superficie a nivel nacional se encuentran el maíz (choclo) (9.727 hectáreas), lechuga (6673 hectáreas) y el tomate (5038 hectáreas).

Al analizar las cifras por especie, destaca el incremento anual (2013-2014) en la superficie ocupada con lechuga (23%), zanahoria (22%), porotos verdes (17%%) y alcachofa (11%). Por otra parte, se observa una fuerte baja en la superficie sembrada de cebolla temprana (-15%), arveja verde (-13%) y haba (-7%).

Tabla 24: Evolución de la superficie destinada al cultivo de hortalizas a nivel nacional.

	Superficie (Hectáreas)						Variación	%
Cultivo	2007	2010	2011	2012	2013	2014	2014/2013 (%)	Total Superficie
Choclo	10500	11234	10813	13358	9772	9727	0	14%
Lechuga	6885	7309	7502	7293	5426	6673	23	10%
Tomate Consumo Fresco	6309	5165	4902	5463	4908	5038	3	7%
Cebolla de Guarda	4087	4197	4359	4338	4347	4454	2	6%
Zapallo temprano y de guarda	5086	5878	5673	4518	4069	3989	-2	6%
Zanahoria	3820	3751	4309	3990	3069	3743	22	5%
Poroto Granado	2760	3324	3163	3197	3207	3360	5	5%
Melón	3054	3279	3197	3805	2957	3187	8	5%
Sandía	2906	3264	3281	2694	2881	2746	-5	4%
Poroto Verde	2838	3172	3195	2445	2251	2623	17	4%
Cebolla temprana	1938	1990	2009	2839	2724	2312	-15	3%
Espárrago	2215	2759	2701	2396	2305	2103	-9	3%
Arveja Verde	2873	2185	2730	2172	2221	1925	-13	3%
Alcachofa	4996	4651	4409	2959	1733	1916	11	3%
Repollo	1539	1753	1485	1813	1682	1713	2	2%
Haba	1904	2359	2209	1532	1744	1627	-7	2%
Resto de las Hortalizas	20111	15452	17212	15431	13275	14080	102	20%
Total Nacional	82.275	81.721	83.149	78.755	67.297	69.885	4	100%

Fuente: INE, 2014.

El sistema de riego varía dependiendo de la región y del cultivo. A nivel nacional las hortalizas se riegan mediante el método de surco (81%) seguido por el sistema de riego por cinta (10%). No hay estudios sobre eficiencias de riego.

Tabla 25: Métodos de riego, por región.

Región	Métodos de riego (% de la superficie)						
	Asper sión	Carrete o pivote	Goteo y cinta	Micro asper sión	Surco	Ten di do	Otro/ tradiciona l
País	1,9	1	10,1	0	81,1	5,3	0,6
Valpo.	2,5	-	7,8	-	76,8	12,1	0,8
O'Higgins	-	-	0,8	-	95,8	3	0,4
Maule	8,6	5,1	0,5	0,1	85,7	-	-
RM	13,6	-	86,2	0,2	-		

Fuente: INE, 2010.

En relación a los rendimientos unitarios de las hortalizas en los últimos años, existen antecedentes recogidos en un estudio realizado por INE para las temporadas 2008/2009 que indican que se han producido avances importantes.

Entre los resultados destaca el rendimiento unitario del tomate para consumo fresco, de 71,1 t/ha a nivel nacional, el que alcanza su valor más alto en la XV Región de Arica y Parinacota con 112,9 t/ha, que responde al nivel tecnológico alcanzado en la región para este cultivo (riego, cultivo bajo plástico, etc.). El segundo rendimiento más alto lo alcanza en la V Región de Valparaíso, con 94,4 t/ha.

Tabla 26: Rendimientos promedio por tipo de cultivo y región.

Cultivo	Unidad	Nacional	Rendimiento unitario (miles/ha)			
			V	VI	VII	RM
Ajo	Kilogramos	9,51	8,51	9,77		9,74
Alcachofa	Unidades	71,74	66,52		33,75	49,39
Apio	Unidades	33,75	28,71	40	40	37,27
Arveja verde	Kilogramos	6,75	6,78	6,93	7,05	6,69
Cebolla	Kilogramos	48,05	35,56	47,89	29,12	55,36
Choclo	Unidades	46,42	42,13	44,38	47,39	46,2
Espárrago	Kilogramos	6,42	8		6,76	5,56
Lechuga	Unidades	42,88	36,23	51,37	48,69	44,02
Melón	Unidades	26,89	26,92	30,57	20,66	25,19
Orégano	Kilogramos	2,74	2,68			2,96
Pimiento	Kilogramos	36,96	35,02	42,16	45,9	29,32
Poroto granado	Kilogramos	7,42	7,07	7,16	9,04	7,44
Poroto verde	Kilogramos	8,37	7,04	7,15	11,54	7,77
Repollo	Unidades	25,4	25,22	23,13	17,16	24,91
Sandía	Unidades	7,98	7,41	7,95	7,71	9,07
Tomate consumo fresco	Kilogramos	71,1	94,35	58,73	68,87	61,87
Zanahoria	Kilogramos	40,51	28,81	23,63		31,39
Zapallo temprano y guarda	Kilogramos	23,32	17,14	25,34	24,67	22,93

Fuente: INE, 2010.

Los cultivos que se destinan para consumo fresco es principalmente lechuga, cebolla, tomate, zapallo y zanahoria y para la agroindustria el maíz, tomate, alcachofa, poroto verde, espárrago, arveja verde y pimiento (ODEPA, 2013).

Durante 2014 las exportaciones de hortalizas frescas alcanzaron casi 50 mil toneladas por un valor de US\$ 47,5 millones, lo que significó un aumento de 35% en volumen y una disminución de 10% en valor, respecto al año 2013.

Las principales hortalizas exportadas el 2014, fueron el ajo y la cebolla los cuales representaron el 20,3% y el 76,6% de los volúmenes exportados y en conjunto el 91% del valor (USD FOB) total exportado.

Los principales destinos fueron México (45,9%), Estados Unidos (14,4%) y España (9,4%). La región de O'Higgins fue la principal productora de hortalizas para la exportación con un 42% del total exportado, seguido por la Región Metropolitana (29%) y Valparaíso (26,6%) (ODEPA, 2015).

Las principales hortalizas importadas fueron ajos, 25,8%, espárragos 21,4% y orégano 15% principalmente desde Perú (59%) y China (26,5%).

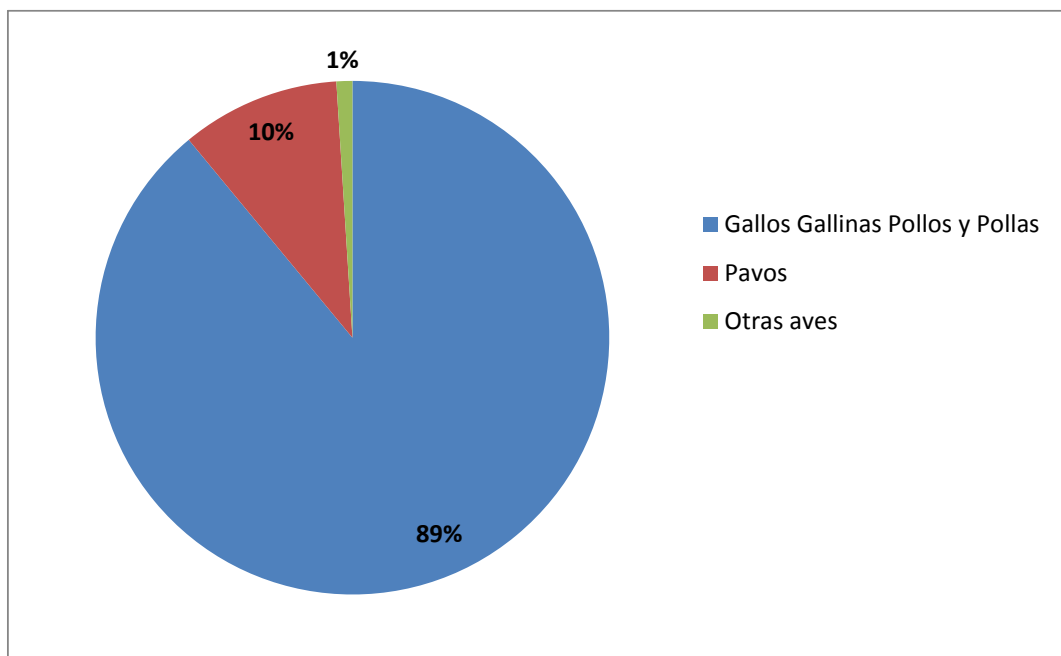
5.2.1.1.1.2. Subsector Pecuario

La producción de carne en Chile está liderada por la producción de carne de aves seguido por la porcina. En los últimos 10 años la producción de carne ha sufrido un gran incremento que se debe principalmente al aumento de las exportaciones. El consumo interno de carnes también ha aumentado, siendo la carne de ave es la más consumida con 45,8% del consumo de carnes seguido por la carne de bovino y cerdos. (ODEPA, 2013).

a) Aves

La industria avícola ha tenido un importante desarrollo a nivel nacional. La gran mayoría de la industria se encuentra integrada verticalmente, lo que implica que ahora existe un mayor control de las distintas fases del ciclo de vida de la producción de carne de ave lo que ha permitido, junto con un aumento del consumo interno y las exportaciones, el crecimiento del sector.

Figura 21: Existencias de aves por tipo.



Fuente: Censo Agropecuario, 2007.

Con respecto a los resultados del Censo Agropecuario (2007), ese año existían 52,4 millones de aves en el país, a partir de las cuales el 89% correspondían a pollos, 10% pavos y un 1% al resto de las aves las que incluyen a patos, gansos, codornices, etc. (Figura 21)

Tabla 27: Existencia de Aves año 2007.

	Gallos Gallinas Pollos y Pollas	Pavos	Otras Aves	Total	% Participa ción
Valparaíso	9.031.321	4.701.923	24.490	27.515.468	26%
O'Higgins	11.461.358	88.383	25.719	23.150.920	22%
Maule	1.193.763	27.862	44.350	2.531.950	2%
RM	17.682.990	429.804	58.566	36.342.720	35%
País	45.197.660	5.410.099	533.689	98.475.023	100%

Fuente: Censo Agropecuario, 2007.

Las regiones Metropolitana, O´Higgins y Valparaíso concentran el 76% de las existencias de aves del país (Censo Agropecuario, 2007) (VerTabla 27). No hay estadísticas más actualizadas de todo el sector productivo de las aves, INE lleva un catastro de los pollos broilers que representan gran parte del sector.

Según esta información, la mayor cantidad de este tipo de aves se concentra en las regiones de O´Higgins y metropolitana.

Tabla 28: Existencia de broilers en los criaderos, según región en miles de unidades.

Región	2007			2013		
	Broilers para consumo	Productores broilers Líneas padres		Broilers para consumo	Productores broilers Líneas padres	
	Crianza y adultos	Crianza	Adul tos	Crianza y adultos	Crianza	Adul tos
Valparaíso	0	0	0	0	1	2
RM	22.291	224	1.168	22.070	877	1.351
O´Higgins	30.800	808	1.450	38.750	1.155	1.989
Maule	0	0	0	0	1	2
Total país	56.071	1.186	2.825	63.293	2.103	3.485

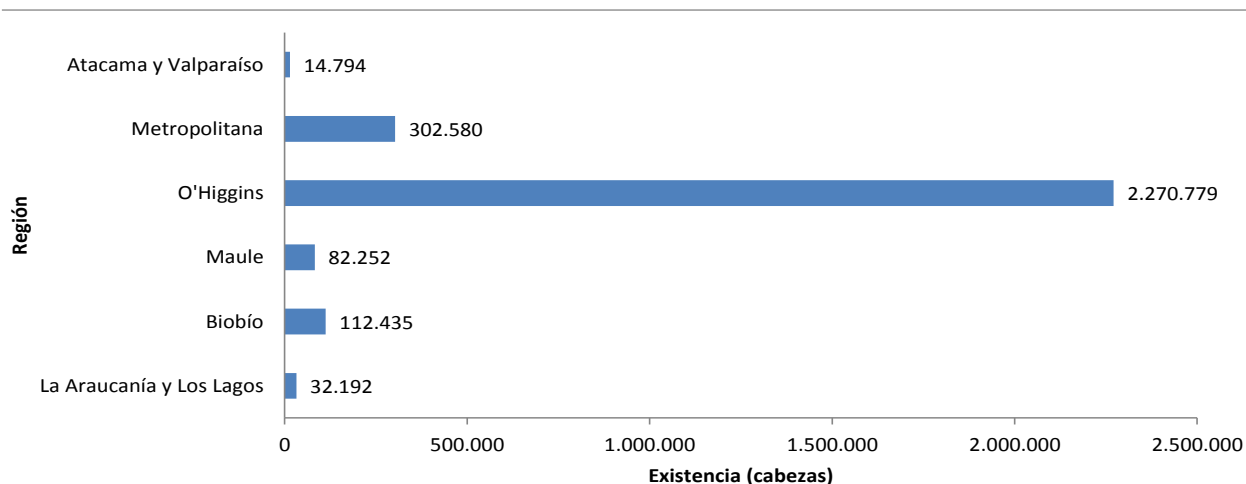
Fuente: (ODEPA. O. d., Documento Excel Existencia Broilers, 2015i)

b) Cerdos

La producción de cerdos se encuentra altamente concentrada en el país. Según el Censo 2007, el total de ganado porcino en el país sumó 3.292.707 cabezas (Figura 22: Existencias de cerdos según región para el 2013). Las regiones de O'Higgins y Metropolitana, en conjunto, concentraron 76% del inventario.

En base a los datos publicados por INE, 2014, la producción nacional se centra en la Región de O'Higgins (80%) y en la Región Metropolitana (11%) y el resto corresponde a explotaciones puntuales que se distribuyen el resto de las regiones.

Figura 22: Existencias de cerdos según región para el 2013.



Fuente: elaboración propia en base a INE, 2014.

Tabla 29: Existencia de Cerdos año 2007

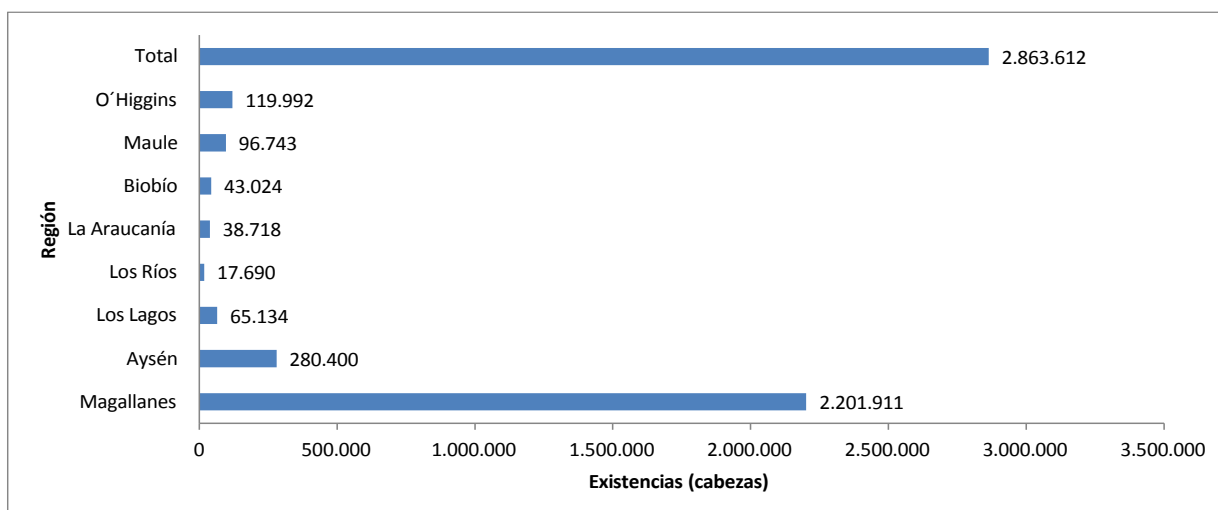
Región	Existencias (2007)	Participación
	(miles de cabezas)	(%)
Total	2.945,4	100,0
Valparaíso	173,9	5,9
Metropolitana	1.298,3	44,1
O'Higgins	871,0	29,6
Maule	93,4	3,2

Fuente: Censo Agropecuario, 2007.

c) Ovinos

De acuerdo a la información proporcionada por el Censo Nacional Agropecuario y Forestal (2007) (Figura 23), existían 2,8 millones de cabezas concentradas en la Región de Magallanes (76,9%), seguida por las regiones de Aysén (9,8%). Si bien, comparativamente con otros tipos de carne esta no es tan relevante, se observa una variación en la producción de ovinos cercana al -15% (Ver Tabla 28).

Figura 23: Existencias de ganado ovino, según región.



Fuente: elaboración propia en base a Censo Agropecuario, 2007.

Tabla 30: Existencias considerando rebaños de 60 o más cabezas.

Región	Existencias de ganado ovino (número de cabezas)			Variación (%)
	Año			2013/2007
	2007	2010	2013	
Total	2.863.612	2.660.373	2.428.310	-15,2%
O'Higgins	119.992	149.386	122.382	2,0%
Maule	96.743	80.404	79.615	-17,7%

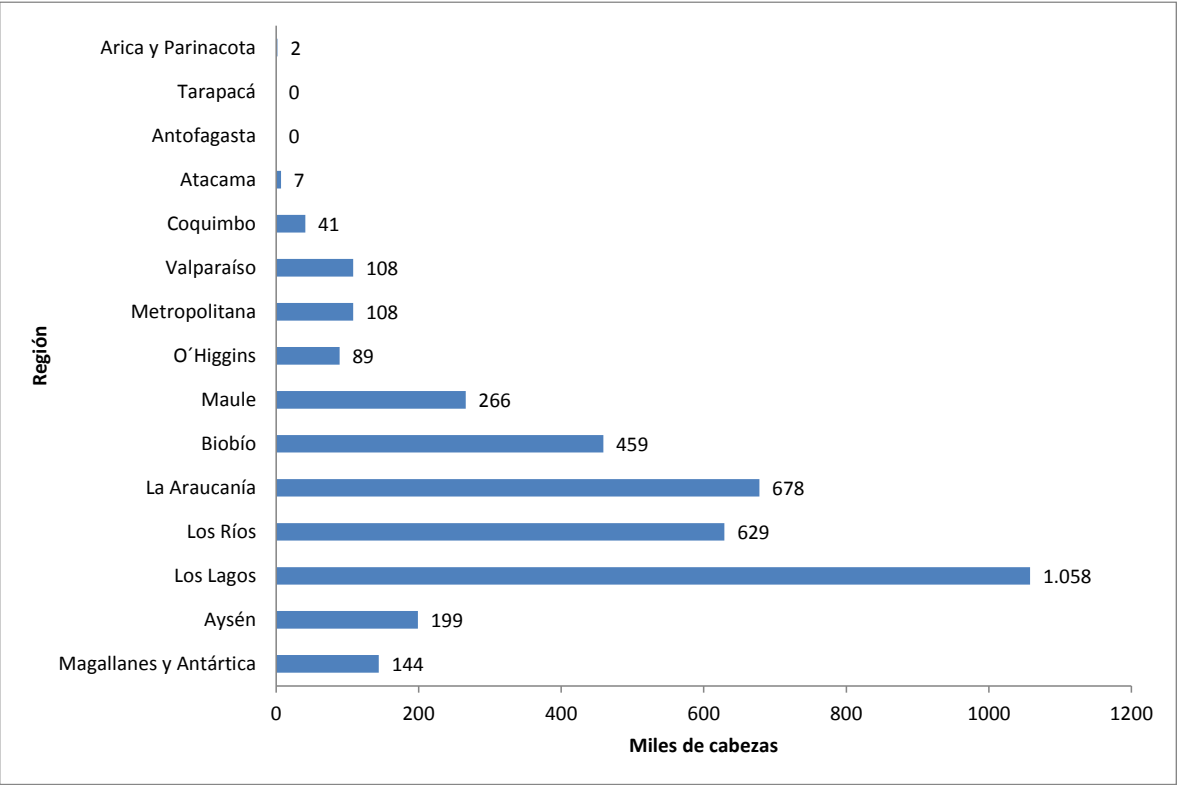
Fuente: (INE., Informe pecuario primer semestre 2014, 2014d).

d) Bovinos

En base a la información del último Censo Agropecuario y Forestal (2007), existían 3,8 millones de cabezas, concentradas en la zona sur del país. La

Región de Los Lagos se presenta como la de mayor relevancia, con una participación de 27,9%, seguida por la Región de la Araucanía y la Región de los Ríos con 17,9% y 16,6% respectivamente.

Figura 24: Existencias de ganado bovino según región Censo 2007.



Fuente: Elaboración propia en base a (INE., 2014d)

Tabla 31: Existencias de ganado bovino según región Censo 2007.

Región	Existencias	
	Miles de cabezas	%
Total País	3.789,7	100,0
Valparaíso	107,7	2,8
Metropolitana	108,4	2,9
O'Higgins	89,0	2,3
Maule	265,8	7,0

Fuente: Elaboración propia en base a (INE., 2014d)

5.2.1.1.1.3. Subsector Silvícola

De acuerdo al “Anuario forestal 2014” (INFOR 2014), el año 2013 la superficie de bosques cubrían 15,8 millones de hectáreas, equivalentes al 21% de la superficie de Chile, de estos 13,3 millones de ha (17,7%) correspondían a bosque nativo y solo 2,4 millones a cultivos forestales (3,2%). Aparte a lo largo del país existen las áreas silvestres protegidas las que cubren una superficie de 14,5 millones de hectáreas las que corresponden al 19,3% de la superficie nacional (INFOR,2014).

La superficie de bosque nativo en su mayoría corresponde a bosques de lenga (27,1%), siempreverde (26,2%), coihue de Magallanes (15%) y otros (31,7%). La estructura del bosque es principalmente bosque adulto (45%) y renoval (26%).

Las plantaciones forestales son dominadas por el Pino insigne (60%), seguido por Eucaliptus globulus (23%), Eucaliptus nitens (10%) y otras especies (6,9%). La oferta actual de madera proviene principalmente de Pino insigne y Eucaliptus globulus, los cuales abastecen prácticamente la totalidad de la demanda industrial de trozas (Tabla 32).

Tabla 32: Superficie destinada a plantaciones forestales Macrozona central.

	Total Plantaciones Forestales	Eucaliptus Nitens	Eucaliptus Globulus	Pino Radiata o Insigne	Otras especies Forestales
Valparaíso	58.257	1.565	40.897	11.909	3886
O'Higgins	141.023	2.281	46.405	82.735	9603
Maule	493.527	5.906	46.056	431.660	9904
RM	9.172	722	6.775	81	1595
Total general	2.706.039	239.461	655.867	1.614.019	196692

Fuente: Censo agropecuario 2007.

5.2.1.1.2. Sector Minero

La participación del sector minero en el PIB nacional fluctúa entre los 12% (2013) alcanzando un máximo el año 2009 con un 18,8% (www.sonami.cl).

5.2.1.1.2.1. Cobre

En Chile el cobre es el principal mineral producido y exportado. A nivel mundial Chile produce el 31% de la producción mundial de cobre y el 9% del total de cobre producido por fundición (World Metal Statistics, 2015)

Las Tabla 33 y Tabla 34 muestran la evolución de la producción de cobre por explotación minera y por región, respectivamente.

Tabla 33: Producción miles ton cobre fino por mina

	Región	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Minería Estatal										
División Chuquicamata	II	676,1	634	615	469,9	574	528,4	443,4	355,9	339,0
RadomiroTomic	II	288,8	306,6	281,3	285,4	300,7	375,3	470,1	427,8	379,6
Minera Gaby	II				67,7	148	117,1	118	133	128,2
División Ministro Hales	II									33,5
División Salvador	III	77,5	80,6	63,9	42,7	65,5	76,2	69	62,7	54,3
División Andina	V	248,2	236,4	218,4	219,5	209,7	188,5	234,4	249,9	236,7
División El Teniente	VI	437,4	418,3	404,7	381,2	404,1	403,6	400,3	417,2	450,4
Total Estatal		1.728	1.675	1.583	1.466	1.702	1.689	1.735	1.646	1.791
Minería Privada										
Quebrada Blanca	I	81	82,4	82,9	85,4	87,4	86,2	63,4	62,4	56,2
Cerro Colorado	I	90,4	115,5	98,7	104,2	93,7	89	94,3	73,1	73,6
Collahuasi	I	427	440	452	464,4	535,9	504	453,3	282,1	444,5
Escondida	II	1271,5	1255,6	1483,9	1254	1103,7	1086,7	817,7	1.075,9	1.193,7
Anglo American Norte	II	149,7	152,1	151,6	148,9	151,6	139,6	130,9	115	111,3
El Abra		210,6	218,6	166	165,8	164,1	145,2	123,4	153,7	155,6
Esperanza	II							96,6	173,2	177,1
Lomas Bayas		63,2	64,3	61,5	59,2	73,1	71,8	73,6	73,3	74,2
Zaldívar	II	123,3	146,3	142,9	133,5	137	144	132,3	131,1	126,5
Michilla	II	46,4	47,3	45,1	47,7	40,6	41,2	41,6	37,7	38,3
El Tesoro	II	98,1	94	93	90,8	90,2	95,3	97,1	105,0	102,6
Spence	II		4,3	128,1	164,8	162,3	178,1	181	166,7	151,6
Candelaria	III	162,7	169,6	181	173,5	134,2	136,4	148,4	122,8	168,0
El Indio	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Los Pelambres	IV	333,8	335,2	300,1	351,2	322,6	398	426,1	417,7	419,2
Anglo American Sur	V - RM	293,7	294,8	302,1	283,5	276,9	257,7	245	416,6	467,3
Otros		241,1	264,9	284,8	334,3	319,1	356,2	480,5	381,1	394,6
Total Privada		3.592,5	3.684,9	3.973,7	3.861,2	3.692,4	3.729,4	3.527,6	3.787,4	4.154,30
Total Nacional		5.423	5.467,9	5.638,3	5.408,8	5.474,8	5.489,6	5.323,7	5.545,0	5.945,90

Fuente: SONAMI, 2015.

Tabla 34: Evolución producción de cobre regional Macrozona central (miles de ton).

Región	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Valparaíso	335,3	329,7	317,9	304,2	289,3	267,9	322,7	344,2	329,5
RM	227,3	226,0	229,3	233,7	235,5	217,3	198,1	362,7	415,8
O´Higgins	450,9	429,5	420,0	397,2	421,9	426,9	420,2	440,8	470,6

Fuente: SONAMI, 2015

a) Producción minera

La explotación de la mina de cobre se inicia con la exploración geológica: es la primera etapa en ella se identifica que hay un yacimiento con mineral suficiente para ser trabajado, se determinan sus características y se establece la forma de explotarlo.

Posteriormente se produce la extracción, de las rocas que se extraen de la mina las que posteriormente son transportadas a la planta donde se produce el chancado. En esta etapa se reduce el tamaño del material extraído. De acuerdo del material (sulfatado u oxidado), la extracción del cobre puede ser por concentración o por hidrometalurgia. Ambos procesos utilizan importantes volúmenes de agua.

En el proceso de concentración el material sulfurado pasa por, i.e. trituración, molienda del mineral, clasificación, flotación, espesamiento, transporte del concentrado y disposición de relaves. En cambio en el proceso de hidrometalurgia el material oxidado pasa por, i.e. aglomeración, lixiviación, extracción por solventes y electro obtención para la producción de cátodos, incluyendo el agua utilizada en el transporte del ácido y de la solución enriquecida.

El agua es parte importante de los procesos requeridos para la producción de cobre, i.e. concentración e hidrometalurgia. El consumo de agua por parte de estos procesos varía de región en región el cual es medido y reportado por COCHILCO (Tabla 35).

Tabla 35 Consumo Unitario De Agua Fresca Por Tonelada De Mineral Procesado O Lixiviado.

Región	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	Var 2012-2013
Tarapacá	Unidad						
Concentración	m ³ /ton_min	0,68	0,60	0,57	0,63	0,59	-7,3%
Hidrometalurgia	m ³ /ton_min	0,12	0,11	0,08	0,09	0,09	6,1%
Antofagasta							
Concentración	m ³ /ton_min	0,68	0,73	0,73	0,59	0,58	-0,7%
Hidrometalurgia	m ³ /ton_min	0,13	0,12	0,12	0,08	0,10	30,0%
Atacama							
Concentración	m ³ /ton_min	0,83	0,79	0,78	0,84	0,85	0,3%
Hidrometalurgia	m ³ /ton_min	0,20	0,20	0,18	0,15	0,13	-13,0%
Coquimbo							
Concentración	m ³ /ton_min	0,31	0,37	0,31	0,35	0,26	-26,0%
Hidrometalurgia	m ³ /ton_min	0,19	0,23	0,08	ND	0,09	-
Valparaíso							
Concentración	m ³ /ton_min	0,75	0,93	0,84	0,78	0,77	-1,7%
Hidrometalurgia	m ³ /ton_min	-	-	-	0,07	-	-
O'Higgins							
Concentración	m ³ /ton_min	0,66	0,71	0,70	0,81	0,85	4,3%
Metropolitana							
Concentración	m ³ /ton_min	0,80	0,73	0,55	0,41	0,41	2,4%
Hidrometalurgia	m ³ /ton_min	0,01	0,02	0,11	0,06	0,04	-32,6%

Fuente: (COCHILCO, Comisión Chilena de Cobre, 2008)

5.2.1.1.2.2. Molibdeno

La producción de molibdeno es aparece como un subproducto de la producción de cobre. Los volúmenes extraídos varias dependiendo del tipo producción (Ver Tabla 36).

5.2.1.1.2.3. Otros metales

En el país también se desarrolla la extracción de otros metales como oro, plata, plomo, hierro. La evolución de la producción de estos metales a nivel regional puede observarse en las tablas 35 y 36.

Tabla 36: Producción de molibdeno por proceso y empresa Toneladas métricas.

Producción Chilena de Molibdeno de Mina	Productos	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Chuquicamata Y R. Tomic	Concent.	17.854	10.583	11.821	7.278	5.934	6.230	8.016	2.988	7.668
	Óxidos	8.971	7.197	7.244	5.662	7.134	5.885	4.821	4.790	397
	Total	26.825	17.780	19.065	12.940	13.068	12.115	12.837	7.778	8.065
Salvador	Concent.	1.248	1.366	1.214	872	1.148	1.043	1.024	1.153	898
Andina	Concent.	3.244	3.308	2.525	2.133	2.163	2.900	3.175	4.434	7.217
El Teniente	Concent.	5.249	4.749	5.053	4.580	5.179	5.617	6.012	6.095	6.864
Codelco	Concent.	27.595	20.006	20.613	14.863	14.424	15.790	18.227	14.670	22.647
	Óxidos	8.971	7.197	7.244	5.662	7.134	5.885	4.821	4.790	397
	Total	36.566	27.203	27.857	20.525	21.558	21.675	23.048	19.460	23.044
Pelambres	Concent.	8.710	9.847	10.156	7.759	7.792	8.759	9.879	12.216	8.969
Collahuasi	Concent.	349	3.362	4.038	2.471	2.541	4.476	6.659	1.953	2.992
Anglo American Sur	Concent.	2.123	2.549	2.582	2.578	2.768	1.927	949	981	3.344
Valle Central	Concent.	293	316	278	353	266	348	356	480	367
Molibdeno Total	Concent.	39.070	36.081	37.668	28.025	27.791	31.301	36.068	30.300	38.318
	Óxidos	8.971	7.197	7.244	5.662	7.134	5.885	4.821	4.790	397
	Total	48.041	43.278	44.912	33.687	34.925	37.186	40.889	35.090	38.715

Fuente: www.cochilco.cl

Tabla 37: Producción Anual De Oro Por Regiones (En ton. de oro fino).

Región	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Valparaíso	1,7	1,6	1,5	1,5	1,5	2,1	1,5	1,1	1,4	1,4
Metropolitana	2,2	2,3	2,3	1,9	1,7	2,3	2,9	2,7	2,8	3,0
O´Higgins	0,4	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0
Total País	40,0	40,4	42,1	41,5	39,2	40,8	39,5	45,1	49,9	51,3

Fuente: www.sonami.cl

Tabla 38: Producción Anual De Plata Por Regiones (En ton. de plata fina).

Región	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Valparaíso	109,2	109,7	107,1	95,4	94,9	90,0	69,6	56,0	94,1	87,8
Metropolitana	45,3	66,9	41,1	43,7	45,1	49,7	44,9	50,8	78,7	55,0
O´Higgins	50,0	71,9	77,1	66,9	77,2	80,8	83,0	86,3	87,6	96,5
Total País	1360,1	1399,5	1607,2	1936,5	1405	1301	1286,7	1291,3	1194,5	1173,8

Fuente: www.sonami.cl

5.2.1.1.3. Sector Industria

En términos económicos, la industria manufacturera aportó el 11,3% del PIB nacional (2014). La estructura del PIB sectorial de la industria está liderado por el aporte de la industria de los alimentos (28,6%), seguido de productos metálicos (15,1%), bebidas y tabaco (14,1%), química, caucho y plástico (12,2%), refinación de petróleo (8,2%) y el resto (11%) (www.sofofa.com).

La industria manufacturera congrega distintas actividades manufactureras, según la descripción de la Sociedad de Fomento Fabril (SOFOFA) las actividades pueden agruparse en 7 divisiones que son: i) Alimentos, Bebidas y Tabaco, ii) Textil, Prendas de Vestir, Cuero, iii) Maderas y Muebles iv) Celulosa, Papel e Imprentas, v) Química, Petróleo, Caucho y Plástico, vi) Minerales No Metálicos y Metálica Básica, vii) Productos Metálico, Máquinas y Equipos. A su vez estas convocan a 39 agrupaciones de la industria.

El Instituto de Estadísticas realiza catastro a toda la industria manufacturera mediante la Encuesta Nacional de la Industria Anual (ENIA). En esta encuesta las distintas industrias están agrupadas según el Clasificador Industrial Internacional Uniforme en su tercera revisión (CIIU Rev.3). En el caso de la encuesta se ocupa la tabulación D que permite desagregar las actividades en tres niveles, de dos a cuatro dígitos la clasificación, i.e. i) división, dos dígitos, ii) grupo, tres dígitos, iii) clase, cuatro dígitos. En la siguiente tabla se puede apreciar el número de industrias presentes en el país por región, en base a los resultados de la encuesta ENIA (2012) agrupadas de acuerdo a la codificación CIIU de su división (2 dígitos) y de acuerdo a las 7 divisiones de la SOFOFA.

La ENIA tiene como objetivo recolectar información anualmente del universo de establecimientos industriales ubicados en territorio nacional que tengan 10 o más personas ocupadas. Esta restricción no aplica en aquellos establecimientos considerados multiunidad quienes se consideran en el universo pese a tener una ocupación menor, puesto que al no considerarlas se estaría excluyendo información de procesos intermedios.

En Chile la región Metropolitana concentra el 58% de la actividad industrial seguido por la región del Biobío (10%) y la región de Valparaíso (7%). Los grupos industriales que concentran más empresas son *Alimentos, bebidas y tabaco* (30 %), seguido por el grupo *Minerales No Metálicos y Metálica Básica* (18%), *Química, Petróleo, Caucho y Plástico* (14%), *Productos Metálico, Máquinas y Equipos* (11%), *Maderas y Muebles* (9%), *Textil,*

Prendas de Vestir, Cuero (8%), Celulosa, Papel e Imprentas (8%) y otras industrias manufactureras (1%) (Ver tabla 37).

Dentro de la información que se catastra dentro de la encuesta, está el uso de agua por parte de la empresas (definiendo como uso de agua a la suma de agua potable utilizada + agua extraída de pozo o fuentes superficiales). Considerando el uso de agua a nivel nacional, la región que más agua utiliza es la región del Biobío (42%) pese a que sólo concentra el 10% de las industrias. A esta región le sigue la región Metropolitana (12%) y las regiones del Maule y Aysén (11% respectivamente). Las divisiones o los grupo de actividades que más consumen agua son *Celulosa, Papel E Imprentas (60%), Alimentos, Bebidas y tabaco (18%) y Química, Petróleo, Caucho y Plástico (16%) (Ver tabla 38).*

Tabla 39: Industrias manufactureras en Chile el año 2012 (continua en la página siguiente).

	CIIU Rev.3							
División SOFOFA	Código	Descripción	V	VI	VII	RM	Total empresas	% nacional
Alimentos, Bebidas y tabaco	15	Elaboración de productos alimenticios y bebidas	111	72	94	349	952	30%
Textil, Prendas de Vestir, Cuero	19	Curtido y adobo de cueros; fabricación de maletas, bolsos de mano, artículos de talabartería y guarnicionaría, y calzado	1	-	2	38	259	8%
	18	Fabricación de prendas de vestir; adobo y teñido de pieles	3	-	-	85		
	17	Fabricación de productos textiles	6	-	-	101		
Maderas y Muebles	36	Fabricación de muebles; industrias manufactureras n.c.p.	4	-	3	96	294	9%
	20	Producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de paja y de materiales trenzables	3	10	22	35		
Celulosa, Papel e Imprentas	21	Fabricación de papel y de productos de papel	2	4	5	87	238	8%
	22	Actividades de edición e impresión y de reproducción de grabaciones	6	-	4	94		
Química, Petróleo, Caucho y Plástico	25	Fabricación de productos de caucho y plástico	18	1	1	192	443	14%
	24	Fabricación de sustancias y productos químicos	15	4	3	151		
	23	Fabricación de coque, productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear				4		

Tabla 40. Industrias manufactureras en Chile el año 2012 (continuación)

	CIIU Rev.3							
División SOFOFA	Código	Descripción	V	VI	VII	RM	Total empresas	% nacional
Minerales No Metálicos y Metálica Básica	26	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	24	9	10	88	573	18%
	27	Fabricación de metales comunes		1		48		
	28	Fabricación de productos primarios de metales preciosos y metales no ferrosos	16	1	3	214		
Productos Metálicos, Máquinas y Equipos	33	Fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión y fabricación de relojes	1	1		16	349	11%
	29	Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p.	8	2	3	137		
	32	Fabricación de equipo y aparatos de radio, televisión y comunicaciones	-	-	-	3		
	31	Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos n.c.p.	3	1	-	52		
	35	Fabricación de otros tipos de equipo de transporte	2	-	-	5		
	34	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques	-	-	1	24		
	D	Industrias manufactureras	4	2	3	15	40	1%
	37	Reciclamiento				1	1	0%
		Total empresas/región	227	108	154	1835	3149	100%
		% Nacional	7%	3%	5%	58%	100%	

Fuente: Encuesta ENIA, 2012.

Tabla 41: Consumo de agua en m³ (agua extraída + agua comprada) Industrias manufactureras en Chile al año 2012 (continúa en la página siguiente).

SOFOFA	CIIU Rev.3		Consumo de agua por región				Impacto	
Grupo	Cod.	Descripción	V	VI	VII	RM	Total	%
Alimentos, Bebidas y tabaco	15	Elaboración de productos alimenticios y bebidas	1.833	8.525	1.871	13.327	43.556	18%
Textil, Prendas de Vestir, Cuero	19	Curtido y adobo de cueros; fabricación de maletas, bolsos de mano, artículos de talabartería y guarnicionaría, y calzado	4	-	23	87	117	0%
	18	Fabricación de prendas de vestir; adobo y teñido de pieles	38	-	-	87	128	
	17	Fabricación de productos textiles	1	-	-	495	498	
Maderas y Muebles	36	Fabricación de muebles; industrias manufactureras n.c.p.	23	-	0	331	446	1%
	20	Producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de paja y de materiales transables	0	7	22	82	2.788	
Celulosa, Papel e Imprentas	21	Fabricación de papel y de productos de papel	3	1.268	23.581	3.334	143.536	60%
	22	Actividades de edición e impresión y de reproducción de grabaciones	6	-	2	509	535	
Química, Petróleo, Caucho y Plástico	25	Fabricación de productos de caucho y plástico	70	4	-	1.686	1.818	16%
	24	Fabricación de sustancias y productos químicos	7.250	6	37	3.050	35.893	
	23	Fabricación de coque, productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear	-	-	-	40	40	

Tabla 42. Tabla 40: Consumo de agua en m³ (agua extraída + agua comprada) Industrias manufactureras en Chile al año 2012 (continuación).

SOFOFA	CIIU Rev.3		Consumo de agua por región				Impacto	
Grupo	Cod.	Descripción	V	VI	VII	RM	Total	%
Minerales No Metálicos y Metálica Básica	26	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	1.146	86	19	1.649	4.447	3%
	27	Fabricación de metales comunes	-	1	-	647	827	
	28	Fabricación de productos primarios de metales preciosos y metales no ferrosos	35	0	2	1.182	1.502	
Productos Metálico, Máquinas y Equipos	33	Fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión y fabricación de relojes	0	3	-	46	50	1%
	29	Fabricación de maquinaria y equipo	70	3	1	1.292	1.483	
	32	Fabricación de equipo y aparatos de radio, televisión y comunicaciones	-	-	-	5	5	
	31	Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos n.c.p.	31	1	-	149	185	
	35	Fabricación de otros tipos de equipo de transporte	27	-	-	113	621	
	34	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques	-	-	-	70	232	
	D	Industrias manufactureras	37	0	1	97	260	0%
	37	Reciclamiento	-	-	-	5	5	0%
		Total general	10.572	9.904	25.559	28.282	238.974	
		%part. regional	4%	4%	11%	12%		

Fuente: Encuesta ENIA, 2012.

5.2.1.1.3.1. Grupo alimentos, bebidas y tabaco

En Chile la producción de alimentos está liderada por la agroindustria, en el último catastro de la agroindustria realizado el 2012 (tabla 39). En donde se catastraron 196 empresas relacionadas con el sector las que manejan 246 plantas en el país. Las principales agroindustrias son las procesadoras de aceites, congelados, conservas, deshidratados y de jugos.

Las exportaciones de la agroindustria han aumentado un 268% en la última década, llegando a totalizar en 2011 los US\$1.719 millones Fob. Los alimentos deshidratados son lo que abarcan una mayor proporción de las exportaciones, con un 39% de los envíos. Le siguen en importancia las conservas, con un 26%, los congelados, con 22% y los jugos con 13%.

A nivel oficial no hay información respecto de la producción que esta industria destina al mercado interno, por lo que el análisis se realiza principalmente en base al comercio internacional.

Plantas procesadoras de aceites se localizan entre las regiones de Atacama y Biobío, y se concentran especialmente en las regiones de O'Higgins, el Maule y Valparaíso. En cuanto a especies, dentro de las empresas que se encuestaron, estas procesan principalmente olivas, palta, uva, rosa mosqueta y jojoba.

Plantas procesadoras de congelados se localizan entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos. Las plantas se concentran fuertemente en las Regiones del Maule, Metropolitana y O'Higgins. Estas plantas procesan una amplia variedad de especies, entre las cuales se destacan por los volúmenes procesados distintos berries (principalmente frambuesa además de frutillas, moras cultivadas y silvestres, y arándanos), así como espárrago y maíz dulce, a las que se suman otras 25 especies.

Plantas procesadoras de conservas se localizan a lo largo del país desde la Región de Atacama hasta Región de la Araucanía. Las plantas se concentran fuertemente en las Regiones del Maule, Metropolitana y Valparaíso. Entre las especies que procesa este subsector destacan por sus volúmenes tomate, durazno y cereza en distintas formas de conservación, más otras 36 especies.

Plantas procesadoras de deshidratados se localizan entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos. Se concentran especialmente en las regiones

Metropolitana, de Valparaíso y O'Higgins. Las principales especies que procesa la industria de deshidratados, en términos del volumen producido, son uva, ciruela, nuez, almendra y manzana, más otras 23 especies que se procesan en distintos volúmenes.

Plantas procesadoras de jugos se localizan entre las regiones de Coquimbo y el Maule y en las regiones de Los Ríos y Los Lagos. Las principales regiones productoras son las regiones de O'Higgins y el Maule. Entre las especies que procesan las plantas de jugo destacan ampliamente los volúmenes producidos de jugo de uva y de manzanas. A ellas se suman otras 24 especies de frutas y hortalizas (Catastro Agroindustrial, 2012).

Tabla 43: Toneladas de fruta procesada por las principales agroindustrias por región, Macrozona central.

	V	VI	VII	RM	Total País	%
Jugos	0	129.657	144.400	6.722	302.343	24%
Congelados	2.472	240	6.357	740	219.055	18%
Deshidratados	111.595	106.009	26.291	84.419	357.002	29%
Conservera	39.968	10.566	0	50.823	101.849	8%
Mermeladas	295	14.150	0	314	14.815	1%
Aceites	2.258	3.474	0	15.847	42.172	3%
Otras agroindustrias	60.324	33.215	3.947	93.079	199.349	16%
Total	216.911	297.310	180.995	251.943	1.236.585	100%
%	18%	24%	15%	20%	100%	

Fuente: Catastro Agroindustrial-ODEPA, varios años.

5.2.1.1.3.2. Industria forestal

En 2013, la industria forestal consumió un total de 41 MM m³ssc, cuyos principales destinos fueron la producción de celulosa, madera aserrada y tableros, obteniendo astillas y bioenergía como principales subproductos. En la siguiente tabla se puede ver la evolución de la producción para los años 2000, 2007 y 2013 por tipo de producto.

Tabla 44: Consumo De Madera En Trozas Por Industria Forestal, Total País en miles de m³ ssc.

	2000	2007	2013
Total	24.437	38.416	41.040
Pulpa Mecánica	764	1.292	912
Pulpa Química (1)	7.282	14.490	15.627
Madera Aserrada	11.405	15.990	15.025
Tableros Y Chapas	907	2.394	3.847
Trozas Aserrables Exportación	81	10	8
Trozas Pulpables Exportación	600	6	0
Astillas	2.921	3.853	5.183
Otros (2)	478	381	438
(1) No incluye el consumo de astillas provenientes de aserradero.			
(2) Incluye consumo de trozos en la industria cajonera A partir de 1999, se incluye el consumo de trozos en las plantas de postes y polines.			

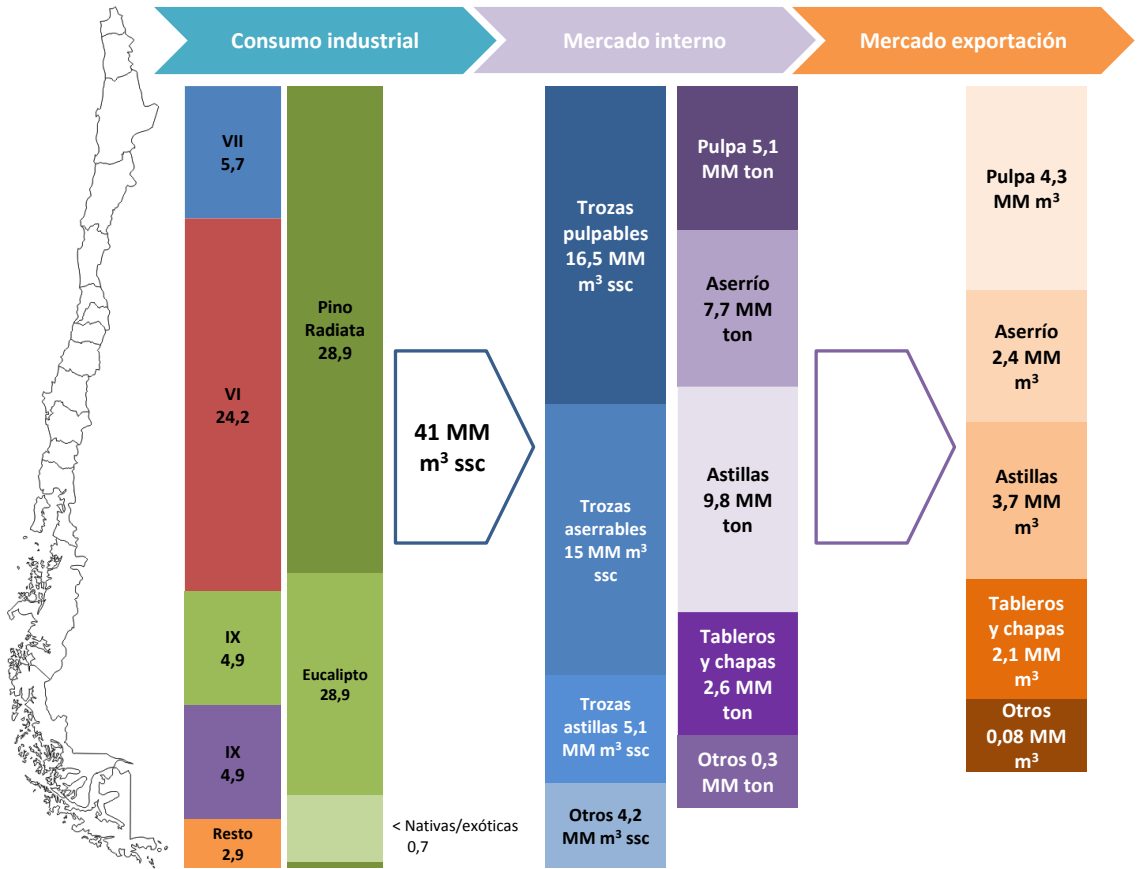
Fuente: INFOR, 2014.

En términos económicos, la participación del sector forestal el año 2013 fue de 103.511 (miles de millones de pesos encadenados), lo que corresponde al 2,7%. La participación del sector se mantenido en comparación del 2012. Las exportaciones forestales durante el 2013 alcanzaron los USD 5,7 mil millones las que corresponden al 7.5% de las exportaciones nacionales. Los productos más importantes fueron Pulpa química de celulosa con 2,5 mil MM USD FOB, Madera aserrada, con 0,4 mil MM USD FOB, Tableros con 0,5 mil MM USD FOB.

En la siguiente figura se presenta el flujo de la madera producida a nivel nacional, en la primeras columnas se presenta el volumen de madera consumido por la industrial por región y por especie consumida (principalmente pino y eucaliptus).

En las siguientes columnas se presenta el mercado interno que muestra a nivel nacional la distribución por industria del volumen de madera producido a nivel nacional (ej. trozas para pulpa, trozas para aserraderos y otros) y la producción en volumen o peso de los principales productos industriales (ej. pulpas, polines, madera aserrada y otros). El desglose regional del consumo de madera troza se puede ver en la tabla 41.

Figura 25: Flujo de productos de madera del Sector Forestal Chileno (Para el año 2013)



Fuente: Elaboración propia en base a la información disponible en INFOR.

Tabla 45 Consumo de madera troza por región Macrozona Central.

Industrias	Total	V	R.M.	VI	VII
Total	41.040.291	351.539	13.348	433.781	5.729.402
Pulpa	16.539.105	0	0	0	1.683.701
Madera aserrada	15.025.239	59.520	1.695	337.925	3.291.406
Tableros	3.846.761	0	0	0	476.408
Trozas aserrables exportación	7.764	2.769	0	3.549	0
Trozos pulpables exportación	0	0	0	0	0
Astillas	5.183.386	276.012	0	55.910	7.970
Cajones	151.650	0	0	0	121.650
Postes y polines	286.385	13.238	11.653	36.397	148.267

Fuente: INFOR, 2014.

5.2.1.1.3.3. Industria Vitivinícola, producción de vinos y pisco

La industria vitivinícola, incluye tanto la producción de vino como de pisco. No fue posible encontrar publicaciones del 2007 a nivel regional. En la siguiente tabla se presenta información productiva (miles de litros) por región para los años 2012 y 2013.

Tabla 46 Producción de vino por regiones en miles de litros.

Región	Vinos con DO		Vinos sin DO				Vinos para producción de pisco		Total	
			Vinos sin DO *		Vinos de mesa					
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Valparaíso	19.666	20.987	435	534	12	5	-	-	20.113	21.526
Metropolitana	156.630	174.602	11.725	6.717	12.617	9.966	-	-	180.973	191.286
O'Higgins	305.269	388.364	15.353	12.372	14.580	6.156	-	-	335.202	406.893
Maule	379.497	425.077	73.065	93.975	18.108	4.222	-	-	470.670	523.274
TOTAL	881.765	1.031.462	114.940	129.767	45.930	20.783	25.401	32.096	1.068.036	1.214.108

Fuente: ODEPA. O. d., 2015f.

Es importante considerar que existe un desfase en la producción, ya que la producción de algunos vinos requiere de cierto tiempo (mayor a un año) y para algunas cepas tintas, como por ejemplo para vinos reservas puede que sean embotellados y comercializados al año siguiente. Esto representa un factor a considerar en las exportaciones. Las exportaciones de vino se presentan a continuación (tablas 43 y 44).

Tabla 47: Exportación de vinos y alcoholes.

	Volumen (miles de litros)				Valor (miles de US\$ FOB)			
	2012	2013	2014	Variación 2014/2013 (%)	2012	2013	2014	Variación 2014/2013 (%)
Vino con denominación de origen	401.841	398.377	413.569	3,8	1.337.716	1.362.558	1.422.018	4,4
Otros vinos y alcoholes	356.792	491.045	397.636	-19	489.984	559.540	461.814	-17,5
Pisco y similares	569	489	502	2,6	2.897	3.285	3.152	-4,1
Otros	356.223	490.555	397.134	-30	487.088	556.255	458.662	-17
Total vinos y alcoholes	758.633	889.422	811.206	-8,8	1.827.700	1.922.098	1.883.832	-2

Fuente: (ODEPA. O. d., Boletín vivos y licores 2015, 2015f).

Tabla 48 Exportación de vinos con denominación de origen por país de destino

PAIS	Volumen (miles de litros)				Valor (miles de USD FOB)				
	2012	2013	2014	Var. 14/13 (%)	2012	2013	2014	Var. 14/13 (%)	Part. 2014 (%)
Reino Unido	79.226	68.581	57.319	-16,4	201.924	190.503	177.486	-6,8	12,5
Estados Unidos	40.114	40.965	38.183	-6,8	155.889	159.212	148.892	-6,5	10,5
Japón	29.152	34.766	42.168	21,3	89.509	106.718	124.703	16,9	8,8
China	19.846	24.516	31.880	30,0	79.451	90.467	110.472	22,1	7,8
Brasil	30.638	28.355	33.852	19,4	93.940	92.013	109.207	18,7	7,7
Países Bajos	29.343	28.521	30.225	6,0	88.866	89.969	98.637	9,6	6,9
Canadá	13.053	12.488	12.942	3,6	70.690	66.705	65.713	-1,5	4,6
Dinamarca	9.983	10.810	11.051	2,2	36.562	41.481	44.695	7,7	3,1
Irlanda	13.098	12.740	12.889	1,2	43.664	41.805	43.173	3,3	3,0
Alemania	9.297	9.393	10.519	12,0	33.567	35.691	39.996	12,1	2,8
Subtotal	273.750	271.135	281.028	3,6	894.062	914.564	962.974	5,3	67,7
otros países	128.091	127.242	132.541	4,2	443.654	447.994	459.045	2,5	32,3
Total	401.841	398.377	413.569	3,8	1.337.716	1.362.558	1.422.019	4,4	100,0

Fuente: (ODEPA. O. d., Boletín vivos y licores 2015, 2015f).

5.2.1.1.3.4. Molienda de trigo

En la siguiente tabla se presenta la molienda de trigo a nivel nacional por tipo de trigo.

Tabla 49: Molienda Nacional de Trigo (a Abril del 2015)

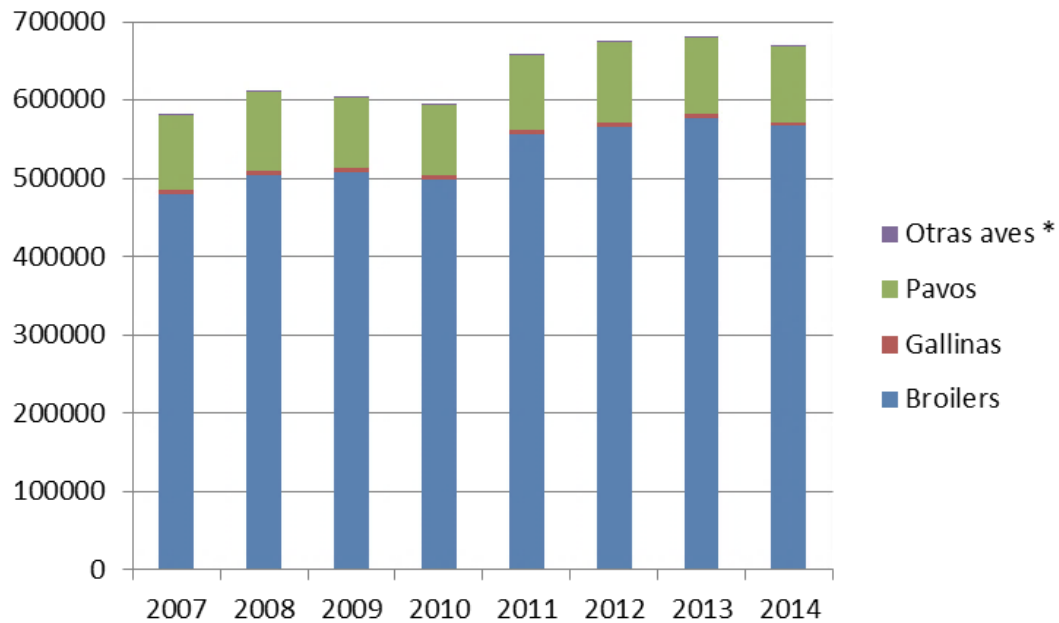
Periodo	Número de Molinos	Molienda de Trigo (Toneladas)		
		Total	Blanco	Candeal
2007	76	1.864.665	1.731.186	133.479
2008	74	1.847.323	1.740.523	106.800
2009	72	1.828.484	1.713.033	115.451
2010	72	1.902.581	1.768.925	133.656
2011	76	1.926.962	1.814.954	112.008
2012	74	1.982.164	1.814.656	167.508
2013	72	1.922.480	1.799.054	123.426
2014	76	1.968.268	1.852.651	115.617
Molienda Ene - Abr. 2015	75	632.284	590.599	41.685
Molienda Ene -Abr. 2014	72	618.519	581.438	37.081
Variación % Ene - Abr. 2015/2014		2,2%	1,6%	12,4%

5.2.1.1.3.5. Producción de carnes

a) Aves

Durante el 2014, se faenaron un total de 9.467.548 de pavos y 252,2 millones de pollos broiler, lo que representa el 3,6% y un 95,6% respectivamente del total de las aves faenadas (ODEPA. O. d., 2015k). En términos de volumen de carne, según datos de ODEPA la producción total de carne de ave fueron de 669.054 toneladas, de las cuales 84,9% correspondió a carne de pollo broiler (567.004 toneladas); 14,4%, a carne de pavo (96.802 toneladas); 0,7% que corresponde a otras carnes de aves, donde se incluyen patos, gansos, avestruces y otros, con una producción de 19,6 toneladas (ODEPA. O. d., 2015k)

Figura 26: Evolución de la producción de carne de ave por tipo.



Fuente: ODEPA, 2015.

A nivel regional, la región de O'Higgins es la principal productora de carnes de aves, en especial carne de broiler, seguido por la región Metropolitana (Ver Tabla 50 y Tabla 51).

Tabla 50: Producción de carne de ave por tipo y región en toneladas anuales

	2007				2014			
	Broilers	Gallinas	Pavos	Otras aves*	Broilers	Gallinas	Pavos	Otras aves*
O'Higgins	268.986	2.327	2.140	0	338.062	3.265	2.280	0
Metropolitana	185.364	2.986	29.015	63	205.151	1.400	12.187	20
Arica y Parinacota, Coquimbo y Valparaíso	26.041	468	63.551	0	23.760	563	82.335	0
Biobío y La Araucanía	70	22	0	0	31	0	0	0

Fuente: (ODEPA., Oficina de Estadísticas y Políticas Agrarias, 2015I).

Tabla 51: Número de aves faenadas por tipo y región (miles de aves anuales).

	2007				2014			
	Broilers	Gallinas	Pavos	Otras Aves	Broilers	Gallinas	Pavos	Otras Aves
Coquimbo y Valparaíso	34	49	6.326	0	0	0	0	0
Lib. Bernardo O'Higgins	111.616	781	252	0	150.085	1.113	263	0
Metropolitana de Santiago	82.831	1.807	2.910	20	90.301	622	1.171	6
Total general	204.733	2837	9.489	20	252.206	2.040	9.468	6

Fuente: (ODEPA., Oficina de Estadísticas y Políticas Agrarias, 2015I).

Durante el 2014 se exportaron 96.475 toneladas de carne de aves con un valor de USD 284,5 millones (Aduanas, 2015). Los principales destinos de las exportaciones son México (24,9%), Estados Unidos (20,7%) y China (15,5%), China y Hong Kong.

El 77,4% de las exportaciones de carne de ave durante el 2014 corresponde a pollo. Por otro lado, los embarques de carne de pavo registraron 21.726 toneladas, lo que equivale a 22,5% del total exportado.

Durante el 2014 se importó un volumen de 86.408 toneladas, de las cuales el 94% corresponde a pollo, 5 % a carne de pavo y <1% a otras carnes de ave. Las importaciones provinieron principalmente Estados Unidos (46%), Brasil (30%), Argentina (24%) y otros países (<1%).

La carne de aves ocupa el primer lugar del consumo nacional de carnes, con 37,2 kg anuales per cápita. Del consumo total de aves en Chile, una fracción importante es proveniente de importaciones; en 2014: para el caso del pavo, el 5,5% del consumo es importado, y en el pollo alcanza a 14%.

b) Cerdos

La producción de carne de cerdo está centralizada en la región de O´Higgins, produciendo el 87 % del total nacional. Las siguientes tablas muestran el número de animales faenados y el beneficio en kilos de carne (Tabla 52 y Tabla 53).

Tabla 52: Beneficio de carne de cerdo en vara (kilogramos).

Región	2007	2014	Var 2007/14	Participación Nacional (2014)
Valparaíso	106.778	3.603.204	3274%	1%
O'Higgins	371.923.842	450.622.962	21%	87%
Maule	25.423.320	32.494.716	28%	6%
RM	94.372.783	24.611.234	-74%	5%
Total	498.707.843	520.255.555	4%	

Fuente: (ODEPA., Oficina de Estadísticas y Políticas Agrarias, 2015I).

Tabla 53: Número de animales faenados (cerdos).

Región	2007	2014
Valparaíso	2.460	42.776
O'Higgins	3.552.577	4.314.202
Maule	279.019	352.568
RM	1.080.332	300.080
Total general	5.007.035	5.117.295

Fuente: (ODEPA., Oficina de Estadísticas y Políticas Agrarias, 2015I).

En términos de consumo, la carne de cerdo es la tercera en importancia después de la carne de ave y bovina, representando un 23% de la carne total consumida en el país (www.asprocer.cl) Durante el 2013 se exportaron 120 mil toneladas de carne por un valor FOB de USD 408.925 millones.

Tabla 54: Volumen y valor de la exportación de carne de cerdo, sin considerar carnes procesadas.

Año	Volumen (toneladas)	Variación (%)	Valor (miles US\$ FOB)	Variación (%)
2008	105.817	-6,0	343.187	-4,8
2009	112.085	5,9	340.324	-0,8
2010	93.671	-16,4	322.379	-5,3
2011	100.888	7,7	403.332	25,1
2012	132.466	31,3	475.867	18,0
2013	120.286	-9,2	408.925	-14,1

Fuente: www.asprocer.cl

Las exportaciones el primer semestre del 2014 fueron principalmente a Japón (26%) y Corea del Sur (19%) seguido de Rusia (23% %), China (12%) y otros países (20%). A su vez la importación de carne de cerdo proviene principalmente de Estados Unidos (42%), Canadá (32%), Brasil (20%) y otros (6%) (www.asprocer.cl).

c) Bovinos

El año 2014 se faenaron 892.749 cabezas bovinas, de las cuales un 49% correspondían a novillos, 24% a vacas, 19% a vaquillas y el 8% restante a bueyes, toros y novillos. Esto correspondió a una producción de 224.111 toneladas, de las cuales el 60% fue aportado por los novillos y el 27% vacas.

Esta producción significó a un aumento de 12,9% en la faena de bovinos (ODEPA. O. d., 2015k)

Según datos de Odepa, la oferta nacional en el año 2014 hizo que la disponibilidad aparente de carne bovina fuera de 25 kg per cápita, con lo cual desplazó del segundo lugar a la carne de cerdo. De los 25 kilos de carne bovina disponibles por habitante al año, el 50% corresponde a producto nacional.

Tabla 55: Número de animales faenados bovinos, por región.

Regiones	2007	2014
Valparaíso	379.85	26.494
O'Higgins	411.09	20.706
Maule	27.715	36.842
RM	254.962	169.437
Total general	963.717	892.749

Fuente: (ODEPA. O. d., 2015k).

Tabla 56: Toneladas de carne bovina, por región.

Región	2007	2014
Valparaíso	12.785	6.376
Metropolitana	70.259	45.550
Libertador Bernardo O'Higgins	7.226	5.198
Maule	6.909	8.949
Total general	208.259	224.111

Fuente: (ODEPA. O. d., 2015k).

d) Ovinos

La producción de carne ovina se genera mayormente en la Región de Magallanes y en las regiones del Centro-Sur del país.

Tabla 57: Evolución del beneficio (faena) de animales por año.

Año	Beneficio	Variación anual	Carne en Vara	Variación anual
	(cabezas)	(%)	(toneladas)	(%)
2008	796.010	4,3	11.040	7,1
2009	779.852	-2,0	10.698	-3,1
2010	766.614	-1,7	10.545	-1,4
2011	791.477	3,2	11.176	6,0
2012	674.742	-14,7	9.612	-14,0
2013	607.365	-10,0	8.983	-6,5
2014			10.034	

Fuente: (ODEPA. O. d., 2015k).

Tabla 58: Beneficio de ovinos (kg carne en vara) por región.

Región	2007	2013	2014	% Participación Nacional (2013)
Valparaíso	3,1	0,0	0,0	0%
O'Higgins	141,6	77,9	65,4	1%
Maule	47,0	16,3	2,1	0%
Metropolitana	138,0	123,3	80,2	1%
Total	10265,1	8983,0	10034,5	

Fuente: (ODEPA. O. d., 2015k)

En 2013 Magallanes generó el 87% de la producción total de carne ovina y le siguió con mucha menor cantidad la Región de Los Lagos, registrando un 4%. Finalmente, se registran exportaciones de este tipo en regiones de La Araucanía, Aisén, Metropolitana, Biobío y O'Higgins.

e) Leche

El volumen que se considera en las 150 plantas existentes en el país, cuya información es recogida por Odepa (Industria Láctea Mayor, 22 plantas) y por el INE (Industria Láctea Menor, 123 plantas) (INE 2013) se presenta en la Tabla 59. En cuanto al volumen destaca la región de Los Lagos con una participación de 45,3%. Le sigue en importancia Los Ríos, con 27,4%. Otras regiones de relevancia son Biobío (10,3%), La Araucanía (8,0 %) y Metropolitana (7,5%).

Tabla 59. Producción lechera Nacional

Región	Número de plantas	Recepción primer semestre 2014	
		Millones de litros	%
Metropolitana	16	89,4	7,8
O'Higgins	5	3,0	0,3
Maule	10	4,5	0,4
Total País	150	1.150,2	100,0

Fuente: INE, 2013.

5.2.1.1.3.6. Sector Energía

En Chile existen cinco sistemas de generación eléctrica, i.e. Sistema Interconectado Norte Grande (SING), Sistema Interconectado Central (SIC), Sistemas Medianos de los Lagos, Sistema Eléctrico de Aysén (SEA), Sistema Eléctrico Magallanes (SEM) y el sistema de Isla de Pascua.

Para Marzo del 2015, la Comisión Nacional de Energía (CNE), publicó que la capacidad instalada ascendía 19027 MW con una variación anual del 2,8%, de los cuales el 78% eran producidos por el SIC, 20,7% por el SING y el 0,8% restante por SEA y SEM. La termoelectricidad es la principal fuente de generación eléctrica (58%), seguida de la hidroelectricidad convencional (32%) y con un menor aporte las ERNC (9%) (CNE, 2015).

Los sistemas SING y SIC concentran el 99% del total de electricidad producido. Ambos sistemas difieren en las tecnologías de generación eléctrica. La Tabla 60 y la Tabla 61 muestran una descripción de los sistemas.

Tabla 60: Variación mensual y anual en generación para los sistemas SING y SIC.

Categoría	SING	SIC
Variación Anual	+2,0%	+3,1%
Variación Mensual	-10%	-9,5%
Termoeléctrica	95%	48%
ERNC	5%	10%
Hidroeléctrica Convencional	-	42%

Fuente: CNE, 2015.

Tabla 61: Generación SIC y SING por fuente (%).

Fuente	SING	SIC
Térmica		
Carbón	49%	10,8%
Gas Natural	36,6%	17,1%
Petróleo Diesel	4,7%	16,1%
Petcoke	-	0,4%
Carbón – Petcoke	-	3,8%
Propano	-	0,1%
Fuel Oil Nro. 6	4,3%	
Cogeneración	0,4%	
Hidráulica		
Hidráulica Pasada	-	14,8%
Hidráulica Embalse	-	27,1%
ERNC		
Mini Hidráulica Pasada	0,4%	0,9%
Biomasa	-	2,1%
Biomasa-Petróleo N°6	-	0,6%
Biogás	-	0,2%
Eólica	2,3%	5,0%
Solar	2,3%	1,2%
Otros	-	-
Potencia total Instalada en MW)	3943	14909

Fuente: CNE, 2015.

a) Termoeléctricas

Las centrales termoeléctricas generan electricidad mediante la transformación de la energía térmica producida por la combustión de carbón, petróleo, gas u otras fuentes renovables. Una central se compone de: una caldera, donde se produce la combustión; una turbina o motor de

calor, que transforma la energía térmica proveniente de la combustión en energía mecánica; y un generador, que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. En general, las centrales termoeléctricas se pueden clasificar, según el tipo de combustión, en centrales termoeléctricas de ciclo convencional o ciclo combinado (SMA, 2014)

La cantidad de agua que necesita una termoeléctrica está directamente relacionado con el tamaño, la eficiencia y el tipo de sistema de enfriamiento que esta posea, siendo el sistema de enfriamiento el principal factor que determina el uso total.

Aquellas que utilizan vapor, basan su funcionamiento en el ciclo termodinámico Rankine (ciclo de vapor). Este utiliza vapor de agua u otro fluido producido gracias a la energía térmica generada en las calderas, el cual posteriormente, activa una turbina generando trabajo que se transmite a un eje de energía mecánica que luego es transformada a energía eléctrica en un generador.

En el estudio realizado por Inodú para el ministerio de energía (2015), se identificaron y analizaron las diferentes tecnologías utilizadas en las centrales termoeléctricas que basan su generación en el uso de vapor. Existen 2 tecnologías que utilizan vapor, la primeras son las centrales termoeléctricas de ciclo de vapor simple, las cuales se pueden clasificar en 4 categorías; i.e. i) Combustión de Carbón Pulverizado, con ciclo de vapor Subcrítico; ii) Combustión de Carbón Pulverizado, con ciclo de vapor Supercrítico; iii) Combustión de Carbón Pulverizado, con ciclo de vapor Ultra-Supercrítico y iv) Combustión de Lecho Fluidizado burbujeante y circulante. La segunda tecnología son las termoeléctricas de ciclo combinado. Ambas tecnologías difieren en la generación de vapor, la primera es basada en la combustión de combustibles en una caldera, mientras la segunda es en base a la recuperación de calor de los gases de combustión.

En Chile existen tanto centrales de ciclo de vapor simple como de ciclo combinado, la gran mayoría utilizan aguas de mar para su operación (CNR, 2015). Los procesos que pueden requerir agua son principalmente el sistema de enfriamiento (95%) y otros procesos (5%) como por ejemplo estrategias de mitigación de gases de combustión, manejo de cenizas entre otros. De los estudios realizados en el país se puede rescatar que del total de agua extraída el 97% del agua es descargada a su fuente original y solo el 3% es consumida y por consiguiente no devuelta a su fuente original. Se estima que a nivel nacional la extracción de agua dulce asciende a $3080 \text{ m}^3\text{hr}^{-1}$ (Inodú, 2015).

Aparte existen las centrales turbo gas de ciclo abierto, que son aquellas que poseen una turbina que transforma los gases combustionados a alta presión en movimiento que produce energía eléctrica mediante un generador. En este caso los gases calientes son devueltos a la atmosfera (SMA, 2014).

b) Hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas, canalizan el agua para operar turbinas, que a su vez alimentan a equipos generadores que producen electricidad. Existen centrales hidroeléctricas de dos tipos: centrales de pasada, que aprovechan la energía cinética del agua, y centrales de embalse, que almacenan agua y cuya energía primaria es la potencial.

De acuerdo a lo definido en la Ley 20.257, una central hidroeléctrica es considerada renovable no convencional en caso de que su potencia sea menor a 20 MW, denominada como pequeña hidráulica.

c) Energías Renovables no convencionales (ERNC)

Se consideran como ERNC a la energía solar, eólica, geotérmica y biomasa.

Energía solar, transforma energía del sol en energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos, aprovecha el calor para generación eléctrica indirectamente, mediante sistemas de concentración solar de potencia o, utilizada para calentar agua a través de colectores solares.

Las Centrales Solares Termoeléctricas, generan energía eléctrica mediante el uso de espejos para concentrar la energía solar, de modo de calentar un fluido calor portador que posteriormente genera vapor que ingresa a una turbina (CIEMAT, 2009). Además del requerimiento de radiación solar, se hace necesaria también la disponibilidad de agua, tanto para enfriamiento como para limpieza de espejos.

Las principales barreras que deben enfrentar las tecnologías CSP tienen relación con el bajo costo de los combustibles fósiles, la escasez de agua, los permisos y acceso a la red, pues muchas veces los lugares óptimos que cuentan con agua y radiación solar se encuentran alejados de los puntos de consumo.

Tabla 62: Potencia Instalada SIC por región (Macrozona central) y tipo de central.

REGIÓN	CLASIFICACIÓN	TIPO	POTENCIA BRUTA MW	POTENCIA NETA MW
Del Maule	ERNC	Biomasa	22,0	22,0
		Biomasa-Petróleo N°6	14,0	14,0
		Hidráulica Pasada	92,6	92,1
		Mini Hidráulica Pasada	10,7	10,7
	Hidráulica	Hidráulica Embalse	1245,0	1241,7
		Hidráulica Pasada	239,0	238,5
	Térmica	Carbón	2,0	2,0
		Petróleo Diesel	88,1	87,9
Gral. Bdo O'Higgins	ERNC	Biogás	1,0	0,9
		Biomasa	15,6	14,3
		Eólica	18,0	17,6
		Hidráulica Pasada	12,0	12,0
	Hidráulica	Hidráulica Embalse	378,0	376,6
		Hidráulica Pasada	559,3	557,4
	Térmica	Gas Natural	253,9	252,6
		Petcoke	75,0	63,0
		Petróleo Diesel	69,9	68,7
Metropolitana	ERNC	Biogás	25,2	25,2
		Biogás	13,8	13,5
		Hidráulica Pasada	12,0	11,8
		Mini Hidráulica Pasada	17,7	17,5
		Solar	0,2	0,2
	Hidráulica	Hidráulica Pasada	331,6	329,3
		Mini Hidráulica Pasada	3,1	3,1
	Térmica	Gas Natural	379,0	369,9
		Petróleo Diesel	103,0	95,0
Valparaíso	ERNC	Mini Hidráulica Pasada	0,1	0,1
	Hidráulica	Hidráulica Pasada	208,8	208,3
		Mini Hidráulica Pasada	2,9	2,8
	Térmica	Carbón	884,0	819,9
		Gas Natural	1662,5	1632,6
		Petróleo Diesel	531,4	526,7
Total general SIC			15349,6	15083,6

Fuente: CNE, 2015.

Energía eólica, transforma la energía cinética contenida en el viento, en energía utilizable. Pueden ser clasificados en on-shore (ubicados en tierra firme) y offshore (ubicados en mar abierto).

Energía Geotérmica, genera electricidad mediante sistemas de vapor o de aire caliente, sistemas flash, rocas calientes secas, entre otros. Estos sistemas consisten básicamente en la obtención de agua, vapor o aire caliente a través de afloramientos de agua a altas presiones y temperaturas, como los géiseres, o la inyección de agua fría en cámaras perforadas sobre focos caloríficos subterráneos. En general, la energía geotérmica posee una alta eficiencia en la conversión.

Energía a partir de biomasa, existen varios métodos para obtener energía a partir de la biomasa, como son los termoquímicos, que consisten en la combustión directa de biomasa, y los bioquímicos, que se basan en procesos de transformación biológica de la biomasa

Tabla 63 Generación electricidad sistema SIC por región (Macrozona central) y tipo de central.

Región	Tipo de Central	MWh	Aporte al SIC
Valparaíso	Embalse	0	0%
Valparaíso	Pasada	816,9	2%
Metropolitana	Embalse	0	0%
Metropolitana	Pasada	1731	3%
O´Higgins	Embalse	393	1%
O´Higgins	Pasada	1647,4	3%
Maule	Embalse	3587,4	7%
Maule	Pasada	38,7	0%
Total SIC	Embalse	9222,5	18%
Total SIC	Pasada	10292,3	20%
Total SIC	Todas las centrales	50897,5	100%

Fuente: CNE, 2015

5.2.1.1.3.7. Sector Doméstico (Agua potable y Servicios)

En base a las proyecciones de población que realiza INE para el año 2014 Chile tendrá una población de 17.8 millones de personas. En el país, la población está establecida ya sea en sectores rurales y urbanos, la distribución entre ambos sectores es variable y depende de las condiciones de cada región. A nivel nacional en promedio el 78% de la población está establecida en sectores urbanos y el 22 restante en sectores rurales (Tabla 64).

Tabla 64: Población rural y urbana por región.

	Total(Incluye todas las edades)	Censo 2002 población (%)		Estimación Población	
Regiones	Hombres y Mujeres	Urbano	Rural	Urbano	Rural
Valparaíso	1.790.564	92	8	1.644.275	146.289
O'Higgins	910.577	70	30	635.401	275.176
Maule	1.035.593	65	35	674.067	361.526
RM	7.228.581	97	3	6.990.038	238.543
País	17.810.630	78	22	15.202.221	2.608.409

Fuente: elaboración en base a proyecciones de población para el 2014 (INE) e información del Censo poblacional 2002.

a) Sector Urbano

A nivel nacional la cobertura de servicios sanitarios urbanos (potabilización y posterior tratamiento de las aguas servidas) son provistos por empresas privadas y son regulados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

Las empresas sanitarias concesionarias del servicio de agua potable y de la recolección y disposición de aguas servidas en el sector urbano son fiscalizadas y controladas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) (ver tabla 65).

La SISS, se encarga de fijar las tarifas por los servicios de agua potable y alcantarillado de aguas servidas que prestan las empresas sanitarias; otorgar las concesiones de servicios sanitarios; fiscalizar a las empresas sanitarias, particularmente respecto de la calidad del servicio prestado y aprobar los planes de desarrollo de las empresas sanitarias. Además la SISS fiscaliza a los establecimientos industriales generadores de residuos industriales líquidos - Riles, que efectúan descargas a las redes públicas de alcantarillado.

Las empresas deben dar cumplimiento a su Plan de Desarrollo y tienen la obligatoriedad de dar servicio en su área de concesión y la tarifa que cobran se fija con el criterio de Costo Marginal de Largo Plazo (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo).

El marco legal del sector sanitario está principalmente constituido por los siguientes cuerpos legales: Ley General de Servicios Sanitarios (DFL N° 382/88), Ley de Tarifas de Servicios Sanitarios (DFL MOP N° 70/88), Ley de Subsidio al pago de consumo de agua potable y servicio de alcantarillado (Ley N° 18.778) y Ley que crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios (Ley 18.902).

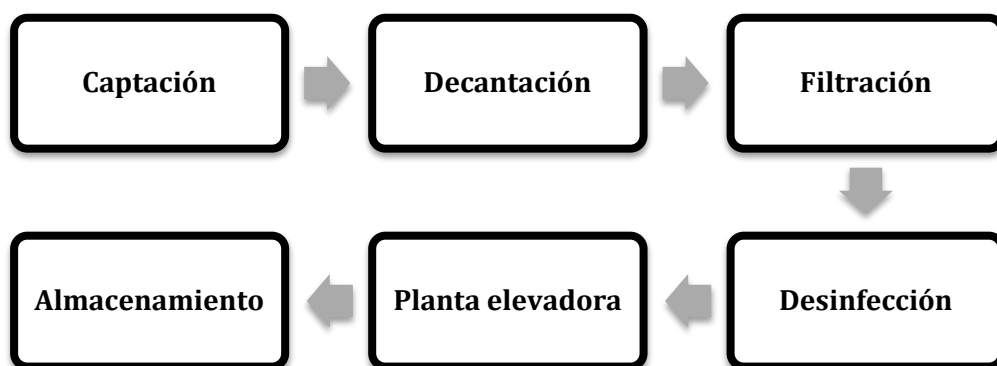
Tabla 65: Coberturas regionales actualizado hasta el 2013.

Región	N° de Empresas	Pob urbana estimada*	Cobertura de agua potable (%)	Cobertura de alcantarillado (%)	Cobertura de tratamiento de aguas servidas (%)
Valparaíso	7	1.620.446	100%	28%	43%
O'Higgins	1	687.003	100%	88%	100%
Maule	5	703.762	100%	96%	60%
RM	22	7.467.730	100%	98%	95%
País	54	16.094.638	100%	85%	85%
<ul style="list-style-type: none"> La población urbana es estimada a partir del número de inmuebles abastecidos 					

Fuente: SISS, 2013.

El ciclo de abastecimiento de agua potable se inicia con la extracción del agua a tratar. El proceso de producción de agua potable en el sector urbano consta de siete etapas sucesivas: captación, decantación, filtración, desinfección, planta elevadora y almacenamiento (Essbio, s.f.). Este proceso se esquematiza en la Figura 27: Proceso de producción de agua potable

Figura 27: Proceso de producción de agua potable.



Fuente: Adaptado desde el sitio web de Essbio.

La captación de agua cruda se realiza en distintas fuentes para potabilizar: a) fuentes superficiales, como lagunas, lagos, esteros, ríos y embalses; b) fuentes subterráneas, como pozos profundos, punteras, drenes y norias. La calidad del agua varía según las actividades que se desarrollen en las riberas de los ríos y esteros, la conformación geológica donde se desplaza y los elementos naturales que pueden ser arrastrados, entre otros. Luego que el agua es captada, primariamente se le retira todo el material arrastrado

como palos, plásticos y basura, mediante sistemas flotantes y mallas móviles para su posterior potabilización.

Posterior a eso, el agua es canalizada a las distintas viviendas y después de utilizadas, estas son recolectadas y conducidas para su tratamiento y posterior descarga a el curso superficial correspondiente.

Las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) que descargan a cuerpos de agua superficial deben dar cumplimiento a la norma de emisión D.S. MINSEGPRES N° 90/00, "Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales", en el caso de riego se debe dar cumplimiento a la norma NCh 1.333/78, "Requisitos de calidad del agua para diferentes usos".

b) Sector rural

En este sector, el agua potable es tratada y distribuida mediante sistemas de agua potable rural (APR) que funciona mediante Comités y Cooperativas, los que son fiscalizados por el Ministerio de Salud en lo referido a la calidad de servicio y también por el Departamento de Cooperativas del Ministerio de Economía en el caso de las Cooperativas (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo).

Respecto del funcionamiento de estos comités y cooperativas, la DIPRES (2015) indica que, a pesar que todos los comités tienen la obligación estatutaria de contar con herramientas de planificación, tales como un balance financiero anual y un plan anual de actividades, la gran mayoría no cuenta con un plan anual de actividades. De hecho, a causa de problemas de gestión, en el período de evaluación, un 5,07% de los sistemas de APR no cumplieron con la normativa sanitaria de calidad del agua. Finalmente, un 9,3% de los sistemas de APR no cumplieron con la normativa sanitaria de realizar periódicamente los exámenes bacteriológicos del agua distribuida a la población.

El informe concluye que las organizaciones mencionadas presentan problemas relativos a sus capacidades técnicas, financieras y de gestión, las cuales se encuentran dispersas.

Existe dispersión en las capacidades técnicas, financieras y de gestión de los comités y cooperativas. A pesar que todos los comités tienen la obligación estatutaria de contar con herramientas de planificación, tales

como un balance financiero anual y un plan anual de actividades, la gran mayoría no cuentan con un plan anual de actividades. Adicionalmente, producto de problemas de gestión, en el período de evaluación, un 5,07% de los sistemas de APR no cumplieron con la normativa sanitaria de calidad del agua. Más aún, un 9,3% de los sistemas de APR no cumplieron con la normativa sanitaria de realizar periódicamente los exámenes bacteriológicos del agua distribuida a la población” (Navarro, Zamorano y Donoso, 2007)

Sin embargo, el correcto funcionamiento de las Cooperativas y Comités de Agua Potable Rural podría ayudar a mejorar la organización social de la población rural en términos de solidaridad, participación y fomento del desarrollo de otras organizaciones.

A los servicios de Agua Potable Rural (APR) se les aplica parcialmente la normativa contenida en el DFL N° 382, de 1988, del MOP, Ley General de Servicios Sanitarios; estando excluidos del régimen de explotación bajo concesión y del régimen tarifario aplicado a los servicios públicos que entregan el servicio a través de las redes exigidas por la urbanización (PIRDT, 2009).

Los proyectos de Agua Potable rural surgen del Programa de Inversiones elaborado por el Ministerio de Obras Públicas (MOP). La propiedad de los sistemas de APR es estatal y la administración y operación de los mismos está a cargo principalmente de sistemas de administración comunitaria, constituidos en Comités o Cooperativas asociados a cada sistema o servicio de APR.

Una componente clave en la estructura organizacional del Programa de APR es la Unidad Técnica, la que actúa a nivel regional y que básicamente en la mayoría de los casos es delegada en la Empresa Sanitaria de la región y en algunas regiones a la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), aun cuando en algunas localidades, los municipios se responsabilizan de esta tarea.

Estos organismos técnicos son contratados para prestar asesoría técnica, siendo responsables de la ejecución del proyecto (desde su fase de pre-inversión hasta la recepción de la obra) y de la Asistencia Técnica al Comité de APR durante la operación del proyecto ejecutado (PIRDT, 2009).

A continuación se presenta el conjunto normativo relacionado con Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Rural (PIRDT, 2009):

Tabla 66 Resumen de normas atinentes al Sector Rural.

SECTOR RURAL
Ley N° 18.777 de 1989. Autoriza al estado para desarrollar actividades empresariales en materia de agua potable y alcantarillado.
Ley N° 18.778 de 1989. Establece Subsidio al Pago de consumo de Agua Potable y Servicio de Alcantarillado de Aguas Servidas.
Ley N° 19.338 de 1994. Modifica la Ley N° 18.778, además su reglamento que fue aprobado por el D.S N° 195 del 19/02/99 y que incorpora el subsidio a la inversión.
Ley N° 19.418 de 1995. Ley sobre Juntas de Vecinos y demás Organizaciones Comunitarias.
DFL N°5 de 2004. Ministerio de Economía

Fuente: Elaboración propia, adaptado de PIRDT, 2009.

Dependiendo si la localidad cuenta o no cuenta con redes de alcantarillado, podemos segregar los sistemas de recolección, tratamiento y disposición de aguas servidas como Centralizados y Descentralizados, sean sistemas de tratamiento colectivos o individuales (PIRDT, 2009).

Tabla 67: Resumen Caracterización productiva Macrozona Central.

Sector	Silvoagropecuario									
Fuente	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007
Producción	Uva de mesa	Manzano (V+R)	Palto	Nogal	Olivo	Ciruelo (E+J)	Cerezo	Durazno (F+C+N)	Kiwi	Almendro
Unidad	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha
Valparaíso	13.031	287	22.242	2.945	1.505	537	175	4.399	256	882
Metropolitana	12.453	615	7.214	6.162	1.425	6.099	966	4.913	887	3.399
O´Higgins	16.942	10.675	2.954	2.626	2.377	10.635	4.204	11.370	3.051	2.578
Maule	349	19.841	87	728	3.539	1.633	5.964	655	5.048	105
País	62.463	37.413	39.887	14.720	16.121	19.047	13.584	22.197	9.957	7.892

Sector	Silvoagropecuario						
Fuente	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007
Producción	Trigo	Avena	Maíz	Papa	Remolacha	Maravilla	Tomate Industrial
Unidad	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha
Valparaíso	2.384	484	1.162	2.195	52	6	100
Metropolitana	3.505	160	14.086	5.258	34	550	
O´Higgins	7.487	999	56.676	1.727	576	914	2.635
Maule	24.196	1.322	40.253	3.377	5.222	1.491	4.062
País	230.669	82.113	125.784	54.189	20.915	3.548	7.022

Sector	Silvoagropecuario							
Fuente	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007
Producción	Choclo	Lechuga	Cebolla de guarda y temprana	Tomate fresco	Zapallo temprano y de guarda	Zanahoria	Melón	Sandia
Unidad	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha
Valparaíso	982	1.293	565	1.186	62	828	64	48
Metropolitana	1.593	151	1866	1.069	1.813	73	1.567	1.246
O´Higgins	1.794	438	599	945	675	87	496	1.133
Maule	3.324	3.251	2.565	1.087	2.471	1.032	721	410
País	10.592	7.040	6.160	6.364	5.230	3.988	3.116	2.986

Sector	Silvoagropecuario							
Fuente	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007	Censo 2007
Producción	Viñas Riego	Viñas Secano	Parronales	Gallinas y Pollos	Cerdos	Bovinos	Eucaliptus sp	Pino Radiata O Insigne
Unidad	Ha	Ha	Ha	Existencias	Miles de Cabezas	Miles de Cabezas	Ha	Ha
Valparaíso	7.027	107	125	9.031.321	173,9	107,7	42.462	11.909
Metropolitana	11.603	92	631	17.682.990	1.298,30	108,4	48.686	82.735
O´Higgins	29.917	1.471	4.489	11.461.358	871	89	51.962	431.660
Maule	32.091	9.612	4.407	1.193.763	93,4	265,8	7.497	81
País	84.997	25.331	20.113	52.258.047	173,9	107,7	895.328	1.614.019

Sector	Minería					
Fuente	SONAMI 2007	SONAMI 2013	SONAMI 2007	SONAMI 2013	SONAMI 2007	SONAMI 2013
Producción	Cobre Fino	Cobre Fino	Oro fino	Oro fino	Plata	Plata
Unidad	Miles ton	Miles ton	kg	kg	kg	kg
Valparaíso	317.942	329.492	1.515	1.359	95.361	87.823
Metropolitana	229.305	415.784	1.912	2.984	43.737	54.984
O´Higgins	420.016	470.596	673	969	66.910	96.548
Maule	0	0				
País	5.601.729	5.851.504	41.527	51.309	1.936.467	1.173.845

Reporte Huella Hídrica en Chile: Sectores prioritarios de la cuenca del Río Rapel

Sector	Industria								
Fuente	Catastro Agroindustriales 2012	Catastro Agroindustriales 2012	Catastro Agroindustriales 2012	Catastro Agroindustriales 2012	Catastro Agroindustrial 2012	Catastro Agroindustrial 2012	INFOR, 2013	ODEPA, 2012	ODEPA, 2013
Producción	Jugos	Congelados	Deshidratados	Conservas	Mermeladas	Aceites	Pulpa celulosa	Vino total	Vino total
Unidad	Ton frutas procesadas	Ton frutas procesadas	Ton frutas procesadas	Ton frutas procesadas	Ton frutas procesadas	Ton frutas procesadas	ton	Miles de litros	Miles de litros
Valparaíso	0	2472	111.595	39.968	295	2258	0	20.113	21.526
Metropolitana	6.722	740	84.419	50.823	314	15847	0	180.973	191.286
O'Higgins	129.657	240	106.009	10.566	14150	3474	0	335.202	406.893
Maule	144.400	6.357	26.291	0	0	0	1.683.701	470.670	523.274
País	302.343	219.055	357.002	101.849	14815	42172	16.539.105	1.068.036	1.214.108

Sector	Industria					
Fuente	ODEPA, 2007	ODEPA 2014	ODEPA, 2007	ODEPA 2014	ODEPA, 2007	ODEPA 2014
Producción	Beneficio Gallinas y pollos	Beneficio Gallinas y pollos	Beneficio Cerdos	Beneficio Cerdos	Beneficio Bovinos	Beneficio Bovinos
Unidad	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton
Valparaíso	26.509*	24.323*	107	3.603	10.942	5.198
Metropolitana	185.364	206.551	94.373	2.4611	6.662	8.949
O´Higgins	268.986	341.327	371.924	450.623	64.799	45.550
Maule	0	0	25.423	32.495	9.888	6.376
País	486.264	572.232	498.708	520.256	241.677	224.111

*Corresponde a la suma de las regiones de Arica y Parinacota, Coquimbo y Valparaíso

Sector	Doméstico	
Fuente	INE, 2014	INE, 2014
Producción	Población Rural**	Población Urbana**
Unidad	Personas	Personas
Valparaíso	146.289	1.644.275
Metropolitana	238.543	6.990.038
O´Higgins	275.176	635.401
Maule	361.526	674.067
País	2.608.409	15.202.221

**Elaborado en base a proyecciones de población para el 2014 (INE) e información del Censo poblacional 2002

Sector	Energía	
Fuente	CNE, 2013	CNE, 2013
Producción	Embalse	Embalse de pasada
Unidad	MWh	mWh
Valparaíso	0	817,0
Metropolitana	0	1731,1
O´Higgins	444	1647,4
Maule	3587	38,8
País	9222,588	10292,3

5.2.1.2. Información requerida para estimar las HH de los distintos sectores

5.2.1.2.1. Disponibilidad Hídrica del país

Chile continental se caracteriza por ser una larga y angosta franja de tierra con 4.300 km de largo y con un ancho medio de 180 km. A lo largo del territorio la influencia del relieve, definida por la Cordillera de la Costa y la Cordillera de los Andes, y el océano pacífico permite la ocurrencia de una gran variedad de paisajes y condiciones climáticas. (Banco Mundial., 2011; MOP., 2013; Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015).

La gran variabilidad climática va desde el clima desértico presente en el norte grande, mediterráneo en la zona centro y templado a subpolar en la zona sur. Las precipitaciones se distribuyen de manera irregular entre 0 mm en algunas partes del norte de hasta unos 4.000 mm anuales en sectores más australes. Las precipitaciones ocurren bajo dos patrones, el primero se desarrolla en el extremo norte donde las estas ocurren durante el periodo de verano y el segundo ocurre en el resto del territorio, a diferentes intensidades, donde las precipitaciones se concentran en el periodo de otoño-invierno (MMA., s.a.).

Parte de las precipitaciones se acumulan como nieve en los sectores altos de las montañas a lo largo del país. Gracias a los deshielos las aguas alimentan a los ríos durante las estaciones de primavera y verano lo que permite que exista suficiente disponibilidad de agua para diferentes usos, i.e. agricultura (MOP., 2013).

5.2.1.2.1.1. Aguas Superficiales

La red hídrica del país cuenta con 1.251 ríos y más de 15.000 lagos (Banco Mundial, 2011), que en superficie representan 11.452 km² de Lagos y Lagunas. En la siguiente tabla se presentan los principales lagos y lagunas Presentes en la macrozona.

Tabla 68: Principales Lagos y lagunas presentes en la macrozona.

Región	Número de Lagos y Lagunas	Principales Lagunas	Superficie (km ²)
Valparaíso (V)	2	Laguna Peñuelas	11
Región Metropolitana (RM)	4	Laguna de Aculeo	11,7
		Laguna Negra	4,7
De O'Higgins (VI)	2	Laguna Cauquenes	4,8
Maule (VII)	4	Laguna del Maule	68
		Lago Vichuquén	11,9

Fuente: Ministerio del Interior y seguridad pública, 2015.

A nivel nacional, existen 24.114 Glaciares que equivalen a un área de 23.641km², 4.200 km² Campo de Hielo Norte y 13.000 km² Campo de Hielo Sur.

En 1987 la Dirección General de aguas estimó el balance hídrico nacional que ha servido como base para posteriores estudios, en él se calculó la escorrentía media por región (ver Tabla 69). En base a esta información se estimó una escorrentía media anual de 928.000 Mm³ /año ¹³ (Banco Mundial., 2011).

¹³ Fuente: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos en Chile, Banco Mundial 2011. Pág. 6 párrafo 20.

Tabla 69 Balance Hídrico, 1987.

Región	Precipitación		Escorrentía		Evapotranspiración Real				Evaporación desde lagos y salares	
					Superficie Natural		Superficie Regada *			
	m³/s	mm	m³/s	mm	m³/s	Mm	m³/s	mm	m³/s	mm
V	211	434	40,7	83,7	149	306	20,1	41,3	211	434
RM	335	650	103	200	186	361	30,5	59,2	1,01	1,96
VI	508	898	205	362	281	497	15,4	27,2	3,04	5,37
VII	1.347	1.377	767	784	536	548	38,4	39,2	1.347	1.377
Chile	36.947	1.522	29.244	1.204	7.357	303	178	7,33	36.947	1.522

Fuente: DGA, 1987.

En la Tabla 70 se presenta la escorrentía per cápita de agua a nivel nacional con un promedio de 53.953 m³ por persona al año considerando todas las precipitaciones que ocurren en un año en el país. Este valor supera la media mundial de 6.600 m³ habitante año. Al analizar la disponibilidad por región, aquellas que se encuentran al norte de la región metropolitana presentan una disponibilidad menor a los 800m³ /persona/año, mientras al sur de la región Metropolitana la disponibilidad supera los 10.000m³ /persona/año (Banco Mundial., 2011).

Tabla 70: Disponibilidad de Agua en Chile por habitante al 2009.

Región	m³/habitante/año
Valparaíso	801
Región Metropolitana	525
O' Higgins	6.829
Maule	23.978
Media	53.953

Fuente: Elaborado a partir DGA, 1987; e INE 1992, 2003 y 2010 Banco Mundial, 2011.

A lo largo del país existe una serie de 60 embalses destinados a la generación de electricidad, riego y/o ambos o agua potable. Los principales embalses del país se presentan en la Tabla 71, estos permiten almacenar 12.900 millones de m³ para hidroelectricidad, riego y agua potable (M. Interior, 2015). Estas representan el 1.39% de la escorrentía total media anual que alcanza a 928.000 millones de m³ al año.

Tabla 71: Listados de los principales embalses existentes en la macrozona central y principal uso.

Embalses	Región	Cuenca	Cap. Max (millones m ³)	Uso Principal
El yeso	RM	Maipo	256	A. Potable
Rungue	RM	Maipo	2,2	Riego
Peñuelas	V	Peñuelas	95	A.Potable
Convento Viejo	VI	Rapel	237	Riego
Rapel	VI	Rapel	695	Generación
Colbún	VII	Maule	1544	Generación y Riego
Lag.Maule	VII	Maule	1420	Generación y Riego
Bullileo	VII	Maule	60	Riego
Digua	VII	Maule	220	Riego
Tutuven	VII	Maule	15	Riego

Fuente: Elaboración Propia en base a información DGA, 2015.

5.2.1.2.1.2. Aguas Subterráneas

Los acuíferos en Chile corresponden a sedimentos cuaternarios no consolidados de origen aluvial, aluvional, fluvial, fluvio-glacial, laháricos y otros, libres o semiconfinados con niveles estáticos menores a los 50 metros, de características granulométricas muy heterogéneas (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015). La recarga de los acuíferos está ligada directamente a los aportes de las precipitaciones y a las infiltraciones de ríos y riegos dada la interacción entre aguas superficiales y subterráneas.

La recarga subterránea media ha sido estimada por la DGA, desde la región Metropolitana hacia el norte la recarga media es de aproximadamente en 55 m³ /s y en la zona sur (entre la región del Maule a los Lagos) esta es aproximadamente de 160 m³ /s ¹⁴ (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015).

Huellas hídricas por sector

5.2.1.2.1.3. Huella Hídrica Sector Silvoagropecuario

La Huella Hídrica (HH) del sector está determinada por la suma de las huellas de los tres sub- sectores: Agrícola, forestal y pecuario.

¹⁴ “Política Nacional para los recursos Hídricos 2015”, pág. 21.

a) Sub-sector Agrícola-Forestal

Para el caso de los sub-sectores agrícola y forestal, la HH es el resultado de la suma del consumo hídrico anual ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) de cada uno de los diferentes cultivos por la superficie del cultivo (ha).

Para la estimación de la HH por cultivo se utilizó la metodología de Garrido, et al. (2010), la cual se basa en la metodología de la monografía FAO nº 56 (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006). En ella, la evapotranspiración de referencia (ET_o), del lugar dónde se está desarrollando el cultivo, es multiplicado por el coeficiente de cultivo (kc) y la superficie del cultivo en cuestión para obtener la HH (m^3/ha).

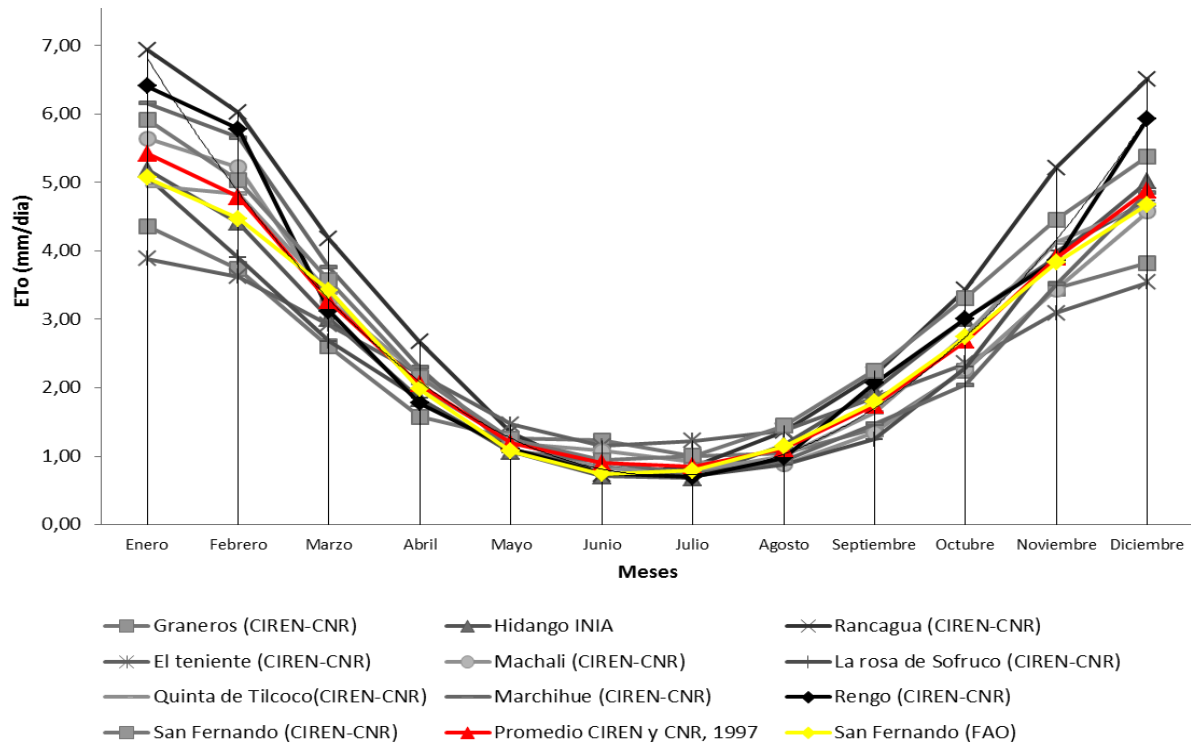
Para la macrozona se evaluaron diferentes fuentes nacionales e internacionales de ET_o. Dada la escala, se decidió utilizar las ET_o de referencia desde la BBDD de CLIMWAT, ya que esta entregaba además las precipitaciones. Cabe decir que para los estudios de ET_o nacionales en general no tienen asociadas Base de datos (BBDD) de precipitaciones.

Tabla 72: Eto Calculado en base a los datos agroclimáticos de la BBDD CLIMWAT

Región	Maule	O´Higgins	RM	Valparaíso	Valparaíso
Estación	Talca	San Fernando	Quinta normal	Quillota	Los Andes
Mes	ET _o	ET _o	ET _o	ET _o	ET _o
	mm/día	mm/día	mm/día	mm/día	mm/día
Enero	5.66	5.07	5.65	5.17	5.71
Febrero	5.07	4.47	5.26	4.11	5.25
Marzo	3.88	3.42	3.95	2.68	4.34
Abril	2.39	1.98	2.35	2.26	2.80
Mayo	1.31	1.07	1.18	1.47	1.74
Junio	0.89	0.74	0.77	1.47	1.25
Julio	0.93	0.79	0.81	1.52	1.35
Agosto	1.36	1.14	1.23	1.60	1.71
Septiembre	2.17	1.79	1.98	2.31	2.48
Octubre	3.23	2.74	3.41	3.28	3.65
Noviembre	4.33	3.83	4.41	4.12	4.73
Diciembre	5.43	4.68	5.58	4.99	5.63
Promedio	3.06	2.64	3.05	2.91	3.39

Fuente: elaboración propia en base a datos agroclimáticos de la BBDD CLIMWAT.

Figura 28: Comparación entre los datos CIREN y CNR (1997) y BBDD CLIMWAT para la región de O´Higgins.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 73: Precipitaciones.

Región	Maule	O´Higgins	RM	Valparaíso	Valparaíso
Estación	Talca	San Fernando	Quinta normal	Quillota	Los Andes
	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes
Enero	14.0	7.0	0.0	3.0	3.0
Febrero	8.0	8.0	1.0	6.0	5.0
Marzo	14.0	13.0	3.0	2.0	3.0
Abril	40.0	31.0	9.0	12.0	9.0
Mayo	129.0	139.0	40.0	77.0	59.0
Junio	169.0	209.0	73.0	125.0	77.0
Julio	132.0	152.0	77.0	86.0	53.0
Agosto	90.0	118.0	42.0	78.0	53.0
Septiembre	53.0	60.0	22.0	25.0	23.0
Octubre	27.0	27.0	12.0	13.0	12.0
Noviembre	18.0	22.0	8.0	5.0	5.0
Diciembre	8.0	6.0	4.0	3.0	3.0

Fuente: BBDD CLIMWAT.

Los coeficientes de cultivo se modelaron de acuerdo a la metodología propuesta en la monografía FAO nº 56 (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).
 Tabla 74: Coeficientes de Cultivo- Corregidos para la macrozona central.

	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Uva vinífera	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
Vid de mesa	0,3	0,3	0,3	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Kiwi	0,4	0,4	0,4	0,6	0,9	1,1	1,1	1,1	1,0	0,9	0,5	0,4	0,4
Manzana	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	1,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6
Cerezas	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6
Palta	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7
Olivo	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Nogal	0,5	0,5	0,6	1,1	1,1	1,1	1,1	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ciruela	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6
Duraznos	0,6	0,6	0,6	0,7	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	0,9	0,7	0,6	0,6
Almendro	0,4	0,4	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4
Limón, Naranja y mandarino	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Arándano	0,2	0,2	0,2	0,6	1,0	1,0	1,0	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Trigo			0,3	0,4	0,8	1,1	1,2	1,0	0,3				
Avena			0,3	0,4	0,8	1,1	1,2	1,0	0,3				
Maíz grano			0,7	0,9	1,2	1,2	0,9						
Papa			0,5	0,9	1,2	1,0	0,2						
Tomate Industrial			0,6	0,7	1,1	1,2	1,1	0,8					
Choclo (maíz)			0,7	1,0	1,2	1,2	0,6						
Lechuga			0,7	0,8	1,0	0,4	0,0						
Tomate Fresco			0,6	0,9	1,1	1,2	0,9	0,1					
Cebolla de guarda			0,7	1,0	1,0	1,0	0,8						
Zapallo			0,5	0,8	1,0	0,7							
Zanahoria			0,7	0,8	0,9	0,9	0,5						
Melón			0,5	0,8	1,1	0,8							
Sandia			0,4	0,9	1,0	0,4							

Fuente: Elaboración propia en base al resultado de taller de trabajo con CNR.

Tabla 75: Requerimiento de Nitrógeno promedio por Ha. por cultivo.

	Fertilización Nitrógeno(kg)/ha	U	Eficiencia Aplicación*	de	% lixiviación*
Vid de mesa	88		50%		10%
Kiwi	172		50%		10%
Manzana	224		50%		10%
Perales	150		50%		10%
Palta	180		50%		10%
Olivo	600		50%		10%
Nogal	56		50%		10%
Ciruela	145		50%		10%
Duraznos	111		50%		10%
Almendro	111		50%		10%
Trigo	250		50%		10%
Maíz grano	280		50%		10%
Papa	160		50%		10%
Tomate Industrial	233,5		50%		10%
Choclo (maíz)	70		50%		10%
Lechuga	45		50%		10%
Tomate Fresco	233,5		50%		10%
Cebolla de guarda	196,66		50%		10%
Zapallo	72		50%		10%
Zanahoria	70		50%		10%
Melón	46		50%		10%
Sandia	46		50%		10%

Fuente: elaborado en base a Faguenbaum, 2009; Fichas de cultivo (ODEPA, 2014-2015); Gil, 2009; Gil, 2006; Osorio, 2012.

*Se consideró una eficiencia de aplicación del 50%

** Dentro de los supuestos se consideró que el 10% de los fertilizantes aplicados se pierden por lixiviación.

Supuestos y Recomendaciones

- Existen diversas fuentes oficiales, nacionales y/o internacionales donde se pueden obtener las ETo y precipitaciones para gran parte de las localidades productivas a lo largo de Chile. En la medida que la escala de trabajo sea más pequeña (cuenca) se recomienda utilizar información disponible en publicaciones más locales como "Atlas de

Cambio Climático en las Zonas de Régimen árido y semiárido” (Santibáñez, y otros, 2015), Cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial (CIREN & CNR, 1997) u otras publicaciones oficiales que entreguen valores promedios de ETo y precipitaciones medidos mediante protocolos definidos. Esto va a permitir que las estimaciones de las HH azul y verde sean mas estandarizadas.

- En el caso de que no existan estaciones para la localidad analizada, se recomienda utilizar la más cercana y/o el promedio comunal-provincial- regional de acuerdo a la disponibilidad de información y homogeneidad del territorio estudiado. Mediante los “poligonos de thiesen” o el metodo de las isoyetas, permitirían determinar las areas de influencia y asi obtener la mejor aproximación posible en el caso que se tenga más de una estación.
- El coeficiente de cultivo es un valor adimensional que varía de acuerdo a las características del cultivo y permite ajustar la evapotranspiración de referencia a las reales características de este. Los principales estudios referente a la estimación de los Kc están descritos en el estudio “Evapotranspiración de cultivos” (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006). A nivel nacional existen estudios específicos para algunas localidades y para algunos cultivos. Estos estudios han sido realizados principalmente por INIA o Universidades y en general no han sido realizados para todos los cultivos. Dado que no existe ninguna base de datos disponible que los agrupe estos valores, se deben buscar en estudios específicos uno a uno (Fuente: Conversación con Leonardo Machuca, CNR). En el estudio de Santibáñez, y otros (2015), hay un listado de kc mensuales para varios cultivos en base mensual que puede ser utilizado en los cuales la principal fuente es la DGA que puede ser utilizado citando la fuente.
- Dado que el cálculo de la evapotranspiracion permite obtener el requerimiento potencial, este valor puede ser corregido mediante
- Para a estimación de la precipitacion efectiva, se propone utilizar la formula de Doorembos y Pruitt, (1977), (ver ecuación 6), la cual ajusta la precipitación real de acuerdo a la evapotranspiración de referencia (ETo). Se seleccionó este ajuste por sobre otros ya que otros estudios de huella hídrica en Chile (Osorio, 2013) la han utilizado al igual que estudios de HH realizados en Latinoamérica (Arévalo, y otros, 2013).

- Para el cálculo de la HH Gris se recomienda considerar al Nitrógeno como el principal contaminante, dada su capacidad de dilución. En general los diferentes estudios comparten el supuesto de que el 10 % de la aplicación es lixiviada. La publicación de (Osorio, 2013) incluye además el supuesto que la eficiencia de aplicación (50%), el cual también se consideró en el cálculo. Como para todos los casos de HH Gris, se asumió que la carga natural estaba dada por las normas secundarias de los respectivos ríos y en el caso de no existir se tomaron como parámetros valores internacionales para aguas de buena calidad (Boulay, Bouchard, Bulle, Deschrenes, & Margni, 2011)
- Las dosis de fertilización varían según la localidad y el tipo de cultivo. En este estudio se obtuvieron desde diferentes publicaciones nacionales que realizan recomendaciones para algunos cultivos (Gil, Fruticultura Producción de Fruta, 2006; Gil, Fruticultura el potencial productivo, 2009; Faguenbaum, 2003; Hirzel, s.a.)

La información de la superficie de cada uno de los cultivos presentes en Chile se obtuvo del Censo Agropecuario (2007). El censo es la información oficial que entrega el gobierno y se realiza cada 10 años. La información referente a los resultados del censo está publicada para las distintas unidades administrativas (comuna-provincia- región- país).

Existen actualizaciones para la superficie y rendimiento de algunos grupos de productos, ej. catastros frutícolas, encuestas de intenciones de siembra para cereales y hortalizas, pero su unidad más pequeña es la región. Esta información es manejada por INE y dada a conocer mediante su página web. También esta información la maneja ODEPA, el cual es un organismo que realiza análisis sectoriales en base a esta información.

Información relacionada a productividad y destino (comercio interno/exportación) se obtuvo desde distintas fuentes oficiales, e.g. ODEPA, INE, ADUANAS.

b) Sub-sector pecuario (Ver anexos: Fichas de modelación)

Para el cálculo de la HH del sector pecuario es necesario conocer del requerimiento de agua por animal, así como la información referente al manejo de purines por animal.

Dentro de los supuestos y recomendaciones:

- La información referente a requerimiento hídrico del animal así como para el sistema productivo fue obtenida desde declaraciones de impacto ambiental aceptadas por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), reuniones con la asociaciones de productores (e.g. APA-ASPROCER) e información de la base de datos ECOBASE¹⁵ representa a la industria pecuaria a nivel nacional.
- Se asume que grado de tecnificación a nivel nacional es relativamente similar por lo que la información generada sobre balances hídricos del o los procesos analizados es representativa para toda la producción del país independiente del lugar dónde esta se encuentre.
- Los consumos presentados 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 que ocurrió en la cuenca ya fue contabilizado en la parte agrícola y si es importado corresponde a huella indirecta.
- La HH Gris se obtuvo del balance hídrico y correspondió al total de agua descargada por unidad funcional (animal). Se asumió que la calidad de la descarga correspondía a la calidad descrita en el Decreto 90. Como para todos los casos de HH Gris, se asumió que la carga natural estaba dada por las normas secundarias de los respectivos ríos o en el caso de no existir se tomaron como parámetros valores internacionales para aguas de buena calidad (Boulay, Bouchard, Bulle, Deschrenes, & Margni, 2011).

La información referente a las existencias por tipo animal a nivel nacional-regional- comunal se obtuvo desde el Censo Agropecuario (2007). Al igual para los otros productos agropecuarios, existen actualizaciones disponibles en ODEPA o INE, considerando que la información es por región o a nivel nacional, pero está más actualizada.

5.2.1.2.1.4. Sector Energía

La HH del sector es la suma del consumo de agua de las distintas plantas de generación eléctrica.

Para el cálculo de la HH de la energía es necesario conocer el consumo de agua por tipo de central de generación.

¹⁵ ECOBASE: es una base de datos ambiental 16 categorías de productos en el sector alimentos y vitivinícola de exportación Chileno.

Dentro de los supuestos y recomendaciones:

- A nivel nacional se realizó un levantamiento de las tecnologías de generación presentes en Chile y cuáles de estas utilizan agua fresca dentro de sus procesos.
- A partir de este análisis se identificó que las centrales hidroeléctricas tanto de embalse como las de pasada son aquellas que generan un mayor consumo de agua (Mekonnen y Grebens-Leenes, 2015). Por lo que solo se consideraron hidroeléctricas para el análisis. Para el caso de las termoeléctricas que utilizan agua, en Chile, estas se encuentran en el norte (sistema SING) por lo que no forman parte del estudio y además utilizan principalmente agua de mar y muy pocas utilizan aguas continentales.
- La información de evaporación se obtuvieron directamente desde (CIREN & CNR, 1997), ya que se prefirió información estandarizada.

La Comisión Nacional de energía lleva un catastro detallado de las distintas plantas de generación eléctrica a nivel nacional. En el catastro, actualizado al 2013, esta detallado por comuna el número de centrales eléctricas presentes, la generación anual bruta.

5.2.1.2.1.5. Sector Industrial (Ver anexos: Fichas de productos)

La medición de la HH industrial es más complicada que para otros sectores, dada la diversificación de actividades que la constituyen. Para INE, se entiende por actividad industrial aquellas acciones de transformación química y física de materiales y componentes en productos nuevos, ya sea que éstas se efectúen con máquinas o a mano, en una fábrica o en el domicilio, o que los productos se vendan al por mayor o al por menor, incluido el montaje de productos manufacturados, excepto cuando se trate de construcción.

Dentro de los supuestos y recomendaciones:

- La información para la identificación de las empresas más importantes que existe en el país se recogió de la encuesta anual industrial que realiza INE una vez al año a nivel nacional (ENIA). La cobertura de la encuesta incluye a todos los establecimientos que tengan 10 o más personas ocupadas o que sean considerados multa-unidad.
- 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 y a datos obtenidos de la base de datos 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 dónde la industria se encuentre.

ECOBASE, es un proyecto generado en Fundación Chile, con el apoyo de Corfo y con la Universidad de la Frontera como co-ejeutor. Este proyecto, busca crear una base de datos para facilitar la medición y reporte de sustentabilidad a nivel de productos a las diferentes empresas del sector alimentario y vitivinícola de exportación. ECOBASE se basa en la metodología de "Análisis de Ciclo de Vida (ACV)", la cual permite identificar los flujos de uso de recursos y los impactos ambientales (como emisiones de gases efecto invernadero o GEI, consumos de agua y energía) asociados a la provisión de productos y servicios.

En calidad de asociados se encuentran: ProChile, Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Agricultura, Salmon Chile, Asoex, Vinos de Chile, Exporlac, FedeFruta, Centro de Envases y Embalajes de Chile, Chile alimentos, Movimiento de Viñateros Independientes de Chile y Asociación Gremial de Mitilicultores de Chile.

- Solo se consideró como fuente el agua extraída desde fuentes superficiales o subterráneas.
- 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 Río Rapel y calidades buenas obtenida desde fuentes internacionales (Boulay, Bouchard, Bulle, Deschrenes, & Margni, 2011)).

En base a la información recopilada directamente desde la industria se utilizó la información referente a las entradas y salidas de agua en las distintas empresas para estimar la HH de estas. Desde ECOBASE se obtuvo información principalmente de la Agroindustria (Congelados, Deshidratados, jugos, mermeladas, conserva, aceite, producción de carnes y lácteos, acuicultura y producción de vino). Es importante mencionar que la información referente a cada uno de los procesos proporcionados por ECOBASE son promedios del sector analizado y son entregados como caja negra para proteger la confidencialidad de los participantes del proyecto.

- Con relación a la producción de la industria forestal, la cual es relevante para Chile, no fue posible obtener información desde las empresas. Por lo que se utilizó información obtenida desde publicaciones científicas relacionadas con análisis de ciclo de vida ya que describen los procesos y los flujos de recursos.

- La productividad de cada uno de los rubros industriales se obtuvo desde bases de datos publicadas por INE, y es importante mencionar que para muchos rubros dada su diversificación, los registros de producción están valorizados y no por volumen o unidad producida por lo que no fue posible incluirla en el estudio.

5.2.1.2.1.6. *Sector doméstico*

Para el cálculo de la HH del sector se evaluó el sistema de potabilización de aguas, uso y posterior tratamiento de los sectores rural y urbano por separado. Para realizar el modelo de HH para cada uno de los sistemas se utilizaron como fuentes de información documentos publicados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), ESSBIO y otras sanitarias presentes en el país, la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE) y Ministerio de Obras públicas (MOP)

La población abastecida por cada uno de los sectores se estimó en base a las proyecciones de población que realizó INE para el 2014 y los resultados de distribución de la población urbana y rural del último Censo poblacional realizado el año 2002.

El modelo realizado para estimar la HH de la población urbana y rural, es una elaboración propia que se basó principalmente en reuniones con los organismos gubernamentales relacionados con el tema, los cuales proporcionaron los inputs para el modelo, y algunos de los supuestos se obtuvieron desde estudios nacionales relacionados con el tema (ej. SUBDERE, MOP, SEREMI-salud, SISS, ESSBIO).

La HH Gris se obtuvo del balance hídrico modelado 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 Río Rapel y calidades buenas obtenida desde fuentes internacionales (Boulay, Bouchard, Bulle, Deschrenes, & Margni, 2011).

5.2.1.2.1.7. Sector minero¹⁶

El cálculo de la HH de la producción minera tomó en cuenta los procesos que típicamente ocurren en los procesos de extracción-concentración – fundición del mineral. Es importante mencionar que cada una de las faenas mineras de las distintas minas a lo largo de Chile puede que tengan procesos específicos que son particulares a cada mina y dependen de la composición mineralógica presente.

La información sobre los procesos y los consumos hídricos se obtuvieron desde tres fuentes, i.e. i) fuentes oficiales, ii) Publicaciones científicas y iii) tesis de grado.

Dentro de los supuestos y recomendaciones:

- Sólo se consideró HH azul para este sector ya que se asume que no hay descargas, y estas corresponden al consumo de la mina. En el caso del caso del piloto dónde encontró existe información de descargas desde el tranque de relave al estero Carén. En ese caso se asumió el DS 80/2006 como calidad de agua de la descarga.

Toda la información referente a la producción de los diferentes minerales por mina- región – nacional se obtuvo desde fuentes oficiales (COCHILCO).

5.2.2. Huella Hídrica Macrozona Centro de Chile

En base a los datos recopilados a nivel nacional y a las HH calculadas para la Cuenca del río Rapel se realizó la estimación de HH para la macrozona central.

La selección de algunos procesos sobre otros se basó principalmente por su importancia nacional /regional y debido a que utilizan importantes volúmenes de agua.

La producción incluida en este estudio esta descrita en la Tabla 67: Resumen Caracterización productiva Macrozona Central.

En la evaluación del sector minero solo se consideró la producción de cobre, debido a que, este es el principal mineral producido a nivel nacional y en las regiones de Valparaíso, Región Metropolitana y la Región de O´Higgins.

¹⁶ Ver anexos: Fichas de modelación.

El sector industrial, como ya se mencionó, es el más complicado de analizar debido a la gran diversificación de este. Para la selección de las industrias primero se evaluaron el número de industrias por actividad tanto a nivel nacional como regional y posteriormente se evaluó el volumen de agua que era requerido por cada una de estas (ref: Tabla 40 y Tabla 41). De este análisis se determinó que las agroindustrias (Congelados-deshidratados-Jugos- Conservas-Mermeladas), la producción de vino, faena de animales y producción de celulosa eran las principales.

Del sector energía se evaluaron principalmente las centrales hidroeléctricas de embalse y pasada ya que son aquellas que, debido a la evaporación de los pondajes o embalses, hay una mayor pérdida de agua.

Para el sector doméstico se evaluó la huella de las personas de los sectores urbano y rural. Para ello se realizó un modelo dónde se tomó en cuenta la situación de la región de O´Higgins como base para el resto de las regiones.

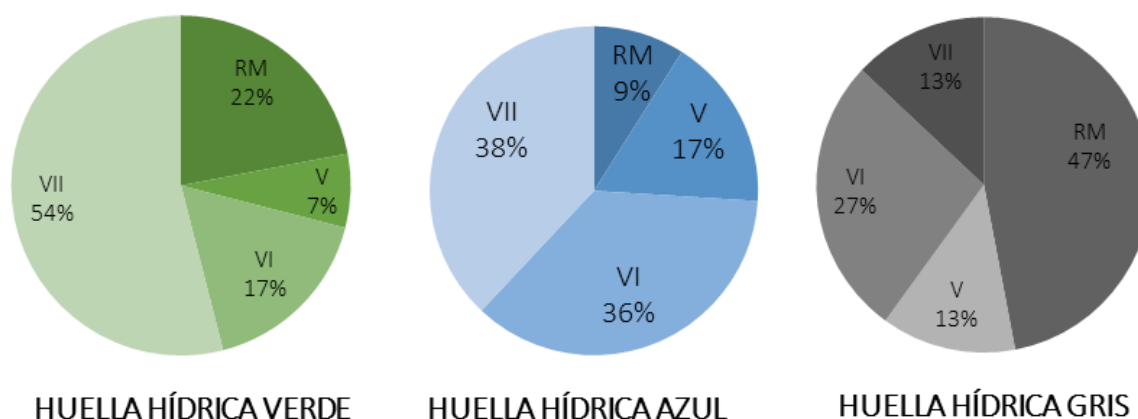
5.2.2.1. Base de datos (Ver Anexos CD)

5.2.3. Resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos, el aporte de las diferentes regiones a las distintas huellas de la macrozona muestra que para la huella azul las regiones de O'Higgins (VI) y del Maule (VII) son aquellas que en conjunto contribuyen en un 74%, seguido de la región de Valparaíso (V) (17%). La Región Metropolitana es aquella que menos aporta a la HH azul con solo un 9%.

En cambio, la HH verde de la macrozona está determinada por la región del Maule (54%), aportando las demás regiones un 46%. La HH Gris está determinada por el aporte de la Región Metropolitana (47%), seguida de la región de O'Higgins (27%).

Figura 29: Aporte de las distintas regiones a las Huellas Hídricas Azul Verde y Gris de la Macrozona- Central.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.1. Huella Hídrica Azul (HH Azul)

Si se analiza la HH azul de cada región por separado, se observa que la macrozona centro consume como mínimo 91,8 m³ /s, de los cuales su mayoría (83%) son requeridos por el sector Silvoagropecuario, seguido por la Industria (8%), el sector doméstico (6%) y Minería (4%). El sector energía, donde solo se consideró el agua evaporada por las hidroeléctricas es <1% por lo que puede ser considerado despreciable en comparación con los otros sectores.

En las siguientes tablas se presentan los valores totales de HH por región en MM m³ y su desglose por caudal requerido en m³/s.

Tabla 76: Huella Hídrica Azul anual por región (millones de m³).

Sector	Total Macrozona	Valparaíso	De O'Higgins	Del Maule	Metropolitana
Sector Doméstico	140	23	11	13	93
Sector Silvoagropecuario	2164	385	790	888	101
Sector Minería	107	17	78	0	12
Sector Industrial	35	<1	2	32	1
Sector Energía	<1	<1	<1	<1	<1
Total	2446	425	881	933	207

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 77: Demanda Hídrica por sector y región (m³/s).

Sector	Total Macrozona	Valparaíso	De O'Higgins	Del Maule	Metropolitana
Sector Doméstico	4,4	<1	<1	<1	2,9
Sector Silvoagropecuario	68,6	12,2	25,0	28,2	3,2
Sector Minería	3,4	<1	2,5	<1	<1
Sector Industrial	1,1	<1	<1	1,0	<1
Sector Energía	<1	<1	<1	<1	<1
Total	77,6	13,5	27,9	29,6	6,6

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar la realidad de las regiones se puede apreciar que en todas las regiones el sector agrícola es el principal usuario, por sobre los otros sectores, salvo en la región Metropolitana donde la agricultura y el sector doméstico son los principales usuarios.

La agricultura, es bien conocida por ser un sector muy intenso en el uso de agua, principalmente por que los cultivos requieren el agua para su desarrollo. La magnitud de la HH Azul está directamente relacionada con cuanta superficie de la región está destinada la producción de cultivos y a las condiciones climáticas del lugar.

Tabla 78: Desglose de la HH azul del sector Silvoagropecuario por subsector. (Millones de m³ anual).

Huella Hídrica Macrozona	Huella Hídrica Azul (MM de m³)				
Sector Silvoagropecuario	Total Macrozona	Valparaíso	De O'Higgins	Del Maule	Metropolitana
Frutales	994,2	302,7	405,4	243,8	42,3
Cultivos anuales	826,4	32,8	269,6	517,1	6,9
Vides	257	23,8	84,9	103,0	45,3
Hortalizas	82,9	25,1	29,1	23,3	5,4
Pecuario	3,6	0,6	0,8	1,0	1,2
Forestal	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totales	2164,1	385	789,8	888,2	101,1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79: Aporte de los distintos cultivos incluidos en el estudio en la HH azul del Sector.

Sector Silvoagropecuario	Total Macrozona	Valparaíso	De O'Higgins	Del Maule	Metropolitana
Frutales	46%	79%	51%	27%	42%
Cultivos anuales	38%	9%	34%	58%	7%
Vides	12%	6%	11%	12%	45%
Hortalizas	4%	7%	4%	3%	5%
Pecuario	<1%	<1%	<1%	<1%	1%
Forestal	<1%	<1%	<1%	<1%	<1%
Totales	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

En las distintas regiones el aporte de los frutales es relevante, salvo en la región del Maule donde la agricultura de cultivos anuales (cereales, maíz, otros) son de gran importancia.

Si analizamos sólo al Sector Industrial, el principal usuario de la macrozona es la industria Forestal (98%) seguido por la industria de alimentos (Agroindustria) con un 2%. En cada región la relevancia de las distintas industrias cambia, por ejemplo en la región del Maule, la HH azul el casi el 100% debido a la Industria Forestal, en cambio en la región de O'Higgins y la Metropolitana, la industria de alimentos y de productos cárnicos son las más relevantes y en la región de Valparaíso es la Industria de alimentos es la principal responsable de la HH azul del Sector.

Tabla 80: Desglose de la HH azul del sector Industrial por subsector. (Millones de m³ anual).

Huella Hídrica Macrozona	Huella Hídrica Azul (MM de m ³)				
	Total Macrozona	Valparaíso	De O'Higgins	Del Maule	Metropolitana
Sector Industrial					
Alimentos	3,9	0,4	1,6	1,5	0,4
Forestal	30,2	<1	<1	30,2	<1
Vinos	<1	<1	<1	<1	<1
Faena Carnes	<1	<1	<1	<1	<1
Totales	34,1	0,4	1,6	31,7	0,4

Fuente: Elaboración propia.

El Sector doméstico, representa solo el 6% para la macrozona. Es relevante el caso de la región Metropolitana dónde la HH del sector representa el 45% de la HH azul total de la región.

5.2.3.2. Huella Hídrica Verde (HH Verde)

La HH verde es 100% atribuida al Sector Silvoagropecuario, es interesante ver que para las regiones del Biobío y del Maule, las cuales son principalmente silvícolas, definen la HH verde de la macrozona.

Tabla 81: Huella Hídrica Verde anual por región (millones de m³).

Huella Hídrica Macrozona	Huella Hídrica Verde (MM de m ³)			
	Valparaíso	De O'Higgins	Del Maule	Metropolitana
Sector				
Doméstico	-*	-	-	-
Silvoagropecuario	202,2	476,7	1474,6	594,6
Minería	-	-	-	-
Industrial	-	-	-	-
Energía	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

- Solo para el sector silvoagropecuario se contabilizo el uso de agua verde ya que por definición es el único sector que puede hacer uso del agua contenida en el suelo.

5.2.3.3. Huella Hídrica Gris (HH Gris)

Al contrario de las HH azul y verde, la HH gris está determinada principalmente por el sector doméstico. Es importante tomar en cuenta que el resultado de este sector está calculado sobre la base de la modelación realizada por Fundación Chile para la región de O'Higgins por lo que puede que los valores de las otras regiones presenten algún error. Después del sector doméstico, el sector industria es el segundo en importancia. Especial, es el caso de la región de O'Higgins, donde el sector minero contribuye al 60% de la HH Gris, esto se debe a que se consideró que en la modelación de la producción de cobre había descarga desde el relave Carén al estero produciendo una importante HH Gris.

Tabla 82: Huella Hídrica Gris anual por región (millones de m³).

Huella Hídrica Macrozona	Huella Hídrica Gris (MM de m³)			
Sectores	Valparaíso	De O'Higgins	Del Maule	Metropolitana
Doméstico	291	197	236	1091
Silvoagropecuario	13	21	29	28
Minería	0	407	0	0
Industrial	11	52	55	26
Energía	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83: Aporte de la Huella Hídrica Gris regional a la macrozona (%).

Sector	Valparaíso	De O'Higgins	Del Maule	Metropolitana
Sector Doméstico	92%	29%	74%	95%
Sector Silvoagropecuario	4%	3%	9%	2%
Sector Minería	0%	60%	0%	0%
Sector Industrial	3%	8%	17%	2%
Sector Energía	0%	0%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.4. Análisis de los resultados obtenidos

La HH azul fue calculada gracias a estimaciones realizadas en base a fuentes de información oficiales. Los resultados muestran que la macrozona consume 77 m³/s, de los cuales el 83% es consumido por la agricultura, el 1% por la industria, 6% por el sector doméstico y el 4% por la minería. Dado que la realidad de cada región es distinta, los respectivos consumos de los sectores presentes en cada región cambia, así como su impacto.

Tabla 84. Huella Hídrica azul macrozona, en m³/s por sector.

Huella Hídrica Macrozona	Huella Hídrica Azul (m ³ /s)				
Sector	V región	VI Región	VII Región	RM	Total Macrozona
Doméstico	0,7	0,4	0,4	2,9	4,4
Silvoagropecuario	12,2	25,0	28,2	3,2	68,6
Minería	0,5	2,5	0,0	0,4	3,4
Industrial	0,0	0,1	1,0	0,0	1,1
Energía	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	13,5	27,9	29,6	6,6	77,6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 85. Huella Hídrica macrozona, en % por sector.

Huella Hídrica Macrozona	Huella Hídrica Azul (% POR SECTOR)				
Sector	Valparaíso	De O´Higgins	Del Maule	Metropolitana	Total Macrozona
Doméstico	5%	1%	1%	45%	6%
Silvoagropecuario	90%	90%	95%	49%	88%
Minería	4%	9%	0%	6%	4%
Industrial	0%	0%	3%	0%	1%
Energía	0%	0%	0%	0%	<1%

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.5. Comparación de los Resultados obtenidos con resultados nacionales

Comparar los resultados obtenidos con otros estudios puede resultar complicado dado que en general no hay estudios similares realizados en

Chile que permitan tal comparación. Pese a que el estudio de Donoso et al. (2012) también analiza los mismos sectores productivos, las estimaciones están descritas, en su mayoría, a nivel nacional lo que impide que se puedan comparar los valores obtenidos a nivel regional. Distinto es el caso del sector agrícola, donde sí se pueden obtener valores unitarios diferenciados por cultivo y región.

Solo enfocándonos en el sector agrícola es posible encontrar otros estudios que permiten comparar los resultados obtenidos. Estos estudios se analizaron entre sí en el punto: **Comparación de resultados de HH Azul, Verde y Gris entre diferentes autores**

La siguiente tabla muestra la razón comparativa entre los resultados obtenidos con estos otros estudios. En este caso se seleccionaron 2 regiones, de Valparaíso y Metropolitana, debido a que poseen la última actualización del catastro frutícola por lo que los rendimientos están actualizados al 2014.

Tabla 86: Razón comparativa entre los resultados obtenidos (m^3/ton) con los resultados obtenidos en Chile por Osorio (2013) y Donoso et al. (2012) y valores de Mekonnen & Hoekstra (2011) para diferentes cultivos para las regiones de Valparaíso y Metropolitana.

	Producto	Fch vs Osorio (2013)		Fch vs Donoso et al.(2012)		Fch vs Mekonnen y Hoekstra, 2011	
		Azul	Verde	Azul	Verde	Azul	Verde
Valparaíso	Uva de mesa	0,8	2,4	1,0	15,3	22,4	0,9
	Durazno	0,9	6,1	1,1	10,0	0,8	0,7
	Olivo			2,3	1,8	0,7	0,6
	Palta	2,3	10,2	1,2	5,0	0,5	1,1
	Almendra			0,7	5,4	0,4	0,3
	Berries ¹	1,5	24,8				
	Cerezo	1,1	3,4	0,7	7,6	1,0	0,9
	Ciruelo	0,7	4,5	1,7	24,5	1,0	0,9
	Cítricos ³	1,1	4,5	0,8	3,4	0,6	0,7
	Kiwi			0,9	25,3	0,7	1,4
	Manzano					0,8	0,8
	Nogal			0,8	6,6	0,6	0,6
	Peral			1,2	16,1	1,1	1,0
Región Metropolitana	Uva de mesa	0,8	2,2	0,6	6,2	41,4	1,0
	Durazno	1,3	7,1	1,1	8,5	1,4	0,9
	Olivo			0,4	1,5	0,4	0,3
	Palta	3,7	13,5	0,8	2,5	0,9	1,6
	Almendra			0,5	2,3	0,6	0,4
	Berries ¹	1,6	26,1				
	Cerezo	1,6	4,4	0,9	3,0	1,3	0,9
	Ciruelo	0,8	4,6	1,2	10,6	1,4	1,0
	Cítricos ³	1,4	0,8	0,8	3,5	0,7	0,7
	Kiwi	1,1	7,3	1,0	5,7	0,9	1,5
	Manzano			0,7	15,3	1,2	0,8
	Nogal			0,7	5,6	0,6	0,5
	Peral			0,7	10,4	0,9	0,6

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver, la tabla muestra que los valores obtenidos de HH azul se encuentran entre los valores calculados por Donoso et al., (2012) y Osorio (2013). Las principales diferencias se encuentran en la HH verde. Estos resultados dan a suponer que ajustando las precipitaciones la HH azul debería corregirse.

Al comparar los valores obtenidos con los publicados por Mekonnen y Hoekstra, 2011, se pueden ver las mayores diferencias, tanto en HH azul como en HH verde, pero esta se debe principalmente a que la fuente de datos con las que ellos calcularon las diferentes HH tienen una resolución global por lo que el grado de error debe ser mayor.

6. Estimación Huella Hídrica Piloto: Cuenca de Río Rapel

6.1. Caracterización de la Cuenca del Río Rapel

6.1.1. Descripción de la Cuenca del Río Rapel y su disponibilidad hídrica

De acuerdo con la división político-administrativa de Chile, la cuenca del río Rapel coincide casi en su totalidad con la VI región del General Libertador Bernardo O'Higgins (89% de la superficie). El 11% restante se distribuye entre las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Maule (Tabla 100).

La cuenca queda comprendida entre los paralelos 33°53' y 35°01' de latitud sur con una extensión de 13.695 km² (DGA, 2004). Posee un régimen mixto, con crecidas en el invierno y verano, las cuales se deben a las precipitaciones y deshielos respectivamente (DGA, 1996). La cuenca del río Rapel se origina en la cordillera, donde el régimen es principalmente nival con caudales máximos en el mes de Noviembre. En el valle el régimen que predomina es el pluvial. El caudal medio es de 74m³/s (MOP, 2012).

La cuenca está dividida en 6 sub-cuencas: i.e. sub-cuenca Río Rapel, sub-cuenca Río Cachapoal, sub-cuenca Tinguiririca; sub-cuenca Río Claro de Rengo, sub-cuenca esteros Antivero y Zamorano, sub-cuenca estero Chimbarongo.

6.1.1.1. Sub-cuenca Río Cachapoal

El río Cachapoal, cuya hoya compromete una superficie de 6.370 km², ubicándose casi en su totalidad en la provincia del Cachapoal. Tiene sus cabeceras a los pies de las cumbres englaciadas Pico del Barroco y Nevado de Los Piuquenes donde lo alimenta una larga lengua de ventisquero. Posteriormente recibe varios tributarios de importancia, de los cuales los principales son los ríos Las Leñas, Cortaderal, Los Cipreses y, el más importante, el río Pangal. Cerca del pueblo minero de Coya recibe al río homónimo y más abajo, cerca del valle central, al Claro (Cachapoal).

Próximo a esta última confluencia se encuentra la Central Hidroeléctrica Sauzal, de 76.000 kW de potencia, que fue una de las primeras construidas en el país. En una pronunciada curva hacia el norte, en plena depresión Intermedia, se encuentra la ciudad de Rancagua en su margen norte. Luego el Cachapoal vuelve al SW, siguiendo el pie oriental de la cordillera de la Costa recibe el aporte del estero La Cadena y cerca de la localidad de Peumo

se le une el río Claro (Tinguiririca), que se origina en la laguna de Los Cristales, la que ha sido peraltada para formar el pequeño embalse de ese nombre. De Peumo al embalse el río Cachapoal tiene un recorrido de 34 km, en el cual recibe algunos esteros que drenan el Valle Central, como el Antivero o Zamorano.

6.1.1.2. Sub-cuenca Río Claro de Rengo

Este río nace a 45 km de la ciudad de Rengo, drena las aguas de las lagunas negra y los cristales desembocando en el río Cachapoal. En los 80 km de extensión, el río Claro de Rengo recibe aportes de diversos afluentes. El estero Tipaume es un importante afluente de este río junto con los afloramientos de acuíferos subterráneos y el aporte de los retornos de riego de las áreas ubicadas del norte del río Claro (DGA, 1996).

6.1.1.2.1. Sub-cuenca Esteros Antivero y Zamorano

El estero se origina en la pre cordillera y desemboca en el río Cachapoal. En su origen este estero recibe el nombre de Antivero hasta el valle central. Después de recibir los esteros Los Maquis o Rigolemo y Caracoles pasa a denominarse estero Zamorano (DGA, 1996).

6.1.1.2.2. Sub-cuenca Río Tinguiririca

El río Tinguiririca se forma en la cordillera de Los Andes de la confluencia de los ríos Las Damas, que nace en el paso del mismo nombre y del Azufre que vienen del norte. Este se forma, a su vez, de la conjunción de los ríos Portillo y San José, cuyos orígenes tienen relación con áreas englacadas de la Sierra El Brujo. Desde su formación toma rumbo al WNW, se le une el Río Claro de Rengo y mantienen dicha dirección invariable por 56 km, hasta las proximidades de la ciudad de San Fernando. A pocos km de la ciudad de Santa Cruz se le une el estero Chimbarongo y serpentea en su propio valle que es ancho y regado hasta terminar uniéndose al Cachapoal en el embalse Rapel. Tiene una extensión de 4.730 km² y se ubica principalmente en la provincia de Colchagua. La longitud es de 167 km, considerado desde su formación hasta la Junta (DGA, 1996; DGA 2004).

6.1.1.2.3. Sub-cuenca Estero Chimbarongo

El estero Chimbarongo es afluente del río Tinguiririca. Este se origina en la pre cordillera a partir de 2 tributarios, los esteros Pidihuinco y Arrayanes. Posteriormente avanza por el valle central recibiendo aportes de las áreas regadas principalmente por el río Tinguiririca (DGA, 1996). En este estero se ubica el embalse Convento Viejo, con una capacidad de 500 millones de m³ (DGA, 2004).

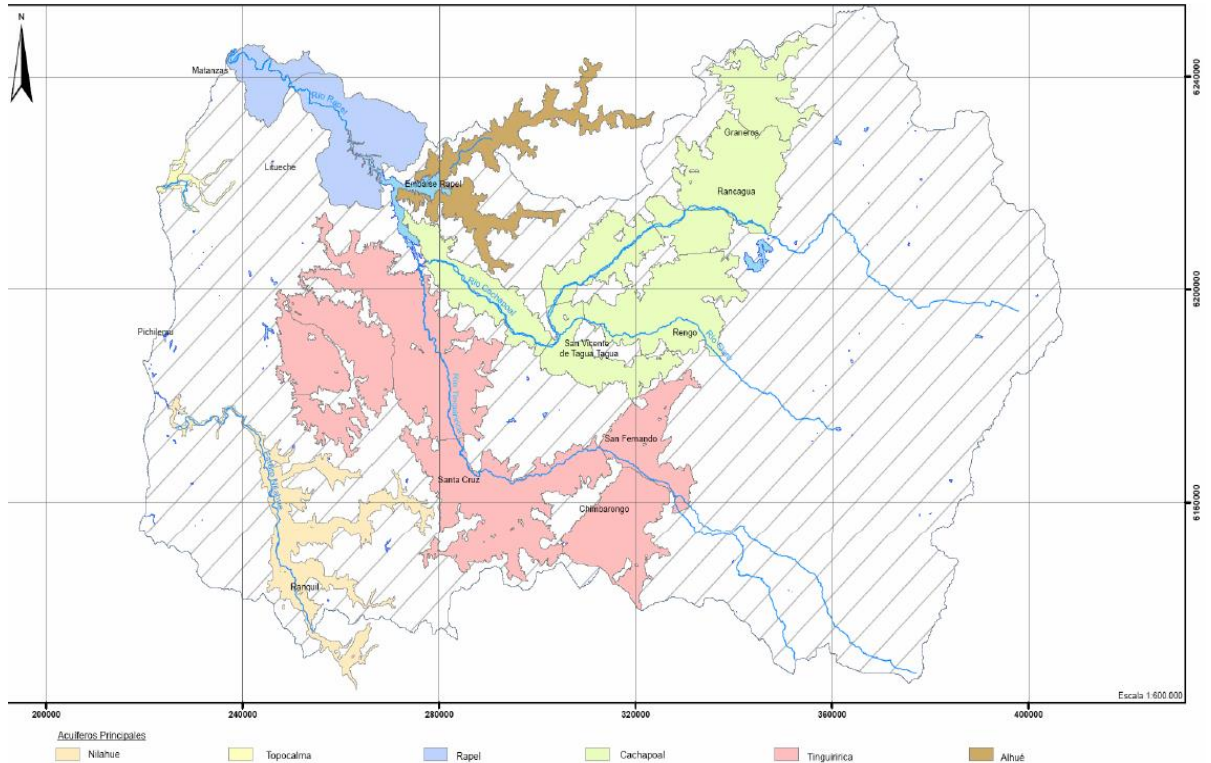
6.1.1.2.4. Sub-cuenca Río Rapel

La unión de los ríos Cachapoal y Tinguiririca forma el Río Rapel que drenan los sectores norte y sur de la hoya hidrográfica del Rapel. La unión ocurre en La Junta, localidad que se ubica a 6 km de las Cabras. Ambos ríos, confluyen al embalse Rapel, que es una importante obra de almacenamiento con una capacidad de 680 millones de m³ y que tiene como finalidad producir energía eléctrica (MOP, 2012). El río atraviesa la cordillera de la Costa, desembocando en el mar. (DGA, 1996; DGA 2004).

6.1.1.3. Acuíferos

En la cuenca es posible identificar cinco acuíferos, i.e. acuíferos Cachapoal y Alhué, correspondientes a la Provincia Cachapoal; Acuífero Rapel y Topocalma, que abarcan parte de la Provincia Cardenal Caro y finalmente Acuífero Tinguiririca y Nilahue perteneciente de forma parcial a la Provincia de Colchagua (DGA, 2011), este último no corresponde a la Cuenca del río Rapel.

Figura 30: Distribución de los acuíferos en la cuenca.



Fuente: DGA, 2011.

6.1.1.3.1. Acuífero Cachapoal

- Está constituido por depósitos fluviales (gravas, arenas y arcillas) conformando dos estratos. El estrato inferior corresponde a una alternancia de niveles arenosos con abundante arcilla, por lo que lo caracteriza como un estrato de permeabilidad baja. El estrato superior constituido por materiales gruesos, de espesor 100 m. En sector de Rancagua-Rosario (depresión intermedia), el estrato superior se incrementa siendo el acuífero de carácter libre. En tanto que en el sector norte de Rancagua el espesor disminuye quedando su base y techo confinada por estratos con matriz arcillosa-limosa. La conductividad aumenta de norte a sur y disminuye de este a oeste al cruzar la cordillera de la costa. (DGA, 2011)

El escurrimiento va desde Rancagua con dirección este-oeste siguiendo el curso paralelo al río Cachapoal, aflorando parcialmente

en el sector de Doñihue – Coinco para luego escurrir junto con el río a mayor profundidad hasta el Embalse Rapel (DGA 2004)

6.1.1.3.2. Acuífero Alhué

- Está constituido por dos unidades, una superior de mayor granulometría y una inferior compuesta por intercalaciones de sedimentos (DGA 2011). Estudios indican que en el sector del estero Las Palmas, sobre la unidad superior se presenta una tercera unidad con un contenido alto de arcillas, la que podría darle al acuífero un grado de confinamiento local en algunos sectores (DGA, 2005).

6.1.1.3.3. Acuífero Tinguiririca

- Al acuífero en la cabecera lo constituyen principalmente materiales de granulometría gruesa que en la medida que avanza a la depresión intermedia aparece un estrato con mayor contenido de arcillas. Ya en la depresión intermedia aparece un tercer estrato de granulometría media a gruesa, la que le da al acuífero un carácter semiconfinado en algunos sectores. Las conductividades en este acuífero son variables de 2 a 50 m/día (DGA, 2011).

6.1.1.3.4. Acuífero Rapel

- Se encuentra desde el embalse Rapel junto con el río Rapel hasta el mar, encajonado por rocas plutónicas de muy baja permeabilidad (DGA, 2004). El acuífero presenta dos estratos uno superior con napa libre y otro confinado inferior. El superior tendría unos 7 m. de espesor en la Boca de Rapel, que aumentaría a unos 20 m. en Rapel. El inferior, se desarrollaría aproximadamente entre los 10 y 20 m (DGA, 2011).

En las siguientes tablas se listan en qué estado se encuentran los acuíferos de la cuenca y cuáles son sus caudales sustentables de extracción.

Tabla 87: Recarga media anual y Caudales sustentables de extracción.

Acuífero	Sector	Recarga media anual (l/s)	Caudales Sustentables (l/s)
Acuífero Cachapoal	Rio Cachapoal	2089	2089
Acuífero Tinguiririca	Rio Tinguiririca	2961	2961
Acuífero Rapel	Rio Rapel Junta Estero el Rosario	182,1	80,5
Acuífero Alhué	Estero Alhué	544	544
Acuífero Estero Rosario	Estero Rosario	101	101

Fuente: (DGA, 2003).

Tabla 88 Estado de los Acuíferos en la Cuenca del Río Rapel (continúa en la página siguiente).

Sector	Tipo limitación	Área (ha)	Región	Resolución
Acuífero Cachapoal				
Graneros-Rancagua	Área de Restricción	775	VI	(Res. D.G.A. N° 75, marzo de 2007 modificada por Res. DGA N° 198, septiembre de 2011)
Olivar		158	VI	
Doñihue-Coinco-Coltauco		357	VI	
Requinoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco		712	VI	(Res. DGA N° 139, Jul. 2009 modif. por Res. DGA N° 197, Sep. 2011)
Pelequen-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua		279	VI	
Peumo-Pichidegua-Las Cabras		341	VI	
Laguna San Vicente		246	VI	(Res. DGA N° 249, Oct. 2*)
Acuífero Tinguiririca				
Primera Sección Río Tinguiririca Y Sus Afluentes	Declaración de Agotamiento	3.083,70		(Res. DGA N° 80)
San Fernando	Área de Restricción	696	VI-VII	(Res. DGA N° 248, Oct. 2011)
Chimbarongo		575	VI-VII	
Tinguiririca Superior		927	VI	(Res. DGA N° 139, Jul. 2009 modif. por Res. DGA N° 197, Sep. 2011)
Tinguiririca Inferior		942	VI	
El Monte		163	VI	
Cadenas Yerbabuenas		224	VI	
Acuífero Rapel				
Río Rapel antes junta estero Rosario	Área de Restricción	376	VI-RM	(Res. DGA N°251, Oct.*)
Río Rapel bajo junta estero Rosario		141		
Acuífero Alhué				
Estero Alhué	Área de Restricción	985	VI	(Res. DGA N° 183, mayo de 2008 modificada por Res.

Sector	Tipo limitación	Área (ha)	Región	Resolución
				DGA N° 224, septiembre de 2011)
Acuífero Estero Rosario				
Estero el Rosario	Área de Restricción	211	VI-RM	(Res. DGA N°251, Oct.*)

Fuente: DGA, MAPAS INTERACTIVOS "Protección y Restricción al uso de agua".

6.1.1.4. Red Hidrométrica

La Dirección General de Aguas (DGA) posee una red de estaciones que registros distintos parámetros, de tipo fluviométrico, calidad química superficial y calidad química subterránea. A continuación se presenta el detalle de las estaciones correspondientes a la cuenca.

Tabla 89 Estaciones Fluviométricas y de Calidad de agua vigentes en la cuenca del río Rapel (continúa en la página siguiente).

Sub-cuencas	Estaciones Fluvio métricas	Estaciones de Calidad química superficial	Estaciones de Calidad química subterr.
Cachapoal	<ul style="list-style-type: none"> - Río Pangal En Pangal - Río Cachapoal 5 Km. Aguas Abajo Junta Cortaderal - Río Las Ledas Ante Junta Río Cachapoal - Río Cortaderal Ante Junta Río Cachapoal - Canal Sauzal En Puente Termas - Río Cachapoal En Pte Termas De Cauquenes - Estero De La Cadena Antes Junta Río Cachapoal - Río Cachapoal En Puente Arqueado (Ca) 	<ul style="list-style-type: none"> - Río Peuco En Panamericana - Estero Codegua En La Leonera - Río Cachapoal En Bocatoma Chacayes - Río Coya Antes Junta Río Cachapoal - Río Cachapoal En Bocatoma Canales Ribera Sur - Estero La Cadena Antes Río Cachapoal - Río Cachapoal En Puente Coinco - Río Cachapoal En Puente Arqueado 	-Pozo Minera Valle Central

Tabla 90 Estaciones Fluviométricas y de Calidad de agua vigentes en la cuenca del Río Rapel (continuación).

Sub-cuencas	Estaciones Fluvio métricas	Estaciones de Calidad química superficial	Estaciones de Calidad química subterr.
Rio Claro de Rengo	<ul style="list-style-type: none"> - Rio Claro En Tunca - Rio Claro En Hacienda Las Nieves - Rio Claro En El Valle 	<ul style="list-style-type: none"> - -Rio Claro En Hacienda Las Nieves - Rio Claro En Puente Zúñiga (Tunca) 	<ul style="list-style-type: none"> - Pozo Viña Santa Lucia
Esteros Antivero y Zamorano	<ul style="list-style-type: none"> - Estero Zamorano En Puente El Niche 	<ul style="list-style-type: none"> - -Estero Zamorano En Pencahue 	
Rio Tinguiririca	<ul style="list-style-type: none"> - Rio Tinguiririca En Los Olmos (Ca) - Rio Tinguiririca Bajo Los Briones 	<ul style="list-style-type: none"> - Rio Tinguiririca En Los Olmos - Rio Tinguiririca Bajo Briones 	<ul style="list-style-type: none"> - Pozo San Enrique
Esteros Chimbarongo	<ul style="list-style-type: none"> - Estero Chimbarongo en ruta 5 - Estero Chimbarongo bajo embalse convento viejo - Estero Chimbarongo en puente El Huape 	<ul style="list-style-type: none"> - Estero Chimbarongo En Puente Huemul - Estero Chimbarongo En Puente Los Maquis 	
Rio Rapel	<ul style="list-style-type: none"> -Estero Alhué en Quilamuta 	<ul style="list-style-type: none"> - Rio Rapel En Navidad - Estero Alhué En Quilamuta - Estero Alhué Antes Estero Carén 	

Fuente: DGA, MAPAS INTERACTIVOS "Protección y Restricción al uso de agua".

Tabla 91: Caudales promedio mensuales de los principales ríos de la Cuenca.

Río Cachapoal en Puente Termas													
	unidad	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M
2014-2015	(m ³ /s)	25.2	25.0	33.9	38.3	60.0	90.0	95.0	98.0	73.0	55.9	33.4	23.0
Q.Promedio	(m ³ /s)	57.0	61.5	61.9	66.0	85.4	170.3	221.2	218.9	132.1	78.7	51.8	46.2
Q.Mín.Mes	(m ³ /s)	26.9	37.7	28.1	38.6	62.0	90.9	116.0	109.6	88.8	56.0	35.1	28.6
Río Tinguiririca en Los Briones													
	unidad	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M
2014-2015	(m ³ /s)	16.9	18.0	26.7	29.2	40.1	62.5	65.8	65.5	41.8	30.0	16.1	11.8
Q.Promedio	(m ³ /s)	35.9	34.5	37.7	38.5	49.1	77.3	97.7	97.6	66.6	40.1	23.9	27.4
Q.Mín.Mes	(m ³ /s)	9.7	10.5	11.0	12.1	20.2	29.3	43.6	52.3	42.7	25.2	10.8	10.3

Fuente: DGA, 2015a.

Tabla 92: Caudales promedios mensuales (m³/s) por Subcuenca (Promedio 10 años).

Subcuenca	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Rio Cachapoal Alto (Hasta bajo junta Rio Claro)	50,0	33,4	20,2	12,4	12,7	13,5	14,7	14,3	15,8	22,0	39,4	49,7
Rio Cachapoal Bajo (Bajo jta Rio Claro y E Rapel)	22,8	19,6	20,0	17,8	27,4	43,4	39,9	41,9	27,4	19,8	22,1	21,8
Rio Tinguiririca Alto (Hasta bajo junta Rio Claro)	42,4	26,7	17,0	10,6	15,9	22,0	20,1	24,5	22,3	28,2	40,1	42,6
Rio Tinguiririca Bajo (Entre Rio Rapel y E Rapel)	15,1	9,3	10,2	10,8	29,6	38,1	45,8	49,1	48,5	22,7	29,4	22,7
Promedio Cuenca	33,3	22,9	17,4	13,3	21,3	29,5	30,8	32,1	27,7	22,3	32,1	34,6

Fuente: elaboración propia en base a estaciones fluviométricas DGA.

6.1.1.4.1. Organizaciones de usuarios¹⁷

Los principales cauces de la cuenca del río Rapel, están divididos en una o más secciones las que están organizadas en Juntas de Vigilancia las que agrupan asociaciones de canalistas y comunidades de aguas.

En la totalidad de la cuenca del río Rapel no se pueden constituir nuevos derechos de aprovechamiento de ejercicio permanente o eventual de acuerdo a la sentencia de fecha 31 de Julio de 1996 de la Corte de Apelaciones de Rancagua, confirmada por fallo de fecha 14 de Diciembre de 1998 de la Corte Suprema.

El río Rapel, propiamente tal, no tiene Junta de Vigilancia, y en general su aprovechamiento está concentrado en la Empresa Nacional de Electricidad S.A. que para el funcionamiento de su Central Rapel cuenta con la casi totalidad de los derechos de aprovechamiento sobre las aguas de este río. Estos derechos son de uso no consuntivo. Cabe indicar que su concesión la hace titular de todos "los excedentes" del río Rapel, situación que ha hecho reclamar en el pasado a esa Empresa el que no pueda concederse ningún derecho de aprovechamiento nuevo en ese cauce.

¹⁷ Ver Tabla 93.

Tabla 93: Área de Jurisdicción de las juntas de vigilancia por sección de los principales ríos y esteros de la Cuenca del Río Rapel (Continúa en la página siguiente).

	Área de Jurisdicción	Otra Información
Rio Cachapoal 1° Sección	Desde sus nacientes en la Cordillera de Los Andes hasta el sitio denominado Punta de Cortés, ubicado a 8,5 km, más o menos, al Poniente del Puente del Ferrocarril Longitudinal.	10 asociaciones 24 canales. 47800 ha de riego*
Rio Cachapoal 2° Sección	Entre la desembocadura del Estero La Cadena sector Punta de Cortez, Comuna de Doñihue y la desembocadura del Estero Puren o Idahue en la Comuna de Coltauco.	24 asociaciones 20 canales 4.000 regantes 15738 ha riego*
Rio Cachapoal 3° Sección	Desde la confluencia del Estero Puren o Idahue con el río Cachapoal, hasta su confluencia con el río Tinguiririca en el lugar denominado La Junta.	9 canales 4000 regantes 24000 ha riego*
Rio Claro 1° Sección	Entre el Estero Tipaume y el cordón de cerros de Cerrillos al Norte, cerros de San Luis por el sur, faldeos cordilleranos al oriente y carretera 5 Sur al poniente.	23 canales 1200 regantes 9300 ha riego*
Rio Claro 2° Sección	Sin Junta de Vigilancia	16 canales
Esteros Zamorano	Ejerce jurisdicción desde la confluencia del Estero Zamorano, llamado aguas arriba Antivero, con el Estero Las Truchas, hasta su confluencia con el río Cachapoal	8 canales 9000 ha riego*
Rio Tinguiririca 1° Sección	Ejerce la acción, desde el nacimiento de este río y en cada uno de sus afluentes en la Cordillera de los Andes por el Oriente, hasta la confluencia del mismo Río con el estero Chimbarongo por el Poniente.	63 canales 6386 regantes 48600 ha riego*
Rio Tinguiririca 2° Sección	Sin Junta de Vigilancia	14 canales
Rio Peuco	Rio Peuco y afluentes	5 canales 61 regantes 5700 ha riego*

Tabla 94: Área de Jurisdicción de las juntas de vigilancia por sección de los principales ríos y esteros de la Cuenca del Río Rapel (Continuación).

	Área de Jurisdicción	Otra Información
Estero Chimbarongo	Ejerce la en el Estero Chimbarongo, desde el nacimiento de éste y de sus afluentes en la cordillera de los Andes por el oriente, hasta su confluencia con el río Tinguiririca y en el embalse de Convento Viejo	27 canales 36000 ha riego*
Estero Puquillay	La jurisdicción de esta Junta de Vigilancia comprende el Estero Puquillay, desde la bocatoma del Canal Cerrillos hasta la desembocadura en el Estero Chimbarongo	12 canales
Estero Codegua	Estero Codegua	Canalistas del canal la Leonera

Fuente: Elaboración propia con información de la federación de Juntas de Vigilancia de los ríos y esteros; DGA, 1996; *MINAGRI, 2006.

6.1.1.4.2. Derechos de agua

De acuerdo al catastro de derechos concedidos para la cuenca del Rapel, la provincia del Cachapoal concentra la mayor cantidad de derechos consuntivos y no consuntivos, superficiales y subterráneos, concedidos (Tabla 95 y 90).



















































































Tabla 95 Distribución de los derechos consuntivos y no consuntivos

Provincia	Consuntivo Lats/s		No Consuntivo Lts/s	
	Superficial	Subterránea	Superficial	Subterránea
Cachapoal	67%	62%	42%	85%
Cardenal Caro	17%	5%	30%	0%
Colchagua	16%	32%	27%	15%

Fuente: Elaboración propia an base a al catastro de derechos concedidos para la cuenca del Rapel.

Considerando sólo la provincia del Cachapoal, las comunas de Machalí, Rengo, Requinoa y Rancagua concentran el 25% de los derechos superficiales concedidos

Tabla 96: Distribución de los derechos otorgados en la VI Región, en la Cuenca del Río Rapel por tipo.

Comuna	Subterránea			Superficial		
	Consuntivo		No consuntivo	Consuntivo		No consuntivo
	Acciones	I/s		Acciones	I/s	I/s
Alhue		 2.166		0	 1.764	0
Chepica		 2.674		0	 290	0
Chimbarongo		 1.944		0	 1.865	 87.633
Codegua		 1.174		15	 734	1.824
Coinco		 323		0	 154	1.121
Coltauco		 1.185		30	 1.127	0
Doñihue		 461		0	 227	 80.907
Graneros		 2.221		0	 50	0
La Estrella		 817		300	 4.025	0
Las Cabras		 2.791		1	 668	0
Litueche		 454		0	 11.896	 492.175
Machali		 438		2	 8.533	 290.848
Malloa		 1.295		12	 1.983	26
Marchigue		 3.269		0	 113.439	0
Mostazal		 1.685		0	 15.440	 5.955
Nancagua		 1.430		50	 268	0
Navidad		 168		0	 2.393	0
Olivar		 3.430		0	 1	0
Palmilla	4	 2.995		4	 841	0
Peralillo	9	 5.251		0	 4.673	1.000
Peumo		 2.127		0	 1.068	0
Pichidegua		 1.197		0	 405	0
Placilla		 629		0	 98	0
Pumanque		 1.306		0	 621	0
Qta. De Tilcoco		 1.304		29	 381	0
Rancagua		 2.695	 95	0	 10.265	 105.164
Rengo		 13.529	 50	112	 6.603	 41.597
Requinoa		 996	 5	0	 2.466	 111.228
San Fernando		 2.102	 17	18	 11.965	 309.794
San Pedro		 6.400		0	 232	0
San Vicente		 3.435		32	 729	0
Santa Cruz		 13.090		0	 5.894	0
Santo Domingo		 1.239		0	 52.494	0
Teno		 5.579		0	 28.800	 146.898
Total Cuenca	13	91.800	167	605	292.395	1.676.169

Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA, 2015.

6.1.1.4.3. Obras Hidráulicas

En la cuenca existen importantes obras hidráulicas. Respecto del riego, existen aproximadamente 3400 km de canales y se utilizan 334 embalses menores y 9 embalses medianos a mayores (MOP, 2012)

Cuerpos de Aguas presentes en la cuenca del Río Rapel

En las siguientes tablas se listan las superficies de los cuerpos de agua presentes en la región

Tabla 97: Superficie Cuerpos de Agua presentes en la Cuenca del Río Rapel.

Cuerpos de Agua	Área Total (ha)
Laguna Menor	1115.7
Tranque o Embalse Menor	479.2
Tranque o Embalse Principal	7283.6
Total general	8878.6

Fuente: Base de datos DGA.

Tabla 98: Desglose Superficie Cuerpos de Agua presentes en la Cuenca del Río Rapel.

Cuerpos de Agua	Área Total (ha)
Laguna Menor	1115.72
Comalle	3.32
Laguna Cauquenes	518.25
Laguna De Los Cristales	12.45
Laguna De Los Piuquenes	9.89
Laguna De Reyes	9.64
Laguna El Yeso	51.25
Laguna Negra O Sierra De Bellavista	17.38
Laguna Tara	6.31
Laguna Verde	11.22
San Andrés	15.09
Sin Nombre	460.91
Tranque O Embalse Menor	479.20
Embalse Halcones	135.57
Embalse Carrizal	32.50
Embalse Hidahue	17.61
Embalse Mallermo	74.71
Embalse Millahue	54.23
Embalse Pailimo	32.39
Embalse Porotol De Halcones	44.94
Embalse San Hernán	76.85
Embalse Valdivia	9.78
Sin Nombre	0.63
Tranque O Embalse Principal	7283.69
Embalse Rapel	7283.69
Total General	8878.61

Fuente: Base de datos DGA.

6.1.2. Aspectos físicos de la Cuenca del Río Rapel

6.1.2.1. Clima

El clima predominante corresponde al Clima Templado Mediterráneo, el cual presenta variaciones por efecto de la topografía local. En la costa se presenta nuboso, mientras que hacia el interior debido a la sequedad experimenta fuertes contrastes térmicos. Las precipitaciones son mayores en la costa y en la Cordillera de Los Andes, debido al relieve que no deja entrada a los vientos húmedos Oceánicos

El Clima Templado Mediterráneo con estación seca prolongada, se desarrolla prácticamente en toda la cuenca del río Rapel. Su característica principal es la presencia de una estación seca prolongada y un invierno bien marcado con temperaturas extremas que llegan bajo los cero grados (www.bcn.cl).

Los montos de precipitación media anual registrados en el sector costero de la cuenca alcanzan valores aproximados de 638 mm/año y temperaturas de 14° C. Por efectos del relieve, en el sector centro de la cuenca (Rancagua), se presentan áreas de mayor sequedad y montos menores de precipitación (406 mm/año). En sectores más elevados, las precipitaciones aumentan alcanzando valores medios anuales de 686 mm (Coya) y temperaturas medias anuales de 9,6°C (Sewel) (U de Chile, 2012).

En general, los valores registrados de precipitación, son mayores durante las temporadas invernales especialmente durante los meses de junio, julio y agosto.

6.1.2.2. Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico, la cuenca del río Rapel se caracteriza por presentar un territorio en el cual es posible identificar tres grandes unidades de relieve: la Cordillera de los Andes, la Depresión Intermedia y la Cordillera de la Costa.

Geológicamente estas unidades, se han originado hace dos o tres millones de años, como consecuencia de una intensiva actividad volcánica asociada a grandes movimientos de la corteza terrestre, los que levantaron las montañas a su altura actual y hundieron la depresión intermedia, separando la cordillera de los Andes y de la Costa.

La cordillera de los Andes, en la VI región presenta alturas superiores a los 4.000 m s.n.m. Las alturas más importantes corresponden a Alto de los Arrieros (5.000 m s.n.m.), El Portillo (4.986 m s.n.m.), El Palomo (4.850 m s.n.m.) y el Volcán Tinguiririca (4.300 m s.n.m.)

Su relieve se formó a fines del terciario y una fuerte erosión fluvio-glacial ha disectado el relieve original, labrando profundos valles de laderas abruptas. Sin embargo, es posible distinguir en algunos sectores, el tronco de la planicie que constituía la cordillera a fines del terciario, de relieve suave y de importancia económica por las veranadas.

En la depresión intermedia, se distingue la cuenca de Rancagua, que se sitúa entre la angostura de Paine y la angostura de Pelequén. Corresponde a una llanura de relleno, principalmente aluvial, en la cual los ríos han desempeñado un importante rol, actuando como agentes de relleno en el moldeaje de la cuenca. En esta área, se localizan los mejores suelos de la zona para su utilización agrícola.

La Cordillera de la Costa, presenta elevaciones menores que las de la Cordillera de los Andes, representada básicamente por alturas que no sobrepasan los 2.000 msnm en la VI Región. Entre otras, se encuentran el cerro Quillauquén (1.640 m s.n.m.), Butalco (1.214 m s.n.m.), Centinela (700 m s.n.m.) y Cañetén (920 m s.n.m.).

Esta cordillera es más antigua que la Cordillera de los Andes, característica reflejada por el estado de meteorización en que se encuentran las formaciones rocosas de ella. Está compuesta esencialmente por rocas graníticas paleozoicas y mesozoicas, constituyendo una cubierta de roca descompuesta, comúnmente llamada "maicillo", la que permite la infiltración y acumulación local de pequeñas cantidades de agua subterránea, favorecida por una topografía de lomaje suave (Dames and Moore, 1993).

6.1.2.3. Suelos

En la Sexta Región el promedio de lluvias y la alta humedad en algunas épocas del año muestran suelos más aptos para la agricultura y la crianza de ganado de diversos tipos, pero la diferencia entre la costa y la depresión intermedia es notoria, tanto en la cantidad de lluvias, la humedad y oscilación térmica.

En la costa se presentan suelos derivados de terrazas marinas y de relieve plano a ligeramente inclinado de colores pardo rojizos asociados a otros con menor evolución. En tanto, en el lado poniente de la cordillera de la costa, los suelos presentan su origen en rocas graníticas con un alto contenido de arcilla en profundidad.

Asimismo, en los valles interiores se presentan suelos aluviales que pertenecen a los de órdenes Alfisoles, Mollisoles y Entisoles, con predominio de los primeros. En la zona que corresponde a Rancagua los Mollisoles tienen un desarrollo moderado. Es indiscutible, afirmar que es en esta zona donde se encuentran los suelos más aptos para el desarrollo de la agricultura.

También se encuentran los suelos de la Cordillera de los Andes centrales. Estos son suelos que se caracterizan porque han derivado de materiales volcánicos vítreos y de texturas gruesas. Corresponden a los suelos ubicados en los sectores de más fuerte relieve de la Cordillera de los Andes (U de Chile, 1999).

6.1.2.4. Flora

La flora terrestre de la cuenca, se caracteriza por la presencia de las siguientes comunidades vegetales: Bosque Esclerófilo Andino y Bosque Caducifolio de la Montaña presente en la zona alta del río; Estepa Alto – Andina en el valle y Matorral Espinoso del Secano costero en sectores del valle y desembocadura del río (Gajardo, 1994).

Las principales características de las comunidades vegetales tipo son las siguientes:

- **Bosque Esclerófilo Andino:** el paisaje vegetal corresponde al de un bosque esclerófilo, que a menudo se encuentra muy intervenido, con matorral de laderas de exposición al norte. Sobre su composición florística hay pocos antecedentes, pero es una formación que señala el límite de distribución más austral de varias especies. En esta formación vegetal, se distinguen las siguientes especies: Quillay – Litre y Quillay – Colliguay.
- **Bosque Caducifolio de la Montaña:** constituye una formación vegetal de gran riqueza florística, pues señala el límite norte de muchas especies leñosas y herbáceas de los bosques más australes.

En su fisionomía de bosque caducifolio tiene un papel importante la participación de ciprés de la cordillera, especie arbórea que en esta formación muestra una alta frecuencia. En esta formación vegetal, se distinguen las siguientes especies: Roble – Zarzaparrilla y Ciprés – Roble.

- **Estepa Alto – Andina:** esta formación es poco conocida desde el punto de vista botánico, pero por sus características transicionales debe corresponder a límites importantes en la distribución de las especies, tanto boreales como australes. En esta formación vegetal, se distingue la siguiente especie: Coirón de Vega – Chaurilla.
- **Matorral del Secano costero:** paisaje vegetal homogéneo que se desarrolla en lomajes de pendientes suaves y en extensas superficies planas de secano. Este paisaje vegetal, está constituido por arbustos altos dispersos, en que el espino (*Acacia caven*) es la especie dominante, acompañada en ciertos sectores por elementos esclerófilos. En los pequeños valles y en los lugares menos alterados se encuentran asociaciones típicas de los bosques esclerófilos. En esta formación vegetal, se distinguen las siguientes especies: Espino – Maitén y Romerillo – Llantén.

6.1.2.5. Áreas bajo protección oficial y conservación de biodiversidad

Las Áreas bajo Protección Oficial pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE) que se emplazan en la cuenca, corresponden al Parque Nacional Las Palmas de Cocalán y Reserva Nacional río Los Cipreses.

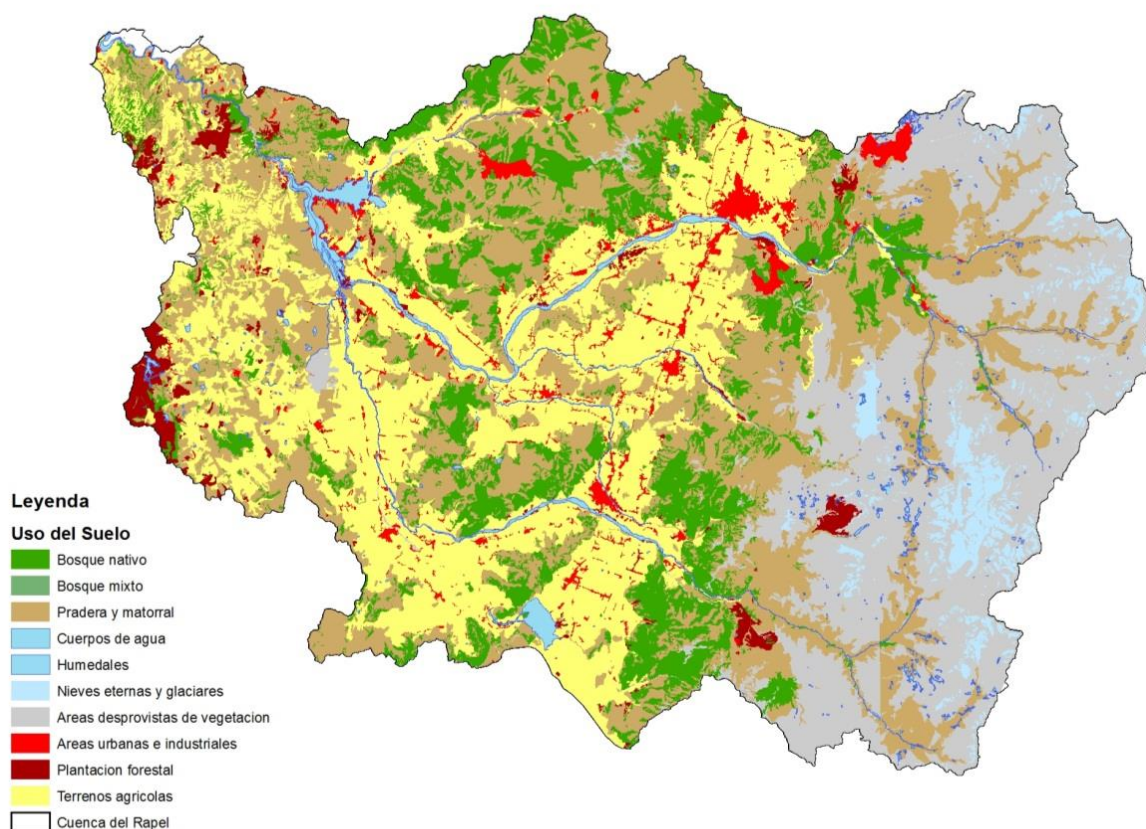
La superficie total abarcada por estas áreas es de 6.474 ha aproximadamente, equivalentes al 1% de la superficie total de la cuenca. Los sitios de conservación de la biodiversidad existente en la cuenca, incluidos en el documento “Estrategia Regional y Plan de Acción de la Biodiversidad VI Región del Libertador Bernardo O’Higgins”, corresponden a:

- **Las Cardillas:** Presencia de bosque esclerófilo de la zona central de Chile. Comunidades de Ciprés de la cordillera andina, especie con problemas de conservación. Presencia de otras especies animales y vegetales con problemas de conservación.

- **Alto huemul:** Presencia de bosque de roble de la zona Central, de la cordillera de Los Andes. Alta diversidad de especies vegetales y animales con problemas de conservación (ciprés de la cordillera, carpintero negro y zorro chilla).
- **Reserva Nacional Río de los cipreses:** Destaca la protección de especies como el guanaco, loro trichahue y puma. En cuanto a flora es posible destacar el peumo, quillay, litre y ciprés de la cordillera

6.1.2.6. Uso de suelos

Figura 31. Mapa uso de suelos en la Cuenca del Río Rapel.



Fuente: Elaboración propia en base a catastro de bosque nativo, 2013.

Tabla 99. Superficie destinada a los distintos tipos de uso de suelo

Tipo uso de Suelo	Superficie (Ha)	% de uso de suelo
Áreas desprovistas de vegetación	322.802	24%
Áreas urbanas e industriales	15.080	1%
Bosque mixto	825	0%
Bosque nativo	181.454	13%
Cuerpos de agua	8.768	1%
Humedales	2.315	0%
Nieves eternas y glaciares	9.090	1%
Plantación forestal	28.624	2%
Pradera y matorral	436.313	32%
Terrenos agrícolas	366.619	27%
Total Cuenca Río Rapel	1.371.890	100%

Fuente: Elaboración propia en base a Cartografía DGA y el Catastro de Bosque nativo, 2013.

De acuerdo a los límites y escalas para las distintas Macro regiones consideradas en el Catastro del Bosque Nativo, se tiene que para la Macro región IV (área correspondiente al llano central de las regiones administrativas V, Metropolitana, VI y VII, la mínima unidad cartografiable corresponde a 6,25 ha.

- Uso agrícola

Según su superficie, los terrenos de uso agrícola son los más importantes de la cuenca. Estos se ubican de preferencia en los llanos de la depresión central, alcanzando un total de 366619 ha, que corresponden al 27% de la superficie total. Los grupos de cultivos predominantes en la cuenca corresponden a cereales y frutales.

- Uso forestal

La superficie de suelo destinada al uso de tipo forestal, es reducida. Abarca una superficie de 28624ha que corresponde al 2% de la superficie total de la cuenca. La superficie de bosque Nativo alcanza las 28624 ha y de Bosque Mixto 825 ha. La superficie forestal anterior, está constituida principalmente por plantaciones de Pino radiata y Eucaliptus¹⁸.

¹⁸INE, Instituto Nacional de Estadísticas. VI Censo Nacional Agropecuario. 1997.

○ Uso urbano

La superficie total que abarca el uso urbano, es de 15080 ha correspondiendo al 1% de la superficie total de la cuenca. Este tipo de uso comprende a ciudades, pueblos y zonas industriales.

El uso urbano, está dado por el emplazamiento de la población mayoritariamente en el sector oriente. En esta zona, las ciudades con mayor número de población urbana corresponden a Rancagua, San Fernando, Rengo, Machalí y Graneros, que alcanzan un total de 344.708 habitantes, según censo 2002. En cuanto a su distribución espacial, estas localidades se encuentran próximas a los principales tributarios que posee la cuenca: Cachapoal, Tinguiririca y Claro de Rengo.

○ Usos de Agua in-situ por sector

Los usos de agua in-situ corresponden a aquellos que ocurren en el ambiente natural de la fuente de agua. A continuación se mencionan los usos in-situ en esta cuenca que se relacionan con la **calidad del agua**:

- **Acuicultura:** Para esta cuenca, no existen zonas de acuicultura informadas por la Subsecretaría de Pesca.
- **Pesca deportiva y recreativa:** En esta cuenca se desarrolla esta práctica en el embalse Rapel
- **Usos extractivos:** Los usos extractivos son los que se extraen o consumen en su lugar de origen, lo cuales se indican a continuación.
 - *Riego*
 - *Captación de agua potable*
 - *Generación eléctrica:* en esta cuenca existen centrales hidroeléctricas(Embalse y de pasada)
 - *Actividad Industrial:* la mayoría de las industrias existentes en la cuenca del río Rapel pertenecen al rubro agroindustrial y alimenticio: Las empresas a las cuales se les ha otorgado derechos de agua con fines industriales se localizan principalmente en: El río Cachapoal desde el río Claro (Cachapoal) hasta el embalse Rapel, estero La Cadena, río Claro de Rengo y río Zamorano.
 - *Minera:* los derechos de aguas oficialmente otorgados a empresas mineras sobre cursos superficiales corresponden a CODELCO, Cía. Minera Río Pangal, Soc. Minera El Teniente, Cía. Minera Rosario de Rengo, Cacáreas Tinguiririca. El resto de las minas utilizan recursos hídricos subterráneos.

- **Biodiversidad:** la protección y conservación de comunidades acuáticas son abordadas desde el punto de vista del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (Parque Nacional las palmas de Cocalán, Reserva Nacional Río de los Cipreses).
- **Usos Ancestrales:** para esta cuenca no se han detectado derechos de agua otorgados a comunidades indígenas.

6.2. Fases de análisis de Huella Hídrica

Dentro del proyecto está contemplado analizar la HH directa sobre los recursos de una cuenca, en este caso la cuenca seleccionada fue la del río Rapel

Figura 32. Esquema, fases de análisis de Huella Hídrica.



Fuente: Elaboración propia.

6.2.1. Fase 1: Definición de metas y objetivos.

En este caso el objetivo de fue aplicar la metodología de medición Huella Hídrica (HH) para evaluar para la cuenca del Río Rapel

- i. **¿La información existente permite la medición de las HH azul, verde y gris?**
- ii. **¿Cuáles son las principales limitantes para los cálculos?**
- iii. **¿Los resultados permiten realizar algún análisis relevante?**

Siguiendo con la metodología se definió el alcance del estudio en el cual se establecieron:

- **Resolución espacial:** Se consideró el territorio comprendido dentro de la cuenca del río Rapel. Cabe señalar que no se consideraron dentro del análisis las comunas de San José de Maipo, Melipilla, Paine, Romeral, Pichilemu y Lolol. Esto se debe a que estas en conjunto representan menos de un 0,1% de la cuenca y a que la asignación de las HH comunales respectivas no eran significativas para la cuenca.

Tabla 100: Comunas que pertenecen a la Cuenca del Río Rapel (continúa en la página siguiente).

Comuna	Sub-cuenca	Superficie Cuenca Río Rapel Km²	Aporte a la superficie de la cuenca
Machalí	Rio Cachapoal	2595	21,1%
Alhué	Rio Cachapoal	848,2	6,9%
San Fernando	Estero Zamorano- Rio Tinguiririca	795,9	6,5%
Las Cabras	Rio Cachapoal	755,9	6,2%
Requinoa	Rio Cachapoal	678	5,5%
Rengo	Rio Cachapoal- Rio Claro de Rengo	587,9	4,8%
Marchihue	Rio Tinguiririca	554,5	4,5%
Chimbarongo	Rio Tinguiririca -Estero Chimbarongo	508,9	4,1%
San Vicente	Rio Cachapoal- Rio Claro de Rengo- Estero Zamorano	486,8	4,0%
La Estrella	Rio Tinguiririca	395	3,2%
Litueche	Rio Rapel	364,1	3,0%
Chépica	Rio Tinguiririca	324,6	2,6%
Pichidegua	Rio Cachapoal	322	2,6%
Peralillo	Rio Tinguiririca	283,6	2,3%
Santa cruz	Rio Tinguiririca	268,2	2,2%
Rancagua	Rio Cachapoal	262,8	2,1%
Palmilla	Rio Tinguiririca -Estero Chimbarongo	235,2	1,9%
Coltauco	Rio Cachapoal	220,8	1,8%
Malloa	Rio Claro de Rengo-Estero Zamorano	211,2	1,7%
Teno	Estero Chimbarongo	184,1	1,5%
Navidad	Rio Rapel	168	1,4%
Peumo	Rio Cachapoal	154	1,3%
Nancagua	Rio Tinguiririca -Estero Chimbarongo	151,3	1,2%
Placilla	Rio Tinguiririca -Estero Chimbarongo	144,6	1,2%
Pumanque	Rio Tinguiririca -Estero Chimbarongo	126,9	1,0%

Tabla 101: Comunas que pertenecen a la Cuenca del Río Rapel (continuación).

Comuna	Sub-cuenca	Superficie Cuenca Río Rapel Km ²	Aporte a la superficie de la cuenca
Graneros	Rio Cachapoal	111,6	0,9%
Codegua	Rio Cachapoal	103,6	0,8%
Coinco	Rio Cachapoal	99,67	0,8%
San Pedro	Rio Rapel	87,33	0,7%
Quinta de Tilcoco	Rio Cachapoal- Rio Claro de Rengo-Estero Zamorano	86,86	0,7%
Doñihue	Rio Cachapoal	80,78	0,7%
Olivar	Rio Cachapoal	44,42	0,4%
Santo Domingo	Rio Rapel	29,7	0,2%
San José de Maipo*	Rio Cachapoal	5,72	<0,02%
Melipilla*	Rio Cachapoal	2,33	<0,02%
Paine*	Rio Cachapoal	1,37	<0,02%
Romeral*	Rio Tinguiririca	1,1	<0,02%
Mostazal*	Rio Cachapoal	0,98	<0,02%
Pichilemu*	Rio Tinguiririca	0,87	<0,02%
Lolol*	Rio Tinguiririca	0,42	<0,02%

*No se consideraron.

Fuente: Elaboración propia.

- **Resolución temporal:** Dado que el estudio se basa únicamente en información oficial publicada existen discordancias entre los años de publicación de datos de algunos sectores. En la siguiente tabla se puede apreciar que información se tomó en consideración para este análisis y las diferencias en temporalidad. Esta variabilidad contribuye a la incertidumbre de los resultados. En este sentido se buscó trabajar con el último documento oficial disponible.

Tabla 102: Recopilación de Información por sector (continúa en la página siguiente).

Sector	Parámetro	Documento	Unidad	Institución
Sector Silvoagropecuario	<ul style="list-style-type: none"> - Superficie destinada a los diferentes cultivos agrícolas y forestales - Existencias por Especie Animal 	Censo Silvoagropecuario (2007)	Comuna	Oficinas de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)
Sector Energía	<ul style="list-style-type: none"> - Potencia instalada (MW) 	Catastro Energético 2015	Comunal	Comisión Nacional de Energía
Sector Industrial (Fuentes: Variable de acuerdo a la industria)	<ul style="list-style-type: none"> - Catastro de industrias existentes en Chile 	Encuesta anual de la Industria (ENIA) 2012	Regional	Instituto Nacional de Estadísticas (INE)
	<ul style="list-style-type: none"> - Agroindustria (Fruta procesada) 	Catastro Agroindustrial (2012)	Comunal	Oficinas de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)/ Instituto Nacional de Estadísticas (INE)
	<ul style="list-style-type: none"> - Industria Forestal (Volumen de madera troza utilizada) 	Estadísticas productivas (2013)	Regional	Instituto Forestal
	<ul style="list-style-type: none"> - Industria de la carne (número de animales faenados) 	Estadísticas productivas (2014)	Regional	Oficinas de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)/ Instituto Nacional de Estadísticas (INE)
	<ul style="list-style-type: none"> - Industria Vitivinícola (Litros producidos) 	Estadísticas productivas (2014)	Regional	ODEPA/ Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)

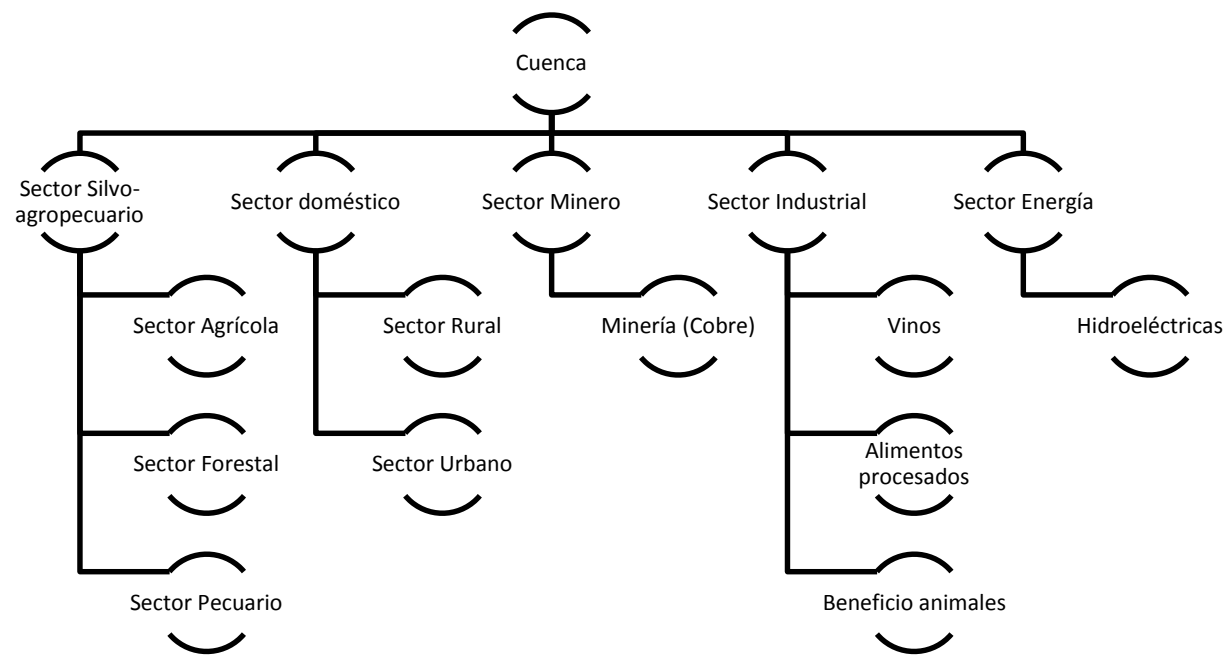
Tabla 103: Recopilación de Información por sector (continuación).

Sector	Parámetro	Documento	Unidad	Institución
Sector Minero	- Mineral producido (ton)	Volúmenes producidos	Regional	Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO)
Sector Doméstico	- Personas atendidas por sistema Rural/Urbano	Censo poblacional 2002 Proyecciones población 2014	Regional	Instituto Nacional de Estadísticas (INE)

Fuente: Elaboración propia.

- **Incertidumbre:** Las fuentes de información necesaria, tanto para la caracterización de la cuenca como para el cálculo de las huellas de cada uno de los sectores analizados, provino de fuentes oficiales. Aun así, el grado de incertidumbre de la información es variable y se desconoce la magnitud. La principal fuente de incertidumbre es la escala espacial en la que se encuentran los datos oficiales. En lo posible se prefirió la escala comunal dado que permite un análisis más detallado de la cuenca. En el caso de no existir información comunal se utilizó información regional.
La segunda fuente de incertidumbre fue la escala temporal. Los estudios oficiales no coinciden en los años de análisis (e.g. Censo poblacional (2002); Censo Agropecuario (2007); Catastros frutícolas (Varios años); etc). En la estimación del uso de agua de los sectores se utilizaron fuentes secundarias de información que alimentaron a los modelos en base a los cuales se calcularon las diferentes huellas.
- **Indicadores que se van a evaluar:** El objetivo del estudio fue realizar una medición de los tres parámetros de HH (azul, verde y gris) considerando sólo el uso directo de agua.
- **Límites:** En este caso se van a evaluar 5 sectores (Doméstico, Energía, Minería, Agroforestal y Pecuaria y la Industria. Dado a que el estudio se realizó en base a información oficial disponible, los sectores y procesos incluidos en este, están supeditados a la existencia de la información necesaria para los cálculos de HH respectivos.

Figura 33: Actividades por sector que se puede encontrar en una cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

6.2.2. Fase 2: Medición de la Huella Hídrica

La recopilación de información se realizó en 2 líneas, i) Caracterización de las actividades que se desarrollan en el territorio en estudio, y ii) Información requerida para estimar las huellas hídricas de los distintos sectores.

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

6.2.2.1.1. Caracterización Social, económica/productiva y ambiental

6.2.2.1.1.1. Caracterización Social

a) Subcuenca Río Rapel

Formada por comunas de Litueche, Navidad (ambas VI Región), San Pedro (RM) y Santo Domingo (V Región).

- Demográfico

La comuna más poblada es Santo Domingo, con 9.205 hab., seguida de San Pedro, con 8.062 hab. En tercer y cuarto lugar están Litueche y Navidad, cuyas poblaciones son de 5.591 y 5.468 habitantes respectivamente. Las comunas en esta cuenca podrían ser consideradas rurales, ya que 2 de las 4 comunas tienen o gran mayoría o toda su población rural y Litueche está cerca de ser considerada rural¹⁹.

Alta tasa de dependencia y adultos mayores, llegando a 114/100 niños en la localidad de Navidad. Baja tasa de natalidad, todas menores a 15. Podría haber una tendencia al envejecimiento de la población.

- Educación

En temas de acceso, en las 4 comunas un cuarto o más de la población cuenta sólo con educación básica incompleta. Salvo en Santo Domingo, donde el 20% (CASEN 2011) tuvo acceso a educación superior, en el resto de las comunas menos del 10% se encuentra en esa situación.

- Empleo e ingreso

Desocupación más alta en la comuna de Santo Domingo (12%), en el resto las cifras son bajas (8% en Navidad y 4% en Litueche, San Pedro no registra desocupación)

Predominio de micro y pequeñas empresas, medianas en menor cantidad. Sólo en Santo Domingo presencia de empresas grandes (SII, 2011).

¹⁹ Los porcentajes de población rural en este subcuenca son: Santo Domingo 36%; San Pedro 100%; Litueche 55,14% y navidad 86,7%.

Predominio de empresas rubro comercio y agrícola, salvo en Santo Domingo en donde predominan la intermediación financiera y el rubro inmobiliario. Agricultura se encuentra en 3er lugar.

Salvo en San Pedro, en donde casi la mitad de los trabajadores se dedican a la agricultura, la mayor cantidad de empleos los genera el rubro transporte, servicios, comercio, construcción e inmobiliaria.

En tres de las cuatro comunas, creció la cantidad de hogares con jefatura femenina. En Navidad, si bien el número se ha reducido, casi el 40% de los hogares tiene jefatura femenina.

Respecto del ingreso promedio, es en general menor al registrado en las regiones a la que cada comuna pertenece²⁰. El caso que presenta mayor diferencia es San Pedro, posiblemente debido a que el promedio de salarios en la RM es más alto. En cuanto a valores, los promedios más altos son en Santo Domingo y Navidad, mientras que los más bajos se encuentran en San Pedro y Litueche –que presenta el menor valor en la subcuenca.

En cuanto a la distribución del ingreso, se cuenta con los datos a nivel región (CASEN 2011). En el caso de las comunas de Litueche y Navidad, se observa que en la VI región hay una diferencia de 8 veces entre el 20% superior y el 20% inferior. Para Santo Domingo, correspondiente a la V región, la diferencia es 8,9 veces. Y finalmente en San Pedro, que es el caso de la RM, la diferencia es aún mayor, 11,2 veces entre el quinto y el primer quintil de ingresos.

Respecto de la población por debajo de la línea de pobreza, la comuna que presenta mayor porcentaje es Litueche (11%), seguida por Navidad y San Pedro. Según la encuesta CASEN (2011) la comuna de San Pedro no registra población pobre ni indigente.

En cuanto al IDH, la comuna que muestra un mejor índice es Santo Domingo (0,75), Seguida por San Pedro (0,70), Navidad (0,65) y Litueche (0,64). A nivel nacional, el IDH es de 0,82.

- Calidad de vida

Finalmente, se da una alta tasa de viviendas recuperables en toda la subcuenca. Tanto San Pedro como Navidad poseen más del 50% de sus viviendas con algún déficit ya sea de saneamiento o materialidad. En el caso

²⁰ La Región Metropolitana registra un salario promedio de \$1.005.771, mientras que en la V Región es de \$652.771 y en la VI Región de \$526.861 (CASEN 2011).

de Litueche y Santo Domingo, 34% y 22% de las viviendas presentan esta misma condición respectivamente. Menor es la cantidad de viviendas no recuperables, 2% para Litueche y 5% en San Pedro.

En cuanto al acceso a agua potable y saneamiento²¹, se recogieron los siguientes datos (INE 2002):

- Litueche (44,86% de población urbana y 55,14% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 99%, mientras que 0,6% la obtienen de pozo y 0,4% de otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, la situación es un tanto distinta, ya que sólo el 25,5% obtiene su agua de red, mientras que un 62,7% de pozo y el restante 11,9% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 96%, mientras que 2,7% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,3% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, la situación es más precaria, ya que sólo un 33,2% está conectado al alcantarillado, mientras que un 58% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 8,7% no accede a saneamiento mejorado.

- Navidad (población rural 86,87% y urbana 13,13%)

A nivel rural, población mayoritaria, el 45,4% obtiene su agua de red, mientras que un 35,9% de pozo y el restante 18,7% de otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 73%, mientras que 7,5% la obtienen de pozo y 19,5% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento a nivel rural, sólo un 38,8% está conectado al alcantarillado, mientras que un 62,5% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 4,3% no accede a saneamiento mejorado.

A nivel urbano la situación es menos precaria, ya que la cobertura de alcantarillado es de un 63,3%, mientras que 33,6% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 3,1% no tiene acceso a saneamiento mejorado.

²¹ El acceso a alcantarillado permite que las aguas servidas puedan ser derivadas a una planta de tratamiento, sea esta urbana o rural.

- San Pedro (comuna rural)

El 37,57% obtiene su agua de red, mientras que un 58,57% de pozo y el restante 3,85% de otras fuentes (río, vertiente o estero). Respecto del saneamiento a nivel rural, sólo un 40,08% está conectado al alcantarillado, mientras que un 53,37% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 6,55% no accede a saneamiento mejorado.

- Santo Domingo (población rural 36% y urbana 64%)

A nivel rural, el 18,14% de la población obtiene su agua de red, mientras que un 73,3% de pozo y el restante 8,6% de otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 98,69% mientras que 0,98% la obtienen de pozo y 0,32% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento a nivel rural, sólo un 39,97% está conectado al alcantarillado, mientras que un 48,71% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 11,32% no accede a saneamiento mejorado. A nivel urbano la situación es menos precaria, ya que la cobertura de alcantarillado es de un 84,03%, mientras que 14,88% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,09% no tiene acceso a saneamiento mejorado.

b) Sub-cuenca Río Cachapoal

La subcuenca del Río Cachapoal es muy extensa, cubriendo 17 comunas de la VI región. Dada la gran cantidad de diferencias que podrían darse entre comunas urbanas y rurales, se hará una separación que permita analizarlas en grupos de similares realidades²².

²² Esta distinción se hace siguiendo un criterio individual, que permita agrupar a las comunas de acuerdo a los porcentajes de población urbana y rural, facilitando así el análisis.

Grupo urbano²³: Comunas de Rancagua, Graneros, Mostazal, Machalí, Coinco y Doñihue.

- **Demográfico**

La ciudad más poblada es Rancagua, con 250.638 habitantes. En segundo lugar se encuentra Machalí, cuya población representa un 14% de la correspondiente a la capital regional. Luego se encuentran Graneros, Mostazal, Doñihue y finalmente Coinco –7.248 habitantes (proyección INE 2012). Variación de población (proyección INE 2012) oscila entre 14% y 26%. Más baja en Coinco, más alta en Machalí. Paridad entre cantidad de hombres y mujeres.

Mejores proporciones entre adultos mayores y niños, tasa más alta de adultos mayores en Coinco (57/100). En este grupo se dan tasas de natalidad tanto bajas como moderadas, de entre 12 y 21 por cada mil habitantes. La tendencia al envejecimiento de la población debería ser bastante menor que en la subcuenca del Río Rapel.

- **Educación**

En temas de acceso, en las 5 de las 6 comunas predomina la población con educación media completa, la cual representa entre un cuarto y un tercio en cada comuna. La excepción se da en la comuna de Coinco, donde un 26% de la población posee educación básica incompleta. De todos modos, las cifras de educación básica incompleta en el resto de las comunas van desde 15% en Rancagua hasta 22% en Graneros.

En cuanto a educación superior, la comuna con mayor acceso es Rancagua con un 25% de su población. En las demás comunas, el porcentaje de población con educación superior fluctúa entre 15% y 13%.

- **Empleo e ingreso**

La tasa de desocupación más alta se da en la comuna de Rancagua, registrando un 16%. En el resto, las cifras son más bajas -de entre el 7% y el 3% (CASEN 2011).

Rancagua aparece como el centro económico más grande, debido a que presenta la mayor cantidad de empresas de diferentes tamaños dentro del grupo de comunas urbanas de la cuenca del Cachapoal–en total 9.761 empresas, de las cuales 126 son consideradas grandes. En número de empresas le siguen Machalí y Graneros, con 1.289 y 1.141 respectivamente -2 y 5 de ellas consideradas grandes, respectivamente. Mostazal y Doñihue

²³Comunas con 30% o menos de población rural.

se encuentran en 4 y lugar, con 939 y 781 empresas cada una -7 y 20 de tipo grande respectivamente (SII, 2011). La comuna con menor cantidad de empresas es Coinco, con 358 de las cuales la gran mayoría son microempresas.

Predominio de empresas rubro comercio en todas las comunas. Luego, en los dos lugares con mayor cantidad de empresas –Rancagua y Machalí-, siguen en importancia el transporte y rubros asociados a inmobiliaria y construcción. En los casos de Mostazal, Coinco y Graneros la agricultura se encuentra en segundo lugar de importancia, y en Doñihue en tercero.

Salvo en el caso de Doñihue, donde poco más la mitad de los trabajadores se dedican a industrias metálicas y no metálicas, el rubro “agricultura, ganadería, pesca y silvicultura” es el que genera mayor cantidad de empleos –con variaciones de una comuna a otra²⁴. Otros rubros importantes son el comercio y el transporte.

Discordancia de datos entre Censo Agropecuario y SII (año 2007) en cuanto a empleos permanentes y temporarios en agricultura.

En todas las comunas creció la cantidad de hogares con jefatura femenina respecto de 2009. Se destacan especialmente los casos de Rancagua, estos hogares crecieron un 74%, y Machalí, en donde la cantidad representa 2,4 veces lo registrado en 2009. (CASEN, 2011)

Respecto del ingreso promedio, se dan diferentes situaciones en relación al salario promedio regional. En el caso de Machalí y Rancagua los ingresos promedio superan a la región, mientras que en Graneros éste es prácticamente igual. Mostazal, Coinco y Doñihue presentan salarios menores al promedio regional, destacándose esta última por tener el salario promedio más bajo del grupo analizado -\$459.975-. El salario promedio más alto se encuentra en la Comuna de Machalí, siendo de \$994.648. (CASEN 2011)

En cuanto a la distribución del ingreso, se cuenta con los datos a nivel región (CASEN 2011). Así, se observa que en la VI región hay una diferencia de 8 veces entre el 20% superior y el 20% inferior.

Respecto de la población por debajo de la línea de pobreza, la comuna que presenta mayor porcentaje es Doñihue (19%), seguida por Coinco, Mostazal, Graneros y Rancagua. Según la encuesta CASEN (2011) la

²⁴Algunos ejemplos: en el caso de Graneros casi el 70% de los empleos se relacionan a este rubro, mientras que en Rancagua lo hace el 18% y en Machalí el 25%. En Doñihue, si bien la agricultura aparece recién en tercer lugar, emplea al 12% de la población.

comuna de Machalí es la que registra la menor cantidad de población bajo la línea de pobreza –un 8%.

En cuanto al IDH, las comunas que muestran un mejor índice son Machalí y Rancagua, ambas con 0,73. Graneros y Mostazal le siguen, con 0,69. Finalmente se encuentran Doñihue y Coinco, con 0,68 y 0,67 respectivamente. A nivel regional el IDH es 0,689 y a nivel nacional 0,82.

- Calidad de vida

Según la encuesta CASEN (2011) la calidad de las viviendas en este grupo es mejor que lo observado en la subcuenca Rapel. Las comunas con mayor porcentaje de viviendas recuperables son Doñihue –un cuarto de las viviendas presentan déficit-, Mostazal –24% de viviendas con déficit- y Graneros –22% de viviendas recuperables. En el caso de Rancagua y Coinco, las viviendas en estado recuperable representan un 17% –y 2% de viviendas irrecuperables en la última comuna. Finalmente, la comuna con menor cantidad de viviendas recuperables es Machalí –presenta un 7% y 1% de viviendas irrecuperables.

En cuanto al acceso a agua potable y saneamiento²⁵, se recogieron los siguientes datos (INE 2002):

- Rancagua (64% de población urbana y 34% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 99,7%, mientras que 0,3% la obtienen de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 86,8% obtiene su agua de red, mientras que un 10,6% de pozo y el restante 2,5% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 99,1%, mientras que 0,65% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 0,25% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, la situación es más precaria, ya que sólo un 57,9% está conectado al alcantarillado, mientras que un 40,2% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,8% no accede a saneamiento mejorado.

- Doñihue (92,8% de población urbana y 7,8% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 96,1%, mientras que 3,4% la obtienen de pozo y 0,5% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

²⁵ El acceso a alcantarillado permite que las aguas servidas puedan ser derivadas a una planta de tratamiento, sea esta urbana o rural.

A nivel rural, el 77,15% de la población obtiene su agua de red, mientras que un 20,57% de pozo y el restante 2,4% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 78,8%, mientras que 20% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,2% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, la situación es más precaria, ya que sólo un 41,9% está conectado al alcantarillado, mientras que un 54% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 4,1% no accede a saneamiento mejorado.

- Mostazal (81,64% de población urbana y 18,36% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 98,4%, mientras que 1,6% la obtienen de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 63,1% obtiene su agua de red, mientras que un 26,7% de pozo y el restante 10,3% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 84,7%, mientras que 14,5% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 0,7% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, el 59% está conectado al alcantarillado, mientras que un 38,1% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 2,9% no accede a saneamiento mejorado.

- Coinco (70,3% de población urbana y 29,7% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 93%, mientras que 6,2% la obtienen de pozo y 0,8% de otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 80,3% obtiene su agua de red, mientras que un 14,5% de pozo y el restante 5,2% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 73,2%, mientras que 25,4% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,4% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, la situación es más precaria, ya que sólo un 37,5% está conectado al alcantarillado, mientras que un 57,7% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 4,8% no accede a saneamiento mejorado.

- Machalí (93,8% de población urbana y 6,2% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 99%, mientras que 1% la obtienen de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 63,5% obtiene su agua de red, mientras que un 7% de pozo y el restante 0,6% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 92,4%, mientras que 7% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 0,6% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, el 59,4% está conectado al alcantarillado, mientras que un 37,2% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El 3,4% no accede a saneamiento mejorado.

Grupo Urbano/rural²⁶: Comunas de Requinoa, Quinta de Tilcoco, San Vicente, Peumo, Alhué, Rengo, Coltauco, Codegua y Olivar.

- **Demográfico**

La ciudad más poblada es Rengo, con 61.683 habitantes. En segundo lugar se encuentra San Vicente, con una población de 47.716 habitantes, y en tercero Requinoa con 26.235 habitantes. En orden decreciente encontramos a las comunas de Coltauco -17.620-, Peumo -15.490-, Olivar -14.091-, Codegua -12.725- y Quinta de Tilcoco -12.144 habitantes. La comuna con menor cantidad de habitantes en este grupo es Alhué, con una población de 4.646 hab.

La variación de población en este grupo (proyección INE 2012) oscila entre 5% y 21% -la cifra más baja se da en Alhué y la más alta en Rengo. Las comunas con mayor variación de población son las mencionadas como más pobladas. Se observa paridad entre cantidad de hombres y mujeres.

Mejores proporciones entre adultos mayores y niños, tasa más alta de adultos mayores en Quinta de Tilcoco -57/100- y la más baja en Olivar -30/100. En este grupo se dan tasas tanto bajas como moderadas, de entre 13 y 19 por cada mil habitantes. La tendencia al envejecimiento de la población debería ser bastante menor que en la subcuenca del Río Rapel.

- **Educación**

En temas de acceso, todas las comunas de este grupo poseen 20% o más población con educación media completa, llegando en algunos casos a

²⁶ En estas comunas se da una proporción un poco más equilibrada de población en cada categoría, de entre 31% y 60% de población rural.

representar un cuarto de la población –San Vicente, Peumo, Alhué, Olivar y Codegua. En cuanto a la población con educación básica incompleta hay variaciones entre las distintas comunas, presentándose cifras de entre 15% -Alhué-, 20% -Codegua- y 30% -Peumo.

En cuanto a educación superior, las comunas con mayor acceso son San Vicente y Rengo, con 20% de su población. En las demás comunas, el porcentaje de población con educación superior fluctúa entre 16% y 8% - Alhué.

- Empleo e ingreso

La tasa de desocupación más alta se da en la comuna de San Vicente, registrando un 10%. En el resto, las cifras son más bajas -de entre el 9% y el 2%. (CASN 2011)

San Vicente aparece como el centro económico más grande de este grupo, debido a que presenta la mayor cantidad de empresas de diferentes tamaños dentro del grupo–en total 2.984 empresas, de las cuales 2 son consideradas grandes. Si bien en cantidad de empresas la Comuna de Rengo se encuentra en segundo lugar, con 2.393 empresas, posee mayor cantidad de empresas grandes. Requinoa y Coltauco son las comunas que ocupan el tercer y cuarto puesto en cantidad, contando con 1.201 –16 consideradas grandes- y 824 empresas respectivamente -12 grandes en el caso de Coltauco.

Números muy parecidos de empresas tienen las comunas de Quinta de Tilcoco y Peumo, que siguen en orden descendente con 785 y 760 respectivamente –aunque sólo en la última hay presencia de empresas grandes. Finalmente se encuentran Olivar, Codegua y Alhué, con 686, 476 y 230 empresas respectivamente –de las cuales 11, 5 y 1 son consideradas grandes. (SII, 2011)

Predominio de empresas rubro comercio y agricultura, ocupando o el primer o el segundo lugar en importancia en cada una de las comunas. La excepción la constituye Olivar, en donde el segundo lugar luego de agricultura lo ocupa la industria –metálica y no metálica. En tercer lugar se ubica en general el rubro transporte, y en el caso de Requinoa la actividad inmobiliaria. (SII, 2011)

Salvo en el caso de Alhué, donde el 40% de los trabajadores lo hacen en el rubro de “explotación de minas y canteras” y un 17% en construcción, el rubro “agricultura, ganadería, pesca y silvicultura” es el que genera mayor

cantidad de empleos –con variaciones de una comuna a otra²⁷. Otros rubros importantes son el comercio, la intermediación financiera –en el caso de Codegua- la construcción y el transporte. (SII, 2011)

Discordancia de datos entre Censo Agropecuario y SII (año 2007) en cuanto a empleos permanentes y temporarios en agricultura.

En cuanto a hogares con jefatura femenina, se presenta una situación es diferente en cada comuna. Mientras que en Requinoa, Peumo, Rengo y San Vicente estos disminuyeron respecto a 2009 –en el caso de esta última se registran 49% menos-, en las comunas de Coltauco, Olivar, Alhué y Quinta de Tilcoco aumentaron –en esta última se registraron 62% más. Llamativo es el caso de Codegua, donde la cifra se ha casi duplicado entre 2009 y 2011–creció un 97% (CASEN, 2011)

Respecto del ingreso promedio, se dan diferentes situaciones en relación al salario promedio regional. En Requinoa, Coltauco, Rengo y Peumo el ingreso supera al promedio regional –en algunos casos levemente, llegando al 11% en las dos últimas. Ahora bien, en las comunas de Olivar, San Vicente y Quinta de Tilcoco, el salario es menor al promedio –variando entre un 3% hasta un 29% en la última comuna. Caso preocupante es el de Alhué, donde no sólo se percibe un salario que representa la mitad del promedio regional –pertenece a la RM²⁸-, sino que además este ha disminuido un 43% respecto de lo registrado en 2009. (CASEN, 2011)

En cuanto a la distribución del ingreso, se cuenta con los datos a nivel región (CASEN 2011). Así, se observa que en la VI región hay una diferencia de 8 veces entre el 20% superior y el 20% inferior. En el caso de Alhué, perteneciente a la RM, la diferencia es aún mayor, 11,2 veces entre el quinto y el primer quintil de ingresos.

Respecto de la población por debajo de la línea de pobreza, la comuna que presenta mayor porcentaje es Codegua -21%-, seguida por Olivar -12%-, Coltauco -10%-, Requinoa y San Vicente –ambas con 9%-, Rengo -7%-, Quinta de Tilcoco -5%- y Peumo -4%. Según la encuesta CASEN (2011) la comuna de Alhué es la que registra la menor cantidad de población bajo la línea de pobreza –un 3%²⁹.

²⁷Algunos ejemplos: en el caso de Graneros casi el 70% de los empleos se relacionan a este rubro, mientras que en Rancagua lo hace el 18% y en Machalí el 25%. En Doñihue, si bien la agricultura aparece recién en tercer lugar, emplea al 12% de la población.

²⁸ La Región Metropolitana registra un salario promedio de \$1.005.771 (CASEN 2011).

²⁹ Es una situación que llama la atención debido a lo mencionado respecto de la disminución del ingreso promedio en dicha comuna entre 2009 y 2011.

En cuanto al IDH, la comuna que muestra un mejor índice con Codegua y Alhué, con 0,70 cada una. San Vicente y Rengo les siguen, con 0,69 y 0,68 respectivamente. Peumo y Quinta de Tilcoco coinciden en 0,67, mientras que Requinoa y Olivar lo hacen en 0,66. Finalmente se encuentra Coltauco, con 0,64 –el valor más bajo del grupo. A nivel regional el IDH es 0,689 y a nivel nacional 0,82.

- Calidad de viviendas

Según la encuesta CASEN (2011) la calidad de las viviendas en este grupo presenta una situación de mayor déficit que lo observado en el grupo de comunas urbanas de la subcuenca. Las comunas con mayor porcentaje de viviendas recuperables son Codegua -39%- Quinta de Tilcoco -33% de las viviendas presenta déficit-, Rengo –más de un cuarto de viviendas con déficit- y San Vicente -24% de viviendas recuperables. Las comunas de Requinoa, Peumo, Alhué, Olivar y Coltauco coinciden en los porcentajes de viviendas recuperables e irrecuperables -17% y 2%, respectivamente.

En cuanto al acceso a agua potable y saneamiento³⁰, se recogieron los siguientes datos (INE 2002):

- Requinoa (50,4% de población urbana y 49,6% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 99%, mientras que 1% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 93,2% obtiene su agua de red, mientras que un 2,7% de pozo y el restante 4,1% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 83,4%, mientras que 14,9% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,7% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, un 65,3% está conectado al alcantarillado, mientras que un 32,8% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 2% no accede a saneamiento mejorado.

- Quinta de Tilcoco (51,4% de población urbana y 48,6% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 97,9%, mientras que 2,1% la obtienen de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel

³⁰ El acceso a alcantarillado permite que las aguas servidas puedan ser derivadas a una planta de tratamiento, sea esta urbana o rural.

rural, el 87,1% obtiene su agua de red, mientras que un 11,7% de pozo y el restante 1,2% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 71,9%, mientras que 27,1% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, la situación es más precaria, ya que sólo un 57,9% está conectado al alcantarillado, mientras que un 39,2% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 2,9% no accede a saneamiento mejorado.

- San Vicente de Tagua Tagua (34,34% de población urbana y 65,66% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 94,2%, mientras que 5,8% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 85,5% obtiene su agua de red, mientras que un 10% de pozo y el restante 4% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 71,2%, mientras que 27,3% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,5% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, la situación es más precaria, ya que sólo un 49,3% está conectado al alcantarillado, mientras que un 49,1% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,6% no accede a saneamiento mejorado.

- Peumo (54,7% de población urbana y 45,3% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 98,97%, mientras que 1,1% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 91% obtiene su agua de red, mientras que un 8,5% de pozo y el restante 0,5% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 88,2%, mientras que 10,7% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,1% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, el 56,8% está conectado al alcantarillado, mientras que un 41,9% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,3% no accede a saneamiento mejorado.

- Alhué (58,47% de población urbana y 41,53% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 95,5%, mientras que 3,58% la obtienen de pozo y 0,89% de otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 70,2% obtiene su agua de red, mientras que un 17,896% de pozo y el restante 11,99% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 57,33%, mientras que 42,48% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,79% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, la situación es un poco más precaria, ya que sólo un 43,9% está conectado al alcantarillado, mientras que un 51,21% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 4,88% no accede a saneamiento mejorado.

- Rengo (65% de población urbana y 35% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 97,9%, mientras que 2,1% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 87,1% obtiene su agua de red, mientras que un 11,7% de pozo y el restante 1,2% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 99,6%, mientras que 0,4% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. A nivel rural, la situación es más precaria, ya que sólo un 54,6% está conectado al alcantarillado, mientras que un 43,6% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,9% no accede a saneamiento mejorado.

- Coltauco (65,66% de población urbana y 33,34% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 94,2%, mientras que 5,8% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 85,5% obtiene su agua de red, mientras que un 10% de pozo y el restante 4% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 71,2%, mientras que 27,3% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,5% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, la situación es más precaria, ya que sólo un 49,3% está conectado al alcantarillado, mientras que un 49,1% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,6% no accede a saneamiento mejorado.

- Codegua (51% de población urbana y 49% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 98,9%, mientras que 1,1% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 85,2% obtiene su agua de red, mientras que un 9,3% de pozo y el restante 5,4% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 77,9%, mientras que 20,6% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,5% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, un 66,7% está conectado al alcantarillado, mientras que un 31,6% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,7% no accede a saneamiento mejorado.

- Olivar (64,1% de población urbana y 35,9% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 97,5%, mientras que 2,5% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 98,5% obtiene su agua de red, mientras que un 1,5% de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 75,7%, mientras que 20,9% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 3,4% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural el 61,2% está conectado al alcantarillado, mientras que un 37,5% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,4% no accede a saneamiento mejorado.

Predominantemente Rural³¹: Las Cabras y Pichidegua

La comuna más poblada es Las Cabras, con 9.205 habitantes, seguida de Pichidegua – con 19.338. (Proyección INE, 2012)

Tasa de dependencia y adultos mayores similar al grupo urbano/rural, aunque mayor al grupo urbano en el caso de la tasa de adultos mayores - llegando a 57/100 niños en la localidad de Pichidegua. La tasa de natalidad es baja en las dos comunas. La tendencia al envejecimiento de población debería ser similar o levemente mayor al resto de la subcuenca (CAsEN, 2011).

³¹En estas comunas, la población urbana es rural es mayor o igual a 61%. Los porcentajes de población rural en este caso son: Las Cabras 62,7% y Pichidegua 72%.

- Educación

En temas de acceso, en las 2 comunas un cuarto o más de la población cuenta con educación media completa –llegando al 29% en Las Cabras. Ahora bien, en Las Cabras y casi un tercio o más de la población cuenta sólo educación básica incompleta -29%- siendo Pichidegua la comuna que presenta el menor porcentaje. En las dos comunas 10% o menos se encuentra en esa situación (CASEN 2011).

- Empleo e ingreso

La tasa de desocupación más alta se da en la comuna de Las Cabras -11%- , en Pichidegua el registro es de 3% en Pichidegua.

Predominio de micro y pequeñas empresas, medianas en menor cantidad. Aunque en baja cantidad, presencia de empresas grandes –en Las Cabras 16 y en Pichidegua sólo 1. (SII, 2011) En cantidad de empresas el primer lugar lo ocupa Las Cabras -1.330-, seguida de Pichidegua -1.219. Predominio de empresas rubro agrícola, ubicándose el comercio en segundo lugar. Otros rubros de importancia son el transporte y el sector de hoteles.

La mayor cantidad de empleos son generados por el rubro agrícola, llegando a casi el 73% en Las Cabras –en Pichidegua 42%. Otro rubro importante en cuanto a empleo es el comercio –en Las Cabras casi el 30% trabaja en el sector³².

Salvo en la comuna de Las Cabras, en que disminuyó un 18%, creció la cantidad de hogares con jefatura femenina respecto de 2009. En Pichidegua, aumentaron estos hogares un 18% (CASEN 2011).

Respecto del ingreso promedio, es en general menor al registrado en las regiones a la que cada comuna pertenece. El caso que presenta mayor diferencia es Las Cabras, con un 17,5% menos- seguido de Pichidegua - 16% menor.

En cuanto a la distribución del ingreso, se cuenta con los datos a nivel región (CASEN 2011). Así, se observa que en la VI región hay una diferencia de 8 veces entre el 20% superior y el 20% inferior.

Respecto de la población por debajo de la línea de pobreza, los porcentajes son bajos. En Pichidegua se da un 7% y en Las Cabras 4% (CASEN 2011).

³² Se observa discordancia de datos entre Censo Agropecuario y SII (año 2007).

En cuanto al IDH, la comuna que muestra un mejor índice es Las Cabras - 0,66-, seguida de Pichidegua -0,65. A nivel regional el IDH es 0,689 y a nivel nacional 0,82.

- Calidad de vida

Finalmente, se da una alta tasa de viviendas recuperables en la comuna de Las Cabras -41%. Si bien en menor medida, en Pichidegua también se encuentran viviendas con déficit -representan el 17%. Menor es la cantidad de viviendas no recuperables: 2% en Pichidegua.

En cuanto al acceso a agua potable y saneamiento³³, se recogieron los siguientes datos (INE 2002):

- Las Cabras (62,7% de población rural y 37,3% urbana)

A nivel rural, el 62% obtiene su agua de red, mientras que un 35,7% de pozo y el restante 2,3% de otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 96,7%, mientras que 3,3% la obtienen de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel rural, sólo un 53% está conectado al alcantarillado, mientras que un 43,8% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,8% no accede a saneamiento mejorado. A nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 87,1%, mientras que 43,8% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 3,2% no tiene acceso a saneamiento mejorado.

c) Subcuenca Río Claro del Rengo

En esta subcuenca, se encuentran situadas las comunas de Malloa, Rengo, San Vicente y Quinta de Tilcoco. Las últimas tres, caracterizadas como urbanas/rurales, ya fueron descritas en el apartado anterior, ya que además forman parte de la subcuenca del Río Cachapoal (Ver página 227). A continuación, se realiza una descripción de la comuna de Malloa:

- Demográfico

Malloa tiene una población de 4.646 habitantes, presentando una variación de 7% respecto de 2002 (proyección INE 2012). La población de esta

³³ El acceso a alcantarillado permite que las aguas servidas puedan ser derivadas a una planta de tratamiento, sea esta urbana o rural.

comuna es predominantemente rural -63% según INE (2002). La distribución por sexo es equilibrada, con una diferencia positiva de sólo 4% hacia los hombres.

La tasa de dependencia es de 46%, muy parecida al resto de las comunas de la subcuenca, mientras que la tasa de adultos mayores es la segunda menor entre ellas -44/100 niños, por detrás de 39/100 registrada en Rengo. Sin embargo, la tasa de natalidad es considerada baja. (CASEN 2011)

- Educación

En temas de acceso, casi un tercio de la población posee educación básica incompleta, mientras que 21% ha completado la educación media. En 2011 (CASEN), el 12% de la población había accedido a educación superior.

La tasa de desocupación es baja, representando el 3% de la población económicamente activa. (CASEN 2011)

Malloa posee 804 empresas en su territorio, de las cuales la gran mayoría son micro y pequeñas empresas. Existen 15 empresas mediana y sólo 2 grandes. (SII 2011).

Predominio de empresas rubro agricultura, ganadería, caza y silvicultura, llegando al 40%. En segundo lugar de importancia se encuentra el rubro comercio, con 28,9%, seguido de industrias metálicas y no metálicas. (SII 2011)

Tal como en el caso de las demás comunas de la subcuenca, el rubro con mayor cantidad de empleos es la agricultura -con un 57,6%- , seguido por el de transporte. A diferencia del resto de la subcuenca, en tercer lugar se encuentran la industria metálica y no metálica.

Discordancia de datos entre Censo Agropecuario y SII (año 2007) en cuanto a empleos permanentes y temporarios en agricultura.

Respecto de 2009, así como en los casos de San Vicente y Rengo, el porcentaje de hogares con jefatura femenina se redujo levemente - representando el 25,7%. (CASEN, 2011)

El ingreso promedio en la comuna de Malloa es un 10% menor a lo registrado en la Región, aunque lo más llamativo es que –según lo indicado en la encuesta CASEN 2011- el mismo se ha reducido un 28% desde 2009³⁴. En cuanto a la distribución del ingreso, se cuenta con los datos a nivel región (CASEN 2011). Así, se observa que en la VI región hay una diferencia de 8 veces entre el 20% superior y el 20% inferior.

Respecto de la población por debajo de la línea de pobreza, la comuna de Malloa registra un 8%. Este porcentaje se encuentra en niveles parecidos de las demás comunas de la subcuenca, sólo superado por San Vicente.

En cuanto al IDH, Malloa registra 0,64 –por debajo de las demás comunas de la subcuenca. A nivel regional el IDH es 0,689 y a nivel nacional 0,82.

- Calidad de vida

Según la encuesta CASEN (2011) la calidad de las viviendas en Malloa se presenta mejor que en las demás comunas, con 17% de viviendas recuperables y 2% irrecuperables.

En cuanto al acceso a agua potable y saneamiento³⁵, se recogieron los siguientes datos (INE 2002):

- Malloa (63% de población rural y 37% urbana)

A nivel rural, el 89,5% obtiene su agua de red, mientras que un 8,2% de pozo y el restante 2,3% de otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 98,4%, mientras que 3% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel rural, sólo un 57,4% está conectado al alcantarillado, mientras que un 39,8% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 2,7% no accede a saneamiento mejorado. A nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 84,1%, mientras que 15,4% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,5% no tiene acceso a saneamiento mejorado.

³⁴ El ingreso promedio es de \$487.071

³⁵ El acceso a alcantarillado permite que las aguas servidas puedan ser derivadas a una planta de tratamiento, sea esta urbana o rural.

d) Subcuenca Estero Zamorano

En esta subcuenca, se encuentran situadas las comunas de Malloa, San Vicente, Quinta de Tilcoco y San Fernando. Las primeras tres, caracterizadas rural y urbano/rurales –respectivamente-, ya fueron descriptas en el apartado anterior, ya que además forman parte de la subcuenca del Río Cachapoal y Río Claro del Rengo (Ver páginas 227 y 237).

A continuación, se realiza una descripción de la comuna de San Fernando:

- Demográfico

San Fernando tiene una población de 73.994 habitantes, presentando una variación de 16% respecto de 2002 (proyección INE 2012). La población de esta comuna es predominantemente urbana -80,3% según INE (2002). La distribución por sexo es equilibrada, con una diferencia positiva de sólo 2% hacia las mujeres.

La tasa de dependencia es de 46%, muy parecida al resto de las comunas de la subcuenca, mientras que la tasa de adultos mayores es la menor entre ellas -44/100 niños, igualando a la registrada en Malloa. La tasa de natalidad es considerada moderada –en el límite, ya que por debajo de 15 es considerada baja (CASEN 2011).

- Educación

En temas de acceso, cerca de la mitad de la población posee educación media completa mientras que 12% educación media incompleta y básica completa –igual porcentaje para cada categoría. En 2011 (CASEN), el 17% de la población había accedido a educación superior.

- Empleo e ingreso

La tasa de desocupación es la más alta de la subcuenca, representando el 19% de la población económicamente activa (CASEN 2011).

San Fernando posee 4.301 empresas en su territorio, de las cuales la gran mayoría son micro y pequeñas empresas. Existen 89 empresas mediana y 26 grandes. (SII 2011).

Predominio de empresas rubro comercio, llegando al 41%. En segundo lugar de importancia se encuentra el rubro agricultura, ganadería, caza y silvicultura con 12,8%, seguido por transporte –con 10,2% (SII 2011).

Tal como en el caso de las demás comunas de la subcuenca, el rubro con mayor cantidad de empleos es la agricultura –con un 37,3%–, seguido por el de comercio. A diferencia del resto de la subcuenca, pero igual al caso de Malloa, en tercer lugar se encuentran la industria metálica y no metálica.

Discordancia de datos entre Censo Agropecuario y SII (año 2007) en cuanto a empleos permanentes y temporarios en agricultura. Respecto de 2009, así como en los casos de San Vicente y Rengo, el porcentaje de hogares con jefatura femenina se redujo levemente –representando el 25,7% (CASEN, 2011).

El ingreso promedio en la comuna de San Fernando es un 20% menor a lo registrado en la Región, aunque lo más llamativo es que –según lo indicado en la encuesta CASEN 2011, y tal como en el caso de Malloa– el mismo se ha reducido un 20% desde 2009³⁶.

En cuanto a la distribución del ingreso, se cuenta con los datos a nivel región (CASEN 2011). Así, se observa que en la VI región hay una diferencia de 8 veces entre el 20% superior y el 20% inferior. Respecto de la población por debajo de la línea de pobreza, la comuna de San Fernando registra un 12%. Este porcentaje es el más alto entre las demás comunas de la subcuenca.

En cuanto al IDH, Malloa registra 0,72 –el más alto entre las demás comunas de la subcuenca. A nivel regional el IDH es 0,689 y a nivel nacional 0,82.

- Calidad de vida

Según la encuesta CASEN (2011) la calidad de las viviendas en San Fernando se presenta igual que en Malloa, con 17% de viviendas recuperables y 2% irrecuperables.

En cuanto al acceso a agua potable y saneamiento³⁷, se recogieron los siguientes datos (INE 2002):

- San Fernando (80,3% de población urbana y 19,7% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 98,9%, mientras que 1,1% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 80,5% obtiene su agua de red, mientras que un 13,8% de pozo y el restante 5,7% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

³⁶ El ingreso promedio es de \$487.071

³⁷ El acceso a alcantarillado permite que las aguas servidas puedan ser derivadas a una planta de tratamiento, sea esta urbana o rural.

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 96%, mientras que 3,6% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 0,4% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, sólo un 57% está conectado al alcantarillado, mientras que un 39,6% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 3,3% no accede a saneamiento mejorado.

e) Subcuenca Río Tinguiririca

La subcuenca del Río Tinguiririca es extensa, cubriendo 9 comunas de la VI región. Tal como en el caso del Río Cachapoal, se hará una separación que permita analizar a las comunas en grupos de similares realidades³⁸. En el caso de la comuna de San Fernando, ha sido ya descripta en el apartado anterior, ya que además forma parte de la subcuenca del Estero Zamorano. (Ver página 240)

Grupo urbano/rural³⁹: Comunas de Chimbarongo, Nancagua, Santa Cruz, Peralillo y La Estrella

- Demográfico

La comuna más poblada es Santa Cruz, con 36.995 hab., seguida de Chimbarongo, con 36.696 hab. (Proyección INE 2012) En tercer y cuarto lugar están Nancagua y Peralillo, cuyas poblaciones son de 17.441 y 10.551 habitantes respectivamente.

Tasa de dependencia similar a las demás subcuencas –salvo en el caso de Rapel. En cuanto a la tasa de adultos mayores, hay variaciones importantes entre las comunas, desde 43/100 niños en Chimbarongo a casos con cifras elevadas como son los de Peralillo y La Estrella –con 63/100 y 87/100, respectivamente (CASEN 2011). Podría haber una tendencia al envejecimiento de la población en esas comunas.

- Educación

En educación media completa, las comunas de la Estrella y Peralillo se destacan ya que 36% y 33% de su población, -respectivamente- poseían en 2011 educación media completa (CASEN). En las demás comunas, si bien el

³⁸ Esta distinción se hace siguiendo un criterio individual, que permita agrupar a las comunas de acuerdo a los porcentajes de población urbana y rural, facilitando así el análisis.

³⁹ En estas comunas se da una proporción un poco más equilibrada de población en cada categoría, de entre 31% y 60% de población rural.

porcentaje es menor, en ningún caso es menor a 21%. En cuanto a educación básica incompleta, las comunas que presentan porcentajes más altos son Chimbarongo -31%- y Peralillo -27%-, mientras que en la demás comunas se acerca más al 20%

- Empleo e ingreso

Las tasas de desocupación en este grupo son bajas, siendo la mayor la registrada en Peralillo -8%. Se destacan Nancagua, con una tasa del 1%, y La Estrella, sin desocupación registrada (CASEN 2011).

La comuna con mayor cantidad de empresas es Santa Cruz -2.604, de las cuales 15 son grandes y 34 medianas-, seguida de Chimbarongo -con 2.212, entre ella 6 grandes y 29 medianas-(SII, 2011). Le siguen en cantidad Nancagua -con 1.017 empresas, 9 medianas y sólo 1 grande- y Peralillo -con 714, de las cuales 8 medianas y 2 grandes. La comuna con menor cantidad de empresas es La Estrella, con 249. Llama la atención que 14 de estas empresas son grandes, una proporción más alta que en los demás casos.

Predominio de empresas rubro agricultura y comercio, dado que en todas las comunas están o en el primer o en el segundo lugar en cantidad. La mayor cantidad de empleos los genera el rubro agricultura, registrando entre 27% y 70% en las comunas del grupo. Otros rubros importantes en creación de empleo son las actividades inmobiliarias, industrias metálicas y no metálicas, construcción y administración pública (SII 2011)⁴⁰.

En todas las comunas creció la cantidad de hogares con jefatura femenina desde 2009. Llamam la atención los casos de Nancagua y La Estrella, donde éstos se han al menos duplicado -114% más en Nancagua que en el período anterior (CASEN 2011).

Respecto del ingreso promedio, salvo en el caso de Santa Cruz -cuyo ingreso promedio es levemente superior al regional- es en general menor en estas comunas que lo registrado como promedio en la VI región. La comuna menos favorecida en estos términos es Peralillo⁴¹, encontrándose 39% por debajo del promedio regional.

En cuanto a la distribución del ingreso, se cuenta con los datos a nivel región (CASEN 2011). Así, se observa que en la VI región hay una diferencia de 8 veces entre el 20% superior y el 20% inferior.

⁴⁰ Se observa discordancia de datos entre Censo Agropecuario y SII (año 2007)

⁴¹ El salario promedio en Peralillo es de \$384.593 (CASEN 2011)

Respecto de la población por debajo de la línea de pobreza, las comunas que presentan mayor porcentaje son Peralillo y Chimbarongo –con 21% y 20%, respectivamente, lo cual es considerado alto. Luego se ubican las comunas de Santa Cruz, con 11%, y Nancagua, con 7%. Finalmente, según la encuesta Casen (2011) la comuna de La Estrella no registró población por debajo de la línea de pobreza.

En cuanto al IDH, la comuna que muestra un mejor índice es Santa Cruz (0,71), seguida por La Estrella (0,69), Chimbarongo (0,67), Nancagua (0,66) y Peralillo (0,65). A nivel regional el IDH es 0,689 y a nivel nacional 0,82.

- Calidad de vida

La tasa de viviendas recuperables e irrecuperables es similar en toda la subcuenca, presentando valores de 17% y 2% respectivamente.

En cuanto al acceso a agua potable y saneamiento⁴², se recogieron los siguientes datos (INE 2002):

- Chimbarongo (53% de población urbana y 47% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 97,3%, mientras que 2,7% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 79,5% obtiene su agua de red, mientras que un 17,7% de pozo y el restante 2,8% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 83,7%, mientras que 15,3% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,1% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, sólo un 55,1% está conectado al alcantarillado, mientras que un 42,5% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 2,4% no accede a saneamiento mejorado.

- Nancagua (60% de población urbana y 40% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 98,9%, mientras que 1,1% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 83,5% obtiene su agua de red, mientras que un 15,4% de pozo y el restante 1,1% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 93%, mientras que 6,6% posee fosa séptica, cajón sobre acequia,

⁴² El acceso a alcantarillado permite que las aguas servidas puedan ser derivadas a una planta de tratamiento, sea esta urbana o rural.

cajón sobre pozo negro o químico. El restante 0,4% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, sólo un 57,3% está conectado al alcantarillado, mientras que un 40,5% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 2,2% no accede a saneamiento mejorado.

- Santa Cruz (57,5% de población urbana y 42,5% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 99%, mientras que 1% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 78,1% obtiene su agua de red, mientras que un 14,3% de pozo y el restante 7,6% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 96,6%, mientras que 2,8% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 0,6% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, sólo un 49,3% está conectado al alcantarillado, mientras que un 47% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 3,7% no accede a saneamiento mejorado.

- Peralillo (60,5% de población urbana y 39,5% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 97,8%, mientras que 2,2% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 66,3% obtiene su agua de red, mientras que un 31% de pozo y el restante 2,7% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 92,2%, mientras que 7,2% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 0,7% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, sólo un 47,6% está conectado al alcantarillado, mientras que un 48% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 4,3% no accede a saneamiento mejorado.

- La Estrella (49% de población urbana y 51% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 81,1%, mientras que 17,5% la obtiene de pozo y 1,4% de otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 6,15% obtiene su agua de red, mientras que un 87,1% de pozo y el restante 6,8% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 96,7%, mientras que 2,8% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 0,5% no tiene acceso a

saneamiento mejorado. A nivel rural, sólo un 36,5% está conectado al alcantarillado, mientras que un 59,2% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 4% no accede a saneamiento mejorado.

Grupo urbano/rural⁴³: Comunas de Chimbarongo, Nancagua, Santa Cruz, Peralillo y La Estrella

- Predominantemente Rural⁴⁴: Palmilla, Placilla y Marchihue.

- **Demográfico**

La comuna más poblada es Palmilla, con 11.700 hab., seguida de Placilla, con 8.517 habitantes. La comuna menos poblada es Marchihue, con 7.833 habitantes. La proporción entre mujeres y hombres es similar, con diferencia de sólo el 2% -Placilla y Marchihue- y el 3% hacia los hombres -Palmilla. (INE, proyección 2012).

Tasa de dependencia similar al otro grupo de la subcuenca. En cuanto a la tasa de adultos mayores, las comunas de Placilla y Palmilla presentan tasas de 51/100 y 50/100, respectivamente. En Marchihue la proporción es menos favorable, con 60/100 niños. La tasa de natalidad está en el límite entre bajo y moderado para Placilla y resulta baja para Palmilla y Marchihue (CASEN 2011). La tendencia al envejecimiento de la población en esas comunas debería ser similar a lo observado en las demás de la subcuenca.

- **Educación**

En cuanto al acceso, se observa que tanto Palmilla como Placilla tienen casi un tercio de su población con educación básica incompleta y un cuarto con educación media completa, mientras que en Marchihue un 22% posee educación básica incompleta y el mismo porcentaje media completa. Salvo en el caso de Marchihue, donde para 2011 el 18% de su población había tenido acceso a educación superior, en el resto de la subcuenca el porcentaje es 8% o menos (CASEN 2011).

- **Empleo e ingreso**

La tasa de desocupación más alta en este grupo se registra en Palmilla, con un 12%, seguida de Placilla, que reporta un 9%. La menor tasa se da en Marchihue, y es de 2% (CASEN 2011).

⁴³ En estas comunas se da una proporción un poco más equilibrada de población en cada categoría, de entre 31% y 60% de población rural.

⁴⁴ En estas comunas, la población rural es mayor o igual a 61%. Los porcentajes de población rural en este caso son: Palmilla 81% y Placilla 73%, Marchihue 68%.

La comuna con mayor cantidad de empresas es Palmilla –con 829, de las cuales 10 son medianas y 3 grandes-, seguida de Placilla –con 568, entre ellas 6 medianas y 1 grande (SII, 2011). Menor cantidad se observa en Marchihue, con 422 empresas micro, pequeñas y medianas (SII, 2011).

Predominio de empresas rubro agricultura y comercio, dado que en todas las comunas están o en el primer o en el segundo lugar en cantidad. La mayor cantidad de empleos los genera el rubro agricultura, registrando entre 57% y 81% en las comunas del grupo. Otros rubros importantes en creación de empleo son administración pública, comercio y servicios (SII 2011)⁴⁵.

En todas las comunas creció la cantidad de hogares con jefatura femenina desde 2009. Llamen la atención los casos de Placilla y Marchihue, donde éstos han aumentado 62% y 81%, respectivamente (CASEN 2011).

Respecto del ingreso promedio, es en general menor en estas comunas que lo registrado como promedio en la VI región. La comuna menos favorecida en estos términos es Placilla 46, encontrándose 40% por debajo del promedio regional y 11% por debajo del promedio comunal en 2009 (CASEN 2011).

En cuanto a la distribución del ingreso, se cuenta con los datos a nivel región (CASEN 2011). Así, se observa que en la VI región hay una diferencia de 8 veces entre el 20% superior y el 20% inferior. Respecto de la población por debajo de la línea de pobreza, las comunas que presentan mayor porcentaje son Placilla y Palmilla –11% cada una. La comuna de Marchihue registra en 4% de población por debajo de la línea de pobreza en 2011 (CASEN 2011).

En cuanto al IDH, la comuna que muestra un mejor índice es Marchihue (0,67), seguida por Palmilla (0,65) y Placilla (0,62). A nivel regional el IDH es 0,689 y a nivel nacional 0,82 (PNUD y MIDEPLAN).

- Calidad de vida

La tasa de viviendas recuperables e irrecuperables es similar en toda la subcuenca, presentando valores de 17% y 2% respectivamente.

⁴⁵ Se observa Discordancia de datos entre Censo Agropecuario y SII (año 2007).

⁴⁶ El salario promedio en Placilla es de \$373.682 (CASEN 2011)

En cuanto al acceso a agua potable y saneamiento⁴⁷, se recogieron los siguientes datos (INE 2002):

- Palmilla (19% de población urbana y 81% rural)

A nivel rural, el 79,5% obtiene su agua de red, mientras que un 17,7% de pozo y el restante 2,8% de otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 85,8%, mientras que 12,7% la obtiene de pozo y 1,6% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel rural, sólo un 54,8% está conectado al alcantarillado, mientras que un 43,7% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,5% no accede a saneamiento mejorado. A nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 82,3%, mientras que 16% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1,7% no tiene acceso a saneamiento mejorado.

- Placilla (26,1% de población urbana y 73,9% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 95,6%, mientras que 4,4% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 85,6% obtiene su agua de red, mientras que un 12,7% de pozo y el restante 1% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 83,7%, mientras que 9% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 1% no tiene acceso a saneamiento mejorado. A nivel rural, sólo un 55,1% está conectado al alcantarillado, mientras que un 42,5% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 2,4% no accede a saneamiento mejorado.

- Marchihue (68% de población urbana y 32% rural)

A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 98,3%, mientras que 1,7% la obtiene de pozo u otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel rural, el 48,5% obtiene su agua de red, mientras que un 47,7% de pozo y el restante 3,8% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 95,3%, mientras que 4,4% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 0,3% no tiene acceso a

⁴⁷ El acceso a alcantarillado permite que las aguas servidas puedan ser derivadas a una planta de tratamiento, sea esta urbana o rural.

saneamiento mejorado. A nivel rural, sólo un 50% está conectado al alcantarillado, mientras que un 46,6% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 4,4% no accede a saneamiento mejorado.

f) Subcuenca Estero Chimbarongo

En esta subcuenca, se encuentran situadas las comunas de Chimbarongo, Peralillo, Nancagua, Placilla, Palmilla y Teno. Las primeras tres - caracterizadas como urbano/rurales- y las comunas de Palmilla y Placilla - caracterizadas como rurales- ya fueron descriptas en el apartado anterior, ya que además forman parte de la subcuenca del Río Tinguiririca (Ver página 240).

A continuación, se realiza una descripción de la comuna de Teno.

- **Demográfico**

Teno tiene una población de 27.966 habitantes, presentando una variación de 9% respecto de 2002 (proyección INE 2012). La población de esta comuna es predominantemente rural -73,7% según INE (2002). La distribución por sexo es equilibrada, con una diferencia positiva de sólo 4% hacia los hombres.

La tasa de dependencia demográfica es de 45%, muy parecida al resto de las comunas de la subcuenca, mientras que la tasa de adultos mayores es la menor entre ellas -41/100 niños. La tasa de natalidad es considerada baja (CASEN 2011).

- **Educación**

En temas de acceso, un poco más de una cuarto de la población posee educación básica incompleta mientras que 22% educación media completa y 19% media incompleta. En 2011 (CASEN), el 11% de la población había accedido a educación superior.

- **Empleo e ingreso**

La tasa de desocupación es baja, aunque no es la menor en la subcuenca, representando el 4% de la población económicamente activa (CASEN 2011).

Teno posee 1.665 empresas en su territorio, de las cuales la gran mayoría son micro y pequeñas. Existen 13 empresas mediana y sólo 5 grandes. (SII 2011). Hay un predominio de empresas rubro agricultura, ganadería, caza y silvicultura, llegando al 47%. En segundo lugar de importancia se

encuentra el rubro comercio con 22,7%, seguido por transporte –con 10,2%. (SII 2011)

Tal como en el caso de las demás comunas de la subcuenca, el rubro con mayor cantidad de empleos es la agricultura⁴⁸ –con un 55%–, seguido por el de industrias metálicas y no metálicas. En tercer lugar se encuentra el comercio. Respecto de 2009, el porcentaje de hogares con jefatura femenina se redujo en 15 puntos –representando el 25,5% (CASEN, 2011).

El ingreso promedio en la comuna de Teno es un 5% menor a lo registrado en la Región del Maule. Por otro lado, según lo indicado en la encuesta CASEN 2011, el mismo se ha reducido un 3% desde 2009⁴⁹. En cuanto a la distribución del ingreso, se cuenta con los datos a nivel región (CASEN 2011). Así, se observa que en la VII región hay una diferencia de 11 veces entre el 20% superior y el 20% inferior.

Respecto de la población por debajo de la línea de pobreza, la comuna de Teno registra un 14%, lo cual es más bajo de Chimbarongo, pero levemente más alto que en las demás comunas. En cuanto al IDH, Teno registra 0,62 –el más alto entre las demás comunas de la subcuenca. A nivel regional El Maule registra un IDH de 0,675 y a nivel nacional 0,82.

- Calidad de vivienda

Según la encuesta CASEN (2011) la calidad de las viviendas en Teno se presenta igual que en el resto de la subcuenca, con 17% de viviendas recuperables y 2% irrecuperables.

En cuanto al acceso a agua potable y saneamiento⁵⁰, se recogieron los siguientes datos (INE 2002):

- Teno (73,7% de población urbana y 26,3% rural)

A nivel rural, el 56,98% obtiene su agua de red, mientras que un 40,46% de pozo y el restante 3,56% de otras fuentes (río, vertiente o estero). A nivel urbano, la cobertura de agua de red es de 98,13%, mientras que 1,63% la obtiene de pozo y 0,23% de otras fuentes (río, vertiente o estero).

Respecto del saneamiento, a nivel rural, sólo un 48,01% está conectado al alcantarillado, mientras que un 47,79% posee fosa séptica, cajón sobre

⁴⁸ En cuanto a puestos de trabajo permanentes y temporarios en agricultura, existiría una discordancia de datos entre Censo Agropecuario y SII (año 2007)

⁴⁹ El ingreso promedio es de \$487.071

⁵⁰ El acceso a alcantarillado permite que las aguas servidas puedan ser derivadas a una planta de tratamiento, sea esta urbana o rural.

acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 4,2% no accede a saneamiento mejorado. A nivel urbano la cobertura de alcantarillado es de un 96,44%, mientras que 3,1% posee fosa séptica, cajón sobre acequia, cajón sobre pozo negro o químico. El restante 0,47% no tiene acceso a saneamiento mejorado.

Resumen caracterización social

A continuación, y a modo de síntesis, se muestran los datos que sobresalen por ser los más altos o bajos en cada categoría.

Tabla 104: Casos extremos en datos socioeconómicos.

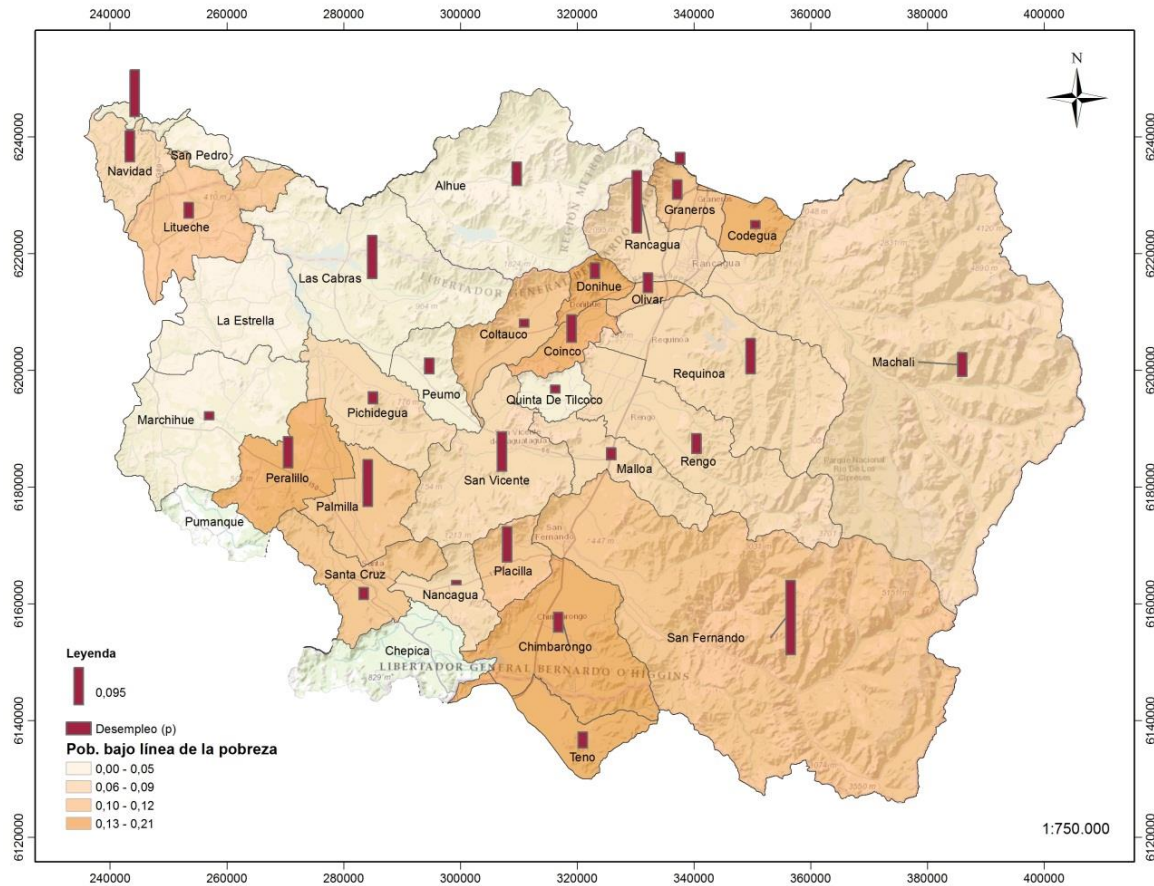
Categoría	Comuna	Valor
Mayor % población rural	San Pedro	100%
Mayor % población urbana	Doñihue	93%
Mayor tasa de adultos mayores	Navidad	114/100
Menor tasa de natalidad	Navidad	8/1000
Mayor % educación superior	Rancagua	25%
Menor % educación superior (rural)	San Pedro	6%
Menor % educación superior (urb/rural)	Santa Cruz	8%
Mayor % educación básica incompleta	Pichidegua	37%
	Navidad	35%
	Chimbarongo y Coltauco	31%
Mayor tasa desocupación	San Fernando	19%
	Rancagua	16%
Mayor % pob. debajo de la línea de pobreza	Codegua y Peralillo	21%
	Chimbarongo	20%
Menor % pob. debajo de la línea de pobreza	La Estrella y Santo Domingo	Sin pobreza
	Alhué	3%
Menor salario promedio (hogar)	Placilla	CLP 373682
	Peralillo	CLP 384539
Mayor salario promedio (hogar)	Machalí	CLP 994.648
Mayor cantidad de empresas grandes	Rancagua	126
	San Fernando	26

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para complementar la caracterización territorial, se han realizado una serie de mapas que destacan ciertos aspectos que podrían ser de interés para medidas de compensación:

- Pobreza y desocupación: Se seleccionaron estos dos indicadores debido a que resulta interesante combinarlos y observar cuáles son las comunas de la cuenca donde sería necesario planificar y poner en práctica medidas que contribuyan a disminuir ambas problemáticas, las cuales suelen estar relacionadas.

Figura 34: Mapa de Pobreza y desocupación, por comuna en la Cuenca del Rapel



Fuente: Elaboración propia en base a datos de CASEN (2011)

- Tasa de natalidad y tasa de adultos mayores: En este caso, los indicadores se escogieron y combinaron debido a que las posibilidades de desarrollo de un territorio, así como las medidas a implementar para fomentarlo, dependerán en gran medida de las características de su población. La idea en este mapa es observar casos como los siguientes:

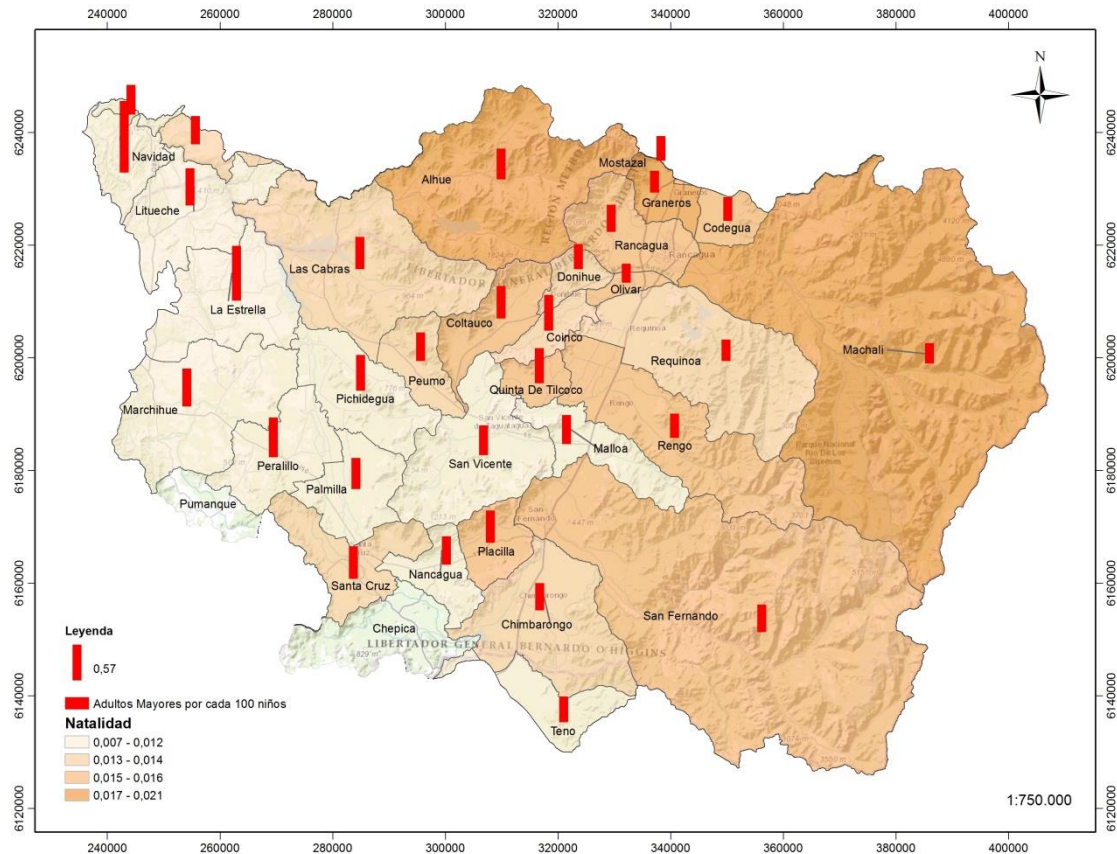
a) Aquellos lugares de la cuenca donde haya una tendencia positiva en términos de crecimiento de la población, y una tasa favorable de adultos mayores. En estos lugares, se podría asumir que existiría un escenario positivo respecto de la población económicamente activa.

b) Aquellas comunas donde se sumen problemáticas como baja natalidad y alta tasa de adultos mayores, y que hagan suponer que habrá una tendencia desfavorable hacia el recambio de población y mantenimiento de la población económicamente activa.

Esta información resulta útil no sólo en cuanto al diseño e implementación de medidas de compensación de impactos o de fomento del desarrollo económico, sino que además ayudan a caracterizar de mejor manera todo tipo de intervención territorial.

Por ejemplo, una comuna como Navidad, donde existe una baja tasa de natalidad y una alta proporción de adultos mayores, mejoras en salud deberían contemplar un enfoque particular hacia problemáticas asociadas a la tercera edad.

Figura 35: Mapa que indica tasa de natalidad y de adultos mayores, por comuna en la Cuenca del Río Rapel



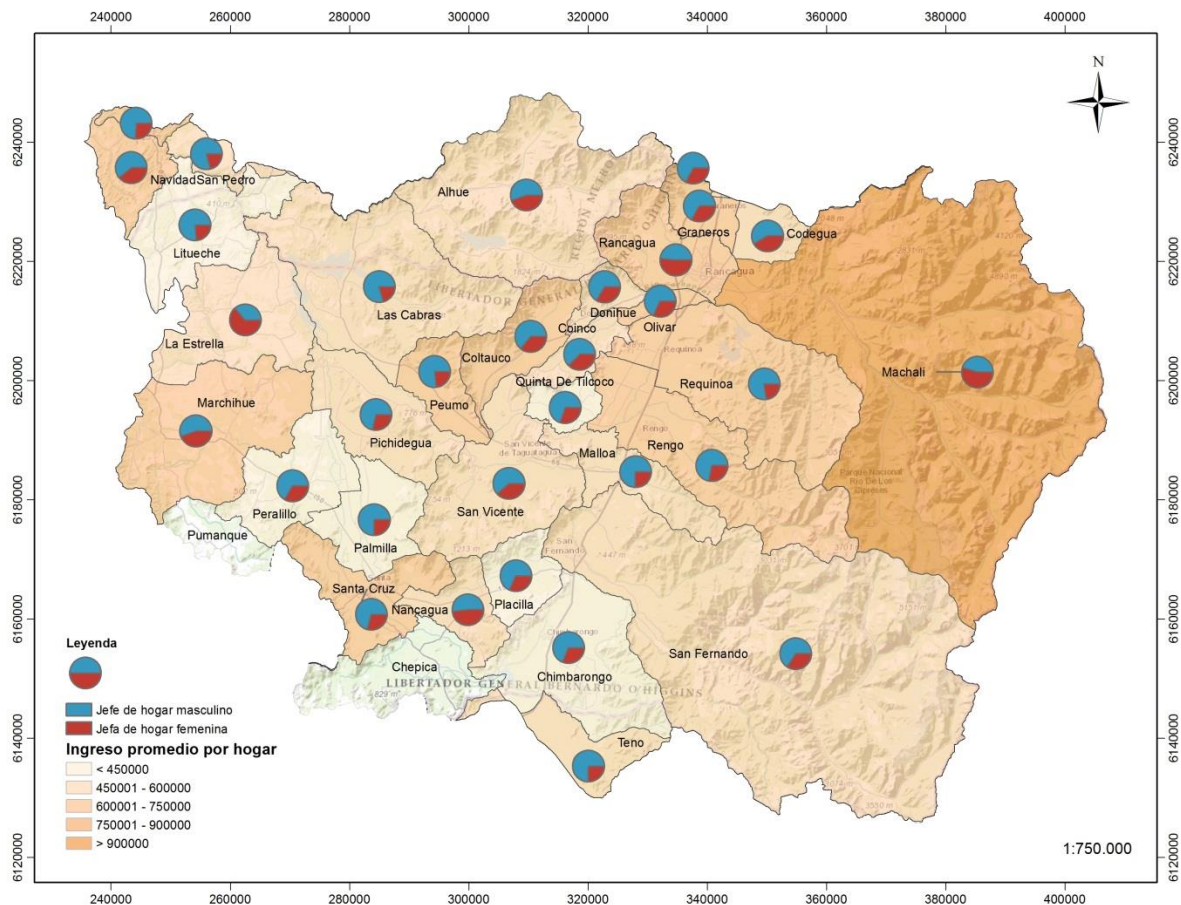
Fuente: Elaboración propia en base a datos de CASEN (2011)

- Ingresos y jefatura de hogar femenina: Más allá de que el ingreso promedio no sea el indicador más certero de la situación económica de la población comunal⁵¹, se intenta visualizar cuáles son los lugares más y menos favorecidos a la vez que identificar dónde se dan los mayores porcentajes de jefatura femenina. Aunque no haya una relación directa entre los fenómenos que se mencionan, suele suceder que ante situaciones económicas desfavorables, y/o ante pérdida de empleo del jefe de hogar, las mujeres deban hacerse cargo del sostén de la familia y se asuman la jefatura del mismo. Por ello, resulta interesante identificar los casos en que el ingreso promedio sea bajo

⁵¹ Si bien no se cuenta con datos a nivel comunal, a nivel regional la desigualdad salarial entre el 20% superior y el 20% inferior es muy importante. En la V región, la diferencia es 8,9 veces, mientras que la VI Región hay una diferencia de 8 veces entre el 20% superior y el 20% inferior. Finalmente, en el caso de la RM la diferencia es aún mayor, 11,2 veces entre el quinto y el primer quintil de ingresos.

y observar si se da el caso de un alto porcentaje de jefatura femenina de hogar o no. Esta información podría contribuir a diseñar de mejor manera las políticas de intervención que fomenten el desarrollo de ese territorio en particular.

Figura 36: Mapa de ingreso promedio y porcentaje de jefatura de hogar femenina y masculina, por comunas, Cuenca del Río Rapel.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de CASEN (2011)

Agua y saneamiento en la cuenca

Según un estudio realizado por el INE, la proyección de la población para el año 2014 en la VI región es de 910.577 habitantes, los cuales se distribuyen un 70% en sector urbano y un 30% en sector rural. Se utilizaron los siguientes criterios para la clasificación:

Tabla 105: Composición de la población según el INE

TIPO	CLASIFICACIÓN	RANGO DE POBLACIÓN
Urbana	Ciudad	> 5.000 Habitantes
	Pueblo	5.000 – 1.000 Habitantes
Rural	Aldea	1.000 – 300 Habitantes
	Caserío	< 300 Hab y > 3 viviendas cercanas entre sí
	Otros	

Fuente: adaptado de PIRDT, 2009.

Dado que la información más actualizada es entregada a nivel región se decidió que para modelar la situación de la cuenca se utilizarían datos de la región de O´Higgins, ya que esta es la más representativa de la cuenca (Ver Tabla 106).

Tabla 106 Porcentaje de viviendas en el sector urbano y rural de la VI Región (continúa en la página siguiente).

COMUNA	% URBANO	% RURAL
Rancagua	97	3
Codegua	47	53
Coinco	62	38
Coltauco	44	56
Doñihue	92	8
Graneros	88	12
Las Cabras	30	70
Machalí	94	6
Malloa	36	64
Mostazal	82	18
Olivar	64	36
Peumo	58	42
Pichidegua	29	71
Quinta de Tilcoco	50	50
Rengo	73	27
Requínoa	51	49
San Vicente de Tagua Tagua	55	45
Pichilemu	85	15
La Estrella	48	52
Litueche	40	60
Marchihue	33	67
Navidad	31	69
Paredones	38	62
San Fernando	80	20
Chépica	50	50
Chimbarongo	53	47

Tabla 107 Porcentaje de viviendas en el sector urbano y rural de la VI Región (continuación).

COMUNA	% URBANO	% RURAL
Lolol	36	64
Nancagua	59	41
Palmilla	20	80
Peralillo	61	39
Placilla	27	73
Pumanque	0	100
Santa Cruz	59	41
Total cuenca	70	30

Fuente: INE, 2002

Sector Urbano

A diciembre de 2014, el sector sanitario que opera en las zonas urbanas del país, está constituido por 61 empresas cuyas áreas de concesión abarcan un universo de 16.489.475 habitantes urbanos (SISS 2014). En la VI región, este sector incluye una población estimada para el año 2014 de 637.404 habitantes, según estudio realizado por el INE.

El servicio doméstico en este sector es cubierto por la empresa de servicios sanitarios del Biobío, Essbio. Esta empresa se encarga del servicio de: potabilización de agua, tratamiento de aguas servidas, mantención de alcantarillado y fiscalización de descarga de riles. Para el año 2014 existe un 100% de cobertura urbana para el abastecimiento de agua potable y para el tratamiento de aguas servidas (SISS 2014).

La red de agua potable urbana y alcantarillado en la región es privada a cargo de ESSBIO. La compañía atiende a las localidades de Rancagua, San Francisco de Mostazal, La Punta, Codegua, Graneros, Machalí, Coya, Olivar, Requínoa, Lo Miranda, Coinco, Doñihue, Coltauco, Rengo, Rosario, Quinta de Tilcoco, Malloa, Pelequén, San Vicente de Tagua Tagua, Peumo, Las Cabras, Pichidegua, San Fernando, Puente Negro, Chimbarongo, Placilla, Santa Cruz, Nancagua, Chépica, Lolol, Palmilla, Población, Peralillo, Pichilemu, Navidad, Boca de Rapel (Tabla 108).

Tabla 108: Localidades atendidas por ESSBIO en la región y las respectivas coberturas de agua potable, alcantarillado y tratamiento (Continúa en la página siguiente).

Localidad	Cientes residenciales de agua potable	Población urbana abastecida AP	Cobertura de agua potable	Población urbana saneada ALC	Cobertura de alcantarillado ⁵²	Cobertura Clientes TAS/Clientes ALC
Boca De Rapel	667	511	100,0%	-	0,0%	0,0%
Chépica	1.770	5.719	100,0%	3.935	68,8%	100,0%
Chimbarongo	4.926	15.822	100,0%	11.958	75,6%	100,0%
Codegua	2.340	8.879	100,0%	3.711	41,8%	100,0%
Coinco	660	2.164	100,0%	688	31,8%	100,0%
Coltauco	2.272	6.693	100,0%	2.645	39,5%	100,0%
Coya	564	2.172	100,0%	-	0,0%	0,0%
Doñihue	2.359	7.999	99,2%	6.063	75,2%	100,0%
Graneros	7.956	28.104	100,0%	26.380	93,9%	100,0%
La Punta	2.007	6.252	100,0%	2.159	34,5%	100,0%
Las Cabras	2.492	8.314	100,0%	7.686	92,5%	100,0%
Lo Miranda	2.832	9.615	100,0%	4.383	45,6%	100,0%
Lolol	749	2.212	100,0%	1.905	86,1%	100,0%
Machalí	12.299	41.620	100,0%	37.431	89,9%	100,0%
Malloa	562	2.083	100,0%	1.468	70,5%	100,0%
Nancagua	2.415	7.766	100,0%	6.962	89,6%	100,0%
Navidad	414	398	100,0%	-	0,0%	0,0%
Olivar Alto	1.214	5.081	100,0%	2.461	48,4%	100,0%
Palmilla	772	2.664	100,0%	1.346	50,5%	100,0%
Pelequen	750	2.684	100,0%	2.362	88,0%	100,0%

⁵² Cobertura de Alcantarillado: corresponde al porcentaje que representa la población saneada respecto a la población urbana total, en el área de concesión. Se considera población saneada a todas las personas que habitan o residen en viviendas (inmuebles residenciales) que reciben servicio de recolección de aguas servidas de alguna empresa sanitaria a través de sus redes de recolección (clientes).

Localidad	Clientes residenciales de agua potable	Población urbana abastecida AP	Cobertura de agua potable	Población urbana saneada ALC	Cobertura de alcantarillado ⁵²	Cobertura Clientes TAS/Clientes ALC
Peralillo	1.574	5.469	100,0%	4.920	90,0%	100,0%
Peumo	2.887	10.982	100,0%	8.586	78,2%	100,0%
Pichidegua	1.825	6.221	100,0%	5.137	82,6%	100,0%
Pichilemu	5.911	9.588	100,0%	3.885	40,5%	100,0%
Placilla	696	2.624	99,9%	2.160	82,2%	100,0%
Población	489	1.643	100,0%	1.411	85,9%	100,0%
Puente Negro	669	1.642	100,0%	-	0,0%	0,0%
Quinta De Tilcoco	2.272	8.261	100,0%	3.782	45,8%	100,0%
Rancagua	82.520	290.166	100,0%	286.467	98,7%	100,0%
Rengo	12.965	47.759	100,0%	44.179	92,5%	100,0%
Requinoa	2.719	9.433	100,0%	7.351	77,9%	100,0%
Rosario	1.804	6.920	100,0%	2.992	43,2%	100,0%
San Fernando	20.161	61.651	100,0%	58.844	95,4%	100,0%
San Francisco De Mostazal	2.983	11.417	100,0%	10.721	93,9%	100,0%
San Vicente De Tagua Tagua	6.359	19.821	100,0%	16.941	85,5%	100,0%
Santa Cruz	8.344	26.562	100,0%	24.729	93,1%	100,0%

Fuente: SISS, 2014

Sector rural

Los sistemas de recolección y tratamiento de las aguas servidas provenientes de sistemas rurales del tipo centralizado son similares a los de pequeñas comunidades urbanas, mientras que en los sistemas rurales descentralizados el tratamiento de sus aguas residuales obedece a otros criterios (PIRDT, 2009).

Las alternativas de tratamiento más comúnmente utilizadas corresponden a: pozo negro, letrina, letrina abonera seca y caseta sanitaria con fosa séptica y red de drenaje o pozo absorbente (PIRDT, 2009).

Según información entregada por la DOH, en la VI región existen 164 PTAS que tratan los sistemas rurales centralizados, de las cuales 106 tienen un buen funcionamiento, 13 tienen un funcionamiento regular, 23 tienen un mal funcionamiento y 22 se encuentran en etapa de ejecución.

6.2.2.1.1.2. Caracterización Económica

La información productiva y de consumo no se encuentra para todos los sectores desglosada a un nivel lo suficientemente pequeño que permita caracterizar económicamente la cuenca. Por esto se va a asumir que, dado que cerca del 89% de la superficie de la cuenca se encuentra en la región del Libertador Bernardo O'Higgins y las comunas dónde se encuentran localizadas las principales actividades productivas (minería – agrícola-pecuario) se encuentra dentro de la cuenca, la situación de la región es la más representativa para la cuenca.

De acuerdo a la información regional oficial, durante el 2013 la región aumentó su Producto Interno Bruto Regional (PIBR) con respecto al 2012 en 4,0%, llegando a los \$4.645.368 millones de pesos el que representó un aporte del 4,1% del PIB nacional. La evolución del PIBR para el año 2012, muestra un aumento de un 3,0% con respecto a 2011. De acuerdo a la incidencia, destacan primordialmente los crecimientos en doce meses de Minería (6,3%); Electricidad, Gas y Agua (28,6%); Industria manufacturera (6,8%); Servicio personales (6,5%); Transporte y Comunicaciones (4,5); Comercio, restaurantes y hoteles (3,4%). Con variaciones negativas: Construcción (-13,1%) y Agropecuario-Silvícola (-2,2%).

Tabla 109: Aporte de los sectores productivos al PIB regional

Sectores que aportan al PIB regional											
Agropecuaria o-silvícola	Pesca	Minería	Industria Manufactura	Electricidad, gas y agua	Construcción	Comercio, Restaurante	Transporte y Comunicacio	Servicios financieros y	Servicios de vivienda	Servicios personales	Administración pública
Aporte de cada sector											
12%	0%	25%	13%	5%	9%	6%	6%	8%	4%	8%	4%
Aporte Valorizado en Miles de Millones de pesos											
557	-	1.161	604	232	418	279	279	372	186	372	186

La actividad exportadora de la región alcanzó a 3.894,8 millones de dólares del 2013, representando una disminución de 5,7% en relación al 2012. Los productos de la actividad Silvo-agropecuaria representaron un 35,6%, donde las frutas representaron un 89,4 % de los embarques. Los bienes industriales aportaron un 34,1%, donde los alimentos figuraron con 72,7%. Los bienes Mineros constituyeron un 29,8% del total (INE, 2014).

a) Información productiva

- Sector Agropecuario

La región de O'Higgins representa el 8,2% de la superficie dedicadas a cultivos a nivel nacional (Censo Agropecuario, 2007; ODEPA, 2014). Cuatro usos cubren el 83% de la superficie de la región dedicada al sector, de las cuales el 38,8% corresponden a plantaciones forestales, 21,5% a frutales, 15,6 % a cereales y un 9,9 % a viñas y parronales (SEREMI Agricultura, 2015).

○ Sub-sector agrícola

▪ Frutales mayores y menores

Con respecto a la cuenca del río Rapel, las principales especies de frutales plantadas son la vid de mesa, ciruelo europeo, manzanos rojos, cerezos, duraznos conserveros, olivos, perales, kiwis y paltos (Tabla 110).

Tabla 110: Superficie destinada a frutales en la Cuenca.

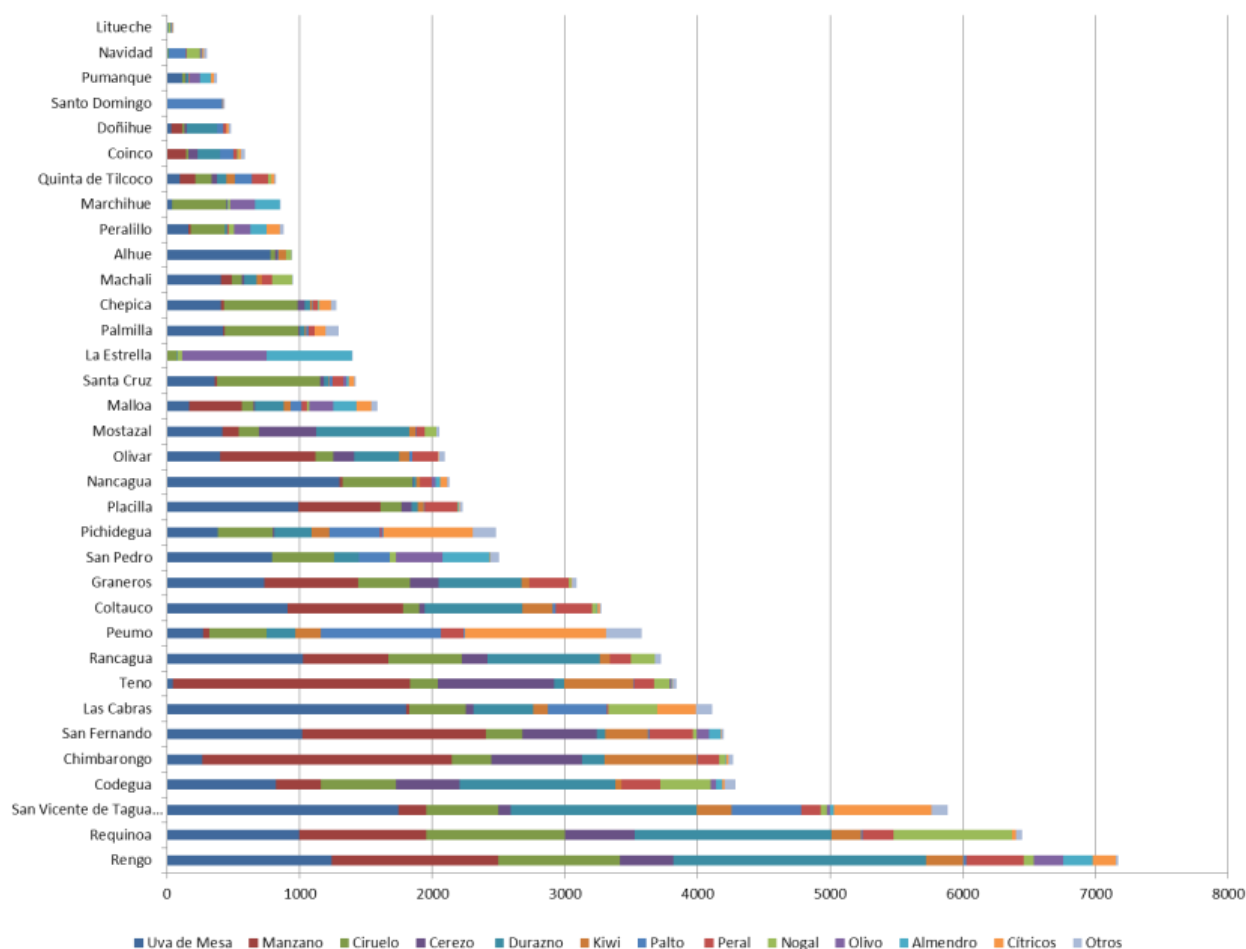
Especie	Superficie Cuenca (ha) (Censo Agropecuario 2007)	% Participación Regional en la Cuenca		País (ha)	Región/País
		Región VI	Resto regiones		
Uva de mesa	16869	95%	5%	62463	27%
Manzano rojo	8457	82%	18%	28384	30%
Ciruelo europeo	6438	95%	5%	12169	53%
Duraznero tipo conservero	5140	97%	3%	10387	49%
Cerezo	5016	83%	17%	13584	37%
Manzano verde	3982	94%	6%	9029	44%
Peral europeo	3696	96%	4%	6625	56%
Ciruelo japonés	3637	89%	11%	6878	53%
Palto	3578	82%	18%	39887	9%
Kiwi	3540	85%	15%	9957	36%
Naranja	3501	100%	0%	9291	38%
Duraznero consumo fresco	3271	98%	2%	6496	50%
Nectarino	3168	99%	1%	5314	60%
Nogal	2762	94%	6%	14720	19%
Almendro	2657	95%	5%	7892	34%
Olivo	1968	46%	54%	16121	12%
Arándano	997	88%	12%	10808	9%

Fuente: Elaboración propia a partir del Censo Agropecuario, 2007.

De acuerdo con el Censo Agropecuario (2007) las comunas con mayor superficie frutícola en la cuenca son Rengo, Requínoa, San Vicente, Codegua, Las Cabras, Chimbarongo, San Fernando y Teno. Estas comunas pertenecen a las subcuencas del Río Cachapoal, Río Claro de Rengo, Estero Zamorano y Río Tinguiririca.

En la siguiente figura se puede ver la distribución de frutales por comuna.

Figura 37: Superficie de Frutales por comuna.



Fuente: Censo Agropecuario, 2007.

Pese a que la región de O'Higgins no corresponde en su totalidad a la cuenca del Río Rapel la superficie de frutales de la región debiese coincidir con la situación de la cuenca (Tabla 111)

Tabla 111: Evolución de la superficie plantada de los principales frutales en la región.

Especie	Superficie Región 2007 (ha)	Superficie Región 2013 (ha)	Variación
Vid de mesa	12.671	13.824	9,1%
Ciruelo europeo	3.004	7.613	153,4%
Manzano rojo	6.801	6.776	-0,4%
Duraznero tipo conservero	3.383	5.674	67,7%
Cerezo	2.553	4.967	94,5%
Olivo	583	3.971	580,7%
Kiwi	1.939	3.969	104,7%
Nectarino	4.078	3.515	-13,8%
Peral	3.259	3.505	7,5%
Manzano verde	3.330	3.467	4,1%
Otros	18.354	17.953	-2,2%
Total	59.959	75.239	25,5%

Fuente: ODEPA, 2015.

■ Cereales

El maíz es el principal grano cultivado en la cuenca, principalmente en las comunas de Pichidegua, San Vicente de Tagua Tagua y Chimbarongo. Estas comunas pertenecen a las subcuencas del Río Cachapoal, Río Claro de Rengo y Estero de Chimbarongo. En menor medida se cultiva el Trigo en las comunas más cercanas a la costa en la sub cuenca del río Rapel (Tabla 112).

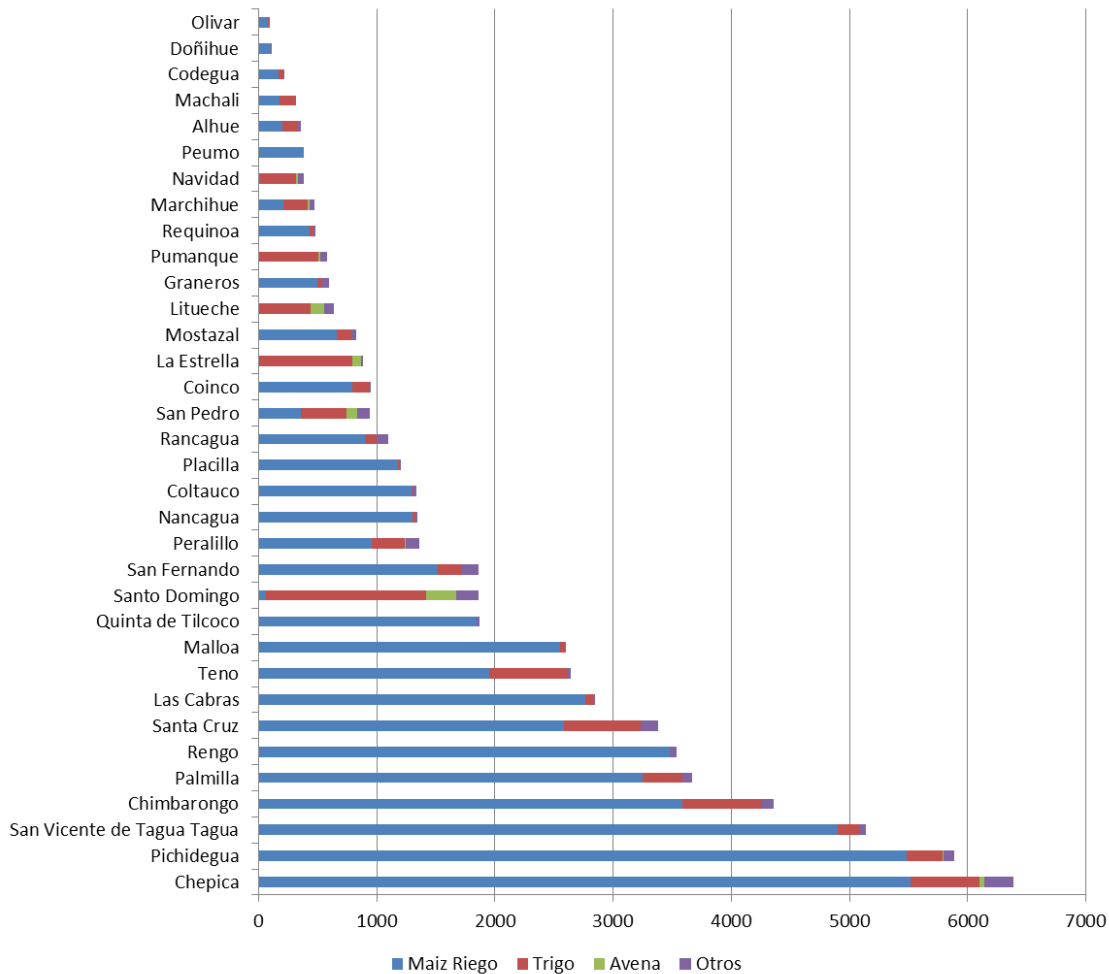
Tabla 112: Evolución de la Superficie destinada a cereales.

Especie	Superficie Cuenca (ha) (Censo Agropecuaria 2007)	Superficie región O´Higgins			Varia ción 2015/ 2014	Especie/ Región 2015
		2012/ 2013 (ha)	2013/ 2014 (ha)	2014/ 2015 (ha)		
Maíz	43533,2	55.678,0	47.768,0	53.868,2	12,8%	78,9%
Trigo	8217,4	11.513,0	10.746,0	13.879,8	29,2%	20,3%
Avena	879,3	662,0	1.825,0	536,8	-70,6%	0,8%
Total	52.629,9	67.853,0	60.339,0	68.284,8	-0,3	100%

Fuentes: Censo Agropecuario 2007, ODEPA 2015.

En el siguiente grafico se ve la distribución de la superficie destinada a frutales por comuna

Figura 38: Superficie destinada a Cereales.



Fuente: Censo Agropecuario 2007.

■ Hortalizas

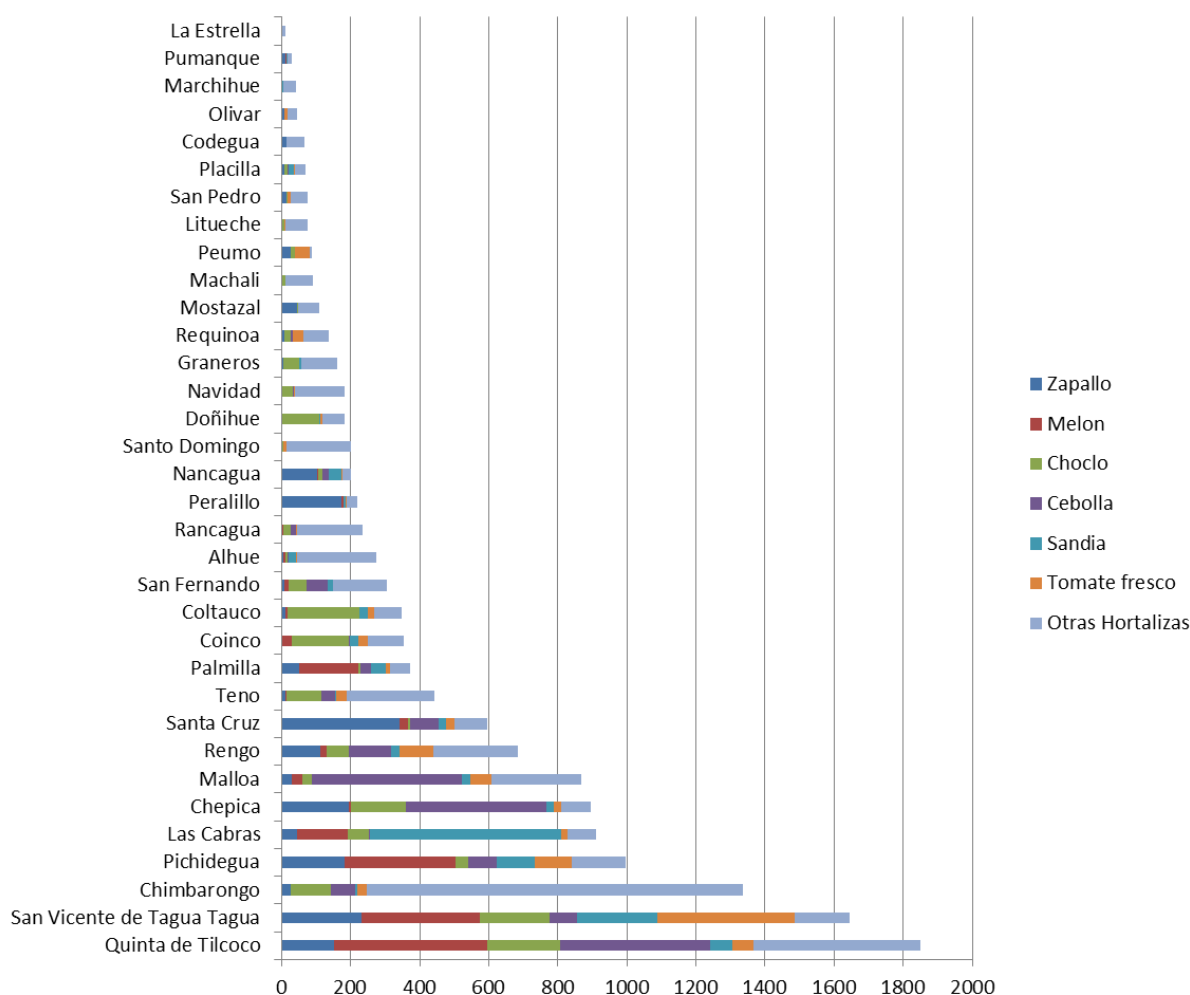
La zona dedicada a la producción de Hortalizas se centra en las comunas de Quinta de Tilcoco y San Vicente de Tagua Tagua, seguidas por las comunas de Pichidegua, Las Cabras, Malloa y Chimbarongo (Figura 39:). Estas comunas pertenecen a las subcuencas del Río Cachapoal, Río Claro de Teno, Estero Zamorano y Estero Chimbarongo.

Tabla 113: Evolución de la Superficie destinada a hortalizas.

Especie	Superficie Cuenca(ha) (Censo Agropecuario 2007)	Superficie región O´Higgins			Variación	Especie/ Región 2014
		2012 (ha)	2013 (ha)	2014 (ha)		
Cebolla de Guarda	1285	1336	1573	1566	17,8%	14,85%
Melón	1563	1650	1500	1483	-9,1%	14,06%
Zapallo temprano y de guarda	1625	1286	1446	1591	12,5%	15,08%
Choclo	1536	1671	1445	1305	-13,5%	12,37%
Sandía	1225	999	1125	1113	12,6%	10,55%
Tomate consumo fresco	1008	788	1018	973	29,2%	9,22%
Ajo	400	569	388	491	-31,8%	4,65%
Poroto Granado	267	216	282	355	30,3%	3,37%
Pimiento	414	205	243	165	18,7%	1,56%
Cebolla Temprana	214	171	223	254	30,3%	2,41%
Otros	1939	890	1113	1253	25,0%	11,88%
Total	11475,9	9.780,0	10.355,3		5,9%	100,00%

Fuentes: Censo Agropecuario 2007, ODEPA 2015.

Figura 39: Superficie destinada a Hortalizas.



Fuente: Censo Agropecuario 2007.

■ Vides

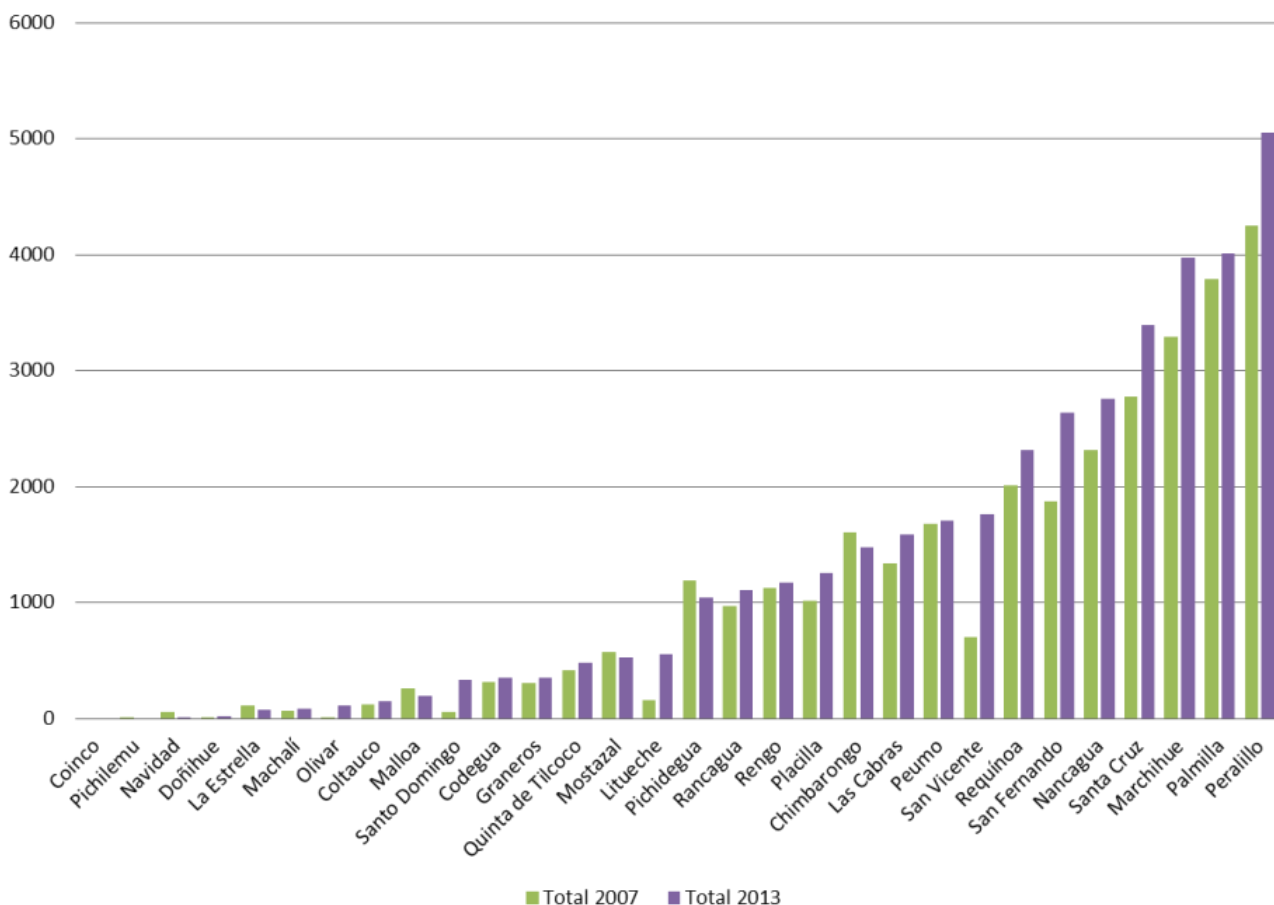
La región O'Higgins tiene el 27,5% de la superficie de viñas del país. A su vez, de la superficie regional en viñas, 85,1% se dedica a variedades tintas viníferas. Cabe destacar que cerca de 34% de la superficie de variedades tintas del país se encuentra en la región (ODEPAA, 2015) la siguiente tabla muestra la superficie destinada a vides según datos del Censo 2007 y el gráfico muestra la distribución por comuna.

Tabla 114: Superficie de la Cuenca del Río Rapel destinada a la producción de vides.

Especie	Superficie Cuenca(ha) (Censo Agropecuario 2007)	Superficie región O´Higgins			Variación	Especie/ Región 2014
		2011 (ha)	2012 (ha)	2013 (ha)		
Viñas Riego	33608	41222,69	42192,71	42.669,09		
Viñas Secano	860	-	-	710,93-		
Total	34468	41222,69	42192,71	43.380,02		

Fuente: Censo Agropecuario 2007.

Figura 40: Comparación Superficie destinada a para vides.



Fuente: Censo Agropecuario 2007, Censo Vitivinícola, 2013.

○ Subsector Pecuario

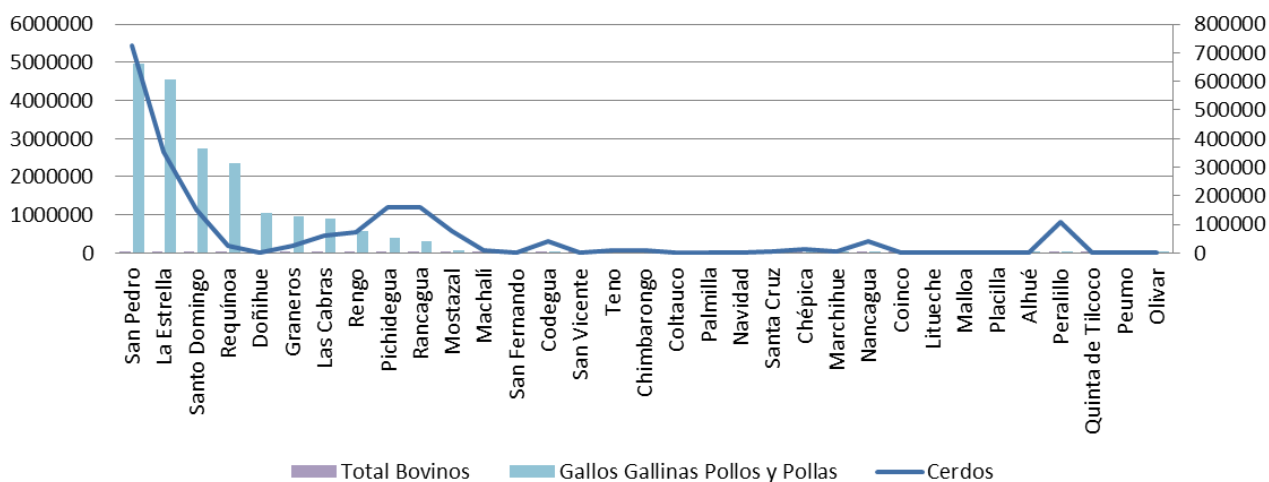
En la siguiente figura y tabla se ve que tanto la producción de aves como de cerdos se concentran en las comunas de San Pedro, la Estrella, Santo Domingo y Requinoa (Sub cuencas de Río Cachapoal, Río Rapel, Río Tinguiririca). La producción de cerdos también es posible encontrarse en las comunas de Pichidegua, Rancagua ambas correspondientes a la sub cuenca del río Cachapoal.

Tabla 115: Existencias de las principales especies animales en la Cuenca del Río Rapel.

Especie	Unidad	Cantidad
Bovinos	Cabezas	120.588
Gallos Gallinas Pollos y Pollas	Cabezas	19.147.857
Cerdos	Cabezas	2.065.932

Fuente: Censo Agropecuario, 2007.

Figura 41: Existencias de animales por comuna (número de Animales).



Fuente: Censo Agropecuario, 2007.

○ Subsector Forestal

Las principales especies son pino radiata y eucalipto globulus (Tabla 116). El eucalipto se da fundamentalmente en la provincia de Cardenal Caro, y en ella especialmente en las comunas de Litueche, Navidad, San Pedro y Santo Domingo en la sub cuenca del Río Rapel y en la comuna de Marchihue (Sub cuenca río Tinguiririca). Por su parte, las plantaciones de pino se localizan

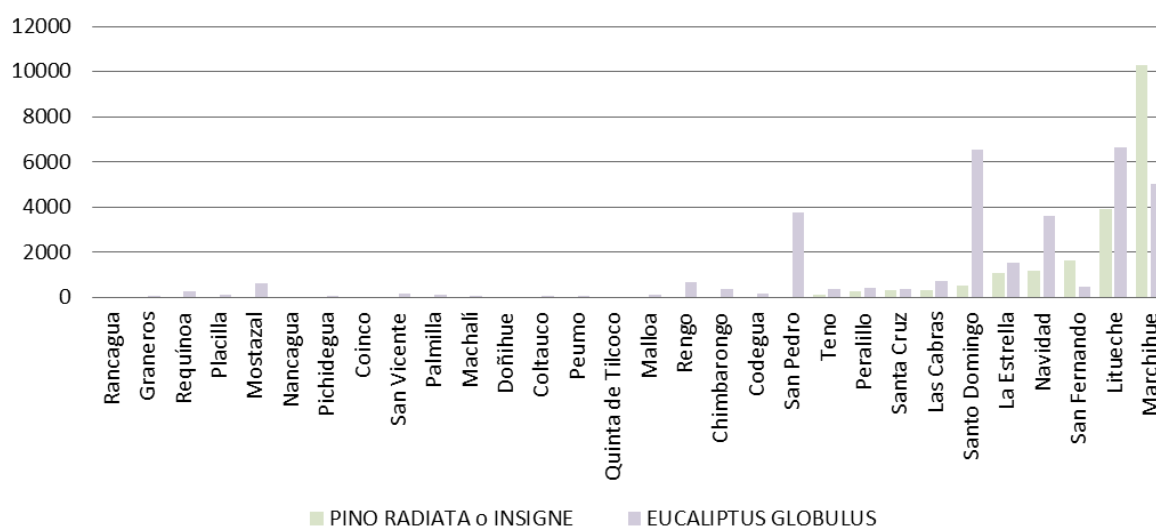
en un 80% también en las comunas de Marchihue y Litueche. (Censo Agropecuario, 2007; ODEPAa, 2015).

Tabla 116: Superficie destinada en plantaciones forestales en la Cuenca del Río Rapel.

Especies forestales	Superficie Cuenca (Censo Agropecuario 2007)	Región (ha)	Especie/Región	País (ha)	Región /País
Pino radiata	46979	82.734,5	58,7%	1.614.019	5,1%
Eucalipto globulus	41019	46.404,7	32,9%	655.866	7,1%
Otros	11594	11.883,7	8,4%	436.152	2,7%
Total	99592	141.023,0	100%	2.706.038	5,2%

Fuente: Censo Agropecuario, 2007.

Figura 42: Superficie destinada a plantaciones Forestales (Pino insigne – Eucaliptus Globulis).



Fuente: Censo Agropecuario, 2007.

- Sector Minero

En la cuenca, según el Atlas de faenas Mineras (2012), existen 287 faenas de las cuales 207 funcionan en forma irregular, 53 están abandonadas, 1 se encuentra paralizada y 26 funcionan en forma activa (Tabla 117).

Definiéndose faenas mineras como el conjunto de instalaciones y lugares de trabajo de la industria extractiva minera, tales como minas, plantas de beneficio, fundiciones, maestranzas, casas de fuerza, talleres, actividades de embarque en tierra y, en general, la totalidad de las labores de apoyo necesarias para asegurar el funcionamiento de la industria extractiva minera. Art. No 5 de Decreto Supremo No 72 de Reglamento de Seguridad Minera.

Tabla 117: Faenas Mineras y estado actual de las mismas.

Etiquetas de fila	Abandonada	Activa	Irregular	Paralizada	Total general
Alhué		2			2
Coinco	1				1
Coltauco	2		3		5
Doñihue	1				1
Graneros			2		2
La estrella			2		2
Las Cabras			6		6
Litueche			3		3
Lolol			3		3
Machalí	2	14	1	1	18
Malloa	8	1	17		26
Marchihue			1		1
Mostazal	1	1	1		3
Nancagua			1		1
Navidad			1		1
Palmilla			4		4
Peralillo			2		2
Peumo			1		1
Pichidegua	8		2		10
Placilla			1		1
Rancagua	24	8	150		182
Rengo			2		2
Requinoa	1		1		2
San Pedro			2		2
San Vicente	3				3
Santa cruz	2		1		3
Total general	53	26	207	1	287

Fuente: Atlas Faenas Mineras 2012.

Las faenas activas se presentan en la siguiente tabla, estas encuentran principalmente localizadas en las comunas de Machalí, Rancagua, ambas

pertenecientes a la cuenca del Cachapoal. Las tablas 110 y 111 presentan el total de cobre fino producido en la cuenca.

Tabla 118: Faenas activas Cuenca Rio Rapel (continúa en la pagina siguiente).

Comuna	Mina	Proceso	Metal
Alhué	El Teniente	Embalse de Relaves Carén	
		Planta Concentración	Molibdeno - Cobre
Rancagua	Minera El Ingles	Mina Subterránea	Sulfuro Aurífero
	Las Tres Vetas	Mina Subterránea	Oro Metálico o Nativo
	MinaStefa	Subterránea	Sulfuro Aurífero
	La Culebra	Mina Subterránea	Cobre - Plata
	Mina La Rosario	Subterránea	Sulfuros de Cobre
	El Teniente	Administración - Oficina	Sulfuros de Cobre
		Proyectos Administración - Oficina	Sulfuros de Cobre
Machalí	El Teniente	Administración - Oficina	Sulfuros de Cobre
		Planta Sx-Ew Lix. Y Extrac. Por Solventes	Sulfuros de Cobre
		Planta Tratamiento Polvos Fundición Lix. Y Extrac.PorSolventes	Sulfuros
		Planta Molienda	Sulfuros de Cobre
		Fundición Caletones	Fundición Cobre - Molibdeno -Oro
		Planta de Oxigeno Fundición	Sulfuros de Cobre
		Planta de Filtro y Secado	Planta Concentración Sulfuros
		Planta Chancado Escorias Planta Molienda	Sulfuros de Cobre
		Fundición Caletones	Fundición Sulfuros de Cobre
		Planta Limpieza Gases N°1 y N° 2	
		Servicio Apoyo Colón Exploraciones	Sulfuros de Cobre
		Mina Subterránea	Sulfuros de Cobre
		Planta Sewell Planta Molienda	Sulfuros de Cobre
		Exploraciones VI Región Exploraciones	Sulfuros de Cobre
		Mina Subterránea	Sulfuros de Cobre

Tabla 119: Faenas activas Cuenca Rio Rapel (continuación).

Comuna	Mina	Proceso	Metal
Malloa	Cantera Carlos Machuca Pérez	Mina Rajo Abierto	Basalto
Mostazal	El Teniente Cantera Los Cóndores	Mina Rajo Abierto	Cuarzo

Fuente: Atlas Faenas Mineras 2012.

Tabla 120: Producción miles ton cobre fino.

	Región	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Minería Estatal										
División El Teniente	VI	437,4	418,3	404,7	381,2	404,1	403,6	400,3	417,2	450,4
Total Nacional		5.423	5.467,9	5.638,3	5.408,8	5.474,8	5.489,6	5.323,7	5.545	5.945,9

Fuente: SONAMI, 2015.

Tabla 121 Consumo Unitario De Agua Fresca Por Tonelada De Mineral Procesado O Lixiviado.

	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	Var 2012-2013
O´Higgins							
Concentración	m ³ /ton_min	0,66	0,71	0,70	0,81	0,85	4,3%

Fuente: COCHILCO, 2014.

La producción de molibdeno aparece como un subproducto de la producción de cobre (Tabla 122).

Tabla 122: Producción de molibdeno por proceso y empresa Toneladas métricas.

Producción Chilena de Molibdeno Mina	Productos	Unidad	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
El Teniente	Concent.	TM	5.249	4.749	5.053	4.580	5.179	5.617	6.012	6.095	6.864

Fuente: www.cochilco.cl

En el país también se desarrolla la extracción de otros metales como oro, plata, plomo, hierro. Las siguientes tablas muestran la evolución de la producción de estos metales finos producidos en la región.

Tabla 123: Producción Anual De Oro Por Regiones (En Kg. de oro fino).

Región	2004	2.005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
O´Higgins	0,4	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0
Total País	40,0	40,4	42,1	41,5	39,2	40,8	39,5	45,1	49,9	51,3

Fuente: www.sonami.cl

Tabla 124: Producción Anual De Plata Por Regiones (En Kg. de plata fina).

Región	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
O´Higgins	50	72	77	67	77	81	83	86	88	97
Total País	1.360	1.400	1.607	1.936	1.405	1.301	1.287	1.291	1.195	1.174

Fuente: www.sonami.cl

Caso: Mina El Teniente de Codelco

Proceso del sector productivo

El Teniente es la mina subterránea más grande del mundo y una de las Divisiones de la Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO). Está ubicado en la Cordillera de los Andes en la comuna de Machalí, en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, a 2.100 metros sobre el nivel del mar y a 149 kilómetros de Santiago. En la siguiente figura se observa la ubicación de la DET.

La DET posee reservas y recursos minerales por más de 4.000 MT de mineral con ley de cobre igual a 0,84% CuT (CODELCO, 2011). Esto equivale a más de 35 MT de cobre fino de producción estipulado hasta el año 2087.

En los últimos años, El Teniente ha alcanzado una producción de 404 mil toneladas anuales de cobre fino. Sus principales productos son cobre refinado a fuego (RAF), ánodos y cátodos de cobre. También se extraen subproductos como molibdeno y ácido sulfúrico.

Dentro de las grandes mineras de cobre presentes en Chile, DET es la más austral, por este motivo no presenta los mismos niveles de estrés hídrico que los procesos mineros ubicados en el desierto de Atacama (Garcés, 2011)

El proceso productivo de la DET se puede dividir en cuatro etapas. Estas etapas se observan en la siguiente

Figura 43. Proceso productivo DET



Fuente: Elaboración propia.

Extracción Mineral

La extracción del mineral se realiza en el interior de la mina. En los sectores superiores, producto de la mayor riqueza del material, la extracción se lleva a cabo por el método de block caving, dirigiendo el mineral desde el nivel de extracción hacia el de producción por efecto de la gravedad. En los

sectores de mayor profundidad existe mineral de mayor dureza y menor ley, por lo tanto el método de extracción es mediante Jumbos, cargadores LHD y martillos picadores hidráulicos (Garcés, 2011).

Concentración por flotación

El proceso de concentración por flotación se desarrolla en el pueblo de Sewell y en la concentradora Colón y Colón Bajo. Debido a que la ley del cobre en el mineral extraído es del orden de un 1%, se realiza la separación de los minerales de cobre utilizando una planta concentradora por flotación.

Después de la extracción el mineral es acondicionado para el tratamiento por flotación mediante dos procesos que se desarrollan de forma paralela: un proceso de molienda semi-autógena y un proceso tradicional de chancado secundario terciario. Paralelamente se realiza un proceso de molienda tradicional, donde el mineral es procesado por una planta de chancadores secundarios y terciarios, y luego es harneado para ser procesado en una planta de molienda con molinos unitarios (Garcés, 2011)

El producto de ambas moliendas es enviado a la planta de flotación colectiva de Colón Bajo. Como producto de la flotación, el mineral llega a una ley entre un 30 y 40% (Garcés, 2011).

En este proceso se utiliza una cantidad de agua que supera 1 m³/s, equivalente a un consumo de alrededor de 0,9 m³ por tonelada de mineral procesado (Garcés, 2011). Las principales pérdidas de agua se producen por evaporación, infiltración y proceso de secado. La evaporación se produce especialmente en el tranque de relave, en los espesadores y en los acopios de concentrado, el cual tiene una humedad cercana al 10% (Espinoza, 2005).

Se obtiene como producto final de esta etapa el concentrado de cobre, que posteriormente es dirigido al proceso de fundición, y los relaves, que son transportados al tranque de relaves Carén (Garcés, 2011).

Fundición

Esta etapa se realiza en la fundición de Caletones, ubicada a 6 kilómetros al suroeste del pueblo de Sewell. Para separar el concentrado de cobre de otros minerales, el material es sometido a fundición, contemplando tres procesos consecutivos para aumentar la pureza: fusión, conversión y piro-refinación. Luego del proceso de fusión y conversión se obtiene cobre metálico líquido en forma de cobre blíster, con una pureza cercana al 99,3%. Este puede ser moldeado en hornos para posteriormente ser vendido, o continuar con el

proceso de piro-refinación, donde se obtiene cobre RAF, el cual es moldeado en placas gruesas en forma de ánodos (COCHILCO, 2008).

En el proceso de fundición se generan gases que se encuentran a altas temperaturas y que es necesario enfriarlos y tratarlos antes de liberarlos hacia el medio ambiente, obteniéndose como subproducto ácido sulfúrico (Garcés, 2011).

Para fundir el mineral de manera eficiente, se debe producir oxígeno, proceso en que se consume agua. Además, se utiliza agua para enfriamiento de gases, tanto para la fusión como para la producción de ácido sulfúrico. En la bibliografía se encuentran datos sobre consumo de agua cercano a los $3,6\text{m}^3$ por tonelada de concentrado que ingresa a la fundición, aunque el consumo de agua varía considerablemente según el caso de estudio (Garcés, 2011). Generalmente se estima que el consumo de agua de una fundición de cobre puede variar entre 8 y 15m^3 /tonelada de cobre blíster (COCHILCO, 2008).

El agua proveniente en los procesos de producción de la DET proviene de las siguientes fuentes: agua de contacto de mina, agua captada en bocatomas del río Blanco y del río Coya, embalse Sapos, y la última fuente corresponde al río Pangal. El agua incluida en el mineral que se procesa es menor al 1% de las extracciones que se realizan, por lo tanto se considera despreciable (Garcés, 2011).

Electro-refinación

Corresponde al último proceso de recuperación de cobre vía piro metalurgia. Las impurezas presentes en los ánodos provenientes de la fundición se eliminan disolviéndolos electroquímicamente. Se deposita el cobre en los cátodos, con una pureza mayor al 99,99% (Garcés, 2011).

Las pérdidas de agua se asocian principalmente a la evaporación y al descarte de soluciones. La evaporación ocurre en la parte superior de las celdas electrolíticas, y es aumentada por la temperatura del electrolito cercana a los 60°C (COCHILCO, 2008). El consumo de agua es aproximadamente $0,25\text{ m}^3$ por tonelada de cátodo de cobre producido (Espinoza, 2005).

Cálculos y supuestos

A continuación se presentan los supuestos y cálculos utilizados para la determinación de la huella hídrica en la DET durante el período de estudio.

Se utilizó como unidad funcional para el análisis las toneladas de cobre producidas anualmente en la División.

En la Figura 45 se observan los límites establecidos para el análisis. El tranque de relaves el Carén se dejó fuera del límite de estudio, debido a que se encuentra a 80 km del lugar donde se extrajo el agua, en la Región Metropolitana (Garcés, 2011). En el caso que se considere dentro de los límites, el agua trasvasijada desde los procesos de producción de concentrado de cobre al tranque el Carén no implicaría un consumo de agua, en cambio se debería contabilizar las pérdidas por evaporación desde el tranque.

Independiente de los límites establecidos, la descarga desde el tranque hacia el estero Carén siempre contribuirá a la HH gris (Garcés, 2011), debido a que la HH gris cuantifica el consumo de agua atribuida a la alteración de la calidad de los cuerpos de agua que reciben las descargas generadas en la producción, independiente del lugar donde esta descarga se realice. En el caso del presente estudio, corresponde a una huella gris generada en la región metropolitana, producto del proceso productivo de cobre en la VI región.

Se estableció los límites para la contabilidad a los consumos de agua cuya contribución a la huella hídrica total fuera superior al 5% (Hoekstra, et al., 2009). Garcés observó que los niveles de consumos directos de agua en la producción de cobre son lo suficientemente altos como para no considerar necesario analizar el ciclo de vida de los insumos utilizados, ya que sus aportes son considerablemente menores al 5% definido (Garcés, 2011). Es por esto, que el cálculo se realizó considerando sólo los consumos directos de agua en la producción de cobre, dejando fuera del análisis el consumo directo de agua potable para consumo humano.

Huella Hídrica Azul

El agua consumida en el proceso de producción de cobre está conformada por: evaporación desde el embalse Sapos, tranques espesadores de relave y en los de concentrado de cobre; agua utilizada para transportar los relaves hasta el tranque Carén; evaporación en planta fundidora, por el proceso de enfriamiento de gases y fundición de cobre; evaporación en planta de electro-refinación, desde celdas de electro-refinación y limpieza de cátodos.

Los datos de evaporación desde embalse Sapos, desde los espesadores y el agua utilizada para transportar los relaves hasta el tranque Carén se obtuvieron según lo reportado por Garcés. Cabe mencionar que los datos de agua en relaves corresponden a lo reportado para el año 2010, y se asumió

ese valor para el año 2014 (Garcés, 2011). Para el caso del consumo de agua en el proceso de Fundición y Electro-refinación se utilizó lo reportado por Peña, donde se establece un consumo de agua de 9,7 m³/ton de cobre en la etapa de fundición y 3,5 m³/ton de cobre para la etapa de electro-refinación (Peña, 2013). La producción de cobre se obtuvo según lo reportado por COCHILCO.

En la Tabla 125 se observan los datos utilizados para el cálculo de la huella hídrica azul:

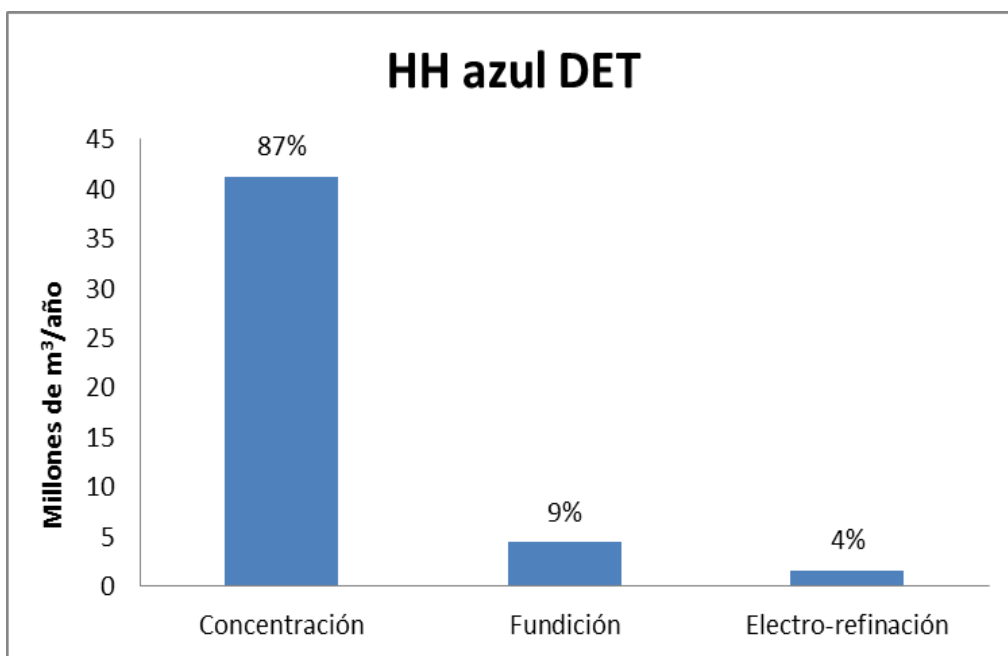
Tabla 125 Cálculo de huella hídrica azul en DET.

HH azul, producción de cobre en DET		
Producción de cobre	ton/año	455.500
Ev. Embalse Sapos	m ³ /año	536.760
Ev. Espesadores	m ³ /año	65.578
Agua en relaves a Carén	m ³ /año	40.629.726
Evaporación en Fundición	m ³ /año	4.418.350
Evaporación en Electro-refinación	m ³ /año	1.594.250

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo una huella hídrica azul equivalente a 104 m³/tonelada de cobre. Este resultado es del rango de magnitud que lo que indican algunos estudios, donde se observa un consumo de agua en promedio de 172 m³/tonelada de cobre (MUDD, 2008). La composición de esta huella se presenta en la Figura 44, en la que se observa que el principal aporte a la huella lo da el proceso de producción de concentrado de cobre.

Figura 44: Composición de la huella hídrica azul en DET.



Fuente: Elaboración propia.

Huella Hídrica Gris

La huella hídrica gris está determinada por la descarga de agua desde el tranque Carén hacia el estero Carén. Se realizó el análisis para los siguientes contaminantes: molibdeno, sulfato y pH. Según las concentraciones que reporta Garcés, el peor contaminante utilizado para determinar el huella gris es el sulfato (Garcés, 2011).

En Chile existen anteproyectos de normas secundarias de calidad ambiental de aguas continentales para algunas cuencas del país, como por ejemplo la norma que regula la calidad ambiental de aguas para la cuenca del río Cachapoal (CONAMA, 2006), cuenca que abarca la zona donde se ubica la mina El Teniente (Garcés, 2011). Esta norma se utilizó para establecer la concentración máxima permitida para el efluente. Sin embargo, cabe señalar que el Decreto Supremo 80 (DS80, 2006) establece las normas de emisión para molibdeno y sulfatos de efluentes descargados desde tranques de relave, al estero Carén.

Los datos de caudal de descarga al estero Carén y las concentraciones de sulfato se obtuvieron según lo reportado por Garcés. Cabe mencionar que esta información corresponde al año 2010, y se asumió esos valores para el año 2014 (Garcés, 2011). En la Tabla 126 se observan los datos utilizados para el análisis:

Tabla 126. Cálculo de huella hídrica gris en DET.

HH Gris, producción de cobre en DET		
Producción de cobre	ton/año	455.500
Descarga a estero Carén	m ³ /año	38.701.066
Concentración sulfato	mg/L	1.843
Concentración máxima DS80	mg/L	2.000
Concentración Norma Secundaria	mg/L	174

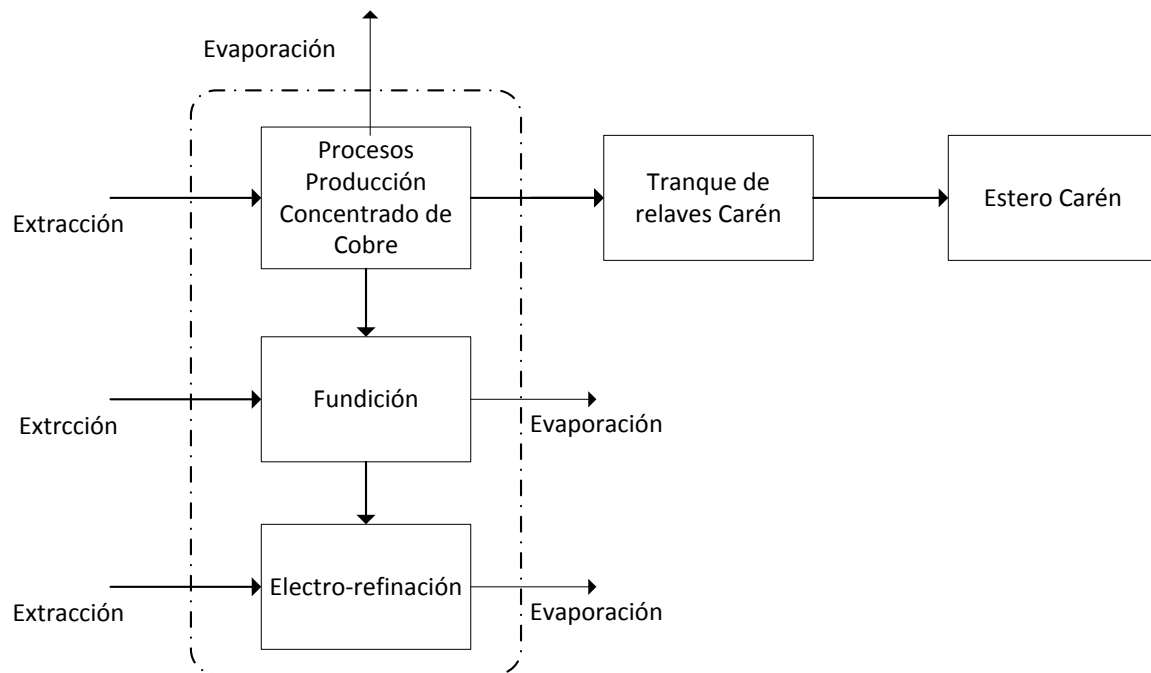
Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo como resultado un huella gris de 902,5 m³/ tonelada de cobre.

Diagrama del Balance Hídrico

A continuación se presenta el diagrama del balance hídrico utilizado para el cálculo de la huella hídrica.

Figura 45: Diagrama del balance hídrico para el sector “minería” de la Región de O’Higgins.



Fuente: Elaboración propia.

- Sector Industria

Agroindustria

Según el catastro hortofrutícola en la Región de O'Higgins operan 125 empresas en la agroindustria, considerando aquellas artesanales e industriales. Las comunas con mayor producción de productos son Rengo, San Fernando, Quinta de Tilcoco, Malloa y Santa Cruz. Estas comunas se encuentran en las cuencas de Río Cachapoal, Río Claro de Rengo, Estero Zamorano y Río Tinguiririca.

En las siguientes tablas se muestran los resultados del catastro para las comunas que pertenecen a la cuenca.

Tabla 127: Toneladas de fruta procesada por Tipo de empresa y proceso para la Cuenca del Río Rapel

	Artesanal				Industrial							
	C	D	M	O	A	CO	C	D	J	M	O	Total (ton)
Chépica	-	-	-	-	-	500	-	265	-	-	-	765
Chimbarongo	-	-	-	-	-	-	-	700	-	-	3.000	3.700
Codegua	-	92	-	-	-	-	-	6.404	-	-	-	6.496
Graneros	-	-	-	-	-	-	-	3.510	-	-	-	3.510
La Estrella	-	-	-	-	1.098	-	-	-	-	-	-	1.098
Las Cabras	-	-	-	-	-	-	-	1.300	-	-	-	1.300
Lolol	-	-	-	-	350	-	-	-	-	-	-	350
Machalí	-	-	-	-	-	-	-	61	0	0	-	61
Malloa	700	-	2.000	-	1.655	-	9.866	75	0	12.150	-	26.446
Marchihue	-	-	-	-	170	-	-	7.300	0	-	-	7.470
Nancagua	-	1.676	-	-	-	-	-	8.085	0	-	-	9.761
Olivar	-	-	-	-	-	-	-	1.500	0	-	1.400	2.900
Palmilla	-	1990	-	-	-	-	-	1.100	0	-	-	3.090
Peralillo	-	790	-	-	200	-	-	-	-	-	-	990
Peumo	-	-	-	-	-	-	-	5.600	2.000	-	-	7.600
Placilla	-	-	-	-	-	-	-	1.377	0	-	-	1.377
Quinta De Tilcoco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.800	28.800
Rancagua	-	542	-	-	-	-	-	2.760	-	-	-	3.303
Rengo	-	-	-	-	-	50	-	39.531	68.246	-	-	107.828
Requinoa	-	1.330	-	-	-	-	-	1885	-	-	-	3.215
San Fernando	-	-	-	-	-	-	-	932	59.410	-	-	60.342
San Pedro	-	-	-	-	5.000	-	-	295	-	-	-	5.295
San Vicente	-	-	-	15	-	190	-	698	-	-	-	903
Santa Cruz	-	-	-	-	-	-	-	16.002	-	-	-	16.002
Total General	700	6.421	2.000	15	8.473	740	9.866	99.382	129.656	12.150	33.200	302.604

Fuente: (ODEPA, Catastro Agroindustrial, 2012).

Siglas: (D) Deshidratados, (CO) Congelados, (A) Aceites, (M) Mermeladas, (J) Jugos, (O) Otras Agroindustrias, (C) Conservas.

Tabla 128: Número de empresas por tipo de proceso para la Cuenca del Río Rapel.

	ARTESANAL				INDUSTRIAL							Total empresas
	C	D	M	O	A	CO	C	D	J	M	O	
Chépica	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	3
Chimbarongo	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	1	3
Codegua	-	3	-	-	-	-	-	9	-	-	-	12
Graneros	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	3
La Estrella	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
Las Cabras	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Lolol	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	2
Machalí	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Malloa	1	-	1	-	1	-	2	1	-	1	-	7
Marchihue	-	-	-	-	1	-	-	3	-	-	-	4
Nancagua	-	7	-	-	-	-	-	4	-	-	-	11
Olivar	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	2
Palmilla	-	3	-	-	-	-	-	2	-	-	-	5
Peralillo	-	5	-	-	1	-	-	-	-	-	-	6
Peumo	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	2
Placilla	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	2
Quinta De Tilcoco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Rancagua	-	2	-	-	-	-	-	8	-	-	-	1-
Rengo	-	-	-	-	-	1	-	5	1	-	-	7
Requinoa	-	9	-	-	-	-	-	12	-	-	-	21
San Fernando	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	3
San Pedro	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	2
San Vicente	-	-	-	1	-	1	-	3	-	-	-	5
Santa Cruz	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	11
Total General	1	29	1	1	7	3	2	74	3	1	3	125

Fuente: (ODEPA, Catastro Agroindustrial, 2012).

Siglas: (D) Deshidratados, (CO) Congelados, (A) Aceites, (M) Mermeladas, (J) Jugos, (O) Otras Agroindustrias, (C) Conservas.

Producción Forestal

Para el caso de la producción de madera, no fue posible encontrar información a nivel comunal ni regional. La información disponible está relacionada con el consumo de madera troza y es entregada a nivel regional (Tabla 129).

Tabla 129: Consumo de madera troza para la región de O´Higgins (miles m³ ssc).

Año	Total	Madera Aserrada	Trozas Aserrables Exportación	Trozas Pulpables Exportación	Astillas	Postes Y Polines
2000	438,9	375,5		25,7		37,7
2001	393,5	366,2				27,3
2002	397,6	368,4				29,2
2003	351,1	323,3				27,7
2004	464,5	434,2				30,3
2005	358,6	322				36,5
2006	390,7	359,2			4,8	24,6
2007	419	387,5			4,8	24,6
2008	446,5	361			62,9	22,6
2009	401,1	315,6			66,1	19,3
2010	517	344,9			147,8	24,2
2011	521,9	340,4	7,8	0,2	141,5	32
2012	422,4	317	0,7		70,4	34,3
2013	433,8	337,9	3,5		55,9	36,4

Fuente: INFOR, 2015.

Faena de animales

Odepa publica el número de animales faenados por especie. Esta información es actualizada semestralmente y es entregada por región.

Dado que la región de O´Higgins es una de las más importantes productoras de carne de cerdo y ave, y la cuenca cubre gran parte de la superficie de la región, se asume que la totalidad de las faenas ocurridas en la región ocurren en la cuenca.

A continuación las siguientes tablas muestran la evolución del número de faenas para las especies más importantes.

Aves

Tabla 130: Evolución del número de aves faenadas en la región de O'Higgins

	Broilers	Pavos	Gallinas	Otras aves *
2007	111.615.987	251.880	781.340	-
2008	122.587.603	325.878	642.185	-
2009	129.716.504	261.573	894.744	-
2010	128.855.597	251.838	940.940	-
2011	148.583.827	247.012	852.459	17.925
2012	154.663.958	257.897	1.123.705	-
2013	158.134.302	258.176	1.081.824	-
2014	150.085.370	263.385	1.112.982	-
Promedio	138.030.394	264.705	928.772	

Fuente: ODEPA, 2015.

Bovinos

Tabla 131 Evolución del número de Bovinos faenados en la región de O'Higgins

	Novillos	Vacas	Bueyes	Terneros (as)	Toros/torunos	Vaquillas	Total
2007	32.407	5.628	412	166	1.221	1.275	41.109
2008	28.666	5.227	140	532	1.008	1.523	37.096
2009	23.214	6.198	150	245	924	1.163	31.894
2010	11.471	3.549	66	59	528	467	16.140
2011	6.387	4.677	55	40	925	439	12.523
2012	6.549	4.033	119	56	1.704	586	13.047
2013	8.459	6.568	127	25	1.884	1.192	18.255
2014	8.513	7.441	437	64	3.471	780	20.706
Promedio	15.708	5.415	188	148	1.458	928	23.846

Fuente: ODEPA, 2015.

Cerdos

Tabla 132: Evolución del número de Cerdos faenados en la región de O'Higgins.

	Cerdos Faenados
2007	3.552.577
2008	3.894.767
2009	3.998.174
2010	3.956.390
2011	4.142.790
2012	4.813.578
2013	4.319.627
2014	4.314.202

Fuente: ODEPA, 2015.

Sector Energía

Para la caracterización del sector energía se determinaron todas las centrales eléctricas presentes en la cuenca en base al catastro energético publicado por la Comisión Nacional de Energía. En la Tabla 133 se tomaron en cuenta todas las centrales construidas y en funcionamiento hasta el 2015 (año que se publicó el catastro).

Tabla 133: Centrales eléctricas presentes en la cuenca del río Rapel.

Central	Comuna	Tipo	Poten cia Bruta MW	Poten cia neta MW	Clasificac ión
Tamm	Chimbarongo	Biogás	0,2	0,2	ERNC
Santa Irene	Palmilla	Biogás	0,4	0,4	ERNC
Las Pampas	Pichidegua	Biogás	0,4	0,4	ERNC
Energía Pacífico	Mostazal	Biomasa	15,6	14,3	ERNC
Ucuquer	Litueche	Eólica	7,2	7,1	ERNC
Ucuquer 2	Litueche	Eólica	10,8	10,5	ERNC
Candelaria	Codegua	Gas Natural	253,9	252,6	Térmica
Rapel	Litueche	Hidráulica Embalse	378,0	376,6	Hidráulica
Coya	Machalí	Hidráulica Pasada	12,0	12,0	Hidráulica
Sauzal	Machalí	Hidráulica Pasada	76,8	76,5	Hidráulica
Sauzalito	Machalí	Hidráulica Pasada	12,0	11,9	Hidráulica
Chacayes	Machalí	Hidráulica Pasada	112,0	111,7	Hidráulica
La Confluencia	San Fernando	Hidráulica Pasada	163,2	162,8	Hidráulica
La Higuera	San Fernando	Hidráulica Pasada	155,0	154,6	Hidráulica
San Andrés	San Fernando	Hidráulica Pasada	40,3	39,9	Hidráulica
Petropower	San Vicente de Tagua Tagua	Petcoke	75,0	63,0	Térmica
San Francisco de Mostazal	Mostazal	Petróleo Diesel	25,7	25,5	Térmica
Esperanza	Olivar	Petróleo Diesel	22,2	22,0	Térmica
Colihues	Requínoa	Petróleo Diesel	22,0	21,2	Térmica

Fuente: Elaboración propia en base al Catastro de generación eléctrica, 2015.

En la cuenca la principal fuente de energía generada es en base a centrales de pasada (42%) y embalses (28%). Otro porcentaje importante (31%) es generado en centrales térmicas (Tabla 134).

Tabla 134: Producción regional por tipo de central.

Tipo	% Producción Regional
Biogás	0%
Biomasa	1%
Eólica	1%
Gas Natural	19%
Hidráulica Embalse	28%
Hidráulica Pasada	42%
Petcoke	6%
Petróleo Diesel	5%

Fuente: Elaborado a partir de CNE, 2015

Tabla 135: Total MWh Generadas por central en MWh.

Centrales	Comuna	Tipo	MWh generados el 2013
Rapel	Litueche	Hidráulica Embalse	393
Sauzal	Machalí	Hidráulica Pasada	402
Sauzal	Machalí	Hidráulica Pasada	-
Sauzalito	Machalí	Hidráulica Pasada	72
Chacayes	Machalí	Hidráulica Pasada	483
Coya	Machalí	Hidráulica Pasada	88
La Higuera	San Fernando	Hidráulica Pasada	272
La Confluencia	San Fernando	Hidráulica Pasada	330

Fuente: CNE, 2014.

6.2.2.1.1.3. Caracterización Ambiental

a) Descripción de las descargas a cursos superficiales

- Descargas tipo domiciliario

Del total de población urbana presente en la cuenca, el 90.2 % posee tratamiento de aguas servidas. Actualmente, la empresa de servicios sanitarios Empresa de Servicios Sanitarios ESSBIO provee con servicios de alcantarillado y agua potable, así como de tratamiento de aguas servidas a la totalidad de las localidades emplazadas en la cuenca. Las principales ciudades de acuerdo al número de habitantes que cuentan con tratamiento de aguas servidas, son las ciudades de Rancagua, San Fernando y Rengo.

El sistema de alcantarillado de aguas servidas de la ciudad de Rancagua, está formado por una serie de colectores que descargan sus aguas al Estero La Cadena, a través de tres emisarios, uno de los cuales recolecta las aguas servidas de Machalí. Con el fin de mejorar la calidad de la descarga de aguas servidas de la ciudad al estero La Cadena, se ha implementado la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Rancagua (PTASR), la cual recibe el aporte de las aguas servidas de la localidad de Machalí, Graneros y Rancagua. Se proyecta que para el año 2020 tratará las aguas de 403.000 habitantes.

La ciudad de San Fernando cuenta con un sistema de alcantarillado que permite la recolección de sus aguas servidas, las cuales son conducidas a una planta de tratamiento que cuenta con un sistema de lagunas oxigenadas en funcionamiento desde 1996. Las aguas tratadas son descargadas al Estero Antivero.

El sistema de alcantarillado de la ciudad de Rengo descarga a dos emisarios que conducen las aguas servidas a la planta de tratamiento de la localidad. Esta planta se encuentra en operación desde 1993 y consiste en cuatro lagunas de estabilización del tipo facultativo, abarcando un área de 7.39 Ha. Los efluentes reciben desinfección mediante la adición de gas cloro.

- Descargas tipo industrial

Una de las actividades económicas más importantes de la cuenca es la explotación del mineral de cobre El Teniente, ubicado a unos 50 Km de Rancagua. El estero El Teniente, receptor de las aguas de la minera, es uno de los principales afluentes al Estero Coya y éste, a su vez, es afluente del Río Cachapoal, el cual se ve afectado en su calidad debido a las descargas anteriores. Además de las instalaciones de extracción y procesamiento de

mineral, CODELCO cuenta con una fundición en la zona de Caletones y tranques de relaves, algunos en operación y otros que por mucho tiempo han estado sin operar. Estos drenajes llegan indirectamente a las aguas del río Cachapoal.

Las principales fuentes emisoras de residuos industriales líquidos que inciden en la calidad del agua, están dadas por las industrias: Agrícola Súper Ltda., International Paper (Procesos de Tinturas), Viña Morandé y Aguas Minerales Cachantún S.A. Estos establecimientos industriales, de acuerdo al Decreto N° 90/2000 del MINSEGPRES presentan elevadas concentraciones de DBO, Sólidos Suspendidos, Aceites y Grasas.

Contaminación difusa por pesticidas

Potencialmente existen algunos compuestos activos que podrían estar sobre el valor establecido para Clase 1 en el Instructivo. Estos serían: Clorotalonil y 2,4-D⁵³.

b) Calidad de Aguas

Fuentes de información

Las fuentes de información utilizadas para analizar la calidad de aguas del Río Rapel son las siguientes:

- Reporte estadístico de calidad de aguas superficiales de la sub-cuenca del Río Cachapoal 2014
- Reporte estadístico de calidad de aguas superficiales de la sub-cuenca del Río Tinguiririca 2014
- Registro de calidad de aguas

En la Tabla 136. Estaciones de monitoreo y parámetros evaluados se muestran las estaciones de monitoreo presentes en el río Rapel junto con los parámetros analizados respectivos a calidad de agua.

⁵³ Aplicación de la metodología para la estimación de la Contaminación Difusa, para cinco subcuencas del río Rapel (0601, 0602, 0603, 0604 y 0605)

Tabla 136. Estaciones de monitoreo y parámetros evaluados (continúa en la página siguiente).

Cuenca	Río Rapel		
Cauces monitoreados	N° de estación	Parámetros	Periodo de registro
Río Cachapoal, Sector Reserva Los Cipreses	CA10	CE-OD SST	2006 - 2014
Río Cachapoal, Sector Bocatoma Central Coya	CA20	OD-CE-SST	2006 - 2014
Río Cachapoal, Sector Puente Termas	CA30	CT- CD-FT- FD-pH	2006 - 2014
Río Cachapoal, Sector Bocatoma 7 puentes	CA40	CF- PH - SDT	2006 - 2014
Río Cachapoal, Puente Coinco	CA50	CF-pH	2006 - 2014
Río Cachapoal, Sector Puente Peumo	CA60	CF-pH	2006 - 2014
Río Cachapoal, Puente Arqueado	CA70	CF-CT- CD-pH	2006 - 2014
Río Claro, Sector Las Nieves	CL10	CF-CE	2006 - 2014
Río Claro, Sector Zúñiga	CL20	CF-CT	2006 - 2014
Río Claro, Sector Popeta	CLEV	CF	2006 - 2014
Río Coya, Sector Coya	CO10	PH- CT-ART-FT	2006 - 2014
Estero La Cadena, Sector Punta de Cortés	LC10	CF- NH4-CL-CT	2006 - 2014
Río Pangal, Central Pangal	PA10	CT-FT-CE	2006 - 2014
Estero Rigolemu, Sector Las Truchas	RI10	CF	2006 - 2014
Estero Rigolemu, Sector Cuenca	RIEV	CF	2006 - 2014
Estero Zamorano, Sector Pencahue	ZA10	CF	2006 - 2014
Estero Antivero, San Fernando	AV10	CF	2006 - 2014
Estero Antivero, Las Truchas	AV30	CF	2006 - 2014
Río Tinguiririca, Puente Negro	TI10	CF-CE—SDT-SST	2006 - 2014
Río Tinguiririca, Puente La Gloria	TI20	CF-CT-N-AYG-OD	2006 - 2014

Tabla 137. Estaciones de monitoreo y parámetros evaluados (continuación).

Cuenca	Río Rapel		
Cauces monitoreados	N° de estación	Parámetros	Periodo de registro
Río Tinguiririca, Puente Apalta	TI30	CF-FE	2006 - 2014
Río Tinguiririca, Puente San José de Marchihue	TI50	CF- CL - DBO5 - OD	2006 - 2014
Estero Chimbarongo, Sector Morza	CH10	CF	2006 - 2014
Estero Chimbarongo, Puente Los Maquis	CH20	CF-N	2006 - 2014
Río Claro, Puente Negro	CL10	CF CE- OD	2006 - 2014
Estero Las Toscas, Vadeo Calleuque	LT10	CF	- 2014

Fuente: Elaboración propia.

Siglas: Coliformes fecales (CF); - Conductividad eléctrica (CE), Oxígeno disuelto (OD); pH; Nitratos (N), Coliformes totales (CT), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5); Cobre Total (CT), Fierro Total (FT)Cloruros (Cl); Solidos Suspendidos Totales (SST); Solidos Disueltos Totales (SDT); Aceites y Grasas(AG); Amonio, NH4; Arsénico Total (ART); Cobre Disuelto (CD); Fierro Disuelto (FD); Fierro (FE)

Análisis de la información

- Calidad de agua

Para definir la calidad de agua de las subcuencas del Río Cachapoal y Tinguiririca, se realizó un análisis en base a la "Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas", donde se definen cuatro tipos de calidades que permiten la protección de las aguas continentales superficiales:

Excepcional: Indica un agua de mejor calidad que la Clase 1, que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte única del patrimonio ambiental de la República. Esta calidad es adecuada también para la conservación de las comunidades acuáticas y demás usos definidos cuyos requerimientos de calidad sean inferiores a esta Clase.

- **Clase 1:** Muy buena calidad. Indica un agua adecuada para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las Clases 2 y 3.
- **Clase 2:** Buena calidad. Indica un agua adecuada para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la Clase 3.
- **Clase 3:** Regular calidad. Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido.
- **Clase 4:** Mala calidad. Indica un agua no adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas o su aprovechamiento para los usos prioritarios sin el tratamiento adecuado.

Por otro lado, se analizó el percentil 66 móvil de un periodo de 3 años correspondiente al 2012 – 2014.

Es importante considerar, que se utilizó esta metodología ya que actualmente no hay normas secundarias para todos los sectores de la región, sin embargo, se recomienda utilizar la normativa vigente en caso de existir.

Sub- Cuenca del Cachapoal

En la Tabla 138 se presentan las Clases para las estaciones de la subcuenca del Cachapoal, según los parámetros de calidad de agua medidos en esta.

Tabla 138. Calidad del agua subcuenca del río Cachapoal

Cauces monitoreados	N° de estación	Parámetros	Muestra (Percentil 66)	Fecha Muestreo	Clase
Río Cachapoal, Sector Reserva Los Cipreses	CA10	Conductividad eléctrica [uS/cm]	631,0	20-03-2013	Clase 1
		Oxígeno disuelto [mg/L]	11,1	25-09-2013	Excepción
		Sólidos disueltos totales [mg/L]	372,0	25-09-2013	Excepción
Río Cachapoal, Sector Bocatoma Central Coya	CA20	Conductividad eléctrica [uS/cm]	584,0	26-03-2014	Excepción
		Oxígeno disuelto [mg/L]	10,5	28-03-2012	Excepción
		Sólidos disueltos totales [mg/L]	408,0	20-03-2013	Clase 1
Río Cachapoal, Sector Puente Termas	CA30	Cobre total [ug/L]	490,0	26-06-2013	Clase 3
		Cobre disuelto [ug/L]	90,0	04-12-2013	Clase 2
		Hierro total [mg/L]	9,9	29-09-2014	Clase 4
		Hierro disuelto [mg/L]	0,3	30-09-2014	Excepción
		pH	7,7	25-09-2013	Aceptable
Río Cachapoal, Sector Bocatoma 7 puentes	CA40	Coliformes fecales [NMP/100 ml]	80,0	11-06-2012	Clase 1
		pH	7,9	12-12-2012	Aceptable
		Sólidos disueltos totales [mg/L]	355,0	26-03-2014	Excepción
Río Cachapoal, Puente Coinco	CA50	Coliformes fecales [NMP/100 ml]	230,0	04-12-2013	Clase 1
		pH	7,6	26-03-2014	Aceptable
Río Cachapoal, Sector Puente Peumo	CA60	Coliformes fecales [NMP/100 ml]	800,0	28-03-2012	Clase 1
		pH	8,2	29-09-2014	Aceptable
Río Cachapoal, Puente Arqueado	CA70	Coliformes fecales [NMP/100 ml]	1300,0	04-12-2013	Clase 2
		Cobre total [ug/L]	30,0	26-06-2013	Clase 2
		Cobre disuelto [ug/L]	30,0	26-06-2013	Clase 2
		pH	8,1	29-09-2014	Aceptable

Fuente: Elaboración propia en base a datos CONAMA.

La subcuenca del Cachapoal, presenta mayoritariamente Clase de Excepción, siendo cinco las estaciones donde se da esta condición para los parámetros: oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales y fierro disuelto. Solo en la estación Sector Puente Termas (CA30) los estados de calidad fueron de regular a mala para los parámetros cobre total y fierro total respectivamente.

De acuerdo al "Reporte de calidad de aguas superficiales de la subcuenca del Río Cachapoal", que considera monitoreos desde 2006 a 2014, la tendencia ha sido que para los distintos parámetros las clases presentan calidades de excepcional a buena, esto sin considerar el tramo CA30, que para todos los periodos de medición presenta calidad regular a mala para los parámetros de cobre y fierro, estando ambos sobre la norma de riego.

Sub-Cuenca del Río Tinguiririca

En la Tabla 139 se presentan las Clases para las estaciones de la subcuenca del Tinguiririca, según los parámetros de calidad de agua medidos en esta.

Tabla 139. Calidad del agua subcuenca del río Tinguiririca

Cauces monitoreados	N° de estación	Parámetros	Muestra (Percentil 66)	Período de medición	Clase
Río Tinguiririca, Puente Negro	TI10	Coliformes fecales [NMP/100 ml]	30,0	06-12-2013	Clase 1
		Conductividad eléctrica [uS/cm]	344,0	28-03-2014	Excepción
		Sólidos disueltos totales [mg/L]	206,0	28-06-2013	Excepción
		Sólidos suspendidos totales	53,0	17-12-2014	Clase 3
Río Tinguiririca, Puente La Gloria	TI20	Coliformes fecales [NMP/100 ml]	130,0	01-10-2014	Clase 1
		Coliformes totales[NMP/100 ml]	3000,0	03-10-2012	Clase 2
		Nitratos	2,0	20-06-2014	n.a
		Aceites y grasas [mg/L]	5,0	28-03-2014	Clase 2
		Oxígeno disuelto [mg/L]	9,7	14-12-2012	Excepción
Río Tinguiririca, Puente Apalta	TI30	Coliformes fecales [NMP/100 ml]	240,0	06-12-2013	Clase 1
		Hierro total [mg/L]	0,1	30-03-2012	Excepción
Río Tinguiririca, Puente San José de Marchihue	TI50	Coliformes fecales [NMP/100 ml]	800,0	29-09-2014	Clase 1
		Cloruro [mg/L]	27,2	30-03-2012	Excepción
		DBO5 [mg/L]	3,8	29-09-2014	Clase 1
		Oxígeno disuelto [mg/L]	9,9	29-09-2014	Excepción

Fuente: Elaboración propia en base a datos CONAMA.

La subcuenca del Tinguiririca, presenta mayoritariamente Clase de Excepción, estando esta condición en todas las estaciones para al menos un parámetro. La estación Puente Negro (TI10) se encuentra en estado de calidad regular para sólidos suspendidos totales, sin embargo, este parámetro está altamente influenciado por las condiciones de caudal y turbulencia.

De acuerdo al “Reporte de calidad de aguas superficiales de la subcuenca del Río Tinguiririca”, que considera monitoreos desde 2006 a 2014, la tendencia ha sido que para los distintos parámetros las clases presentan calidades de excepcional a buena. El tramo con mayores problemas de calidad en cuanto a sólidos suspendidos totales corresponde al TI10, que si bien existe una tendencia a la disminución, en varias ocasiones ha tenido clasificación 3 y 4.

Estudio de caso Río Tinguiririca: EMA (Ver en Anexos CD)

EMA responde a la sigla de Estudio y Monitoreo Ambiental de Humedales y cursos de Agua, que consiste en una evaluación detallada, que tiene por finalidad entregar un puntaje representativo de la condición de salud ambiental del ecosistema a escala sitio específico. Para ello se emplean parámetros indicativos en las áreas seleccionadas del humedal ribereño.

En el marco del proyecto “Sistema Avanzado e Integral de Evaluación y Monitoreo de la Condición Ambiental de Humedales”, es que se llevó a cabo el programa de Medio Ambiente de Fundación Chile donde se estudió el humedal ribereño del río Tinguiririca y el estero Chimbarongo, en el sector denominado “La Junta”.

La evaluación se divide en tres etapas, la primera corresponde a una evaluación exploratoria del terreno, luego una evaluación y seguimiento asociado a un plan de monitoreo y finalmente, se analiza el estado de salud del humedal.

En la primera etapa se realizó un chequeo del terreno donde, mediante campañas en el humedal, se vislumbraron perturbaciones con posibles efectos negativos y/o significativos sobre el ecosistema mediante la evaluación y análisis de parámetros hidrológicos, de la estructura física, biótica y atributos del paisaje y su contexto.

Luego, se llevó a cabo una evaluación de riesgos para el ecosistema, donde se analizaron distintas capas de información geográfica, como curvas de nivel, red de drenaje, catastro de bosque nativo, usos de suelo, entre otros. Ello dio como resultado, zonas de mayor y menor riesgo en cuanto a fuentes de contaminación asociadas a actividades antrópicas (agrícolas, industriales, extracción de áridos, entre otras).

Para establecer las áreas de evaluación y puntos de monitoreo en el humedal, se utilizó el mapa de riesgos y los criterios descritos en el manual y guía de campo EMA de Fundación Chile. En estas zonas se tomaron muestras estacionales de calidad de agua y sedimento.

Finalmente, en base a los datos recopilados, se analizó el estado de salud del humedal de forma separada para cada sección: río Tinguiririca (AE T1), estero Chimbarongo (AE T2) y tramo la junta AE T3).

Los principales resultados por atributo se presentan a continuación.

- Hidrología:

La hidrología del humedal está influenciada por el uso agrícola (>20%) e industrial, y los patrones de inundación se mantuvieron en su ciclo natural durante el año 2008 y 2009. Por otro lado, la alteraciones hidrológicas están asociadas a procesos de desagregación en las riberas y en el lecho, principalmente por las extracciones de áridos existentes.

Las tres áreas de evaluación se comportan de manera independiente, siendo la AE T3 afectada de manera significativa por una perturbación física de alta magnitud como son las extracciones de áridos.

- Paisaje

El área de evaluación que presenta inferiores condiciones es la que corresponden a la AE T3

Las áreas de evaluación que presentan una mejor condición respecto del paisaje es la que concierne al estero Chimbarongo (AE T2).

Respecto de la distribución espacial de los atributos del paisaje, el tramo AE T3, se encuentra disminuido de manera considerable por los efectos antrópicos a los que se ha visto sometido, asociados a procesos de desagregación.

- Estructura física

Los atributos físicos que incluyen las métricas de riqueza estructural de parches y complejidad topográfica, presentan características inapropiadas para el adecuado equilibrio del ecosistema de tipo ribereño. Los procesos de desagregación y la pérdida de la riqueza de los parches en AET3 en la campaña de primavera, disminuyen su capacidad de amortiguación y establecimiento de micro-hábitat.

En el humedal, se observan por lo menos dos terrazas sobre la zona media de la pendiente, sin embargo la pendiente y las terrazas carecen de abundante variabilidad micro-topográfica que proporciona diversos hábitats para las especies

- Estructura biótica

En el área de estudio se evaluó la comunidad vegetal por medio de la presencia de diversas capas vegetales. Se observa la presencia de dos capas vegetales dominantes, el estrato muy alto y el estrato mediano con un reducido número especies vegetales nativas y excesiva presencia de especies exóticas, constituyendo un sector con mediana capacidad para albergar especies de fauna interesante. Esto, debido a la reducida disponibilidad de alimento y protección para la constitución de un área natural sustentable en el tiempo y la baja tolerancia para amortiguar efectos antrópicos negativos.

La estructura biótica vertical del humedal presenta aproximadamente un 25% de áreas donde existe vegetación con sobre posición vertical, este factor es muy importante ya que la apertura del dosel es alta, con penetración de los rayos solares y reducidas áreas de refugio para la fauna.

6.2.2.2. Información requerida para el cálculo de las HH por Sector

6.2.2.2.1. Sector Silvoagropecuario

La Huella Hídrica (HH) del sector está determinada por la suma de las huellas de los tres sub- sectores: Agrícola, forestal y pecuario.

6.2.2.2.1.1. Sub-sector Agrícola-Forestal

Para el caso de los sub-sectores agrícola y forestal, la HH es el resultado de la suma del consumo hídrico anual ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) de cada uno de los diferentes cultivos por la superficie del cultivo (ha).

Para la estimación de la HH por cultivo se utilizó la metodología de Garrido, et al. (2010), la cual se basa en la metodología de la monografía FAO nº 56 (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006), donde se calcula la evapotranspiración potencial.

El cálculo de la evapotranspiración potencial (ETp) toma la evapotranspiración de referencia (ETo), del lugar dónde se está desarrollando el cultivo, el cual es multiplicado por el coeficiente de cultivo (kc) y posteriormente por la superficie del cultivo en cuestión para obtener las huellas hídricas respectivas correspondientes a la cuenca (m^3/ha).

Para la cuenca se evaluaron diferentes fuentes nacionales e internacionales de ETo. Dada la escala, se decidió utilizar las ETo de referencia desde la BBDD de (Santibañez, y otros, 2015), ya que este corresponde el último estudio nacional de estimación de ETo.

Tabla 140: Evapotranspiración de referencia para la cuenca del Río Rapel (continúa en la página siguiente).

	Ene (mm)	Feb (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	May (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Sep (mm)	Oct (mm)	Nov (mm)	Dic (mm)	mm/ año
Santo Dgo	4,2	3,9	3,2	2,4	1,8	1,4	1,4	1,7	2,3	3	3,7	4,2	1007,4
Ranca gua	5,9	5,4	4,3	3,1	2,2	1,7	1,6	2	2,8	3,9	5	5,8	1325,4
Code gua	6,1	5,4	4,3	3,2	2,2	1,7	1,6	2	2,8	3,9	5,1	5,9	1340,5
Coinco	5,9	5,4	4,2	3	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,9	5	5,8	1304
Coltau co	5,9	5,3	4,2	3,1	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,8	4,9	5,7	1294,9
Doñihue	5,9	5,3	4,2	3	2	1,7	1,6	1,9	2,7	3,8	5	5,7	1297,9
Grane ros	5,9	5,3	4,2	3,1	2,1	1,7	1,6	1,9	2,7	3,9	4,9	5,7	1304,1
Las Cabras	5,6	5	4	3	2,1	1,7	1,6	2	2,7	3,6	4,7	5,4	1255,7
Machalí	5,9	5,4	4,3	3,1	2,2	1,7	1,7	2	2,8	3,9	5	5,8	1328,5
Malloa	6,2	5,5	4,4	3,2	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,9	5,1	6	1337,3
San Francis co de Mosta zal	6,2	5,5	4,4	3,2	2,2	1,7	1,6	2	2,7	3,9	5,1	5,9	1346,5
Olivar	6	5,4	4,4	3,2	2,2	1,8	1,7	2	2,8	4	5,1	5,9	1349,8
Peumo	6	5,4	4,3	3,1	2,2	1,7	1,6	2	2,8	3,9	5	5,8	1328,4
Pichideg ua	5,8	5,3	4,2	3,1	2,2	1,7	1,6	2	2,8	3	4,9	5,7	1282,4
Quinta de Tilcoco	6	5,5	4,3	3,1	2,1	1,7	1,6	1,9	2,8	3,9	5,1	5,9	1331,2
Rengo	6,1	5,5	4,3	3,1	2,1	1,6	1,5	1,9	2,8	3,9	5,1	5,9	1328,1

Tabla 141: Evapotranspiración de referencia para la cuenca del Río Rapel (continuación).

	Ene (mm)	Feb (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	May (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Sep (mm)	Oct (mm)	Nov (mm)	Dic (mm)	mm/ año
Requi noa	6	5,4	4,3	3,1	2,2	1,7	1,6	2	2,8	3,9	5,1	5,9	1334,5
San Vicente de Tagua Tagua	6	5,4	4,3	3	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,9	5	5,9	1313,2
La Estrella	5,5	4,9	4	2,9	2	1,7	1,6	1,9	2,6	3,7	4,6	5,3	1234,6
Lituech e/la estrella	5,6	5	4,1	3	2,1	1,7	1,6	1,9	2,7	3,7	4,8	5,4	1261,8
Marchih ue	6,1	5,5	4,4	3,1	2,1	1,6	1,5	1,9	2,8	3,9	5,1	5,9	1331,2
San Fernan do	6,1	5,5	4,3	3,1	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,9	5,1	5,9	1325,1
Chimba rongo	6,1	5,5	4,3	3,1	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,9	5,1	5,9	1325,1
Nanca gua	6,1	5,5	4,3	3,1	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,9	5,1	5,9	1325,1
Palmilla	4,2	3,9	3,2	2,4	1,7	1,3	1,3	1,6	2,2	3,9	3,7	4,2	1020
Navidad	6,1	5,5	4,3	3,1	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,9	5,1	5,9	1325,1

Tabla 142: Evapotranspiración de referencia para la cuenca del Río Rapel (continuación).

Placilla	5,8	5,2	4,2	3	2,1	1,7	1,6	2	2,7	3,8	4,9	5,6	1292,1
Peralillo	6	5,4	4,3	3,1	2,1	1,7	1,5	1,9	2,7	3,9	5	5,8	1316,1
Santa Cruz	5,9	5,3	4,2	3	2	1,5	1,4	1,8	2,6	3,8	4,9	5,8	1279,7
Teno	5,9	5,3	4,2	3	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,8	4,9	5,7	1291,9
Villa de Alhué	5,5	5	4	2,9	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,7	4,7	5,4	1243,6
San pedro	5,9	5,3	4,3	3,1	2,1	1,7	1,6	2	2,8	3,6	5	5,8	1310,1

Fuente: (Santibañez, y otros, 2015)

Los coeficientes de cultivo se modelaron de acuerdo a la metodología propuesta en la monografía FAO nº 56 (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

Tabla 143: Coeficientes de Cultivo- Corregidos para la macrozona central.

	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Uva vinífera	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
Vid de mesa	0,3	0,3	0,3	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Kiwi	0,4	0,4	0,4	0,6	0,9	1,1	1,1	1,1	1,0	0,9	0,5	0,4	0,4
Manzana	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	1,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6
Cerezas	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6
Palta	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7
Olivo	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Nogal	0,5	0,5	0,6	1,1	1,1	1,1	1,1	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ciruela	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6
Duraznos	0,6	0,6	0,6	0,7	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	0,9	0,7	0,6	0,6
Almendra	0,4	0,4	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4
Limón, Naranja y mandarina	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Arándano	0,2	0,2	0,2	0,6	1,0	1,0	1,0	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Trigo	-	-	0,3	0,4	0,8	1,1	1,2	1,0	0,3	-	-	-	-
Avena	-	-	0,3	0,4	0,8	1,1	1,2	1,0	0,3	-	-	-	-
Maíz grano	-	-	0,7	0,9	1,2	1,2	0,9	-	-	-	-	-	-
Papa	-	-	0,5	0,9	1,2	1,0	0,2	-	-	-	-	-	-
Tomate Industrial	-	-	0,6	0,7	1,1	1,2	1,1	0,8	-	-	-	-	-
Choclo (maíz)	-	-	0,7	1,0	1,2	1,2	0,6	-	-	-	-	-	-
Lechuga	-	-	0,7	0,8	1,0	0,4	0,0	-	-	-	-	-	-
Tomate Fresco	-	-	0,6	0,9	1,1	1,2	0,9	0,1	-	-	-	-	-
Cebolla de guarda	-	-	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	-	-	-	-	-	-
Zapallo	-	-	0,5	0,8	1,0	0,7	-	-	-	-	-	-	-
Zanahoria	-	-	0,7	0,8	0,9	0,9	0,5	-	-	-	-	-	-
Melón	-	-	0,5	0,8	1,1	0,8	-	-	-	-	-	-	-
Sandia	-	-	0,4	0,9	1,0	0,4	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a resultado de taller de trabajo con CNR.

Además los resultados de ETp se ajustaron de acuerdo a las pérdidas de rendimiento. Para evaluar si existía una sobre estimación para el caso del piloto se compararon los resultados de ETp con los resultados de evapotranspiración ajustados (ETpa). Para ello se utilizó como guía la monografía de FAO 66 y se requirió definir el rendimiento potencial y real para cada uno de los cultivos estudiados así como los coeficientes de estrés promedio para los cultivos analizados.

Tabla 144: Información requerida para el ajuste de las ETp con respecto al rendimiento (continúa en la página siguiente).

	ky	Rdto potencial		Rdto real			
Unidades	adim.	ton/ha	Región	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha
Fuente	FAO 66-Datos Cropwat	Fichas de costo ODEPA considerando las regiones de la Macrozona /Publ. Nodo Hortícola región de O'Higgins	Ficha de costos	ODEPA, 2015-para 2006/07	ODEPA, 2015-para 2007/08 *	Publ. Nodo Hortícola región de O'Higgins	Catastro frutícola O'Higgins
Uva vinífera	0.85	s.i.		s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
Vid de mesa	0.85	30	O'Higgins				24
Kiwi	0.85	30	Maule				24
Manzana	0.85	40	O'Higgins				50
Perales	0.85	30	Biobío				47
Cerezas	0.85	9	O'Higgins				8
Palta	0.85	9	Valparaíso				14
Olivo	0.85	16	O'Higgins				5
Nogal	0.85	4	Valparaíso				3
Ciruela	0.85	10	O'Higgins				17
Duraznos	0.85	30	Valparaíso				24
Almendro	0.85	5	RM				3
Cítricos	1	30					30
Arándano	0.85	8.5					7
Trigo	1.05	7		3.60	3.96		5

Tabla 145: Información requerida para el ajuste de las ETp con respecto al rendimiento (continuación).

	ky	Rdto potencial	Rdto real				
Unidades	adim.	ton/ha	Región	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha
Fuente	FAO 66- Datos Cropwat	Fichas de costo ODEPA considerando las regiones de la Macrozona /Publ. Nodo Hortícola región de O´Higgins	Ficha de costos	ODEPA, 2015- para 2006/07	ODEPA, 2015- para 2007/08 *	Publ. Nodo Hortícola región de O´Higgins	Catastro frutícola O'Higgins
Trigo secano	1.05	5		3.67	3.96		5
Avena	1.05	5		2.41	2.55		2
Cebada	1.05			25.00	17.00		24
Maíz grano	1.25	15	O´Higgins	12.17	11.02		12
Papa	1.1	15		13.28	17.00		16
Tomate Industrial	1.05	100	O´Higgins	43.43	0.00		104
Choclo (maíz)	1.25	No aplica				No aplica	
Lechuga	0.95	No aplica				No aplica	
Tomate Fresco	1.05	80	O´Higgins			58	
Cebolla de guarda	1.1	100	O´Higgins			70	
Ajo	1.1	20	O´Higgins			17	
Pimiento	1.1	38	O´Higgins			30	

Tabla 146: Información requerida para el ajuste de las ETp con respecto al rendimiento (continuación).

	ky	Rdto potencial	Rdto real				
Unidades	adim.	ton/ha	Región	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha
Fuente	FAO 66- Datos Cropwat	Fichas de costo ODEPA considerando las regiones de la Macrozona /Publ. Nodo Hortícola región de O´Higgins	Ficha de costos	ODEPA, 2015- para 2006/07	ODEPA, 2015- para 2007/08 *	Publ. Nodo Hortícola región de O´Higgins	Catastro frutícola O'Higgins
Zapallo	0.95	32	O´Higgins			25	
Poroto granado	1.15	7	O´Higgins			7	
Melón	1.1	45	O´Higgins			30	
Sandia	1.1	80	O´Higgins			60	

Las precipitaciones se obtuvieron desde las bases de datos de la DGA, para ello se promediaron los datos de precipitaciones mensuales de 12 años, periodo en el cual hay mediciones para las estaciones.

Tabla 147: Precipitaciones (mm/mes). Continúa en página siguiente.

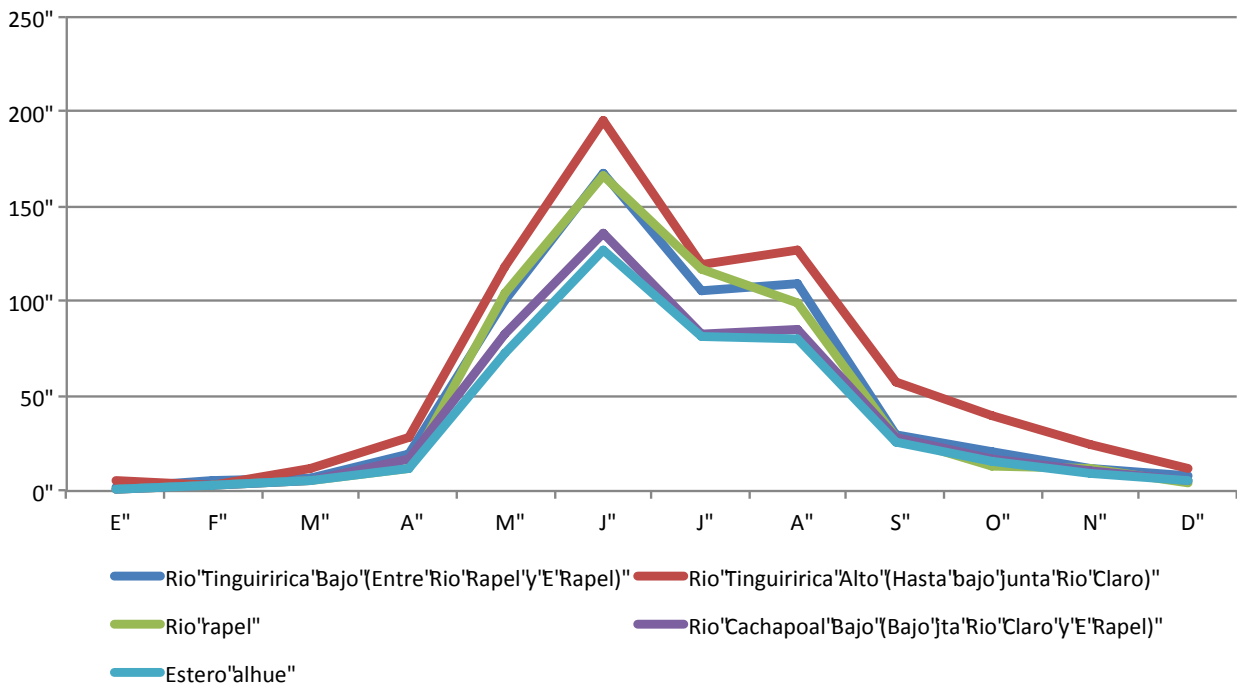
Estaciones	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	total
Estero Alhué	1	3	6	12	73	127	81	80	26	16	9	5	439
Cocalan	1	3	6	12	73	127	81	80	26	16	9	5	439
Rio Cachapoal Alto (Hasta bajo junta Rio Claro)	10	3	9	33	118	178	107	116	58	34	24	16	706
Canal sauzal en puente termas	0	3	2	15	73	122	81	67	30	24	7	10	434
Rio Cachapoal 5 km. Aguas abajo junta cortaderal	14	3	8	42	126	221	126	128	48	37	25	22	800
Rio pangal en pangal	14	3	15	40	144	192	113	142	89	39	35	14	840
Rio Cachapoal Bajo (Bajo jta Rio Claro y E Rapel)	1	3	6	17	83	136	83	85	29	17	11	6	477
Coltauco	1	3	6	18	111	168	96	100	30	16	10	6	565
Millahue	1	4	6	21	106	171	118	103	32	14	10	5	591
Pichidegua	1	3	7	12	71	127	87	84	25	13	10	6	446
Popeta	2	3	5	17	81	136	75	76	34	24	14	7	474
Rancagua (Cachapoal - dcp)	1	3	6	15	57	99	57	64	27	18	12	5	364
Rengo	2	2	5	17	66	120	70	75	30	21	12	6	426
Rio Cachapoal en puente arqueado (ca)	1	3	5	11	66	104	62	69	21	10	6	2	360
San Fernando	1	4	8	21	106	157	100	105	35	25	13	6	581
Rio rapel	1	3	5	12	104	166	117	99	28	13	12	4	564
Litueche	1	3	5	15	124	186	134	109	31	16	13	5	642

Tabla 148: Precipitaciones (mm/mes). Continuación.

Estaciones	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	total
Rapel	0	3	5	9	84	147	100	90	26	11	11	4	490
Rio Tinguiririca Alto (Hasta bajo junta Rio Claro)	5	3	12	29	118	195	119	127	57	40	24	12	741
La Rufina	6	3	15	35	143	245	143	150	67	43	28	14	892
Rio Tinguiririca bajo los briones	4	2	9	24	93	145	95	104	47	37	19	10	589
Rio Tinguiririca Bajo (Entre Rio Rapel y E Rapel)	2	5	7	20	101	168	106	109	30	21	12	8	589
Convento viejo	2	4	8	22	104	154	100	105	30	21	14	11	575
La candelaria	2	5	6	19	98	182	112	112	30	20	10	5	601
Total general	3	3	7	20	96	155	97	98	37	22	14	8	560

Fuente: DGA, promedio 12 años.

Figura 46: Precipitaciones mensuales promedio por sub-cuenca.



Fuente: DGA, Varios años.

Tabla 149: Requerimiento de Nitrógeno promedio por Ha. por cultivo.

	Fertilización Nitrógeno(kg)/ha	U	Eficiencia Aplicación*	de	% lixiviación*
Vid de mesa	88		50%		10%
Kiwi	172		50%		10%
Manzana	224		50%		10%
Perales	150		50%		10%
Palta	180		50%		10%
Olivo	600		50%		10%
Nogal	56		50%		10%
Ciruela	145		50%		10%
Duraznos	111		50%		10%
Almendro	111		50%		10%
Trigo	250		50%		10%
Maíz grano	280		50%		10%
Papa	160		50%		10%
Tomate Industrial	233,5		50%		10%
Choclo (maíz)	70		50%		10%
Lechuga	45		50%		10%
Tomate Fresco	233,5		50%		10%
Cebolla de guarda	196,66		50%		10%
Zapallo	72		50%		10%
Zanahoria	70		50%		10%
Melón	46		50%		10%
Sandia	46		50%		10%

Fuente: Varios Autores, Faguenbaum, 2009; Fichas de cultivo (ODEPA, 2014-2015); Gil, 2009; Gil, 2006; Osorio, 2012.

*Se consideró una eficiencia de aplicación del 50%

** Dentro de los supuestos se consideró que el 10% de los fertilizantes aplicados se pierden por lixiviación.

Supuestos y Recomendaciones

- 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).

- Dado que en el proyecto de norma para el Cachapoal (norma secundaria) no se incluyen parámetros para Nitrógeno tota, se tomó como valores referenciales los propuestos por Boulay, 2011 para agua de calidad buena como carga máxima aceptada en el cauce receptor.

Tabla 150: Parámetros de calidad para cauces (continúa en la página siguiente).

Compuestos, elementos o parámetros	UNIDAD	Norma secundaria Cachapoal	Boulay*, Clase 1 (excelente)	Boulay*, Clase 2 (Buena)	D.S. 90
		Concentración Natural			Concentración Máxima
FÍSICOS Y QUÍMICOS					
Conductividad eléctrica	uS/cm	732,4	0	0	N/A
DBO5	mg/L	10,3	5	5	35
Oxígeno disuelto	mg/L	6,8	0	0	N/A
pH		7,5	4.5 - 8.4	4.5 - 8.4	N/A
Sólidos disueltos	mg/L	475,0	25	25	N/A
Sólidos suspendidos totales	mg/L	459,2	500	500	80
INORGÁNICOS					
Nitrógeno total	mg/l	n/a	30	30	50
Amonio	mg/L	0,8	0,05	0,1	N/A
Cianuro	ug/L	5,0	0	0,07	0,2
Cloruro	mg/L	80,0	250	250	N/A
Fluoruro	mg/L	1,6	1	1	1,5
Nitrito	mg/L	0,1	3	3	N/A
Sulfato	mg/L	173,5	0	0	N/A
ORGANICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	10,0	0	0	20
SAAM	mg/L	0,2			N/A
METALES ESENCIALES					
Boro	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,75
Cobre	ug/L	1882,6	0,05	0,2	1
Cromo	ug/L	32,0	0	0,05	N/A
Hierro	mg/L	9,7	5	5	N/A
Manganeso	mg/L	0,5	0,2	0,2	0,3
Molibdeno	mg/L	0,2	0,01	0,01	1

Tabla 151: Parámetros de calidad para cauces (continuación).

Compuestos, elementos o parámetros	UNIDAD	Norma secundaria Cachapoal	Boulay*, Clase 1 (excelente)	Boulay*, Clase 2 (Buena)	D.S. 90
		Concentración Natural			Concentración Máxima
FÍSICOS Y QUÍMICOS					
Níquel	ug/L	42,0	0,07	0,07	0,2
Selenio	ug/L	4,1	0,01	0,01	0,01
Zinc	mg/L	0,4	0	2	3
METALES NO ESENCIALES					
Aluminio	mg/L	9,1	0,05	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,01	0,01	0,5
Cadmio	ug/L	10,2	0	0,003	0,01
Plomo	mg/L	0,2	0	0,01	0,05
MICROBIOLÓGICOS					
Coliformes fecales (NMP)	NMP/10 0ml	1866,7	20	200	1000
Coliformes totales (NMP)	NMP/10 0ml	4666,7	N/A	N/A	N/A

Fuente: Elaboración propia.

*N/A no aplica

* (Boulay, Bouchard, Bulle, Deschrenes, & Margni, 2011)

6.2.2.2.1.2. Sub-sector pecuario⁵⁴

Para el cálculo de la HH del sector pecuario es necesario conocer del requerimiento de agua por animal, así como la información referente al manejo de purines por animal.

Dentro de los supuestos y recomendaciones:

- La información referente a requerimiento hídrico del animal así como para el sistema productivo fue obtenida desde declaraciones de impacto ambiental aceptadas por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), reuniones con la asociaciones de productores (ej. APA-

⁵⁴ Ver anexos: "Fichas de modelación".

ASPROCER) e información de la base de datos ECOBASE⁵⁵ representa a la industria pecuaria a nivel nacional.

- Se asume que grado de tecnificación a nivel nacional es relativamente similar por lo que la información generada sobre balances hídricos del o los procesos analizados es representativa para toda la producción del país independiente del lugar dónde esta se encuentre.
- Los consumos presentados 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 que ocurrió en la cuenca ya fue contabilizado en la parte agrícola y si es importado corresponde a huella indirecta.
- La HH Gris se obtuvo del balance hídrico y correspondió al total de agua descargada por unidad funcional (animal).
- Dado que en el proyecto de norma para el Cachapoal (norma secundaria) no se incluyen parámetros para Nitrógeno total, se tomó como valores referenciales los propuestos por Boulay, 2011 para agua de calidad buena como carga máxima aceptada en el cauce receptor

La información referente a las existencias por tipo animal a nivel comunal se obtuvo desde el Censo Agropecuario (2007). Al igual para los otros productos agropecuarios, existen actualizaciones disponibles en ODEPA o INE, considerando que la información es por región o a nivel nacional, pero está más actualizada.

Información sobre producción de carne (beneficios) se obtuvo directamente de INE- ODEPA, la cual se encuentra a nivel regional y nacional.

⁵⁵ ECOBASE: es una base de datos ambiental 16 categorías de productos en el sector alimentos y vitivinícola de exportación Chileno.

6.2.2.2.2. Sector Energía

La HH del sector es la suma del consumo de agua de las distintas plantas de generación eléctrica.

Para el cálculo de la HH de la energía es necesario conocer el consumo de agua por tipo de central de generación. Dentro de los supuestos y recomendaciones:

- A nivel nacional se realizó un levantamiento de las tecnologías de generación presentes en Chile y cuáles de estas utilizan agua fresca dentro de sus procesos.
- A partir de este análisis se identificó que las centrales hidroeléctricas tanto de embalse como las de pasada son aquellas que generan un mayor consumo de agua (Mekonnen y Grebens-Leenes, 2015). Por lo que solo se consideraron hidroeléctricas para el análisis. Para el caso de las termoeléctricas que utilizan agua, en Chile, estas se encuentran en el norte (sistema SING) por lo que no forman parte del estudio y además utilizan principalmente agua de mar y muy pocas utilizan agua fresca.
- La información de evaporación se obtuvieron directamente desde (CIREN & CNR, 1997), ya que se prefirió información estandarizada.

La Comisión Nacional de energía lleva un catastro detallado de las distintas plantas de generación eléctrica a nivel nacional. En el catastro, actualizado al 2013, está detallado por comuna el número de centrales eléctricas presentes, la generación anual bruta.

6.2.2.2.3. Sector Industrial⁵⁶

La medición de la HH industrial es más complicada que para otros sectores, dada la diversificación de actividades que la constituyen. Para INE, se entiende por actividad industrial aquellas acciones de transformación química y física de materiales y componentes en productos nuevos, ya sea que éstas se efectúen con máquinas o a mano, en una fábrica o en el domicilio, o que los productos se vendan al por mayor o al por menor, incluido el montaje de productos manufacturados, excepto cuando se trate de construcción.

Dentro de los supuestos y recomendaciones:

- La información para la identificación de las empresas más importantes que existe en el país se recogió de la encuesta anual industrial que realiza INE una vez al año a nivel nacional (ENIA). La cobertura de la encuesta

⁵⁶ Ver anexos: Fichas de modelación.

incluye a todos los establecimientos que tengan 10 o más personas ocupadas o que sean considerados multa-unidad.

- 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 y a datos obtenidos de la base de datos 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 dónde la industria se encuentre.

- Solo se consideró como fuente el agua extraída desde fuentes superficiales o subterráneas.

- 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 Río Rapel).

- ECOBASE, es un proyecto generado en Fundación Chile, con el apoyo de Corfo y con la Universidad de la Frontera como co-ejeutor. Este proyecto, busca crear una base de datos para facilitar la medición y reporte de sustentabilidad a nivel de productos a las diferentes empresas del sector alimentario y vitivinícola de exportación. ECOBASE se basa en la metodología de "Análisis de Ciclo de Vida (ACV)", la cual permite identificar los flujos de uso de recursos y los impactos ambientales (como emisiones de gases efecto invernadero o GEI, consumos de agua y energía) asociados a la provisión de productos y servicios.

En calidad de asociados se encuentran: ProChile, Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Agricultura, Salmon Chile, Asoex, Vinos de Chile, Exporlac, Fedefruta, Centro de Envases y Embalajes de Chile, Chile alimentos, Movimiento de Viñateros Independientes de Chile y Asociación Gremial de Mitilicultores de Chile. En base a la información recopilada directamente desde la industria se utilizó la información referente a las entradas y salidas de agua en las distintas empresas para estimar la HH de estas. Desde ECOBASE se obtuvo información principalmente de la Agroindustria (Congelados, Deshidratados, jugos, mermeladas, conserva, aceite, producción de carnes y lácteos, acuicultura y producción de vino). Es Importante mencionar que la información referente a cada uno de los procesos proporcionados por ECOBASE son promedios del sector analizado

y son entregados como caja negra para proteger la confidencialidad de los participantes del proyecto.

Con relación a la producción de la industria forestal, la cual es relevante para Chile, no fue posible obtener información desde las empresas. Por lo que se utilizó información obtenida desde publicaciones científicas relacionadas con análisis de ciclo de vida ya que describen los procesos y los flujos de recursos.

La productividad de cada uno de los rubros industriales se obtuvo desde bases de datos publicadas por INE, y es importante mencionar que para muchos rubros dada su diversificación, los registros de producción están valorizados y no por volumen o unidad producida por lo que no fue posible incluirla en el estudio.

6.2.2.2.4. Sector doméstico⁵⁷

Para el cálculo de la HH del sector se evaluó el sistema de potabilización de aguas, uso y posterior tratamiento de los sectores rural y urbano por separado. Para realizar el modelo de HH para cada uno de los sistemas se utilizaron como fuentes de información documentos publicados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), ESSBIO y otras sanitarias presentes en el país, la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE) y Ministerio de Obras públicas (MOP)

La población abastecida por cada uno de los sectores se estimó en base a las proyecciones de población que realizó INE para el 2014 y los resultados de distribución de la población urbana y rural del último Censo poblacional realizado el año 2002.

El modelo realizado para estimar la HH de la población urbana y rural, es una elaboración propia que se basó principalmente en reuniones con los organismos gubernamentales relacionados con el tema, los cuales proporcionaron los inputs para el modelo, y algunos de los supuestos se obtuvieron desde estudios nacionales relacionados con el tema,(ej. SUBDERE, MOP, SEREMI-salud, SISS, ESSBIO).

La HH Gris se obtuvo del balance hídrico modelado 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

⁵⁷ Ver anexos: Fichas de modelación para la cuenca del Río Rapel.

el cual se comparó con la concentración natural (Normas secundarias para el caso de la Cuenca del Río Rapel y calidades buenas obtenida desde fuentes internacionales (Boulay, Bouchard, Bulle, Deschrenes, & Margni, 2011).

6.2.2.2.5. Sector minero⁵⁸

El cálculo de la HH de la producción minera tomó en cuenta los procesos que típicamente ocurren en los procesos de extracción–concentración – fundición del mineral. Es importante mencionar que cada una de las faenas mineras de las distintas minas a lo largo de Chile puede que tengan procesos específicos que son particulares a cada mina y dependen de la composición mineralógica presente.

La información sobre los procesos y los consumos hídricos se obtuvieron desde tres fuentes, i.e. i) fuentes oficiales, ii) Publicaciones científicas y iii) tesis de grado.

Toda la información referente a la producción de los diferentes minerales por mina- región – nacional se obtuvo desde fuentes oficiales (COCHILCO).

6.2.2.3. Comparación entre evapotranspiración potencial (ETp) con la evapotranspiración potencial ajustada (ETpa) (Requerimiento hídrico).

La evapotranspiración potencial, como ya se ha mencionado en este estudio es la estimación de la cantidad máxima que un cultivo puede evapotranspirar bajo condiciones climáticas específicas y con completa disponibilidad hídrica. Este valor puede ser ajustado utilizando distintos modelos. Para ajustar la evapotranspiración se utilizó el modelo de Doorenbos y Kassam (1979), propuesto por Estudio FAO: Riego y Drenaje Nº 33 (Doorenbos y Kassam, 1979), donde mediante una ecuación sencilla se relaciona la disminución relativa del rendimiento con la disminución relativa correspondiente en la evapotranspiración (ET).

La información necesaria para alimentar el modelo se obtuvo desde distintas fuentes (Ver 6.2.2.3 Información requerida para estimar las HH de los distintos sectores). Las principales brechas para utilizar este modelo fue:

⁵⁸ Ver anexos: “Fichas de modelación”.

- La obtención de los rendimientos potenciales no están definidos por una sola fuente, por lo que ni definidos para las condiciones específicas de cada región
- En algunos casos el rendimiento potencial publicado fue más alto que el rendimiento real lo que implicó que la evapotranspiración aumentara.
- Rendimiento anuales reales se tomaron desde distintos años en ton/ha. Para el caso de las especies hortícolas como son el choclo fresco, las lechugas, alcachofas, etc., estas son contabilizadas en los catastros por unidades y no por el peso, por lo que no se pudieron incluir en la comparación
- La producción vitivinícola no pudo ser considerada, ya que no existen catastros de rendimientos reales oficiales y potenciales.
- Este modelo no se puede aplicar para especies forestales, y algo parecido ocurre con las especies frutales. Las especies frutales y forestales son más complejas que las especies vegetales anuales, por lo que FAO recomienda modelos a su vez más complejos (Aquacrop).
- Los coeficientes de estrés (ky) utilizados son aquellos calculados por FAO para algunas especies, los que se complementaron con los coeficientes presentes en la BBDD Climwat. En el caso de que el ky no existiese, como por ejemplo los frutales, se les asignó el ky de la especie más cercana ya que no hay estudios que entreguen esa información más ajustada.
- Para el caso de los forestales no se aplicó este ajuste ya que como se mencionó el modelo no fue hecho para estas especies.
- También es importante mencionar que un correcto uso de este modelo requiere evaluar cuando durante el desarrollo de la planta ocurre la disminución en la disponibilidad de agua, ya que la producción se ve afectada de manera distinta a lo largo de su desarrollo, y por lo que se requiere aplicar diferentes ky a lo largo del periodo de crecimiento. Esto no fue posible ya que no hay información suficiente para llevar a cabo este análisis, por ello se evaluó el ky promedio para todas las etapas del desarrollo.

En la siguiente tabla se pueden ver porcentualmente cuanto disminuyó o aumentó la evapotranspiración.

Tabla 152: Variación entre la evapotranspiración potencial y ajustada.

Frutales	% de variación	Cereales	% de variación	Cultivos industriales	% de variación	Hortalizas	% de variación
Vid de mesa	-24%	Trigo	-21%	Papa	+8%	Tomate Fresco	-26%
Kiwi	-24%	Avena	-66%	Tomate Industrial	+3%	Cebolla de guarda	-27%
Manzana	+29%	Maíz grano	-19%			Ajo	-14%
Perales	+67%	Trigo seco	+8%			Pimiento	-19%
Cerezas	-14%					Zapallo	-22%
Palta	+63%					Melón	-30%
Olivo	-79%					Sandía	-23%
Nogal	-26%						
Ciruela	+85%						
Duraznos	-24%						
Almendro	-52%						
Arándano	-15%						
TOTAL							
Variación promedio							

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de los siguientes cultivos: manzana, peras, paltos, ciruelas, trigo, papas, tomate industrial, el rendimiento real fue mayor que el potencial de la literatura. Sin embargo, al considerar el agua requerida para el sector agroforestal a nivel de la cuenca completa, sólo resulta una variación de un 2% en el consumo hídrico, según muestra la Tabla 153.

Tabla 153: Comparación entre requerimiento hídrico total y potencial.

	Requerimiento Hídrico m ³ /cuenca			Total
	Viñas	Agrícola	Forestal	
ETp	199,752,103	1,367,771,971	635,791,544	2,203,315,617
ETpa	199,752,103	1,334,342,446	635,791,544	2,169,886,099
Diferencia	0%	-4%	0%	-2%

Fuente: Elaboración propia.

Mediante el ajuste con el modelo de Doorenbos y Kassam (1979) en la mayoría de los cultivos analizados disminuye en alrededor un 20 % la ETp. Ocurre el caso en que por el contrario esta aumenta ya que las producciones potenciales encontradas en la literatura son menores a las registradas por ODEPA. Esto claramente debe ser considerado como una fuente de error que debiese ser revisada.

Al comparar las huellas el ajuste que se realizó fue en base a la evapotranspiración total, por lo que estos se contrastaron con las precipitaciones efectivas totales de un año promedio.

Tabla 154: Comparación entre Huellas Hídricas verde y azul de acuerdo a los datos

	HH verde (MM m ³)				HH azul (MM m ³)			
	Viñas	Agrícola	Forestal	Total	Viñas	Agrícola	Forestal	Total
ETp	49.7	193.6	151.2	394.6	150.0	1174.2	0.0	1324.2
ETpa	49.7	203,7	151.2	404,7	150.0	1130.6	0.0	1280
Diferencia				+3%				-3%

Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, esta comparación entre ETp y ETpa muestra que existe una diferencia, sin embargo, no hay datos suficientes publicados para que se aplique este análisis a todos los cultivos que se producen en una cuenca, por lo que los resultados son insuficientes y poco confiables.

También hay que considerar que, en ambos casos, estas representan una estimación de lo que ocurre en la realidad, por lo que solo contrastando con datos tomado desde estudios reales es que se lograría conocer cuánto es la magnitud del error de estas estimaciones. Además la mayoría de los estudios desarrollados hasta hoy utilizan valores de ETp para desarrollar sus estimaciones, lo que los hace de cierta forma comparables.

Dado que no existe la certeza de la magnitud del error de ambas estimaciones, se recomienda que se utilice la ETp considerando siempre en el análisis que este valor corresponde al máximo que podría estar evapotranspirando un cultivo por hectárea y es una metodología que ha sido utilizada en otros estudios de balance hídrico siempre considerando que este valor posee un error.

6.2.2.4. Resultados de Huella Hídrica

Los resultados obtenidos para la cuenca piloto, pueden resumirse en la siguiente tabla:

Tabla 155: Huella Hídrica Azul, Verde y Gris anual de la cuenca piloto (millones de m³)

Huella Hídrica Piloto, Cuenca Rapel	Huella Hídrica Azul (MM de m³)		Huella Hídrica Verde (MM de m³)		Huella Hídrica Gris (MM de m³)	
Sector	Piloto Cuenca Rapel		Piloto Cuenca Rapel		Piloto Cuenca Rapel	
Doméstico	11	1%	-	0%	216	33%
Silvoagropecuario	1331	93%	409	100%	15	2%
Minería	77	5%	-	0%	405	62%
Industrial	4.57	0%	-	0%	13	2%
Energía	0.25	0%	-	0%	-	0%
Total Cuenca	1,424	100%	409	100%	650,70	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 156: Requerimiento mínimo de HH azul verde y gris (m³/s) para la cuenca del río Rapel.

Huella Hídrica Piloto, Cuenca Rapel	Huella Hídrica Azul (m ³ /s)	Huella Hídrica Verde (m ³ /s)	Huella Hídrica Gris(m ³ /s)
Sector	Piloto Cuenca Rapel		
Doméstico	0,4	-	6,9
Silvoagropecuario	42,5	13	<1
Minería	2,5	-	12,9
Industrial	<1	-	<1
Energía	<1	-	-
Total Cuenca	45,2	13	20,6

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.4.1. Huella Hídrica Azul (HH Azul)

El 100 % de la HH azul se desglosa entre los sectores silvoagropecuario (93%), Minero (6%), doméstico (1%) e Industrial energía (<1%). En volumen, la presión que ejercen estos sectores sobre el recurso corresponde a 1.424 millones de m³ anuales (Tabla 155). El requerimiento mínimo de agua m³/s por sector se puede ver en la tabla 139, siendo a nivel cuenca de alrededor de los 45,2 m³/s.

Tabla 157: Aporte de cada uno de los tipos de cultivos a la HH azul total del Sector

Cuenca	Viñas	Frutales	Cereales secos	Cereales Riego	Industriales	Hortalizas	Forestales	Sector agroforestal
HH azul Cuenca MM m ³	150	671	-	404	34	65	-	1324
% HH Azul	11%	51%	0%	31%	3%	5%	0%	100%

Fuente: Elaboración propia.

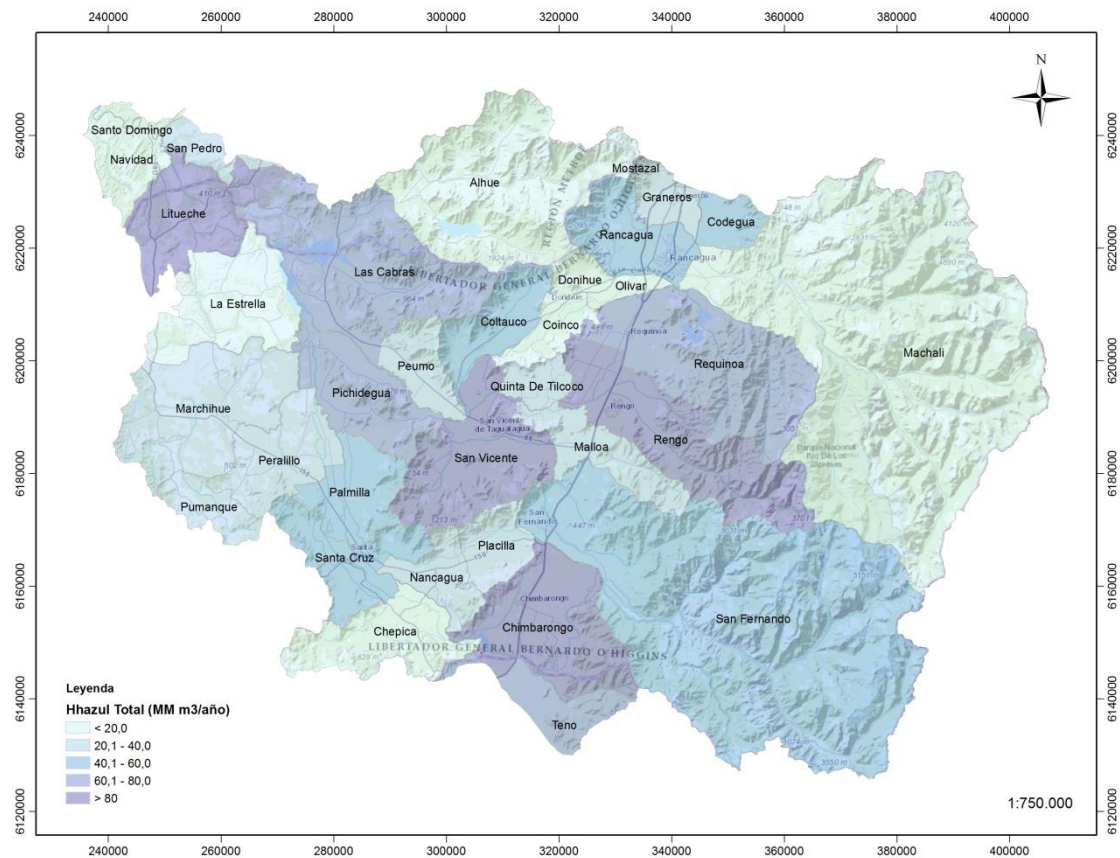
El sector minero aparece en esta región como un usuario importante. El consumo de agua de la producción hidroeléctrica se relaciona directamente con la superficie del espejo de agua de los reservorios o los pondajes que tengan.

Tabla 158: Comunas que aportan el 70 % de la HH azul.

Comuna	Sub-cuenca	% HH azul
Rengo	Rio Cachapoal- Rio Claro de Rengo	7%
Litueche	Rio Rapel	7%
San Vicente	Rio Cachapoal- Rio Claro de Rengo- Estero Zamorano	7%
Machalí	Rio Cachapoal	6%
Chimbarongo	Rio Tinguiririca -Estero Chimbarongo	6%
Requinoa	Rio Cachapoal	5%
Pichidegua	Rio Cachapoal	5%
Las Cabras	Rio Cachapoal	4%
San Fernando	Estero Zamorano- Rio Tinguiririca	4%
Palmilla	Rio Tinguiririca -Estero Chimbarongo	4%
Rancagua	Rio Cachapoal	3%
Santa cruz	Rio Tinguiririca	3%
Codegua	Rio Cachapoal	3%
Coltauco	Rio Cachapoal	3%
Peumo	Rio Cachapoal	3%
Otras comunas	Diferentes sub-cuencas	26%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 47: Mapa de Huella Hídrica Azul Total de la cuenca de Río Rapel



Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.4.2. Huella Verde (HH verde)

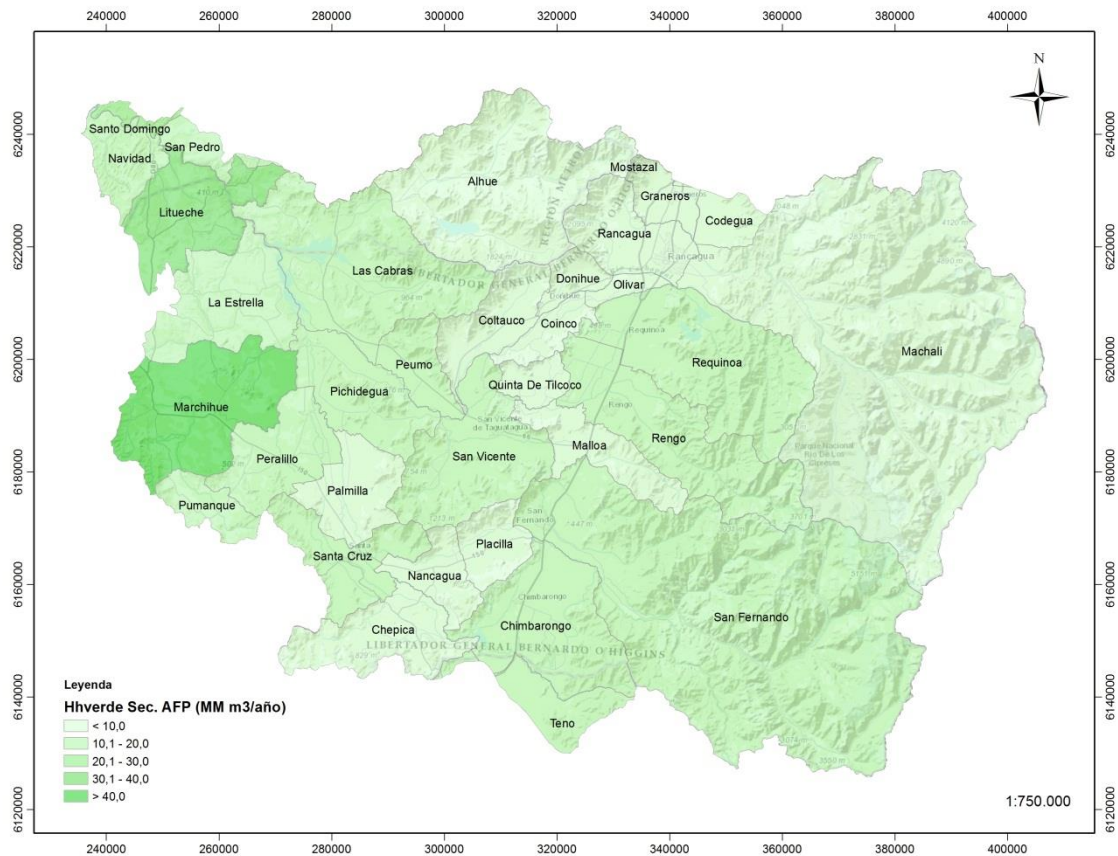
La HH verde es puede ser en un 100% atribuida al Sector Silvoagropecuario.

Tabla 159: Aporte de cada uno de los tipos de cultivos a la HH verde total del Sector Agroforestal.

Cuenca	Viñas	Fruta les	Ce real seca no	Cerea les Riego	Indus tria les	Hort ali zas	Fore sta les	Sector agrofores tal
HH azul Cuenca MM m ³	151	686	-	328	34	61	-	1.261
% HH Verde	12%	38%	1%	7%	1%	2%	40%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 48: Mapa de Huella Hídrica Verde Total de la cuenca del Río Rapel

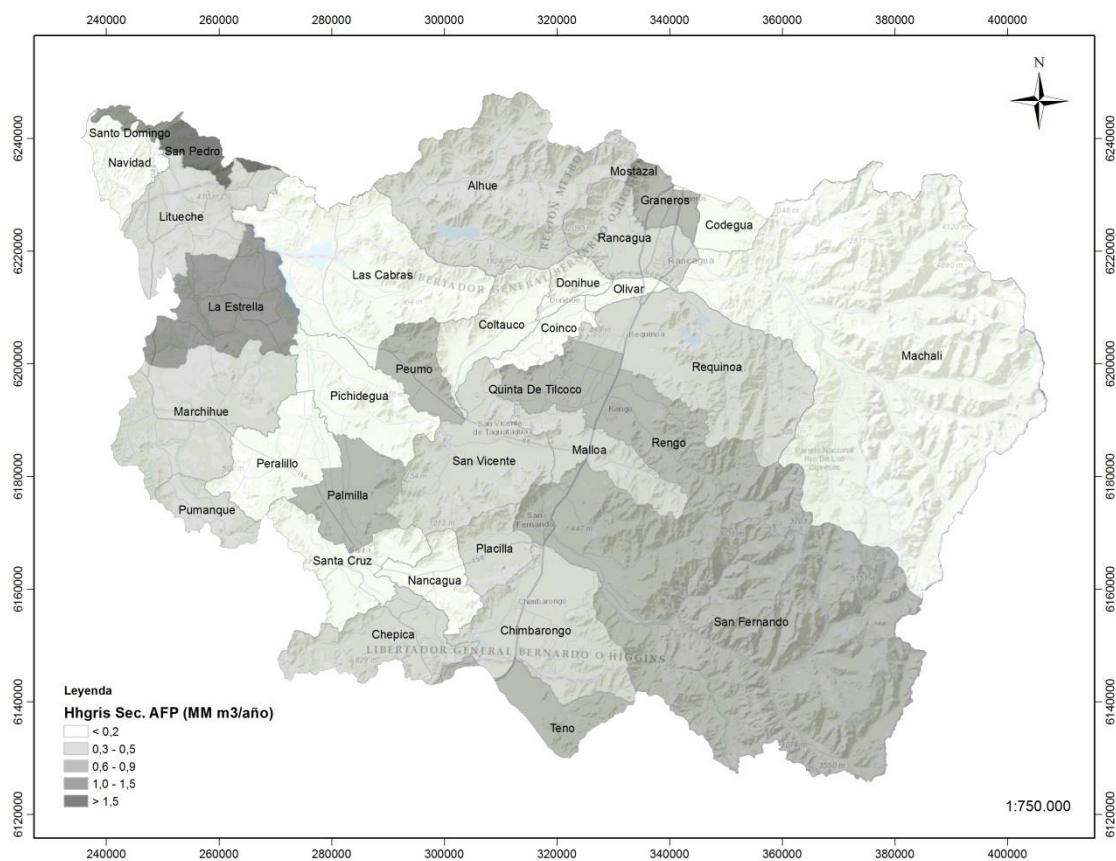


Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.4.3. Huella Gris

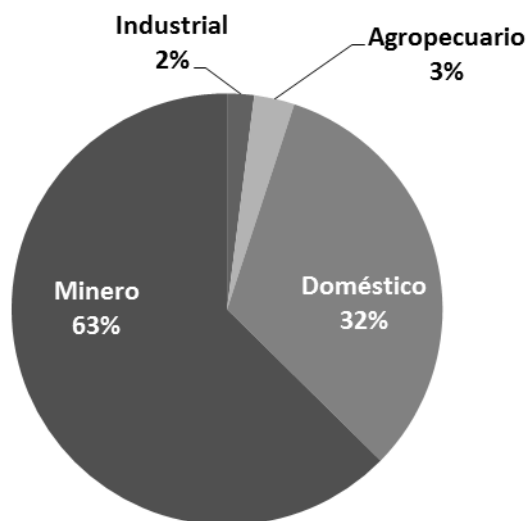
Por el contrario en la HH gris, un 62% se debe al sector minero, 32% al sector doméstico y un 5% a la Industria y el sector agropecuario.

Figura 49 Huella Hídrica Gris Total de la cuenca del Rio Rapel



Fuente: Elaboración propia.

Figura 50: Aporte de los diferentes sectores a la HH Gris total a nivel cuenca



Fuente: elaboración propia.

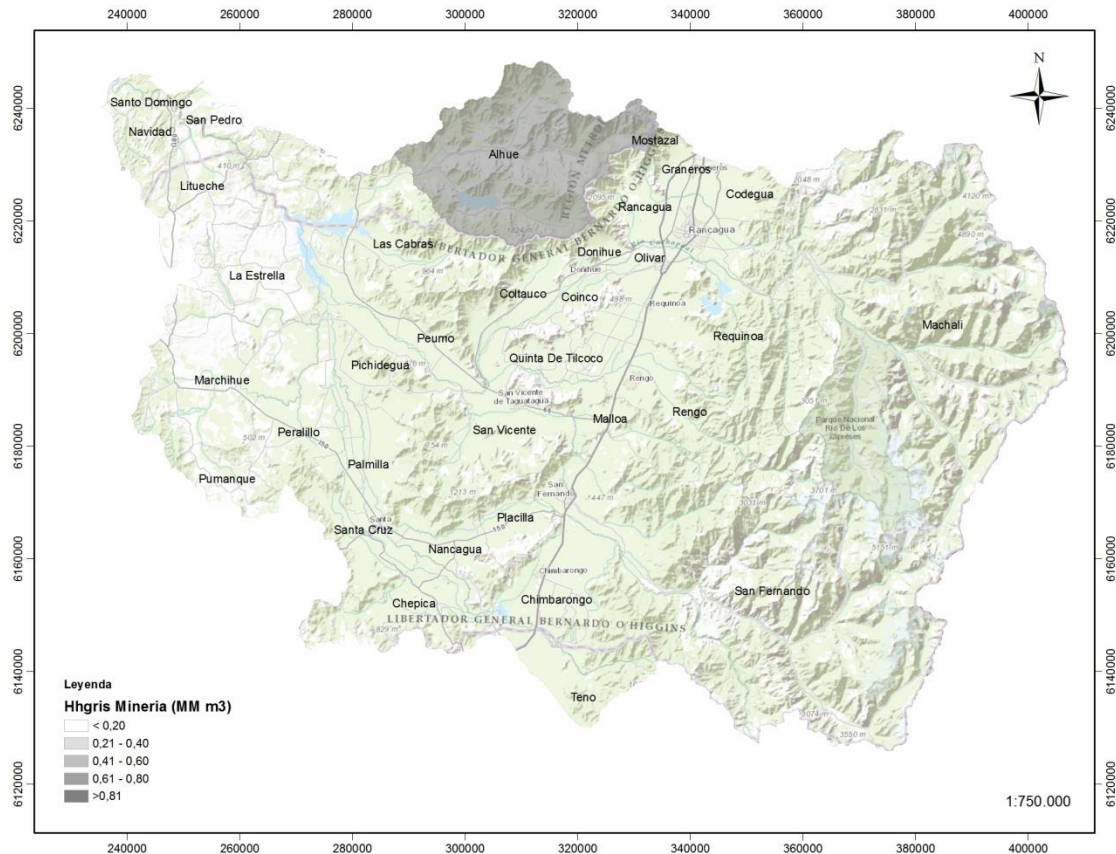
6.2.2.4.3.1. Huella Gris en la minería

La HH gris de la minería fue estimada en base a la información recopilada de la tesis publicada de Garcés (2011), esta es una de los pocos estudios de HH que se han realizado en el país. La tesis se desarrolló en base a datos de años anteriores al 2011 los cuales fueron entregados por la minera.

Cabe destacar que la mina el teniente, es una de las pocas explotaciones mineras en Chile que descargan a cauces superficiales. La calidad del efluente en este caso debe cumplir con el Decreto Supremo 80, dado que las características especiales del efluente, magnitud del caudal y por los usos que tiene dicho caudal aguas abajo el punto de descarga (Comision Chilena del Cobre, 2008). Esta normativa regula la emisión de Molibdeno y Sulfatos a efluentes descargados desde tranques de relave al Estero Carén (Límites máximos para Molibdeno (1,6 mg/l) y Sulfatos (2000 mg/l)).

La extracción y descarga ocurren en diferentes sectores de la cuenca. No hay publicaciones sobre el volumen de las descargas, pero sí en la página web de CODELCO, se publica que estas descargas cumplen o no con el decreto. Es importante que se tome en consideración que los volúmenes de descarga desde el relave al Estero Carén han sido estimados de acuerdo a lo descrito en la publicación citada.

Figura 51: Huella Gris de la Minería

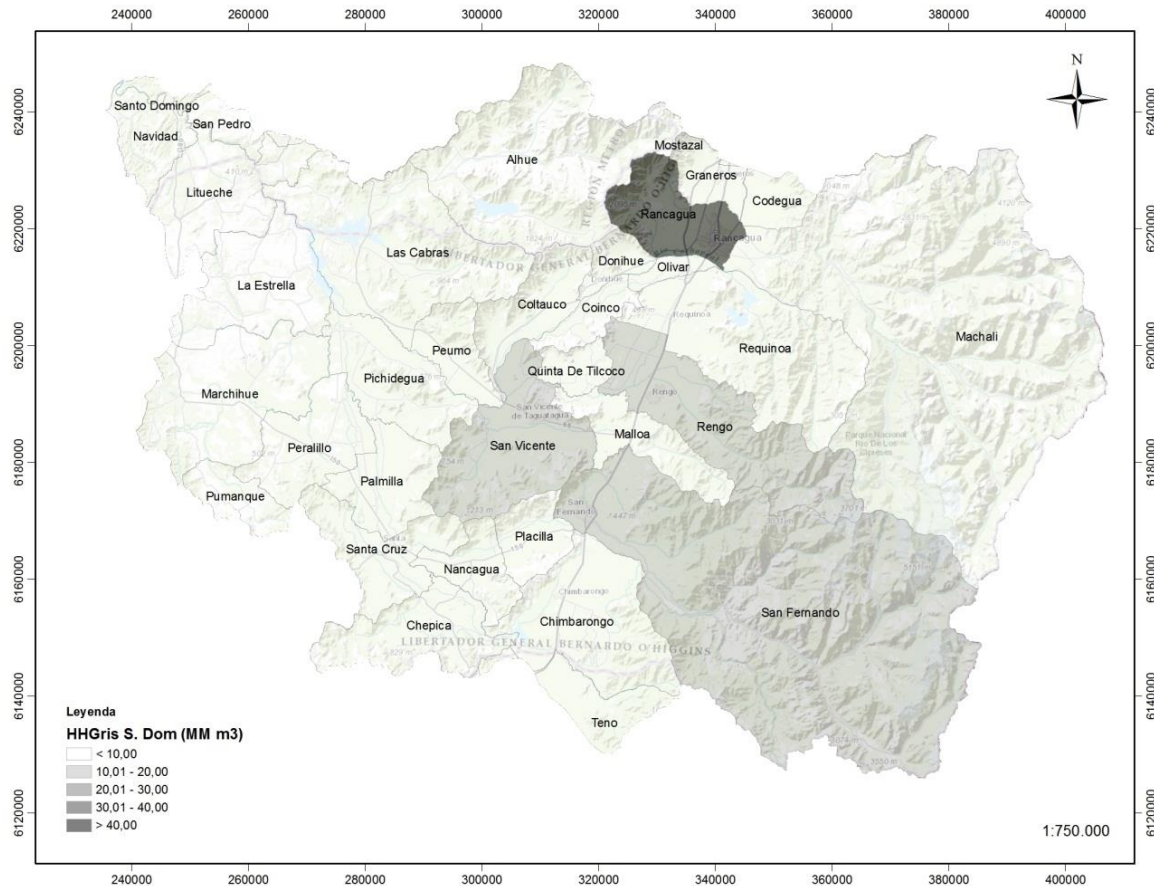


Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.4.3.2. Huella Gris en el sector doméstico

Como ya se mencionó, el modelo realizado para estimar los volúmenes y calidades de descargas del sector doméstico fue desarrollado a partir de conversaciones con los distintos organismos relacionados con el agua potable urbana y rural. Es importante recalcar que el modelo considera datos estimados basados en antecedentes reales, sin embargo, esta estimación podría mejorar en el tiempo, recopilando datos más precisos en cada lugar.

Figura 52: Huella Hídrica Gris del sector doméstico



Fuente: Elaboración propia.

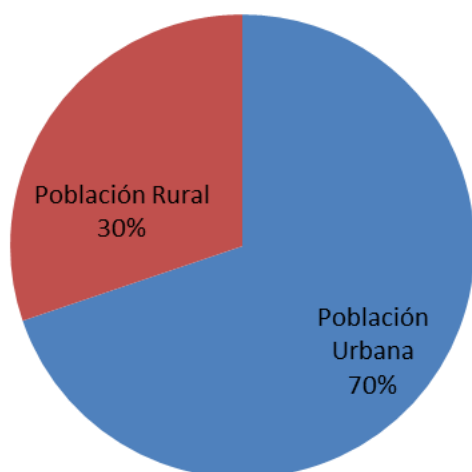
Un antecedente importante de recalcar en términos de huella gris doméstica en la Cuenca del Río Rapel, es que el sector rural representa el 30% de los habitantes versus el 70% asentado en el sector urbano (Figura 53). Sin embargo, tal como se observa en la

Fuente: Elaboración propia en base a datos estadísticos.

Figura 54, el 64% de la huella gris doméstica es generado por el sector rural.

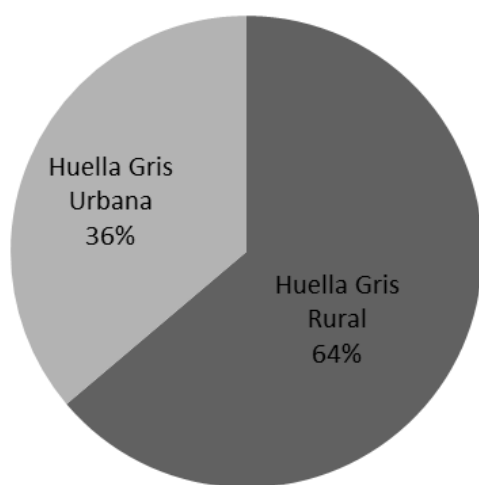
Si bien las descargas de residuos líquidos domiciliarios en el sector rural son por lo general de bajos caudales, el efecto acumulado del conjunto de poblados rurales que influyen en la cuenca, hacen que el indicador de huella gris sea mayor.

Figura 53. Distribución poblacional en la cuenca del Río Rapel



Fuente: Elaboración propia en base a datos estadísticos.

Figura 54. HH Gris doméstica rural v/s urbana en la cuenca del Río Rapel.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 160: Principales aportes por comuna a la HH gris doméstica.

Comuna	HH gris Rural MM m³	HH gris Urbana MM m³	HH gris Total MM m³	Aporte a la HH gris Total de la Cuenca	Principal fuente de HH gris
Rancagua	32,8	23,7	56,5	27%	Rural
San Vicente	8,3	3,7	12,1	6%	Rural
Rengo	8,3	5,7	14,0	7%	Rural
Teno	7,9	1,1	9,0	4%	Rural
Chimbarongo	6,3	2,6	8,9	4%	Rural
Santa Cruz	6,1	3,0	9,1	4%	Rural
Las Cabras	5,8	1,3	7,0	3%	Rural
San Fernando	5,6	8,5	14,1	7%	Urbano
Pichidegua	5,4	0,8	6,1	3%	Rural
Requinoa	5,0	1,9	6,9	3%	Rural
Palmilla	3,6	0,3	4,0	2%	Rural
San Pedro	3,1	0,0	3,1	1%	Rural
Chépica	2,9	0,9	3,8	2%	Rural
Peumo	2,7	1,0	3,7	2%	Rural
Nancagua	2,7	1,5	4,2	2%	Rural
Graneros	2,5	3,5	6,0	3%	Urbano
Resto	25,7	16,9	42,6	20%	Rural
Total Cuenca	134,7	76,4	211,1		

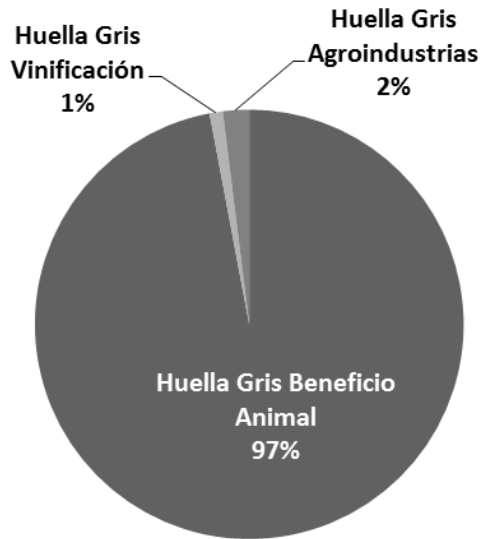
Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.4.3.3. Huella Gris en la Industria

Para el caso de las aguas descargadas de la industria, se asumió que todas cumplían con el decreto 90. El aporte relativo de la industria en la calidad de agua de los cauces superficiales no es significativo con respecto al impacto que pudiesen generar otros sectores como el doméstico y minero. El efecto acumulado de estas actividades muestra que aquellas que generan el mayor impacto son las faenadoras de carne y agroindustria por sobre otros rubros industriales.

Considerando que, en esta estimación se asumió que las aguas tratadas eran descargadas a los cauces superficiales, independiente que gran parte de ellas sea usada para riego de cultivos. Se asumió esto ya que no existe un catastro de cuánta agua es la que se destina efectivamente para riego y cuanto infiltra a la napa. El Servicio Agrícola y Ganadero es el que entrega estos permisos.

Figura 55. HH Gris doméstica rural industrial



Fuente: Elaboración propia.

6.2.3. Fase 3: Análisis de Sustentabilidad de la Huella Hídrica

6.2.3.1. Antecedentes del Territorio

Como primer paso en el análisis de sustentabilidad se requirió identificar cuáles son los antecedentes del territorio, ya sean ambientales, sociales o económicos que permitan evaluar el estado de este.

En este piloto se evaluaron los siguientes indicadores los que fueron seleccionados ya que existía información para todas las regiones a distintas unidades territoriales.

Tabla 161 : Principales Comunas que aportan a la HH gris doméstica (continúa en la página siguiente).

Tipo	Antecedente	Fuente información	Nivel temporal	Nivel espacial	Indicador
A	Contaminación difusa	DGA	Mensual	Estaciones monitoreo	Rangos propuestos por la CONAMA
A	Presencia Áreas de protección	Ministerio de Medio Ambiente	n.a	Regional	Área de protección vs área cuenca
A	Modificaciones hidromorfológicas	Municipalidades	Anual	Comuna	Numero por Comuna
A	Descargas de residuos líquidos	SISS	Anual	Comuna	Número por Comuna
A	Extracciones de Agua	DGA	Anual	Comuna	Numero 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

Tabla 162: Principales Comunas que aportan a la HH gris doméstica (continuación).

Tipo	Antecedente	Fuente información	Nivel temporal	Nivel espacial	Indicador
S	Distribución población	INE	Censo (10 años)	Comuna	Distribución población
S	Población Rural/Urba na	INE	Censo (10 años)	Comuna	Distribución población
A	Especies en categoría de conservación ⁵⁹	MMA	Anual	Puntos de monitoreo	Distribución población

Fuente: Elaboración propia

Dada la dificultad de comparar diferentes ámbitos con los resultados de HH, se transformaron todos los resultados a una escala común. Para esto de definieron rangos para cada uno de los indicadores seleccionados y para los resultados de HH relevantes.

A los rangos definidos se les asoció un valor único entre cero a cinco, siendo cero =valor nulo; uno=valor bajo; dos=valor medio; tres=valor medio alto; cuatro =valor alto y 5=valor muy alto. Para esta asignación se utilizó el criterio experto.

Los rangos definidos para los resultados de HH de definen en la siguiente tabla:

⁵⁹ 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.

Tabla 163. Rangos propuestos para la evaluación de la HH.

Rango	Valor	Resultados HH *		
		HH azul	HH verde	HH gris
		[MM m ³]	[MM m ³]	[MM m ³]
Sin	0	n.a	n.a	n.a
Bajo	1	< 20	< 10	< 2
Medio	2	20,1-40	10,1-20	2,1-4
Medio Alto	3	40,1-60	20,1-30	4,1-6
Alto	4	60,1-80	30,1-40	6,1-8
Muy Alto	5	>80	>40	>8

*se aplica el mismo rango a todas las HH sectoriales analizadas

Fuente: Elaboración propia

6.2.3.2. Identificación de puntos críticos

A continuación se listan los indicadores seleccionados para la identificación de puntos críticos (Hotspots) en la cuenca del río Rapel.

6.2.3.2.1. Ámbito socio- económico

En base a la caracterización socio- económica (se incluyó empleo dentro del ámbito social) realizada, se definieron tres indicadores sociales relevantes para la cuenca, los que pueden ser contrastados con los resultados de HH y a partir de estos identificar puntos críticos (hotspot) relacionados a factores que pudiesen afectar la disponibilidad física o la calidad del recurso en la cuenca.

Estos indicadores son:

- **Empleos por sector** (agropecuario), entrega información acerca de la dependencia de la población a las actividades de un sector productivo en específico. En este caso se seleccionó para así evaluar el empleo agropecuario ya que las HH Azul del sector es alta en comparación a otros sectores.
- **Acceso población rural a saneamiento**, entrega información relativa al acceso a tratamiento de las aguas servidas.
- **Funcionamiento de las PTA rurales**

Para cada uno de estos se establecieron rangos que determinan zonas que presentan un mayor o menor riesgo en relación a los aspectos sociales

evaluados, que al contrastarlo con los resultados de HH permiten identificar puntos críticos (Hotspots) o zonas vulnerables.

Tabla 164. Variables socio-económicas analizadas para la identificación de puntos críticos (hotspot) y sus rangos de vulnerabilidad

Rango	Valor	Variable Socio-económica		
		Empleo agrícola	Población sin alcantarillado	Ratio PTAS
		[% de empleo Agrícola]	[Personas]	[PTAS ACTIVAS/ TOTAL PTAS]
Sin información	0	0	0	n/a
Bajo	1	hasta 20%	hasta 1999	0,81 a 1
Medio	2	21% a 40%	2000 a 3999	0,61 a 0,8
Medio Alto	3	41% a 60%	4000 a 5999	0,41 a 0,6
Alto	4	61% a 80%	6000 a 7999	0,21 a 0,4
Muy Alto	5	Más de 80%	8000 o más	0 a 0,2

Fuente: Elaboración propia

6.2.3.2.2. Ámbito económico

Para el análisis económico se evaluó el aporte de cada uno de los sectores al PIB de la región. Para ello se determinó la relación del m³ utilizado por los sectores y el valor producido en pesos (\$).

Rango	Valor	Variable Socio-económica			
		Aporte a la economía Sector Agropecuario	Aporte a la economía Sector Industrial	Aporte a la economía Sector Agua y Energía	Aporte a la economía Sector Minero
		Valor aparente \$ generado/ m ³ HH azul	Valor aparente \$ generado/ m ³ HH azul	Valor aparente \$ generado/ m ³ HH azul	Valor aparente \$ generado/ m ³ HH azul
Sin información	-	\$439,5	\$0,132	\$0,94	\$15.004

Fuente: elaboración propia

La principal limitación es la escala de información disponible y el grado de agregación en que esta se encuentra.

6.2.3.2.3. **Ámbito ambiental**

El ámbito ambiental está ligado íntimamente al territorio, por lo que a través de la caracterización del mismo se identificaron las zonas que presentan potenciales áreas de impacto (positivo y/o negativo) relacionadas a la disponibilidad hídrica de la cuenca.

Los indicadores que se seleccionaron para la identificación de puntos críticos (hotspot) del ámbito ambiental son:

- **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 tomar acciones de mejora, conservación y de desarrollo de proyectos con las comunidades que integren el manejo de las áreas protegidas. Los *sitios de valor ecológico* son aquellos que no cuentan con protección oficial pero que por su valor eco sistémico 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).
- Otra información que debe ser incluida en el análisis de oportunidades territoriales para la sustentabilidad de una cuenca, es la ubicación espacial de las **especies en categoría de conservación** con el fin de proteger su hábitat. Con ello, se podrían identificar sitios prioritarios para la conservación en base a, por ejemplo, la distribución de la riqueza de flora, mamíferos, aves, reptiles y anfibios.
- **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 producen un aumento del depósito de sedimentos (Kellogg y Zhou, 2014).

- **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 (O_2 , CO_2 , N_2 , CH_4), 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 90/2001, DS 80/2006 y DS 46/2002 de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).
- **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.
- **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.

Para todos los criterios definidos, se establecieron rangos que determinan zonas de mayor o menor riesgo ambiental, que al sumarlos crean puntos críticos (Hotspot) o zonas vulnerables por presentar problemas ambientales o presencia de zonas a conservar. A los rangos se les asoció un valor único de 1 a 5 y así trabajar con la intersección de zonas.

El impacto analizado sobre la cuenca, por las áreas con **protección oficial**, fue calculado en base al porcentaje de superficie que estas cubren con respecto a cada comuna. Los rangos para definir la vulnerabilidad por comuna, se definieron en 5 tramos iguales, desde Sin impacto a Muy alto impacto, siendo el primero aquellas zonas donde no hay presencia de áreas protegidas y el último zonas donde el mayor porcentaje de cobertura corresponde a áreas protegidas.

En el caso de las **especies en categoría de conservación** se evaluó su presencia o ausencia, es decir, al existir al menos una especie en algún estado de conservación, se considera una comuna de muy alto riesgo.

Las descargas de residuos líquidos fueron analizadas en base a los puntos de descarga por DS90 y DS46, donde el rango se definió según la cantidad de puntos de descarga existentes por comuna. Donde las zonas de muy alto riesgo son aquellas que presentan más de 20 puntos.

Para evaluar la presión directa sobre el recurso hídrico en la zona, se analizaron las **extracciones de agua dulce**, es decir, el porcentaje de derechos de agua de uso consuntivo tanto superficial como subterráneo otorgados en m³/s. Las comunas con mayor vulnerabilidad ambiental son las que presentan entre un 80 a 100% de los derechos otorgados.

La **contaminación difusa** fue evaluada según las calidades de agua superficial, analizando los parámetros: oxígeno disuelto, cobre, fierro, arsénico y cloruro. Los datos considerados fueron los medidos por las estaciones fluviométricas de la DGA entre los años 2004 a 2015. Para definir los rangos se utilizó la "Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas" que por cada parámetro clasifica las aguas superficiales en 5 clases:

- **Excepcional:** Indica un agua de mejor calidad que la Clase 1, que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte única del patrimonio ambiental de la República. Esta calidad es adecuada también para la conservación de las comunidades acuáticas y demás usos definidos cuyos requerimientos de calidad sean inferiores a esta Clase.
- **Clase 1:** Muy buena calidad. Indica un agua adecuada para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las Clases 2 y 3.
- **Clase 2:** Buena calidad. Indica un agua adecuada para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la Clase 3.
- **Clase 3:** Regular calidad. Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido.
- **Clase 4:** Mala calidad. Indica un agua no adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas o su aprovechamiento para los usos prioritarios sin el tratamiento adecuado.

Es importante mencionar, que se consideró esta metodología ya que actualmente no existen normas secundarias para todos los sectores de la región, sin embargo, se recomienda utilizar la normativa vigente en caso de existir.

Finalmente, la vulnerabilidad que causan las **modificaciones hidromorfológicas** en el territorio se definió según la cantidad de infraestructuras que causan modificaciones en el cauce y que pueden poner en riesgo la disponibilidad hídrica (extracciones de áridos y embalses). En la Tabla 165 se muestran los rangos y los valores utilizados para cada variable utilizada en la identificación de puntos críticos (Hotspots) ambientales.

Tabla 165. Variables ambientales analizadas para la identificación de puntos críticos (hotspots) y sus rangos de vulnerabilidad

Rango	Variable Ambiental						Modificacio nes hidromorfol ógicas
	Valor	Áreas protegidas	Especies en categoría de conservación	Descarga de residuos líquidos	Extracciones	Contaminación difusa*	
		[% de superficie cubierta]	[Presencia / Ausencia]	[Cantidad de puntos de descarga]	[% De derechos consuntivos otorgados]		
Sin información	0	0	0	0	0	0	0
Bajo	1	0-20	No aplica	0-5	0-20	Excepción	0-11
Medio	2	20-40	No aplica	5-10	20-40	Clase 1	11-15
Medio Alto	3	40-60	No aplica	10-15	40-60	Clase 2	15-19
Alto	4	60-80	No aplica	15-20	60-80	Clase 3	19-23
Muy Alto	5	80-100	>1	>20	80-100	Clase 4	>23

*Contaminación difusa se realizó en base a "Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas" para los parámetros oxígeno disuelto, cobre, fierro, arsénico y cloruro.

Fuente: Elaboración propia

Toda la información fue analizada mediante sistemas de información geográfica (SIG) con el fin de visualizar fácilmente las comunas puntos críticos (Hotspot), es decir aquellas que presentaban un mayor valor de vulnerabilidad.

Tabla 166. Resultado de la evaluación de los indicadores ambientales-sociales y económicos evaluados de acuerdo a los rangos descritos (continúa en la página siguiente).

	Indicadores HH						Indicadores socioeconómicos			Indicadores ambientales									
Comuna	HHA_TO	HHV_TO	HHG_TO	HHA_	HHG_DR	HHG_DU	PTAS_ra tio	PobR_no alcant	Empl. Agr	Pecesnat	Descarg	Der_con	ModifHid	Superfic	As_comu	Odis_co	Cloruro_	Cu_com	Fe_comu
Rancagua	3	1	5	3	5	5	1,00	5	1	5	1	4	2	4	1	3	1	3	5
San Fernando	3	1	5	3	3	5	0,00	4	2	5	5	1	3	4	4	3	1	3	3
Rengo	5	1	5	5	5	3	0,27	5	3	5	2	4	1	2	1	1	1	3	1
Machalí	5	1	4	1	1	3	1,00	1	2	0	2	5	5	4	3	1	1	3	5
San Vicente de Tagua Tagua	5	1	5	5	5	2	0,57	5	3	0	2	0	3	3	1	1	1	3	2
Requinoa	4	1	4	4	3	1	1,00	3	3	0	3	2	2	5	1	5	1	3	1
Las Cabras	4	1	4	4	3	1	1,00	4	4	0	1	4	1	5	1	1	1	3	3
Chimbarongo	5	1	5	5	4	2	0,40	4	4	0	2	2	1	4	1	3	1	0	1
Santa Cruz	3	1	5	3	4	2	0,76	4	2	5	2	1	2	3	0	0	0	0	0
Pichidegua	4	1	4	4	3	1	0,45	4	3	5	1	3	1	3	0	0	0	0	0
Palmilla	3	1	3	3	2	1	0,40	3	4	0	1	0	2	3	1	1	1	3	3
Doñihue	1	1	2	1	1	2	0,25	1	1	5	2	0	1	5	1	1	1	3	3
Teno	4	1	5	4	4	1	0,00	5	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Coltauco	3	1	4	2	2	1	0,82	2	4	0	1	2	1	5	0	0	0	0	0
Navidad	1	1	2	1	1	1	1,00	2	1	5	0	2	0	3	1	1	1	3	1
Peumo	2	1	3	2	2	1	0,40	2	3	0	1	4	1	5	0	0	0	0	0
Graneros	2	1	4	2	2	2	1,00	2	4	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0
Alhué	1	1	5	1	1	1	0,00	1	1	0	1	1	0	5	1	1	1	3	1
Codegua	3	1	2	3	2	1	1,00	2	3	0	0	2	0	5	0	0	0	0	0
Marchihue	2	3	2	2	2	1	0,56	2	3	0	0	2	4	1	0	0	0	0	0
Placilla	2	1	2	2	2	1	0,67	2	5	0	1	1	0	4	0	0	0	0	0

Reporte Huella Hídrica en Chile: Sectores prioritarios de la cuenca del Río Rapel

	Indicadores HH						Indicadores socioeconómicos			Indicadores ambientales									
Nancagua	2	1	3	2	2	1	0,50	2	3	0	1	1	1	4	0	0	0	0	0
Litueche	1	2	1	1	1	1	0,40	2	1	5	0	4	1	2	0	1	0	0	0
Peralillo	2	1	2	2	1	1	0,67	2	2	0	2	2	1	2	0	0	0	0	0
Mostazal	2	1	3	2	1	2	0,50	2	2	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
Comuna	HHA_TOT	HHV_TOT	HHG_TOT	HHA_	HHG_DR	HHG_DU	PTAS_ratio	PobR_no alcant	Empl. Agr	Pecesnat	Descarga	Der_cons	ModifHid_	Superfic_	As_comu	Odis_com	Cloruro_1	Cu_comu	Fe_comu
Malloa	2	1	1	2	1	1	1,00	1	3	0	2	1	1	3	0	0	0	0	0
Quinta de Tilcoco	2	1	3	2	2	1	1,00	2	3	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0
San Pedro	2	1	4	2	2	0	0,67	3	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0
Coinco	1	1	1	1	1	1	1,00	1	2	0	1	1	1	5	0	0	0	0	0
Olivar	1	1	2	1	1	1	1,00	1	3	0	1	1	3	1	0	0	0	0	0
La Estrella	1	1	2	1	1	1	0,00	1	2	5	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Chepica	1	1	3	1	2	1	0,00	0	0	0	1	1	1	5	0	0	0	0	0
Santo Domingo	1	2	2	1	1	1	0,00	1	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Pumanque	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Claves para cada uno de los indicadores

Cu_comun15	Cobre
Odis_com14	Oxígeno disuelto
Fe_comun14	Fierro
As_comun13	Arsénico
Cloruro_14	Cloruro
HHA_TOT	HH azul total
HHV_TOT	HH verde total
HHG_TOT	HH gris total
HHA_AFP	HH azul sect. silvoagropecuario
HHG_DR	HH gris sect. doméstico rural
HHG_DU	HH gris sect. doméstico urbano
Ptas_ratio	Ptas activas vs ptas totales
PobR_noalcant	Población rural sin alcantarillado
Empl. Agr	empleo agrícola
Superfic_3	Área protegidas
Pecesnat_3	Peces Nativos
Der_cons_4	Extracciones
Descarga_3	Descarga de RILES
ModifHid_3	Modificaciones Hidromorfológicas

6.2.3.3. Evaluación de la Huella Hídrica en el territorio

Para la identificación de puntos críticos, primero se evaluaron los índices de sustentabilidad propuestos por el WFN. Para la obtención de estos indicadores, se utilizó información oficial. Dado que la escala geográfica de la información oficial está sólo se pudo analizar a nivel cuenca y en los casos que la información estuviera disponible por sectores dentro de la cuenca (ej. Sectores altos y bajos de los ríos Cachapoal y Tinguiririca)

6.2.3.3.1. Evaluación de las presiones en el territorio

6.2.3.3.1.1. Presión sobre los recursos Azules (Fuentes de agua subterránea y superficial)

La sustentabilidad ambiental de la HH azul mide el impacto ambiental que tiene el consumo hídrico de los sectores productivos en la cuenca. Permite relacionar demanda (presión sobre el recurso) con la oferta durante el periodo de tiempo analizado. De esta manera se puede evaluar en qué periodos esta presión aumenta generando situaciones de insustentabilidad.

Para llevar a cabo este análisis se requirió determinar las HH azules mensuales de todos los sectores productivos analizados.

- Sub-sector agrícola: la HH azul de los cultivos se calculó a una escala mensual, basado en las curvas de crecimiento y periodos vegetativos de cada uno de estos. Teniendo en cuenta que el sector agropecuario representa el 93% de la HH azul de la cuenca, las principales variaciones de la demanda están determinadas por este sector.
- Para el caso del resto de los sectores (i.e. Minero, Industrial, Pecuario, Doméstico y Energía), la asignación de cada una de las HH azules a nivel mensual no fue posible, ya que gran parte de la información con la cual se calcularon las HH son totales anuales. Para poder realizar este análisis se utilizó el supuesto de que las respectivas HH de los diferentes sectores se mantenían constantes durante el año. Para ello las HH totales anuales se dividieron en 12 meses.

Tabla 167: HH azul mensual (m³/s) por sector analizado para la cuenca.

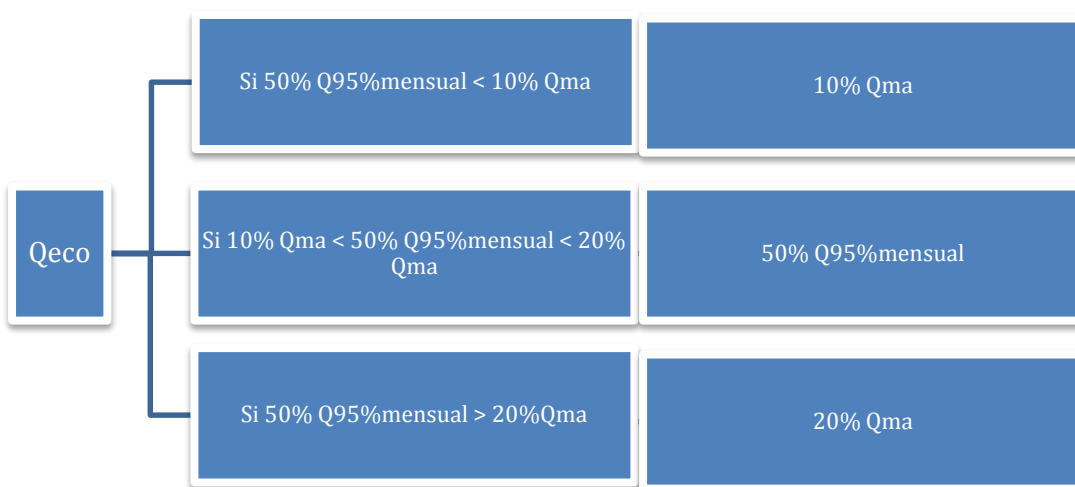
	HH azul m³/s												
Sector	Total	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Agrícola	40	8	5	3	1	-	-	-	-	1	4	7	9
Pecuario	0,23	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Industria	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Energía	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00	0,00
Doméstico	0,36	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Minería	2,5	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
HH Total	43,18	8,72	4,99	3,30	1,71	0,27	0,27	0,27	0,27	1,66	4,33	7,66	9,74

Fuente: Elaboración propia.

Además de la demanda de los sectores productivos se consideraron los requerimientos ambientales mediante la estimación de los caudales ecológicos⁶⁰. En este caso, dado que no hay información para toda la cuenca, se aplicó a la cuenca el promedio sólo para ciertos puntos de monitoreo.

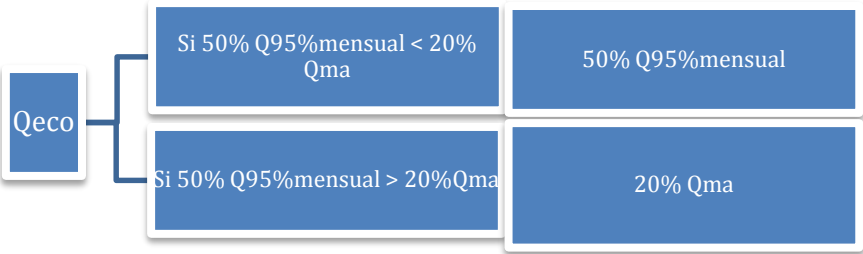
Es importante mencionar que los caudales ecológicos están asociados a puntos específicos en los ríos. Para calcular el caudal ecológico de un punto se utilizó la metodología definida en la última modificación del Decreto Supremo 14 (2014), en donde:

- Para aquellos cauces en 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



- Para aquellos cauces en que se determinaron caudales ecológicos del menor 50% del caudal con 95% de probabilidad de excedencia, se considerará como caudal ecológico mínimo 50% del caudal con 95% de probabilidad de excedencia, para cada mes, con las restricciones siguientes:

⁶⁰ Caudal ecológico es caudal mínimo necesario para asegurar la supervivencia de un ecosistema acuático preestablecido (Caudal Mínimo Aconsejable).



La oferta hídrica total de la cuenca se obtuvo de la suma de los caudales mensuales promedio para la cuenca considerando el caudal mensual promedio considerando 85% de excedencia. Esta información se obtuvo del estudio “Evaluación de caudales ecológicos en cuencas de la IV,V y VI región”, donde se consideraron promedios de 25 años.

Tabla 168: Caudales ecológicos por tramo y promedio (m³/s) Cuenca Río Rapel

Tramo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rio Cachapoal Alto (Hasta bajo junta Rio Claro)	6.3	5.5	5.2	4.4	3.9	3.7	3.6	3.2	3.9	4.7	5.0	5.9
Rio Cachapoal Bajo (Bajo jta Rio Claro y E Rapel)	3.2	4.0	4.3	3.9	4.9	3.2	4.3	5.3	5.3	4.0	3.7	4.1
Rio Tinguiririca Alto (Hasta bajo junta Rio Claro)	6.4	6.4	6.4	4.1	3.7	3.4	3.8	3.8	5.2	6.0	6.8	6.4
Rio Tinguiririca Bajo (Entre Rio Rapel y E Rapel)	6.7	6.7	6.7	6.7	9.5	13.1	13.4	13.4	11.8	6.7	6.7	6.7
Max	6.7	6.7	6.7	6.7	9.5	13.1	13.4	13.4	11.8	6.7	6.8	6.7
Min	3.2	4.0	4.3	3.9	3.7	3.2	3.6	3.2	3.9	4.0	3.7	4.1
Promedio cuenca	4.7	4.7	4.7	4.0	4.5	4.3	4.6	4.8	5.0	4.4	4.5	4.8

Fuente: Estudio "Evaluación de caudales ecológicos en cuencas de la IV,V y VI región".

En el mismo estudio, debido a que la información pública para la cuenca del río Rapel está incompleta para varios años, la misma se completó mediante correlaciones simples entre estaciones cercanas. En el estudio consultado se publican valores extraños para el sector de Tinguiririca Bajo, dado que de las estaciones activas sólo una corresponde al sector y presenta información extraña para los meses de Enero y Marzo. Para este estudio, se decidió utilizar esta estación pese a los valores, para ver cómo se comportan los índices mensuales en el territorio.

Tabla 169: Caudales mensuales para un 85% de probabilidad de excedencia (m³/s) Cuenca del Río Rapel.

Tramo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rio Cachapoal Alto (Hasta bajo junta Rio Claro)	32.9	24.2	14.8	8.0	6.5	7.0	5.9	5.8	7.3	10.2	21.3	34.2
Rio Cachapoal Bajo (Bajo jta Rio Claro y E Rapel)	5.9	10.4	12.9	8.5	13.8	5.8	14.2	19.2	14.0	10.2	12.2	12.2
Rio Tinguiririca Alto (Hasta bajo junta Rio Claro)	37.5	27.4	16.7	9.4	8.8	9.2	10.9	10.9	14.3	18.9	33.9	39.2
Rio Tinguiririca Bajo (Entre Rio Rapel y E Rapel)*	0.0	3.4	0.0	9.0	26.8	39.4	43.3	81.1	36.0	20.4	12.7	2.7
Max	37.5	27.4	16.7	9.4	26.8	39.4	43.3	81.1	36.0	20.4	33.9	39.2
Min	5.9	3.4	12.9	7.9	6.5	5.8	5.9	5.8	7.3	10.2	12.2	2.7
Promedio cuenca	18.2	15.3	11.4	7.9	11.2	10.7	13.9	16.9	13.1	11.6	16.6	20.8

Fuente: Estudio "Evaluación de caudales ecológicos en cuencas de la IV, V y VI región".

Dado que no se tiene certeza de la cantidad ni del momento en que se utilizan el agua superficial y subterránea se asumió que el caudal de extracción sustentable proveniente de aguas subterráneas se utilizaba en un 100%.

Esto se debe a que en el estudio no se puede discriminar que porcentaje de la HH Azul de la cuenca es obtenida desde fuentes superficiales y/o subterráneas. Por lo que se estableció el supuesto que este caudal era utilizado.

La oferta de agua subterránea se obtuvo a partir de los cálculos realizados en el informe técnico realizado por la DGA (DGA, 2003).

Tabla 170: Caudal sustentable **de extracción de agua subterránea** (m³/s) para la cuenca del Río Rapel.

Acuífero	Sector	Caudales Sustentables (m ³ /s)
Acuífero Cachapoal	Rio Cachapoal	2,1
Acuífero Tinguiririca	Rio Tinguiririca	3
Acuífero Rapel	Rio Rapel Junta Estero el Rosario	0,09
Acuífero Alhué	Estero Alhué	0,5
Acuífero Estero Rosario	Estero Rosario	0,1
Promedio sectores		1,16

Fuente: DGA, 2003 (SUB3079).

El volumen de agua disponible para el uso o caudal pasante total mensual de la cuenca se estimó restando a la oferta superficial el caudal ecológico.

Ecuación 25 Caudal pasante modificado (adaptada por Fundacion Chile 2015)

$$\begin{aligned}
 \text{Caudal pasante (m}^3\text{/s)} &= \text{Caudal mensual (85\% ex)} \\
 &+ \text{Caudal de extracción sustentable} - \text{Caudal ecológico}
 \end{aligned}$$

Para no sesgar el análisis se analizaron 2 escenarios de sustentabilidad ambiental de la HH azul:

- **Escenario A:** Consideró a todos los sectores productivos y la oferta total correspondió al caudal pasante suma de la oferta superficial promedio

de la cuenca más la oferta subterránea promedio (Caudal sustentable de extracción) menos el caudal ecológico.

- **Escenario B:** Consideró la HH azul y se comparó sólo con la oferta superficial.

De este segundo escenario se evaluaron:

i. **Escenario B1:** Correspondió al caudal promedio mensual (85% ex) de la cuenca (utilizando valores promedios de 25 años) y el respectivo caudal mínimo ecológico con respecto a la HH azul agrícola correspondiente al Censo del 2007

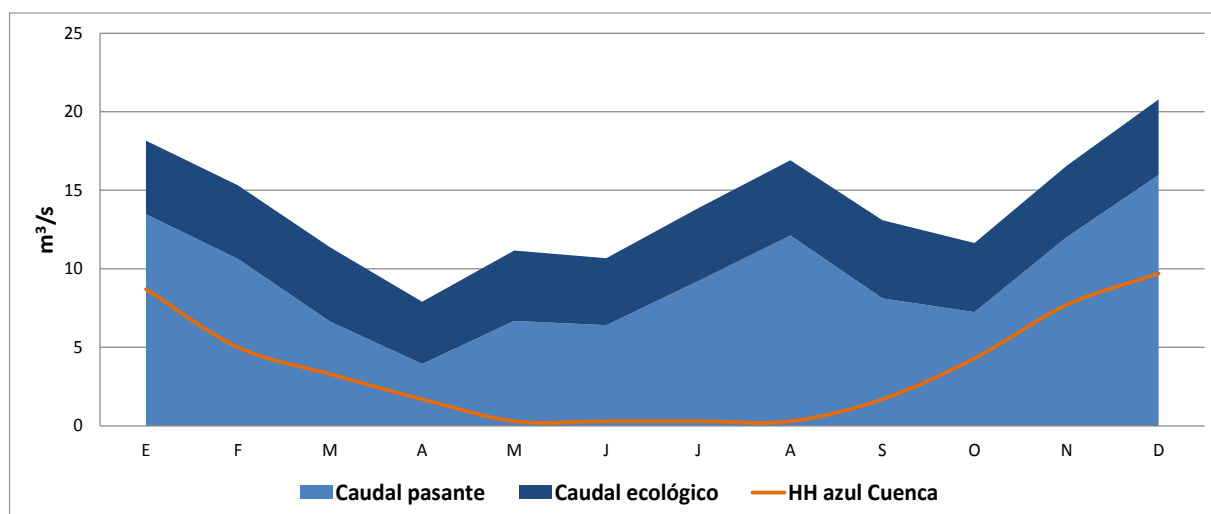
ii. **Escenario B2:** Correspondió a los mínimos caudales promedios mensuales (85% ex)⁶¹ y el respectivo caudal mínimo ecológico. La disponibilidad se comparó con la HH azul agrícola mensual en base a los resultados del Censo 2007.

iii. **Escenario B3*:** Correspondió a los mínimos caudales promedios mensuales medidos. La disponibilidad se comparó con la HH azul agrícola mensual en base a los resultados del Censo 2007 con un aumento en el 25,5% en la superficies de frutales (% de aumento descrito por ODEPA para el 2014, ver Tabla 129).

En las siguientes figuras se muestran los resultados obtenidos:

Escenario A

Figura 56: HH azul de los sectores productivos comparada con el caudal pasante mensual de la Cuenca del Río Rapel



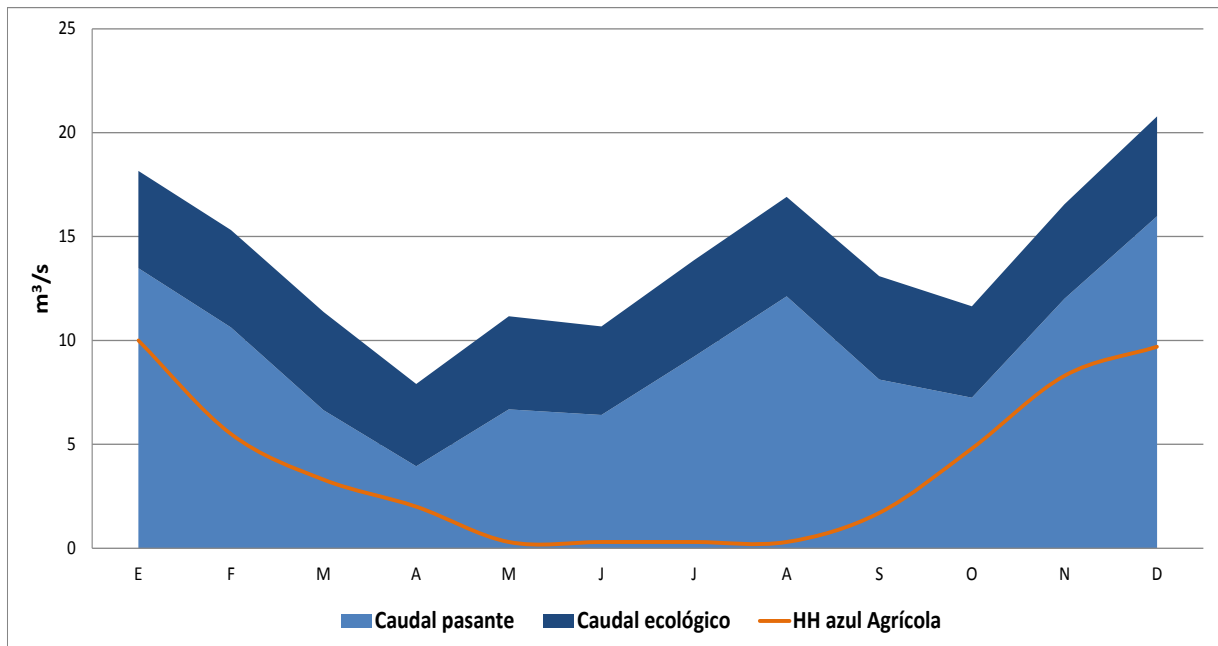
Fuente: Elaboración propia.

⁶¹ No se consideraron caudales igual a cero.

De acuerdo a datos promedio, se calculó la disponibilidad como la oferta (caudal mensual (m^3/s) más el volumen extraído subterráneos (m^3/s)) menos el caudal mínimo ecológico. Considerando esta información la HH azul de los sectores productivos no presentaría un riesgo para la sustentabilidad hídrica de la cuenca.

Escenario B1

Figura 57: HH Azul de la agricultura comparada con la oferta hídrica mensual promedio de la Cuenca del Río Rapel

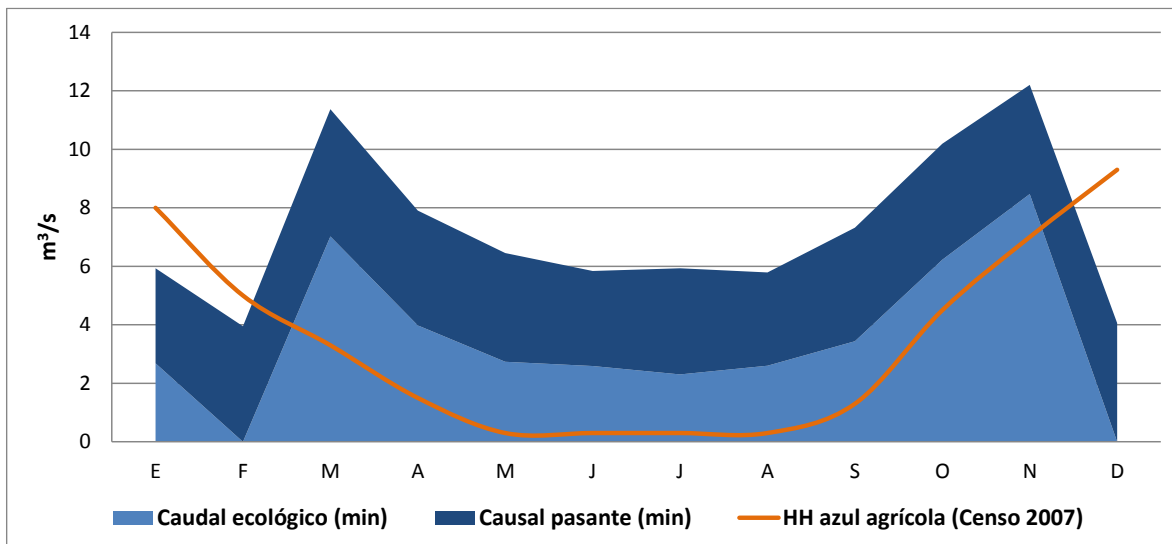


Fuente: Elaboración propia.

Considerando esta información, la HH azul de la agricultura no presentaría un riesgo para la sustentabilidad hídrica de la cuenca.

Escenario B2

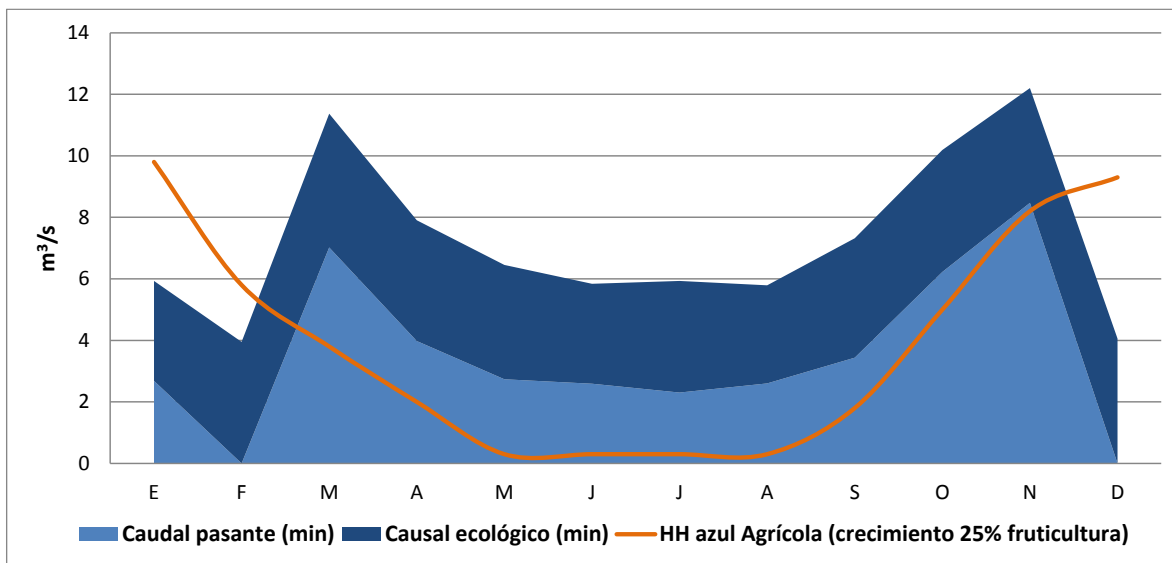
Figura 58: HH Azul de la agricultura (Censo Agropecuario 2007) comparada con la oferta hídrica mensual mínima de la Cuenca del Río Rapel



Fuente: Elaboración propia.

Escenario B3

Figura 59: HH Azul de la agricultura (Aumento en el superficie frutícola de un 25%) comparada con la oferta hídrica mensual mínima de la Cuenca del Río Rapel



Fuente: Elaboración propia.

Si analizamos el escenario B1, se puede ver que en condiciones promedio, que corresponde a un caudal promedio anual de aproximadamente 14 m³/s, la demanda no debiera afectar la sustentabilidad de la cuenca. Pero hay que tener en consideración que, pese a ser un promedio, pueden existir situaciones en que esta oferta sea menor.

Los escenarios B2-B3, tratan de representar esta situación, evaluando la HH Azul de la agricultura en condiciones en que el caudal promedio anual es aproximadamente 7 m³/s, considerando un aumento en la demanda por la agricultura.

En este caso durante los meses de noviembre hasta mediados de marzo la demanda sería superior a la disponibilidad.

Puntos críticos (Hotspot) Identificados

1. En condiciones de sequía o disminución del caudal promedio por debajo a los 10 m³/s, en los meses de primavera -verano el consumo de agua superaría la disponibilidad (Caudal promedio menos caudal mínimo ecológico) representando un riesgo para la sustentabilidad de la cuenca.

En conclusión, en base a este análisis la cuenca tendría una oferta hídrica mayor a la demanda, considerando un año promedio. Siempre considerando que esta es una aproximación basada en promedio.

6.2.3.3.1.2. Índice de estrés de HH azul (Blue Water Stress)

El índice de estrés relaciona la HH azul con la oferta superficial, visualiza cuanto de la oferta se está utilizando. Cuando el ratio es cercano 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.

Ecuación 26 Índice de Estrés Azul (Hoekstra, Chapangain, Aldaya, & Mekonnen, 2011)

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

Dónde:

Índice de estrés azul Ratio entre la HH azul y la disponibilidad de agua en la Cuenca (Adimensional)

HH azul Sumatoria de las huellas azules que ocurren en la cuenca (Volumen)

Caudal pasante Es la diferencia escorrentía menos el caudal ecológico del sector

X=lugar; y =tiempo

Ecuación 27 Caudal pasante (Hoekstra, Chapangain and Aldaya, et al. 2011 adaptada por Fundacion Chile 2015)

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

Para evaluar los índices de estrés se evaluó en base al caudal promedio y a las HH calculadas para los cuatro sectores analizados. En la siguiente tabla se resumen los datos considerados.

Tabla 171: Índice de estrés azul para la Cuenca

	m³/s											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Caudal pasante (promedio)	13.5	10.6	6.6	3.9	6.7	6.4	9.2	12.1	8.1	7.2	12	16.0
HH azul Total Cuenca	8.7	5	3.3	1.7	0.3	0.3	0.3	0.3	1.7	4.3	7.7	9.7
Índice de estrés (HH Azul)	0.64	0.47	0.50	0.44	0.04	0.05	0.03	0.02	0.21	0.60	0.64	0.61

Fuente: Elaboración propia.

Dados los caudales mensuales promedio que presenta la cuenca, y en base al índice de estrés, la disponibilidad de esta no debería verse afectada por efecto de la HH Azul de las actividades que se desarrollan en la misma.

Es importante tener presente que la disponibilidad es variable dentro de la misma cuenca. Por esta razón, y en base a la información disponible, se evaluaron los caudales promedios de cada uno de los sectores en la cuenca (Ver tabla 150 y 151). Estos, a su vez, fueron contrastados con la HH azul de la cuenca para evaluar cómo varía el índice en el territorio. En este ejercicio se calculó el caudal mínimo ecológico para cada sector.

Tabla 172 Cálculo del Índice de estrés por Tramos.

Tramos	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Caudal pasante m³/s												
Rio Cachapoal Alto	26.6	18.6	9.6	3.6	2.5	3.2	2.3	2.6	3.4	5.5	16.3	28.4
Rio Cachapoal Bajo	2.7	6.5	8.5	4.6	8.9	2.6	9.9	13.9	8.7	6.2	8.5	8.1
Rio Tinguiririca Alto	31.1	21.0	10.3	5.3	5.1	5.8	7.2	7.1	9.1	12.9	27.1	32.8
Rio Tinguiririca Bajo*	-6.7	-3.4	-6.7	2.2	17.3	26.3	29.9	67.7	24.2	13.7	6.0	-4.0
Promedio Cuenca	13.4	10.7	5.4	3.9	8.5	9.5	12.3	22.8	11.4	9.6	14.5	16.3
HH azul Cuenca (MMm³/s)												
	8.71	4.99	3.3	1.71	0.27	0.27	0.27	0.27	1.66	4.33	7.66	9.74
Índice de estrés (HH azul)												
Rio Cachapoal Alto	0.3	0.3	0.3	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.8	0.5	0.3
Rio Cachapoal Bajo	3.2	0.8	0.4	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.7	0.9	1.2
Rio Tinguiririca Alto	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.3
Rio Tinguiririca Bajo*	-1.3	-1.5	-0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	1.3	-2.4
Promedio Cuenca	0.6	0.5	0.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	0.5	0.6

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 172, se puede ver como el índice de estrés varia en el territorio y durante el año. Los meses que pueden ser considerados más críticos, donde el ratio entre oferta huella hídrica azul es cercano a uno, son noviembre diciembre, enero y febrero. En general los sectores bajos de los ríos presentan condiciones de estrés mayores que los sectores altos durante estos meses.

Cabe destacar que para el sector Rio Tinguiririca Bajo se obtienen valores negativos, debido a que la información disponible de caudales presenta valores extraños para los tres primeros meses del año. Como ya se explicó anteriormente, se decidió continuar con el análisis a pesar de los valores "raros", de manera de obtener una visión general de los diferentes sectores de la cuenca -siempre teniendo en consideración la existencia de estos.

También se puede ver como los caudales en los sectores bajos son más altos en los periodos invernales al compararlos con los sectores altos.

Puntos críticos (Hotspot) Identificado

2. En base al análisis de los sectores dentro de la cuenca se identificó que los sectores bajos presentan un mayor potencial de estrés que los altos en los periodos que hay menor oferta, los que corresponden a los meses de noviembre diciembre, enero y febrero

6.2.3.3.1.3. Índice de sustentabilidad de la HH gris (Level of pollution)

Este índice mide el impacto ambiental que tiene la HH gris en el contexto de la cuenca. Por otro lado, 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 el ratio entre huella hídrica gris (m^3 requeridos para diluir a concentraciones naturales los contaminantes vertidos) y caudal del rio 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.

Ecuación 28 Índice de Contaminación (Hoekstra, Chapangain, Aldaya, & Mekonnen, 2011)

$$Indice\ de\ Contaminación_{gris} = \frac{\sum HH_{gris} [x, t]}{Caudal\ 85\% [x, t]}$$

Dónde:

Nivel de contaminación	Ratio entre la HH gris y la disponibilidad de agua en la Cuenca (Adimensional)
HH gris	Sumatoria de las huellas azules que ocurren en la cuenca
Caudal 85%	Caudal 85% probabilidad de excedencia (MM m ³ /mes)
X=lugar; t =tiempo	

Para el cálculo de este indicador de sustentabilidad es necesario conocer cómo las cargas de contaminantes varían durante el periodo analizado. Dado que esta información no se encuentra desglosada a nivel mensual, la HH Gris total de la cuenca se distribuyó equitativamente en los 12 meses del año y se comparó con los caudales mensuales promedio de la cuenca y los sectores altos y bajos de los ríos Tinguiririca y Cachapoal.

Tabla 173 Cálculo del Índice de contaminación por sectores.

Sector	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Caudales (MM m³/mes)*												
Rio Cachapoal Alto	88.1	58.5	39.6	20.8	17.3	18.1	15.9	15.0	19.0	27.4	55.2	91.7
Rio Cachapoal Bajo	15.9	25.3	34.4	22.0	37.1	15.1	38.0	49.7	36.3	27.3	31.6	32.6
Rio Tinguiririca Alto	100.5	66.3	44.8	24.5	23.7	23.8	29.3	28.4	37.1	50.5	87.9	105.1
Rio Tinguiririca Bajo	0.0	8.1	0.0	23.2	71.7	102.1	115.9	210.2	93.3	54.5	32.9	7.2
Promedio Cuenca	48.6	37.0	30.5	20.5	29.9	27.7	37.1	43.8	33.9	31.2	42.9	55.7
HH gris Cuenca (MM m³/mes)												
Cuenca	54.2	54.2	54.2	54.2	54.2	54.2	54.2	54.2	54.2	54.2	54.2	54.2
Índice de contaminación												
Rio Cachapoal Alto	0.6	0.9	1.4	2.6	3.1	3.0	3.4	3.6	2.9	2.0	1.0	0.6
Rio Cachapoal Bajo	3.4	2.1	1.6	2.5	1.5	3.6	1.4	1.1	1.5	2.0	1.7	1.7
Rio Tinguiririca Alto	0.5	0.8	1.2	2.2	2.3	2.3	1.9	1.9	1.5	1.1	0.6	0.5
Rio Tinguiririca Bajo	0	6.7	0	2.3	0.8	0.5	0.5	0.3	0.6	1.0	1.6	7.6
Promedio Cuenca	1.1	1.5	1.8	2.6	1.8	2.0	1.5	1.2	1.6	1.7	1.3	1.0

* Caudales calculados en base a Caudales promedio mensuales.

Fuente: Estudio "Evaluación de caudales ecológicos en cuencas de la IV, V y VI región".

De acuerdo a los supuestos dados, los sectores altos de los ríos Cachapoal y Tinguiririca se verían más afectados por vertimientos de efluentes con cargas de contaminantes que los sectores bajos durante los meses de invierno, en general los índices de contaminación en los sectores altos varían entre 0,6 y 3 durante el año.

En promedio, en la cuenca se estaría sobrepasando la capacidad que tiene esta de asimilar las cargas de contaminantes durante todo el año.

Puntos críticos (Hotspot) Identificado

3. Se identificó que los sectores altos del Cachapoal y el Tinguiririca tienen menores capacidades de dilución durante los meses invernales y por el contrario durante los meses estivales son los sectores bajos de estos ríos los que disminuyen su capacidad de dilución.

6.2.3.3.2. Cruce resultados de HH territorial con los ámbitos socio-económico-ambiental

6.2.3.3.2.1. Ámbito Social

En base a los indicadores seleccionados se evaluaron:

- a) *Resultados de HH gris doméstica rural, con indicadores de saneamiento rural:*

De acuerdo la relevancia de los resultados de HH gris doméstica rural, se compararon estos con indicadores de saneamiento rural, como son el acceso rural a tratamiento de aguas servidas y para aquellos que tienen acceso a saneamiento el estado de las plantas de tratamiento que entregan el servicio.

En la primera comparación se consideró el número de habitantes que no cuentan con conexión a alcantarillado y la HH gris doméstica rural.⁶² Esto debido a que se supone que las aguas servidas que son conducidas por alcantarillado reciben algún tipo de tratamiento, sea a través de PTAs

⁶² Se tomó número de habitantes y no porcentaje debido a que podría sesgar el resultado. Esto porque el cálculo de HH gris doméstica se hizo en base a población, y entre comunas la diferencia en tamaño poblacional puede ser muy grande.

rurales. Para aquellas aguas que no reciben ningún tratamiento, se asume que, si bien podría haber algún tipo de tratamiento in situ o posterior, la contribución a la HH gris es mayor en esos casos.

Para realizar esta evaluación se ordenaron los valores de ambos indicadores de acuerdo al rango de población rural sin alcantarillado (que es la variable driver en el contexto de la realidad nacional mencionada) y se procedió identificar casos en que los valores para ambos sean altos.

Tal como se observa en la siguiente tabla, aunque pueda no haber una correlación entre ambos datos, los resultados de HH gris doméstica rural están en línea con la cantidad de población rural que no posee alcantarillado. Esto evidencia un punto crítico que puede ser analizado de manera diferente, dependiendo de si la comuna tiene mayoría de población urbana o rural.

En este caso se comparó el Índice de contaminación y la HH gris Doméstica Rural en rangos, ambos se incluyeron en el análisis junto con la distribución de la población rural en la cuenca y el % de la población que no tiene alcantarillado.

Puntos críticos (Hotspot) Identificado

4. Las comunas de Rancagua, Teno, Rengo, San Vicente de Tagua Tagua, Santa Cruz y Chimbarongo presentan una alta HH Gris doméstica rural que se podría relacionar con aquella población rural que no tiene alcantarillado.

Tabla 174. Cruce entre HH gris doméstica rural y cantidad de población rural sin acceso a alcantarillado.

Comuna	HH_Dom. Rural	Distribución de la población rural en la cuenca	% Población Rural sin alcantarillado
Rancagua	5	25%	42%
San Vicente de Tagua Tagua	5	6%	40%
Rengo	5	6%	45%
Teno	4	6%	52%
Chimbarongo	4	5%	45%
Santa Cruz	4	5%	51%
Las Cabras	3	4%	47%
San Fernando	3	4%	43%
Pichidegua	3	4%	45%
Requinoa	3	4%	35%
Palmilla	2	3%	45%
San Pedro	2	2%	60%
Peumo	2	2%	43%
Nancagua	2	2%	43%
Graneros	2	2%	38%
Codegua	2	2%	33%
Placilla	2	2%	45%
Coltauco	2	2%	51%
Quinta de Tilcoco	2	2%	42%
Marchihue	2	2%	50%
Olivar	1	1%	39%
Mostazal	1	1%	41%
Navidad	1	1%	61%
Peralillo	1	1%	52%
Santo Domingo	1	1%	60%
Litueche	1	1%	67%
Malloa	1	1%	43%
La Estrella	1	1%	64%
Machalí	1	1%	39%
Coinco	1	1%	63%
Alhué	1	1%	56%
Doñihue	1	0%	58%

Fuente: Elaboración propia.

Si comunas como Teno, que posee 73% de población rural (ver caracterización social de la cuenca), pudiera concentrarse en reducir su HH gris doméstica rural (por ejemplo ampliando la red de alcantarillado y así aumentando las posibilidades de realizar tratamiento), estaría contribuyendo lograr un impacto positivo en la calidad de vida de la mayoría de sus habitantes.

En el caso de comunas como Rancagua⁶³ o Rengo, al tener mayoría de población urbana, podría no considerarse como prioridad el sector de saneamiento rural. Sin embargo, un análisis como el realizado muestra que, aun cuando la proporción de población rural sea baja para la comuna, esta concentra el 25% de la población rural de la cuenca. Por ello, el alto impacto de su HH gris doméstica rural se constituye en un punto crítico relevante.

En segundo lugar, se analizaron los mismos resultados de Huella, pero contrastándolos con el segmento de población rural que está conectada a una red alcantarillado y por ende tiene una mayor probabilidad (o factibilidad) de que sus aguas servidas sean tratadas. Dado que se contaba con un catastro de las PTAs rurales (que incluye información sobre su funcionamiento respecto de la norma) a nivel comunal (DOH, 2014), se utilizaron dichos datos para visualizar en qué medida podrían seguir una tendencia o relacionarse.

Aquí cabe destacar que los dos datos contrastados pueden no estar correlacionados, dado que en los casos de las PTAs que no funcionan, las aguas servidas correspondientes deberían ser trasladadas a otras plantas de tratamiento (dentro o fuera de la cuenca, lo cual podría a su vez afectar el resultado de HH gris). Ya que no contamos con ese dato, los resultados aquí expuestos sirven como base o guía para indicar la existencia de un posible punto crítico que debería ser atacado.

Tal como se observa en la siguiente tabla, el funcionamiento de las PTA parece no guardar relación con el volumen de HH, ya que esta última además estaba dada más en función de la cantidad de población. Por otro lado, si bien hay casos como el de Rengo en que hay una muy alta HH gris y sólo el 27% de sus PTA funcionan, tampoco se puede decir que porque las PTA existentes no funcionen se aumentaría la HH gris.

⁶³ Rancagua, siendo la capital de la VI Región, es un caso que se dispara del resto por la cantidad de población que allí reside. Si bien es una comuna urbana y, en proporción al total, la población rural representa poco más de 1/3, en cantidad resulta mayor que en otras comunas que son netamente rurales.

Tabla 175. Cruce entre HH gris doméstica rural y funcionamiento de PTAs rurales (Principales comunas).

Comuna	HHG_DR*	PTAS_ratio*	PobR_noalcant*
Rancagua	5	1	5
San Fernando	3	0	4
Rengo	5	0,27	5
Machalí	1	1	1
San Vicente de Tagua Tagua	5	0,57	5
Requinoa	3	1	3
Las Cabras	3	1	4
Chimbarongo	4	0,4	4
Santa Cruz	4	0,76	4
Pichidegua	3	0,45	4
Palmilla	2	0,4	3
Doñihue	1	0,25	1
Teno	4	0	5
Coltauco	2	0,82	2
Navidad	1	1	2
Peumo	2	0,4	2
Graneros	2	1	2

*Indicadores seleccionados: HHG_DR, Huella Hídrica doméstica rural; PTAS_ratio, considera el ratio entre PTAS en funcionamiento con las PTAS totales; PobR_no alcant, población rural sin alcantarillado.

Funcionamiento PTAs: Este valor surge de la razón entre las PTAs funcionando de acuerdo a la norma, y el total de PTAs en la comuna.

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, hay un punto crítico que relaciona a estos dos datos. Y este se da en el hecho de que una adecuado funcionamiento de los sistemas de tratamiento rural podría no sólo bajar la HH gris sino además impactar positivamente en la calidad de vida de la comunidad⁶⁴.

⁶⁴ Son sabidos los impactos negativos que tienen las comunidades aledañas a una PTA cuando esta no funciona y deben retirarse las aguas servidas en forma continua. No sólo vectores (con los riesgos de salud asociados) y malos olores, sino además altos costos derivados del retiro de aguas que si funcionara no deberían realizarse.

Puntos críticos (Hotspot) Identificado

5. El estado de las plantas de tratamiento podrían estar teniendo un impacto en la calidad de los cauces superficiales y o subterráneos.

Podría por ejemplo estudiarse en mayor profundidad el caso de Santa Cruz, donde 3/4 de las PTAs funcionan de acuerdo a norma y sin embargo posee una de las más altas HH gris doméstica rural de la Cuenca. Otros casos a analizar son los de Rengo y Teno, comunas con altos valores de HH gris doméstica rural, pero cuyas PTAs funcionan en un porcentaje muy bajo o directamente no funcionan.

En todos ellos, y otros que puedan resultar de interés, podría buscarse la brecha e identificar drivers de solución que permitan mejorar los indicadores (Ver Tabla 166. Resultado de la evaluación de los indicadores ambientales-sociales y económicos evaluados de acuerdo a los rangos descritos (continúa en la página siguiente).)

Finalmente, y a partir de los puntos críticos, se deben identificar los actores que se relacionan con las causas o bien deberían intervenir en la solución a estas problemáticas. En el caso de HH gris doméstica y saneamiento deberían participar, entre otros, los siguientes actores: SUBDERE; Municipios; comités de Agua Potable Rural; Juntas de Vecinos; Empresas de la zona; SEREMI de Salud.

b) Resultados de HH azul silvoagropecuaria, con porcentaje de empleo en dicho sector

Este análisis se pensó a partir de la realidad observada de que gran parte de las comunas tenía un alto porcentaje de empleo en el sector silvoagropecuario, y al hecho de que ese sector es altamente demandante en términos de recursos hídricos. Se evaluó en qué medida estos dos indicadores se relacionan en cada una de las comunas, constituyendo puntos críticos en la medida en que la disponibilidad de agua pudiera verse afectada.

Tal como en los otros casos se aclara que, si bien los indicadores seleccionados tienen puntos de relación, no puede pensarse que el empleo

agrícola dependa exclusivamente de la disponibilidad de agua o que el empleo del sector esté en función de la HH azul.

Así, se cruzaron los resultados de HH azul silvoagropecuaria con porcentajes de empleo en dicho sector para cada una de las comunas. Se tomó el porcentaje en vez de la cantidad de empleos por comuna, atendiendo a que más allá de la cantidad de población ocupada, la importancia del empleo para cada comuna radica en que hay una mayor o menor proporción de la economía de ese territorio que depende de un determinado sector (en este caso, silvoagropecuario). También en este caso, se trabajó con rangos que permitieran hacer más comparable los valores⁶⁵.

A continuación, se ordenaron los valores de ambos indicadores de acuerdo al rango de HH azul y se procedió a sumar ambos niveles, para obtener un valor de impacto para cada una de las comunas.

Este valor de impacto constituye un punto crítico, toda vez que la disponibilidad de agua para el sector silvoagropecuario afecta las posibilidades de generación de empleo en un territorio. A su vez, este punto crítico revestirá mayor importancia en la medida en que dicho territorio dependa del empleo en el sector en cuestión.

⁶⁵ Tal como se explicó anteriormente, los rangos de HH se establecieron para cada uno de los resultados y sectores en que se hicieron cálculos, quedando siempre definidos 5 niveles. En el caso del empleo se facilita el establecimiento de un rango de 5 niveles, debido a que todos los valores caen entre el 0% y el 100%.

Tabla 176. Cruce entre HH azul sector silvoagropecuario y porcentaje de empleo en el sector.

Comuna	HHA_ AFP *	Empl. Agr
Chimbarongo	5	4
Rengo	5	3
San Vicente de TT	5	3
Las Cabras	4	4
Pichidegua	4	3
Requinoa	4	3
Teno	4	3
Codegua	3	3
Palmilla	3	4
Rancagua	3	1
San Fernando	3	2
Santa Cruz	3	2
Coltauco	2	4
Graneros	2	4
Malloa	2	3
Marchihue	2	3
Mostazal	2	2
Nancagua	2	3
Peralillo	2	2
Peumo	2	3
Placilla	2	5
Quinta de Tilcoco	2	3
San Pedro	2	2
Alhué	1	1
Coinco	1	2
Doñihue	1	1
La Estrella	1	2
Litueche	1	1
Machalí	1	2
Navidad	1	1
Olivar	1	3
Santo Domingo	1	1

* HHA_ AFP, Huella Hídrica azul Sector agropecuaria; Empl. Agr, Empleo Agrícola

Fuente: Elaboración propia.

Así, encontramos casos de comunas en las que hay una gran dependencia del empleo silvoagropecuario (como Palmilla y Placilla), casos en que la HH azul del sector es muy alta (Rengo y San Vicente de Tagua Tagua), o comunas en que ambos valores están en niveles elevados (Chimbarongo).

Estos valores nos indican la existencia de un potencial riesgo asociado a la merma en disponibilidad de agua para el sector, ya que hay comunas en las que el empleo silvoagropecuario representa un alto porcentaje de los puestos de trabajo totales y que en ese caso podrían sufrir un impacto negativo.

Puntos críticos (Hotspot) Identificado

6. Existe un riesgo potencial de que, dado que una de las principales fuentes de trabajo está relacionado con el sector silvoagropecuario, cualquier problema tanto de escasez como de contaminación del recurso hídrico pueda reducir las ventas y esto tenga repercusiones en la oferta de empleos.

Esto puede verse no sólo en las comunas donde la HH azul es muy alta⁶⁶ respecto de otros territorios de la cuenca, sino también en casos en que esta presenta valores mucho menores. Tal es el caso de Placilla, comuna con poco más de 8.500 habitantes (INE, 2012) y cuya dependencia del empleo en el sector silvoagropecuario es realmente alta, lo cual origina asimismo un riesgo.

Tal como en los contrastes anteriores, análisis de casos considerados críticos nos permite mejorar la visión respecto de las medidas que podrían tomarse para enfrentar los desafíos que presenta el sector silvoagropecuario para el desarrollo de cada una de las comunas, y frente a escenarios que plantean la variación (en cantidad y frecuencia) de la disponibilidad de agua.

Así, luego de profundizarse el análisis en los casos considerados como de mayor relevancia, podrían por ejemplo planificarse medidas que apunten a reducir ese riesgo o presión. Entre otras, podría mejorarse la eficiencia en el riego, o implementar políticas que contribuyan a diversificar las fuentes de empleo, entre otras.

Finalmente, y a partir de los puntos críticos, se deben identificar los actores que se relacionan con las causas o bien deberían intervenir en la solución a estas problemáticas. En el caso de HH azul silvoagropecuario y empleo

⁶⁶ Lo cual puede deberse a diferentes razones que no entran en este análisis.

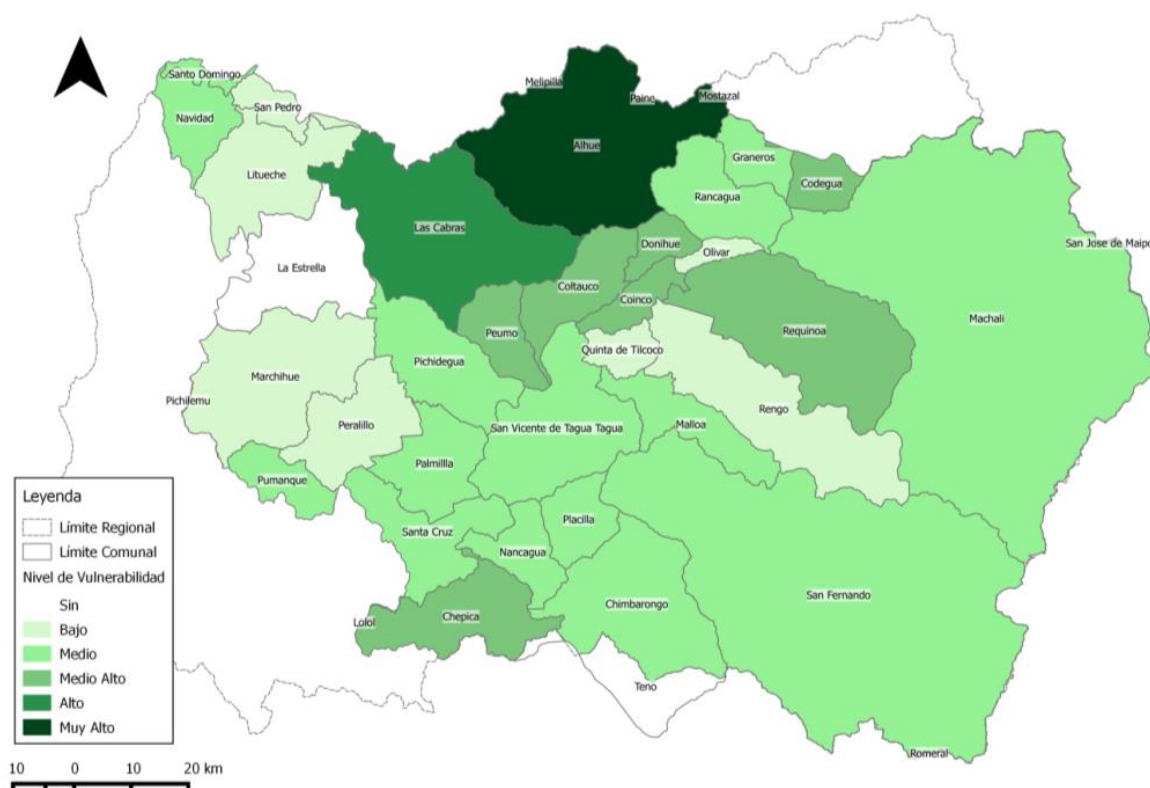
deberían participar, entre otros, los siguientes actores: SUBDERE; Municipios; CNR; Juntas de Vecinos; Juntas de Vigilancia; Organizaciones de Usuarios; INDAP; ProChile; Empresas de la zona; SEREMI de Salud; MIDEPLAN.

6.2.3.3.2.2. Ámbito Ambiental

a) Áreas protegidas

La comuna con mayor porcentaje de áreas protegidas corresponde a Alhué, que está cubierta en un 100% por distintas zonas de protección y de prioridad de protección, como: Sitios prioritarios, Reserva Nacional, Santuario de la Naturaleza y Áreas Protegidas Privadas. Su alta prioridad de protección, se debe principalmente por estar ubicada en el Cordón de Cantillana, un sitio prioritario para la conservación ya que se encuentra inserto en uno de los 5 puntos críticos (hotspots) de ecosistemas mediterráneos existentes en el mundo. Esta zona también presenta un alto endemismo, donde por ejemplo, de las 163 especies de vertebrados terrestres, 25 son endémicas (CONAMA, 2005). En la Figura 60 se puede observar el rango de vulnerabilidad para cuenca del Rapel en base al porcentaje de áreas protegidas que cubren por comuna.

Figura 60. Rango de Vulnerabilidad Áreas de Protección.



Fuente: Elaboración propia (Ver Tabla 165).

Puntos críticos (Hotspot) Identificado

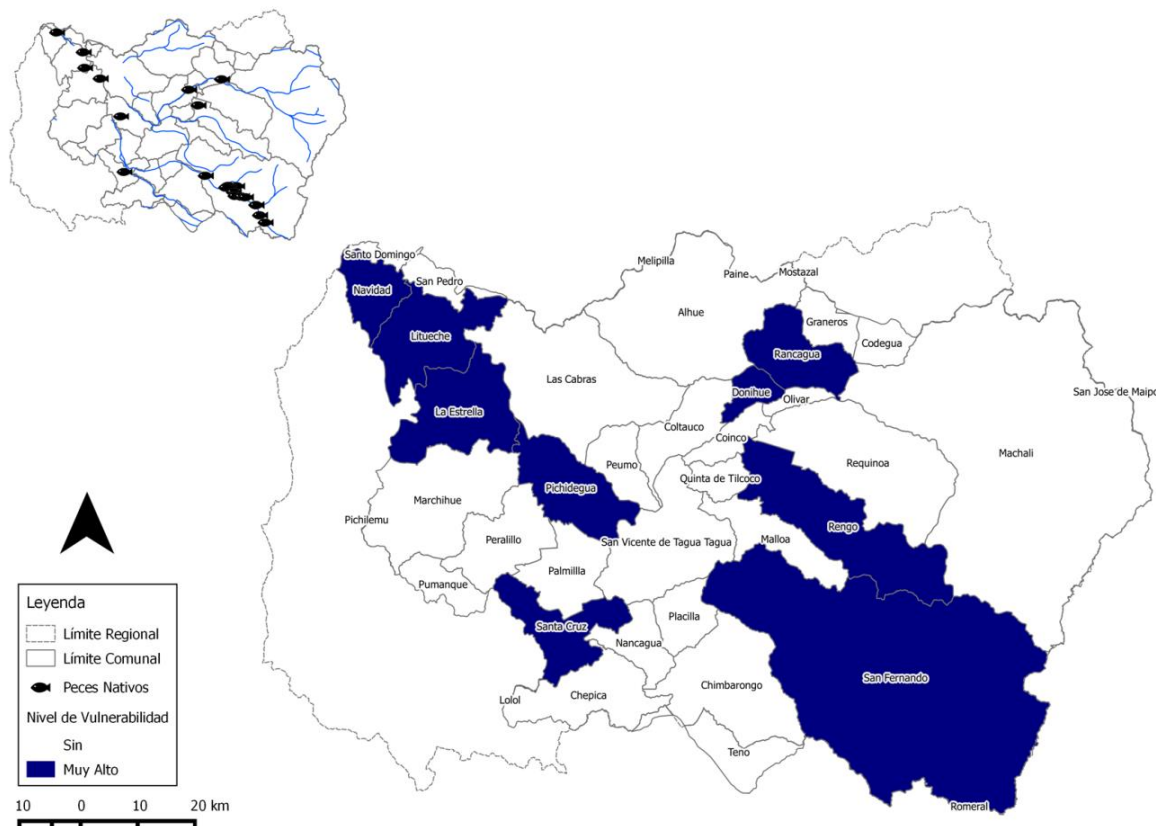
7. La comuna de Alhué presenta un gran valor ecológico que debe ser mantenido y preservado. De acuerdo a las mediciones de HH Gris, estas son considerablemente altas en esta comuna. Pese a que, de acuerdo al índice de contaminación, en promedio el caudal sería suficiente para asimilar la carga de contaminantes, las variaciones mensuales del índice muestran que, para las partes altas del río Cachapoal esta capacidad se vería reducida en los meses invernales.

b) Especies en categoría de conservación

En la cuenca del Río Rapel existen 9 comunas con presencia de especies nativas categorizadas en al menos un estado de conservación. Algunas de las especies que se encuentran son Pejerrey chileno (Vulnerable), Pocha común (Vulnerable), Tollo de agua dulce (En peligro – Rara), Cauque del Maule (Vulnerable) y Bagre chico (Vulnerable).

En la Figura 61 se presentan las comunas con presencia de peces nativos en categoría de conservación y su ubicación dentro de cada comuna.

Figura 61. Rango de Vulnerabilidad Peces en Estado de Conservación.



Fuente: Elaboración propia (Ver Tabla 165).

Puntos críticos (Hotspot) Identificado

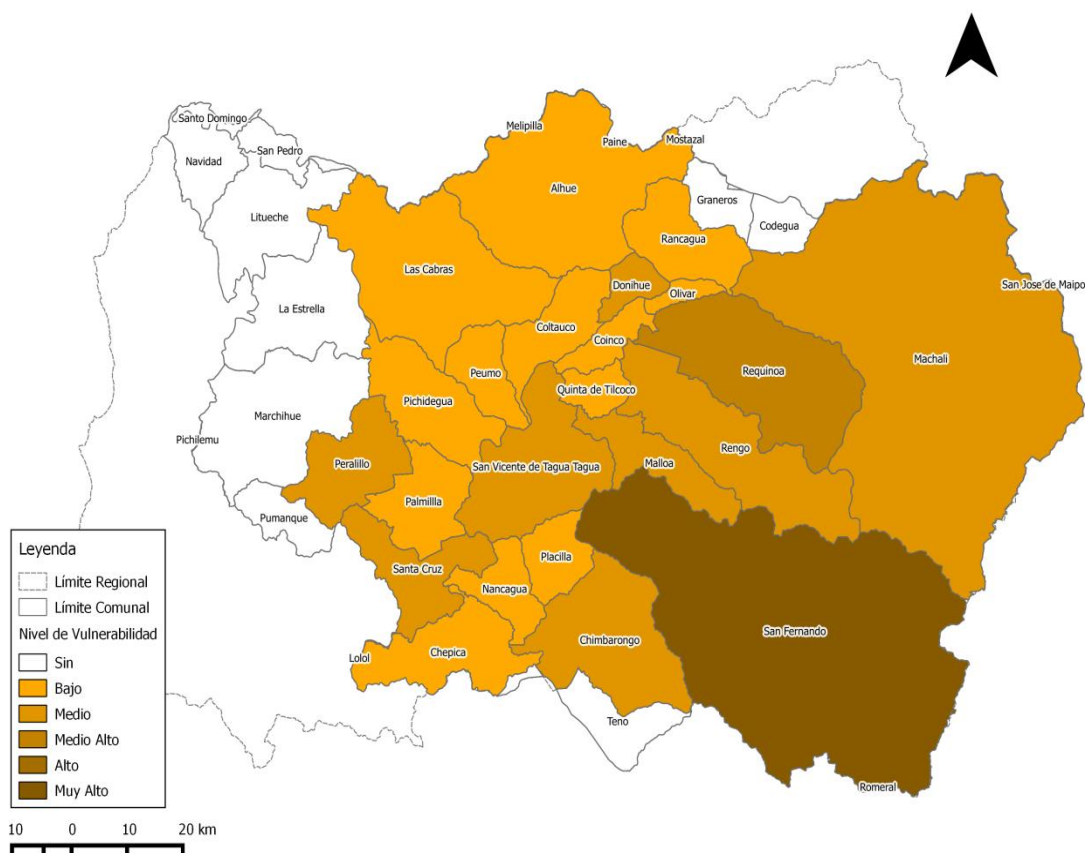
8. Se identificó a las comunas de San Fernando, Rengo y Rancagua como las que poseen una mayor vulnerabilidad con respecto a las especies en categoría de conservación “vulnerable” presentes en la cuenca. Estas podrían representar un punto crítico ya que al compararlas con las HH azules y HH Grises totales, estas comunas presentan una alta demanda física del recurso. Analizando los índices de contaminación y estrés, estos muestran al sector alto del río Tinguiririca con valores más críticos en algunos periodos del año.

c) Descarga de Residuos Líquidos

La comuna de San Fernando es la que tiene más cantidad de puntos de descarga de residuos líquidos, con un total de 26 y siendo todos en base al DS90. Por otro lado, la mayor cantidad de descargas se realizan en la parte central de la cuenca, distribuidas homogéneamente de norte a sur, mientras que en la parte baja es mayormente ausente las descargas de residuos.

En la Figura 62 se presentan las comunas de mayor y menor vulnerabilidad ambiental en base a las descargas de residuos líquidos.

Figura 62. Rangos de Vulnerabilidad Descarga de Residuos Líquidos.



Fuente: Elaboración propia (Ver Tabla 165).

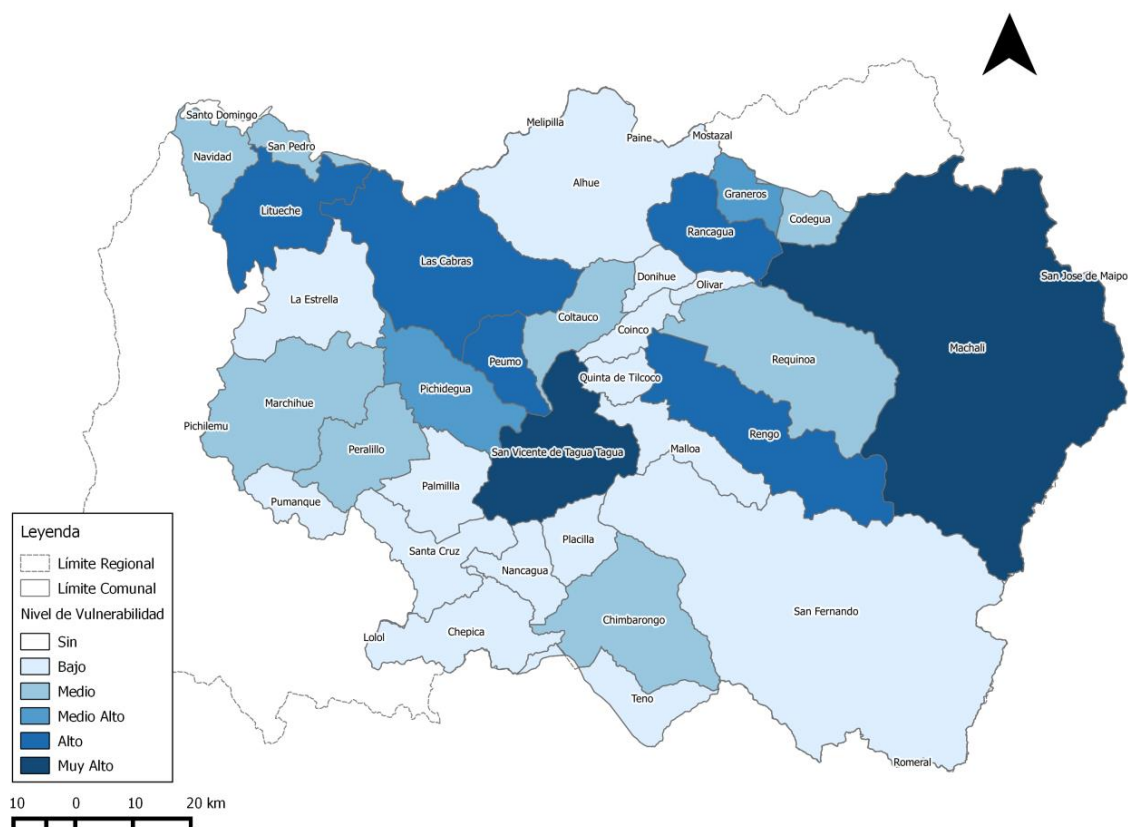
Puntos críticos (Hotspot) Identificado

9. San Fernando sería la comuna que presenta una mayor vulnerabilidad en comparación a otras comunas. Al compararlas con los índices de estrés y de contaminación, estos muestran al sector alto del río Tinguiririca con valores más críticos en algunos periodos del año.

d) Extracciones

En la cuenca del Rapel, existen dos comunas con muy altos niveles de derechos de agua otorgados de uso consuntivo, las que corresponden a Machalí y San Vicente de Tagua Tagua, la primera, con 1.373 litros por segundo al año y la segunda con 1.708 litros por segundo al año. Como se puede observar en la Figura 63, los niveles más altos de extracción de agua dulce se ubican desde la parte alta de la cuenta hasta la parte baja concentrándose en un eje central de poniente a oriente.

Figura 63. Rangos de Vulnerabilidad extracciones de agua dulce



Fuente: Elaboración propia (Ver Tabla 165).

Puntos críticos (Hotspot) Identificado

10. De acuerdo a los volúmenes de extracciones, según derechos otorgados en la comuna de Machalí y a sus resultados de HH azul total, se evidencia que existe un riesgo ya que en el caso de que el consumo sea 100% efectivo, podría poner en riesgo la disponibilidad de los usuarios aguas abajo.

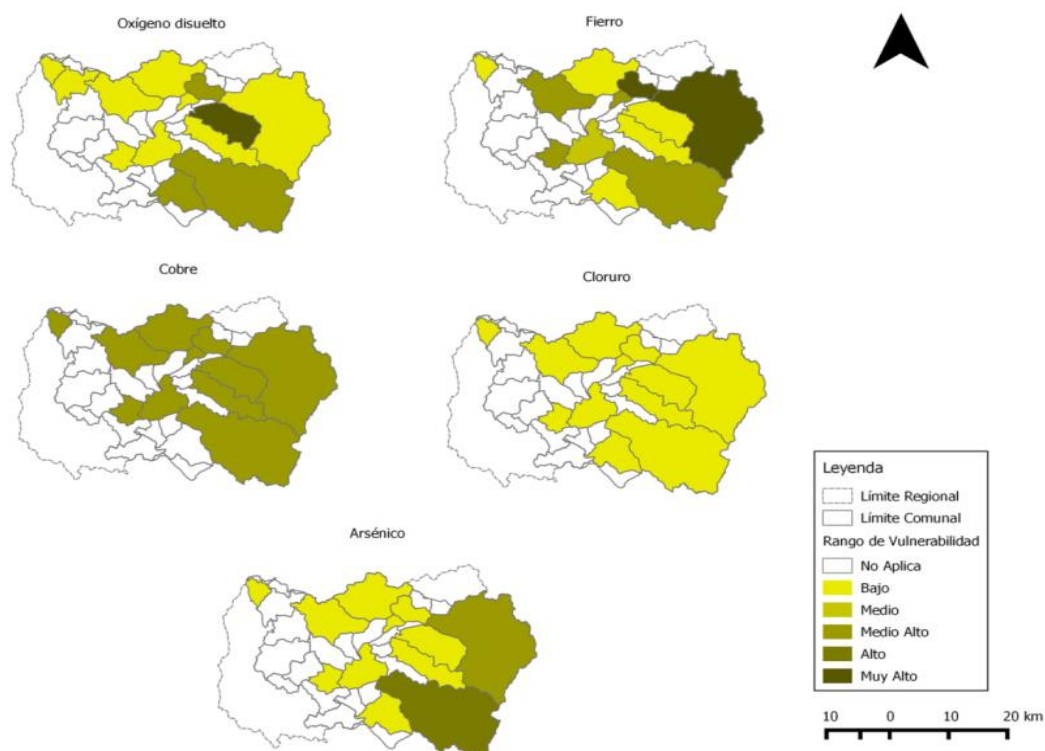
e) Contaminación Difusa

Para evaluar la contaminación difusa, se analizaron 5 parámetros de calidad (oxígeno disuelto, fierro, cobre y cloruro). Como se dijo anteriormente, estos datos fueron obtenidos de estaciones fluviométricas de la DGA, sin embargo es importante mencionar, que las comunas que no presentan un rango de vulnerabilidad se debe a que no existían mediciones en ellas, por lo tanto se evaluaron con un nivel 0, lo que no quiere decir que no presenten un nivel excepcional de calidad de agua, solo que es incierta su condición.

En la Figura 64 se puede observar la calidad de las aguas por comuna, siendo en su mayoría de un nivel de Excepción (en base a CONAMA 2005). Sin embargo, las comunas que presentan un mayor nivel de contaminación y por ende, no son adecuadas para la conservación de las comunidades acuáticas o su aprovechamiento para los usos prioritarios sin el tratamiento adecuado, son aquellas que se ubican en la parte alta de la cuenca, comunas como Machalí, Rancagua, Requinoa y San Fernando. Lo que coincide, en el caso de Machalí, con las mayores extracciones de agua dulce, donde se concentran altos puntos de descarga de residuos líquidos y como se verá más adelante, donde se ubica la mayoría de infraestructuras que causan modificaciones hidromorfológicas en el cauce.

Es importante considerar que estas calidades están basadas en la Guía CONAMA, que si bien no está validada por todos los actores, es la herramienta disponible y que mejor permite acercarse a la realidad. Pese a ello, se recomienda utilizar para los sectores en que esté disponible, la normativa de calidad de agua vigente.

Figura 64. Rangos de Vulnerabilidad Contaminación Difusa.



Fuente: Elaboración propia (Ver Tabla 165).

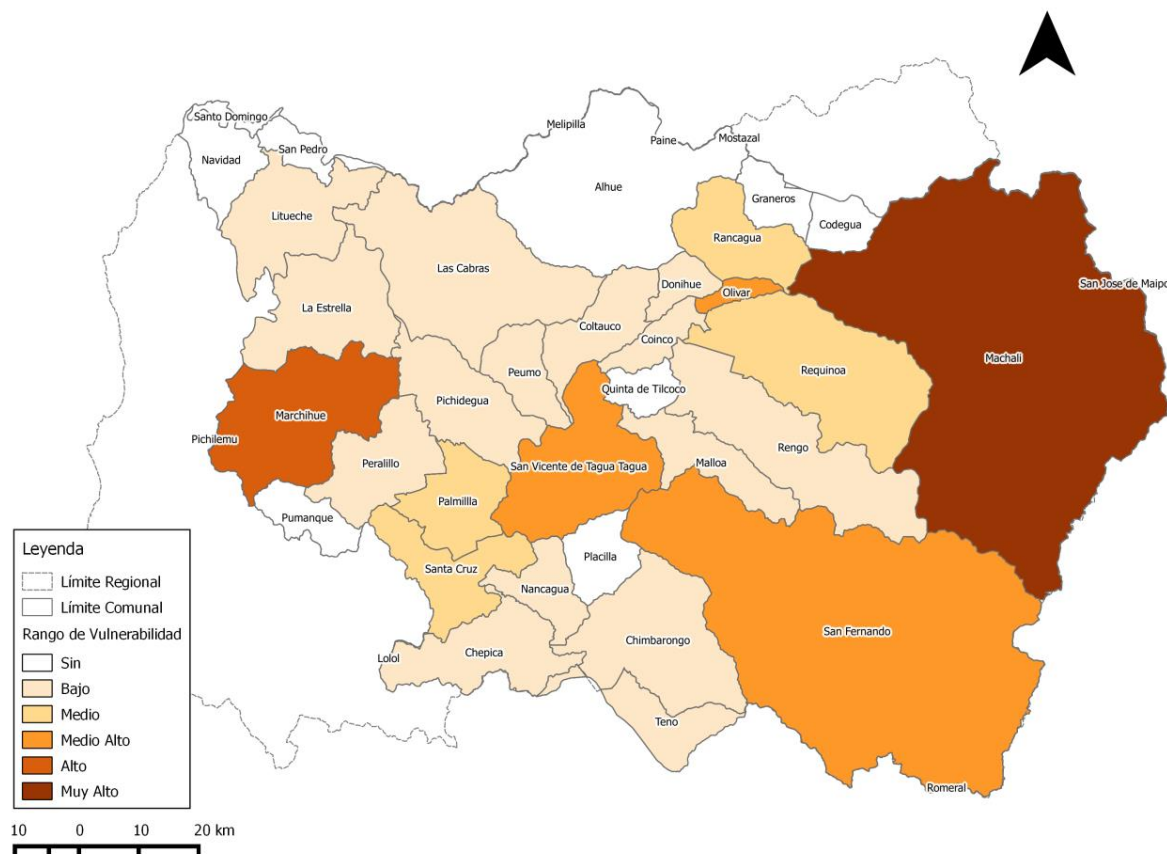
f) Modificaciones Hidromorfológicas

Las modificaciones hidromorfológicas presentes en la cuenca del Rapel corresponden principalmente a extracciones de áridos, que se ubican en su mayoría en la comuna de Machalí. Es importante considerar que para evaluar esta variable, solo se utilizaron los puntos de ubicación y no el tamaño de la infraestructura que causa la modificación, por ejemplo, el Embalse Convento Viejo ubicado en la comuna de Chimbarongo y el Embalse Rapel ubicado en la comuna de Las Cabras, abarcan una alta superficie por la envergadura de la construcción, sin embargo, su impacto solo fue considerado como puntual, al igual que las extracciones de áridos.

En la Figura 65 se muestra la vulnerabilidad por comuna en cuanto a las modificaciones hidromorfológica. Como se puede observar, en la comuna de Machalí es donde se encuentra un mayor número de infraestructuras que ponen en riesgo el curso natural del cauce, que en este caso corresponden en su mayoría a extracciones de áridos, mientras que en la comuna de

Marchihue (la segunda con mayores modificaciones) su vulnerabilidad está dada a causa de los embalses presentes en ella.

Figura 65. Rango de Vulnerabilidad Modificaciones Hidromorfológicas.



Fuente: Elaboración propia (Ver Tabla 165).

g) Nivel de vulnerabilidad ambiental

Luego de obtenidos los niveles de vulnerabilidad para cada variable ambiental, se sumaron y se volvieron a clasificar en 5 rangos que finalmente definen los niveles más riesgos del ámbito ambiental.

Como se puede observar en las figuras Figura 65 y Figura 66, las comunas con mayores problemas ambientales corresponden a las ubicadas en la parte alta de la cuenca: Machalí, San Fernando y Rancagua con un Muy Alto riesgo.

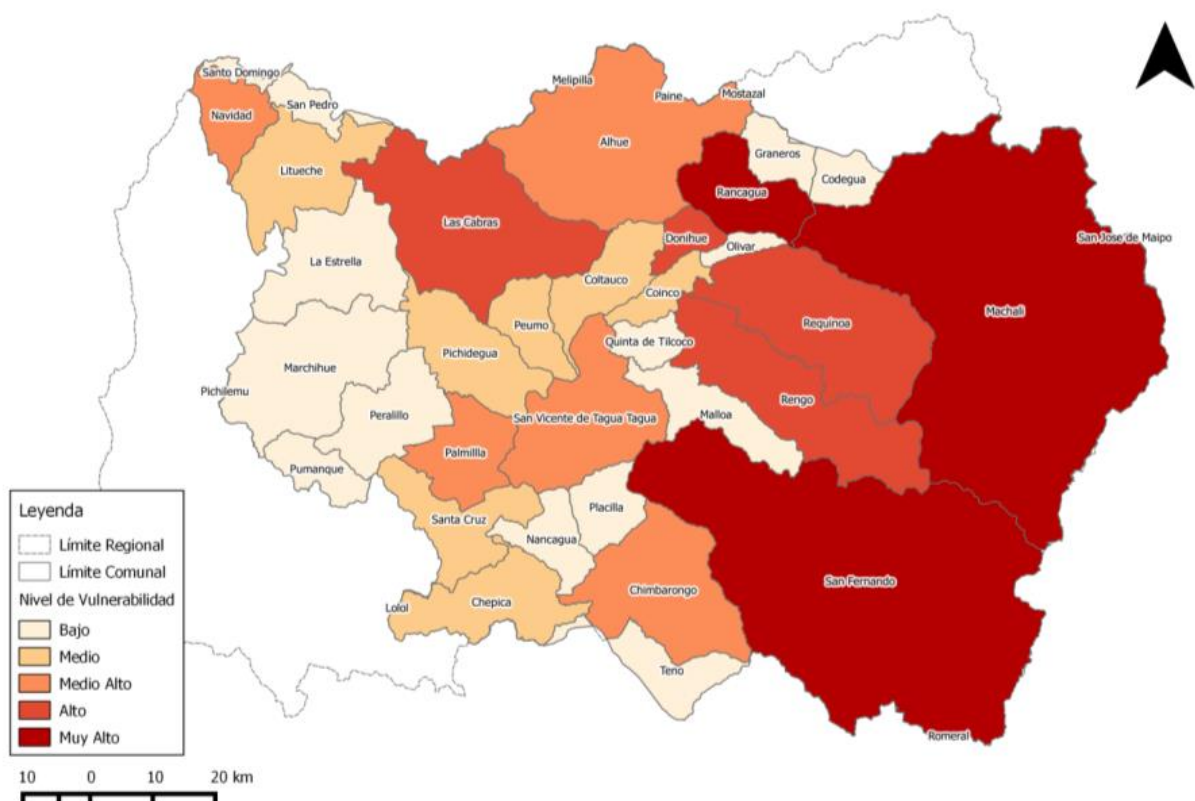
Para la descripción de este índice sólo se consideraron las 5 variables antes descritas, dejando de lado la erosión y el cambio climático, variables que también influyen en las condiciones ambiental de una cuenca, dadas las implicancias que tienen en la disponibilidad hídrica. Si bien existen datos sobre estos parámetros, estos o bien no se encuentran disponibles de forma pública para ser trabajados, o bien su escala es muy pequeña como para realizar un análisis a nivel comunal.

Una de las limitaciones del presente análisis es que cada variable ambiental se analizó con el mismo peso de riesgo, por lo que no se considera la importancia de una sobre otra siendo todas del mismo nivel, lo que no corresponde necesariamente con la realidad.

Es importante definir un objetivo de toma de decisiones para la intervención territorial y así poder definir niveles de importancia para cada variable. Por ejemplo, si el objetivo fuera identificar zonas de conservación de biodiversidad sería imprescindible darle mayor peso a las especies en categoría de conservación y áreas protegidas.

De todas formas, este índice nos entrega una zonificación general para identificar la ubicación de los principales problemas ambientales o puntos críticos (Hotspot). Siendo para la cuenca del Río Rapel, las comunas de San Fernando, Rancagua y Machalí aquellas donde habría que priorizar acciones para el resguardo ambiental, sobre todo considerando que se encuentran en la parte alta de la cuenca ya que podrían poner en riesgo la disponibilidad y calidad hídrica aguas abajo. Por otro lado, en estas zonas es donde se ubica una importante reserva de agua a causa de los glaciares que se encuentran en la cordillera.

Figura 66. Vulnerabilidad ambiental en la cuenca del Río Rapel



Fuente: Elaboración propia.

6.2.3.4. Identificación y cuantificación de impactos primarios y secundarios

A partir de los resultados obtenidos, los puntos críticos (hotspot) identificados se distribuyeron en tres categorías de impacto: impactos de tipo primario (directo)⁶⁷ o secundario (indirecto)⁶⁸ más una tercera categoría de impactos potenciales. Esta última agrupa a aquellos puntos críticos que al ser multicausales pueden transformarse en un impacto primario pero que, no han evidenciado efectos aún.

⁶⁷ Impacto Primario: Se relaciona a un impacto directo, las variables analizadas se relacionan directamente

⁶⁸ impacto secundario: Las variables analizadas no se relacionan directamente (causa-efecto) dado que el efecto es resultado de más variables.

6.2.3.4.1. Impacto primario

- En las variables analizadas en primer término, referidas a la combinación de resultados de HH gris doméstica rural con indicadores de saneamiento rural, y de acuerdo a lo expuesto anteriormente, podría considerarse que el impacto derivado de ambas es directo. Esto debido a que el déficit en saneamiento tiene un impacto directo en los valores de HH gris doméstica, en este caso en las zonas rurales. Así, toda vez que se actúa en favor de mejorar la cobertura y calidad del tratamiento de aguas servidas se producirá un impacto positivo en la HH gris doméstica, en este caso rural, sea dentro o fuera de la cuenca⁶⁹.

Impacto secundario

- En cambio, en el segundo análisis, referido a resultados de HH azul silvoagropecuaria en relación a porcentaje de empleo en dicho sector, se identifica que el impacto sería indirecto. La razón radica en que, si bien hay una relación entre disponibilidad de agua y empleo en el sector, el porcentaje de empleo agrícola puede tener otras razones tales que podrían estar relacionadas con la posibilidad de explotar otros recursos, o de que surjan industrias ligadas al procesamiento de materias primas, a estrategias locales de desarrollo, entre otros. De esta manera, si se tomaran medidas para mejorar la eficiencia del uso del agua en el sector, esto seguramente tendría una influencia en el empleo aunque de manera indirecta.

Impacto potenciales

- 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.
- En esta categoría se encuentran los puntos críticos identificados en el ámbito ambiental. En resumen se identificaron a las zonas altas de la cuenca, principalmente las comunas de San Fernando, Machalí y Rancagua como aquellas que presentan el mayor riesgo para la sustentabilidad ambiental de la cuenca.

⁶⁹ Esto en los casos en que la mejor solución sea derivar las aguas servidas a plantas de tratamiento fuera del territorio en que se mide la huella.

6.2.4. Fase 4: Formulación de Respuesta

De acuerdo al análisis de los resultados se identificaron los siguientes puntos críticos:

1. Se identificó que los sectores altos del Cachapoal y el Tinguiririca tienen menores capacidades de dilución durante los meses invernales y por el contrario durante los meses estivales son los sectores bajos de estos ríos los que aumenta su capacidad de dilución.
2. Las comunas de Rancagua, Teno, Rengo, San Vicente de Tagua Tagua, Santa Cruz y Chimbarongo presentan una alta HH gris doméstica rural que se podría relacionar con aquella población rural que no tiene alcantarillado.
3. El estado de las plantas de tratamiento podrían estar teniendo un impacto en la calidad de los cauces superficiales y o subterráneos.
4. Existe un riesgo potencial de que, dado que una de las principales fuentes de trabajo está relacionado con el sector silvoagropecuaria, cualquier problema tanto de escases como de contaminación que reduzca las ventas, esto tenga repercusiones en la oferta de empleos.
5. La comuna de Alhué presenta un gran valor ecológico que debe ser mantenido y preservado. De acuerdo a las mediciones de HH gris, estas son considerablemente altas en esta comuna. Pese a que, de acuerdo al índice de contaminación, en promedio el caudal sería suficiente para absorber la carga de contaminantes, las variaciones mensuales del índice muestran que para las partes altas del río Cachapoal esta capacidad se vería reducida en los meses invernales.
6. Se identificaron a las comunas de San Fernando, Rengo y Rancagua las que poseen una mayor vulnerabilidad con respecto a las especies en estado de vulnerables presentes en la cuenca. Estas podrían representar un punto crítico ya que al compararlas con las HH azules y HH grises totales, estas comunas presentan una alta demanda física del recurso. Analizando los índices de contaminación y estrés, estos muestran al sector alto del río Tinguiririca con valores más críticos en algunos periodos del año.
7. San Fernando sería la comuna que presenta una mayor vulnerabilidad en comparación a otras comunas. Al compararlas con los índices de estrés y de contaminación, estos muestran al sector alto del Río Tinguiririca con valores más críticos en algunos periodos del año.
8. De acuerdo a los volúmenes de extracciones la comuna de Machalí y a sus resultados de HH azul total, se evidencia que existe un riesgo ya que gran parte de los derechos entregados son consumidos los

que, en el caso de que este consumo sea 100% efectivo podría poner en riesgo la disponibilidad de los usuarios aguas abajo.

En base a los puntos críticos se proponen las siguientes soluciones:

a) Referente al cruce de la HH gris con el estado del tratamiento de aguas rural

- Ampliación de cobertura de alcantarillado rural, en los lugares que sea posible, para facilitar la conducción hacia una planta de tratamiento. Esto reduce costos en cuanto a limpieza de fosas y transporte de aguas servidas hacia el punto de tratamiento o vuelco.
- Revisión del estado de las PTAs rurales que no funcionan de acuerdo a la norma, para poder evaluar los inconvenientes y dar soluciones para su óptima operación.
- Mejorar y ampliar la cobertura de PTAs rurales, con sistemas que sean compatibles con las capacidades locales de operación y mantenimiento.
- Evaluar la implementación del reuso de aguas residuales.

b) Referente al cruce de la HH azul y empleo

- Medidas de eficiencia en riego, sin extensión de ha de cultivo.
- Mejorar conducción y sistemas de monitoreo de extracción de aguas
- Evaluar los sistemas presurizados para un mayor control de las extracciones, con esto se incentivaría una mejor distribución del agua acotada a derecho. Se podrían evitar así las extracciones ilegales.
- Generar oportunidades de diversificación económica, que brinden alternativas laborales en caso de mermar el empleo silvoagropecuario.
- Emprendimientos locales.
- Evaluar la implementación del reuso de aguas residuales.

c) Referente al cruce de la HH y medio ambiente

- Se debe poner atención al estado de las áreas de conservación, de distintos tipos, existentes en la cuenca. Así podrían generarse planes de

manejo para controlar el consumo y las calidades de agua, de manera que no afecten áreas con potencial para generar servicios eco sistémicos ligados al agua.

- Lo mismo debe ocurrir con los sectores con presencia de especies en estado de vulnerabilidad ya que para ellas es imprescindible contar con volúmenes de agua y calidades suficientes para mantener sus hábitats.

- Se debe considerar el efecto estacional en las medidas, ya que la gestión se complejiza al tener realidades diferentes en los sectores altos y bajos de los ríos.

- Es importante destacar que los derechos otorgados se encuentran en su mayoría en la parte alta de la cuenca, los cuales al ser usados en un 100%, ponen en riesgo el aprovechamiento del derecho de quienes se encuentran aguas abajo.

6.2.5. Conclusiones

6.2.5.1. Conclusiones del Piloto

A partir del trabajo realizado y aplicado en la cuenca del río Rapel se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- El mayor consumo hídrico en la cuenca está determinado por el sector agrícola, el cual absorbe cerca del 90% de la oferta hídrica de la cuenca.
- Dado los resultados de los Índices de estrés y contaminación, calculados para la realidad de la cuenca, estos muestran que la cuenca no presenta estrés hídrico durante gran parte del año. Solo los meses de Diciembre, Enero y Febrero (que coinciden con los meses de mayor consumo agrícola) la demanda podría superar a la oferta en los sectores bajos de la cuenca.
- En base a este análisis, los problemas que puedan presentarse con respecto a la disponibilidad hídrica, están relacionado a la distribución y no a la disponibilidad.
- Asumiendo un caudal constante durante todo el año, la capacidad de asimilación de contaminantes de la cuenca no ha sido sobrepasada. Ahora bien, si los caudales disminuyeran o las cargas aumentaran a las estimadas en el estudio, podría presentarse un impacto negativo sobre la calidad de agua.

- En cuanto la Huella Hídrica Gris, existe un impacto puntual en el estero Alhué, debido a la descarga del embalse Carén proveniente del sector minero. Sin embargo, al analizar la HH Gris a nivel de la cuenca el mayor impacto en el territorio es producido por las descargas domésticas rurales.
- De acuerdo a los datos recogidos y los resultados de HH para el sector rural, el déficit en saneamiento tendría un impacto directo en los valores de HH gris doméstica. Así, mejorar la cobertura y calidad del tratamiento de aguas servidas produciría un impacto positivo en la HH gris doméstica, en este caso rural
- Otro punto importante a tener en cuenta es el impacto, aunque indirecto, entre la HH azul silvoagropecuaria y el empleo en dicho sector, que implica un riesgo en aquellas comunas de la cuenca en que la dependencia de esta fuente de trabajo es alta.
- En base al análisis de vulnerabilidad ambiental, es posible concluir que las comunas de Machalí, San Fernando y Rancagua son comunas claves para la sustentabilidad hídrica de la cuenca. Esto se debe a que estas concentran la mayor cantidad de derechos otorgados y coinciden con las que presentan mayores HH Azules y Grises. En el caso de que se usen el 100% de los derechos otorgados afectaría directamente el uso del derecho en la parte baja de la cuenca.
- Por otro lado estas tres comunas presentan especies dulce acuícolas en categorías de conservación “vulnerables y en peligro”, destacando la presencia de la especie *Diplomystes chilensis*, que es endémica de Chile y aparentemente extinta en toda su distribución, sin embargo se encontraron ejemplares en el río Tinguiririca en una sola localidad, siendo estos los únicos registros conocidos en la actualidad.

A partir del trabajo en los talleres donde se utilizó la información obtenida de HH se identificaron acciones que permitirían mejorar la situación hídrica en la cuenca. Estas acciones se pueden agrupar en 5:

1. ACCIONES PARA AUMENTAR DISPONIBILIDAD
2. ACCIONES QUE IMPLICAN INFRAESTRUCTURA
3. ACCIONES PARA MEJORAR ASOCIATIVIDAD
4. ACCIONES PARA MITIGAR EL IMPACTO
5. ACCIONES PARA AUMENTAR PROTECCION DE LAS FUENTES DE AGUA

Para cada una de las acciones se identificaron responsables y se identificaron las tareas y/o obligaciones (Ver 10.2.2).

7. Brechas identificadas

7.1. Brechas de Información

7.1.1. Caracterización del territorio

La principal brecha en este aspecto, corresponde a la escala en que se publica la información. Salvo en el caso de los censos, la información productiva está referida a una escala regional. En reuniones con INE, que es la institución que provee de gran parte de la información necesaria para la caracterización productiva del país, se informó que esto se debe a temas de representatividad de los datos. En la práctica, el tema de la escala significa una brecha importante cuando se evalúa una cuenca ya que implica que se deben hacer asignaciones tanto territoriales como productivas.

En el caso del estudio piloto, la cuenca estudiada coincide en gran parte con la región de O'Higgins, lo que facilitó que para aquellos casos en que solo existía información regional esta fuera representativa de la cuenca. Para el caso de las comunas borde se tomó la decisión de considerarlas como parte de la cuenca, salvo aquellas que representaran menos del 1 % de la cuenca.

Esta asignación puede variar caso a caso, pero en la medida que la información productiva este geo referenciada, esto dejaría de ser una brecha importante.

Otro problema identificado es la dispersión de la información relativa a algunos sectores específicos como son energía, agropecuario minería e industria.

Las principales complejidades se refieren a que la información:

- No está agrupada ni sistematizada en un solo sitio.
- La forma en que la información es publicada no es consistente entre un año y otro (en algunos casos).
- Todos los catastros y censos publicados de los sectores son de años diferentes.
- Los datos disponibles para consumos de agua y descargas de RILes en el sector industrial se encuentra en diferentes unidades dependiendo de la fuente de información⁷⁰.

⁷⁰ Fenómeno que ocurre en numerosos subsectores a nivel industrial. Por ejemplo, en el caso de las olivícolas, para entidades gubernamentales la información se encuentra en m³/kg de materia prima (aceitunas) y en asociaciones gremiales m³/kg de producto procesado (aceite). Esto cual implica que deban conocerse los rendimientos, los cuales además varían de acuerdo a cada empresa dependiendo del tipo de proceso productivo y tecnología, con lo cual terminan utilizándose promedios.

- La unidad territorial que se utiliza en general es la región lo que dificulta un análisis más detallado.

Estas brechas dificultan la asignación de las huellas hídricas a los territorios en estudio.

Finalmente, no se dispone de información acerca de los traslados de insumos producidos en una zona a otra lo que impediría evaluar los flujos de agua virtual dentro del país.

7.1.2. Información para el cálculo de las HH de cada uno de los sectores

Las brechas de información difieren dependiendo del sector y el tipo de producto que se esté midiendo la huella hídrica.

- Para el cálculo de la HH del sector silvo-agroforestal, se identificaron brechas específicas de acuerdo al subsector que se esté evaluando.

Para el *sector agrícola*, la principal brecha es la misma estimación del requerimiento hídrico. Este es un tema ampliamente estudiado y es por ello que existen una gran cantidad de modelos disponibles. Cada uno requiere distinta información de entrada la cual va a estar sujeta a supuestos.

La información climática requerida para realizar estos modelos es complicada de obtener y poseen una gran variabilidad. Es por ello que se debe definir datos de entrada estandarizados para que los resultados sean comparables y las mediciones replicables. En este sentido la DGA posee una serie de estaciones que pueden ser tomadas como referencia. También existen estudios desarrollados por la CNR junto a otras estimaciones donde ya se han estimado valores de ETo y valores de Kc que permitirían estimar un requerimiento hídrico potencial.

Otra brecha que se identificó, es que pese a que el requerimiento hídrico puede ser estimado, este corresponde a un requerimiento potencial y no necesariamente corresponde al real. Este valor puede ser corregido, por ejemplo, en base a la pérdida del rendimiento.

La información para llevar a cabo esta corrección se requiere determinar:

- Rendimiento potencial de cada especie
- Rendimiento real de cada especie
- Coeficiente de estrés (Ky)
- Evapotranspiración potencial

En este estudio se evaluó realizar este ajuste a los valores de requerimiento hídrico ya calculado, a partir de este ejercicio se encontraron brechas de información como:

- La obtención de los rendimientos potenciales no están definidos por una sola fuente, por lo que no están definidos para las condiciones específicas de cada región

- En algunos casos el rendimiento potencial publicado fue más alto que el rendimiento real lo que implica que la evapotranspiración fuese más alta que la potencial, lo que podría ser considerado como un error.
- Rendimiento anuales reales se tomaron desde distintos años en ton/ha. Para el caso de las especies hortícolas como son el choclo fresco, las lechugas, alcachofas, etc., estas son contabilizadas en los catastros por unidades y no por el peso, por lo que no pudieron ser incluidas en el análisis.
- La producción vitivinícola no pudo ser considerada, ya que no existen catastros de rendimientos reales oficiales y potenciales.
- Este modelo no se puede aplicar para especies forestales, y algo parecido ocurre con las especies frutales. Las especies frutales y forestales son más complejas que las especies vegetales anuales, por lo que FAO recomienda modelos a su vez más complejos (Aquacrop).
- Los coeficientes de estrés (ky) utilizados son aquellos calculados por FAO para algunas especies, los que se complementaron con los coeficientes presentes en la BBDD Climwat. En el caso de que el ky no existiese, como por ejemplo los frutales, se les asignó el ky de la especie más cercana ya que no hay estudios que entreguen esa información más ajustada.
- Para el caso de los forestales no se aplicó este ajuste, ya que como se mencionó el modelo no fue hecho para estas especies.
- También es importante mencionar que un correcto uso de este modelo requiere evaluar cuando durante el desarrollo de la planta ocurre la disminución en la disponibilidad de agua, ya que la producción se ve afectada de manera distinta a lo largo de su desarrollo, y por lo que se requiere aplicar diferentes ky a lo largo del periodo de crecimiento. Esto no fue posible ya que no hay información suficiente para llevar a cabo este análisis, por ello se evaluó el ky promedio para todas las etapas del desarrollo. Entendiendo que estos valores, deben ser validados para Chile.

Para el caso del sector silvícola, se aplican las mismas brechas que para el sector agrícola, pero se suma el hecho de que, dado que no se realizan riegos se asume que las precipitaciones son la única fuente de agua del sector forestal. En teoría, los árboles por estar más tiempo establecidos en el suelo tienen un sistema radicular más desarrollado lo que les permitiría obtener agua desde fuentes subterráneas. Ya que no hay estudios que lo confirmen, no es posible asumir este hecho.

Estudios referentes a analizar el impacto de las áreas forestales en la disponibilidad de aguas subterráneas podría cambiar las dinámicas hidrológicas ya que estas cubren grandes superficies evapotranspirantes lo

que significa que existen grandes cantidades de agua dulce que se consumirían y hasta el momento no han sido contabilizadas.

Con respecto al sector pecuario, la principal brecha de información hace referencia al impacto de los efluentes en las aguas subterráneas. Los efluentes no son descargados a cursos superficiales si no que utilizados en riego. Se requieren de estudios que evalúen el estado de calidad de las aguas subterráneas para poder calcular el real impacto de estos efluentes.

Para los sectores minería e industria una de las principales brechas se refiere a la dificultad en el acceso a la información. No existe una base de datos con los caudales reales utilizados por las diferentes industrias, ni menos de las calidades de sus RILes. Tampoco se cuenta con información sobre volúmenes de extracción por empresa, sino que sólo se accede a un valor de uso a nivel sector.

Por otro lado, pese a que en este estudio se realizaron modelos de los principales procesos productivos, estos modelos asumen que los procesos dan como resultado un solo tipo de productos, lo que en la realidad no siempre es así.

Para disminuir esta brecha se recomienda que se apoye y se solicite que, al menos en las áreas identificadas como críticas en el territorio estudiado, las industrias transparenten su consumo, descargas y la calidad de las mismas (Huella Hídrica) mejorando así la toma de decisiones.

La información respecto al sector doméstico presenta grandes brechas en el sector rural. De hecho, el sector rural no cuenta con una base de datos que organice y permita identificar los caudales utilizados ni las calidades con las que se descargan los efluentes. Todos los cálculos se deben realizar con supuestos, a diferencia del sector urbano, donde se cuenta (por parte de la SISS) con el detalle de los caudales utilizados a nivel comunal y una base de datos con las calidades descargadas periódicamente.

También generó un vacío de información el porcentaje de la población sin acceso al alcantarillado, ya que los sistemas de tratamiento del tipo fosas sépticas y pozos negros tienen diferentes comportamientos y resulta complejo establecer un supuesto para generalizar su funcionamiento.

En cuanto a las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS), a nivel urbano está prácticamente todo catastrado. Por el contrario, a nivel rural se presentan falencias de información. Además de no contar con caudalímetros, los monitoreos que realiza la autoridad de salud son

esporádicos, con lo cual resulta más difícil contar con información acerca del funcionamiento de cada una.

7.1.3. Información para el análisis de la HH

Para la evaluación territorial de la HH, las principales brechas se refieren a: Las mediciones de caudal de encuentran incompletas, de manera de estandarizar los resultados estos valores deberían estandarizarse por la DGA al igual que:

- Los caudales ecológicos para cada uno de los sectores
- Para el análisis de sustentabilidad no se pudo distinguir cuánta agua es extraída desde fuentes subterráneas, lo que dificulta el análisis de los impactos de la Huella Hídrica en el territorio.
- Calidad de aguas subterráneas
- Extracción de los pozos

7.1.4. Información para el análisis de sustentabilidad e identificación de puntos críticos

a) Caracterización medioambiental

Una de las principales brechas se relaciona con la falta de disponibilidad de información, que implica que ciertas variables ambientales no hayan podido ser incluidas en el estudio. Un ejemplo de ello puede verse en el caso de los cambios de precipitación y temperatura derivados del cambio climático, para los que hay estudios sólo a nivel nacional que no se ajustan cuando se trabaja con una cuenca. Por otro lado, se dan casos en que si bien la información existe al nivel que se necesita ésta no está disponible de forma pública. Esto ocurre por ejemplo con los datos relacionados a riesgo de erosión de suelos, donde es necesario pagar elevadas sumas de dinero para tener acceso.

Por otro lado, la recopilación de información resulta compleja, ya que se encuentra muy dispersa entre instituciones y fuentes. Esto además lleva a que la información esté en distintos formatos, tomando un tiempo considerable su estandarización y homogeneización.

En el caso particular de la información de caudal y contaminación hídrica, se hace dificultoso el análisis ya que no hay continuidad en la toma de datos. Para este tipo de variables es necesaria información de alrededor de 30

años, lo que en muchas estaciones oficiales no está disponible o con datos intermitentes.

b) Caracterización social-económica

Generales

Datos poblacionales no actualizados. Dado que el último censo válido fue en 2002, los datos provenientes del INE podrían no ser del todo precisos. Lo mismo ocurre con la Encuesta CASEN, cuyos resultados 2013 no estaban disponibles a nivel comunal en la fecha en que se realizó la recopilación.

Al igual que en otros casos existe una dispersión y falta de sistematización de las fuentes de datos estadísticos. El hecho de que los datos de tipo socioeconómico provengan de tan diversas fuentes, muchas veces puede dificultar su recolección.

Datos económicos por cuenca no pueden obtenerse ya que mucha de la información productiva no se encuentra por volumen producido sino que por el total de la venta. Este análisis se complica cuando se analiza los productos procesados donde se desconoce el origen de la materia prima.

Específicas

Gran parte de los datos no se encuentran a nivel comunal. Para algunos indicadores no se encuentran datos para el nivel de análisis que se requiere. Por ejemplo en el caso de distribución del ingreso, se pueden encontrar los resultados a nivel regional pero no para cada comuna.

Ocurren casos en que hay datos que son tomados de una misma fuente y aun así pueden presentar diferencias. Por ejemplo en el caso de número de empresas por tamaño y número de empresas por sector, cuya sumatoria no coincide en muchos de los casos.

Datos no coinciden entre fuentes distintas. Por ejemplo en el caso de los empleos permanentes y totales para el sector agropecuario, si se compara entre lo registrado por el SII (contenido en los reportes comunales de la página de la Biblioteca del Congreso Nacional) y el censo agropecuario, aparecen disparidades.

8. Huella hídrica en políticas públicas

El capítulo de políticas públicas no pretende entregar un análisis legal exhaustivo del tema hídrico, sino que más bien analiza cómo la Huella Hídrica se puede utilizar como herramienta de mejora técnica al interior de la DGA y como “*instrumento de coordinación*” con otras instituciones públicas sectoriales vinculadas a la sustentabilidad del recurso hídrico.

En Chile y Latinoamérica se han detectado brechas de información importantes de abordar, tales como:

- **Determinación de la demanda actual y futura del agua en territorios que son compartidos por varios usuarios.** Si bien en Chile se cuenta con información sectorial respecto a la demanda hídrica, la Huella Hídrica es una herramienta validada a nivel internacional para determinarla en forma clara y objetiva.
- **La Dirección General de Agua debe entregar opiniones fundadas en información técnica pertinente, formuladas dentro de sus respectivas competencias.** Para ello, se han desarrollado diferentes herramientas que permiten obtener esta información en forma objetiva y clara. La Huella Hídrica es una herramienta que permite determinar los consumos óptimos de agua requeridos por los diferentes sectores productivos en un territorio compartido (cuenca) por diversos usuarios de agua. Esto permite cautelar cualquier efecto adverso significativo sobre los recursos hídricos, reduciendo la incertidumbre en la toma de decisiones.
- **Mecanismos de incentivo para la reducción y compensación de aguas.** Hoy en día no existen mecanismos que incentiven la reducción y compensación de aguas en Chile, desde una mirada estratégica, con el fin de incentivar la conservación de las mismas. La huella hídrica es un mecanismo que sirve de base para generar cultura del agua, así como incentivar acciones de reducción y compensación de aguas por parte de los mismos usuarios.
- **Indicador para medir los impactos de las medidas de reducción de consumo de agua en el tiempo.** La huella hídrica es un indicador de consumo de agua, construido con una base técnica sólida. Es posible usarlo para medir el impacto en el tiempo, de las acciones implementadas en reducción de consumo hídrico.

Si bien la Huella Hídrica no influye directamente en la conservación de las fuentes de agua naturales, si es una buena herramienta para determinar consumos en un territorio compartido por diversos usuarios y generar medidas para una distribución equitativa del recurso, para reducir,

compensar o mitigar impactos sobre el agua compartida en un mismo territorio.

Dado que la Huella Hídrica es un indicador del consumo de agua, construido con datos oficiales del Estado de Chile, entrega una base técnica fuerte para establecer línea base, zonas de impacto territorial que servirán para la coordinación intersectorial, así como medir los impactos de las intervenciones realizadas en el recurso hídrico. Se recomienda al Estado de Chile generar mecanismos de incentivo para fomentar la eficiencia y compensación en el consumo hídrico, con el fin de estimular la conservación de las mismas. Un buen ejemplo en este tema lo ha iniciado Perú con la norma voluntaria en Huella Hídrica (ver ficha caso Perú).

La aplicación legal de los antecedentes expuestos en este documento, es de competencia de la Dirección General de Aguas y no forma parte del presente estudio.

El análisis de Huella Hídrica en políticas públicas identifica 7 espacios técnicos/estratégicos donde la DGA puede generar acciones:

1. **Ajuste D.S. N°743/2005:** La aplicación de la Huella Hídrica, entregará una base de datos nacional para determinar los consumos de agua por cada sector productivo, el cual se debe ir ajustando en el tiempo. Esta información servirá para ajustar el D.S. N°743/2005.

Es importante destacar que el D.S. N°743 fue elaborado en el año 2005, considerando diversos criterios para establecer sus valores, en algunos casos se considera el consumo y en otros casos el nivel de extracción.

2. **Incorporar al manual de normas y procedimientos del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos:** Se recomienda analizar la incorporación de Huella Hídrica dentro del manual interno de conservación, como un análisis deseable de realizar por parte de los titulares para mostrar su “buena gestión del agua”, establecer medidas voluntarias de reducción y/o compensación de agua, así como un indicador que permita medir el impacto en el tiempo. Si se busca medir el impacto de un proyecto en su área de influencia, se recomienda utilizar la Huella Hídrica a nivel de territorio (cuenca). Por otro lado, para medir el consumo hídrico internamente en la empresa, se recomienda utilizar la metodología ISO 14.046 (análisis de ciclo de vida). La metodología ISO es posible transformarla en una herramienta de gestión obligatoria, a través de una Norma Chilena oficializada por un Ministerio competente.

3. **Incorporar en Planes Maestros de Recursos Hídricos Regionales:** La DGA podría incorporar la Huella Hídrica en estos Planes,

dado que aporta información adicional sobre el consumo de agua, incorporando la mirada de territorio compartido por diversos usuarios en el diagnóstico, lo cual servirá para determinar las presiones sobre los recursos hídricos a escala de cuenca (demanda), identificadas como los mayores consumos de agua y sus impactos. La integración de la huella hídrica dentro del ciclo hidrológico y su balance a escala de cuenca, permitirá identificar a nivel territorial los sobreconsumos y las áreas donde la escasez hídrica en la cuenca puede ser una amenaza. Esta información será clave para determinar la necesidad de reorientación de la política del agua, teniendo en cuenta criterios no solo de oferta sino también de demanda y considerando aspectos económicos, sociales y ambientales, determinando los espacios territoriales prioritarios de intervenir.

4. **Herramienta para la coordinación sectorial:** La huella hídrica entrega una base técnica sólida que permite la coordinación con otros organismos de Estado y sectores productivos. Gran parte del manejo de los recursos hídricos en un territorio compartido por diversos usuarios (cuenca), dependerá del manejo de las intervenciones correspondientes al rubro que tenga un mayor consumo de agua.

5. **Identificación de mayores consumos de agua:** Cuando un derecho de agua otorgado es menor al nivel de producción que mantiene un rubro productivo, se recomienda identificar las fuentes de agua adicionales que están siendo utilizadas. Cuando se sospecha de este tipo de situaciones, se recomienda aplicar la Huella Hídrica a una escala más acotada en el territorio identificado.

6. **Evaluación y Seguimiento:** La Huella Hídrica es un indicador multipropósito que sirve de base para cuantificar los impactos de las intervenciones sobre el recurso hídrico en el tiempo.

7. **Toma de decisiones:** Permite visualizar los Puntos Críticos de consumo hídrico en el territorio compartido por diversos usuarios y así focalizar los estudios e intervenciones a realizar para la sustentabilidad del recurso en el tiempo y espacio.

8.1. Marco conceptual

8.1.1. ¿Qué es la Huella Hídrica?

La Huella Hídrica es una herramienta que ofrece mirar los problemas del agua desde un punto de vista diferente al tradicional, enriqueciendo el proceso de toma de decisiones al simplificar y contextualizar los problemas

hídricos en los territorios compartidos por múltiples usuarios. Con su aplicación es posible visualizar variables antes ocultas, permitiendo avanzar en la búsqueda de soluciones estratégicas para su sustentabilidad en el tiempo.

En Chile, además de los múltiples factores que amenazan la sustentabilidad del recurso hídrico, nos encontramos con que las demandas siguen creciendo a la vez que los recursos hídricos se reducen⁷¹. Todo ello nos conduce a una situación de cada vez mayor riesgo, tanto ambiental, como social y económica.

La Huella Hídrica es un indicador multidimensional que permite identificar las relaciones entre la economía regional, la ordenación territorial y la gestión de los recursos hídricos, sentando las bases técnicas para evaluar la situación hídrica en un territorio compartido por diversos actores y actividades, identificar puntos críticos de consumo e implementar soluciones inteligentes y adaptadas al contexto territorial, las cuales pueden apuntar a la búsqueda de nuevas fuentes de agua (reuso, desalación, transporte, otras), sistemas de distribución eficientes y equitativos, nuevas formas de acceso, tecnologías para la eficiencia hídrica, generar una transformación de prácticas cotidianas asociadas a la relación agua – hombre, entre otras. Esta herramienta permite evaluar los efectos sinérgicos que puede generar la extracción de agua en un punto determinado, considerando la cuenca como la fuente de agua compartida por diferentes usuarios que pueden verse afectados por una determinada intervención.

Un tema relevante es que si bien el problema del agua es global, las soluciones e impacto sobre el recurso poseen características locales. Es por ello que algunos lugares como California (EEUU) y Sudáfrica han comprobado que la aplicación de huella hídrica como herramienta base para la gestión hídrica, debe considerar un espacio geográfico determinado, cuyos usuarios comparten las mismas fuentes de agua para su provisión y desarrollo.

Dado que Chile posee una diversidad climática importante de norte a sur, cuyas cuencas difieren en calidad y cantidad en forma importante, se

⁷¹ Los impactos directos del cambio climático sobre los procesos naturales pueden ser exacerbados por las actividades humanas. (UNESCO, 2011. El Efecto del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos: Una Síntesis Global de Descubrimientos y Recomendaciones). La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2015. La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe; Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible) calcula que estos países deberán destinar en los próximos cien años entre el 1,5 % y el 5 % de su PIB a combatir el cambio climático, cuyos efectos, traducidos en inundaciones, sequía y disminución de glaciares, impactan en la biodiversidad, la seguridad alimentaria, la economía y la salud.

recomienda la aplicación de la huella hídrica a nivel de cuencas hidrográficas, aportando con bases sólidas para la GIRH. Esto hace que la comparación de resultados de huella hídrica de un lugar a otro deben realizarse con cautela, dado que depende del contexto territorial que se está evaluando (sequía, escases, calidad, otros). Esta es la gran diferencia que existe entre huella hídrica y la contabilidad hídrica.

Por último, los problemas hídricos en Chile esconden presiones multisectoriales, donde el principal consumidor del agua en Chile y el mundo es la agricultura, sector alejado de las competencias de la Dirección General de Aguas. Es por ello que las soluciones deben gestionarse conjuntamente con otras instituciones del Estado, destacando principalmente al Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Agricultura, ambos con sus Direcciones Técnicas competentes.

8.2. Casos internacionales en la aplicación de la Huella Hídrica

A continuación se presentan diferentes casos de aplicación de Huella Hídrica a nivel internacional, donde es posible encontrar la utilidad que le han dado a esta herramienta para la gestión de los recursos hídricos.

Los temas primordiales que se recogen de estos antecedentes apuntan hacia un mismo objetivo, los cuales han sido considerados en este estudio para mejorar la aplicación de esta herramienta en Chile.

Dentro de los temas relevantes a considerar destacan los siguientes:

8.2.1. Huella Hídrica en escalas territoriales homogéneas.

Se plantea que la aplicación de Huella Hídrica debe realizarse a escalas territoriales menores, donde las fuentes de agua son compartidas en un mismo territorio. Además, se plantea evolucionar hacia un enfoque integrado en la planificación y gestión del recurso hídrico que incida, sobre todo, en el control de los consumos e impactos sobre el agua, facilitando la integración de aspectos económicos, sociales y ambientales, teniendo en cuenta criterios no solo de oferta sino también de demanda, considerando aspectos económicos, sociales y ambientales. Esto es planteado en el caso presentado de California, EEUU y España. Además, en el caso de Andalucía, España, se plantea la necesidad de aplicar el concepto de huella hídrica a escala de cuenca para optimizar la distribución territorial de los cultivos de riego y minimizar el consumo de agua por parte del sector agrícola y, a escala de finca, combinado con otros indicadores de gestión, para la

detección de ineficiencias en el proceso de cultivo (e.g. fresa), en particular del riego (sistema y manejo).

8.2.2. Huella Hídrica para eficiencia y compensación de agua.

Se plantea que la Huella Hídrica es la herramienta adecuada para coordinar proyectos de eficiencia hídrica y compensación con el sector privado y con otras instituciones del Estado, con el fin de incentivar la conservación de las mismas. Es lo que ha planteado Perú y México al incluir la herramienta en la política pública.

8.2.3. Identificación de demanda y consumos hídricos.

Esto es planteado principalmente por México y España, donde es necesario integrar esta variable al análisis para generar planes hidrológicos con información de base que represente de mejor forma la realidad en una cuenca compartida por múltiples usuarios.

8.2.4. Cultura del Agua.

Planteado principalmente por Baja California, México, donde se identifica la Huella Hídrica con herramienta que levanta información de consumos en los territorios, las cuales pueden ser usadas para generar conciencia en los usuarios del agua.

8.2.5. Fichas por países

8.2.5.1. PERÚ: Norma voluntaria de Huella Hídrica

Instrumento de Gestión	: Norma que Promueve la Medición Voluntaria de la Huella Hídrica R.J. N°246-2015-ANA
Institución de Contacto	: Autoridad Nacional del Agua (ANA), Perú. 24 Septiembre 2015
Web	: http://www.suizagua.org/noticias/aprobacion-de-norma-que-promueve-la-medicion-voluntaria-de-la-huella-hidrica
PROBLEMA IDENTIFICADO	
Aumento sostenido en el consumo de agua y disminución del recurso hídrico disponible	
CONTEXTO	
Perú posee zonas con sequía y escasez hídrica, donde el sector privado no ha tenido un involucramiento activo en la gestión del agua.	
SOLUCIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> • La Autoridad Nacional del Agua en Perú, incorporó la herramienta de Huella Hídrica como una de las medidas dentro del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos, el cual tiene como finalidad promover el aprovechamiento sostenible, el uso eficiente, la conservación e incremento de la disponibilidad de agua, así como la protección de la calidad y bienes asociados. • Esta normativa genera un mecanismo de certificación por parte del Estado, incentivando al sector privado principalmente a la reducción en el consumo hídrico de las actividades productivas y su cadena de producción (efecto multiplicador), así como implementación de acciones de responsabilidad social en aguas que generen valor compartido y la difusión de resultados. • Para que las empresas privadas puedan optar a este reconocimiento por parte del Estado, deben contar con la certificación ISO 14.046 y presentar a la Autoridad un Plan de Implementación de acciones de reducción y compensación de aguas. El reporte de Huella Hídrica presentado debe ser consistente con los métodos utilizados en la ISO 14.046, validados científica y técnicamente. El reporte además debe ser transparente (de acceso público y consistente. Tanto la ISO 14.046 como la Norma Voluntaria, consideran las acciones de compensación de agua por parte de la empresa como iniciativas necesarias de implementar para mejorar la calidad de vida en su entorno. 	

<ul style="list-style-type: none"> • Los indicadores que se generan por parte de la empresa, deben ser verificables a 1 año.
USO HUELLA HIDRICA
<ul style="list-style-type: none"> • Permite identificar el consumo de agua en la cadena de producción y realizar acciones para lograr mayor eficiencia, lograr su disminución e implementar mecanismos de responsabilidad social compartida. • Mejora la relación empresa- comunidad- estado al contar con información transparente • Asimismo, se transforma en el instrumento de seguimiento y control respecto a las acciones reales de reducción en los consumos de agua o impacto de huella gris. • Evidencia (pone en valor) las acciones de responsabilidad social que ejecutan las empresas.
OPORTUNIDADES DE MEJORA
<p>Por su reciente publicación, aún no se cuenta con resultados. Sin embargo, las empresas Suizagua Perú serán las primeras en adquirir esta certificación.</p> <p>Actualmente, la ANA se encuentra implementando un Comité Técnico compuesto por 6 personas (Directores de Líneas Nacionales), así como el equipo de seguimiento (un especialista en cada dirección de línea)</p> <p>Los retos planteados por la ANA para su implementación son: Poner en marcha la norma (semillero Suizagua Perú); Generar un nuevo valor con empresas hídricamente responsables (mejora la eficiencia en el uso de agua y la de su entorno); Contribuir en el alineamiento de los intereses de las empresas con las necesidades de la población y perfeccionar la norma ampliando su cobertura (fortalecimiento institucional e interinstitucional)</p>
FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN CHILE
<p>Dado que una de las principales misiones de la DGA es el otorgamiento de derechos de agua y su fiscalización, el código de aguas no establece las atribuciones de entregar certificaciones por parte de esta Dirección.</p> <p>Sin embargo, en Chile existe el Instituto Nacional de Normalización, donde la DGA podría recomendar la elaboración de una Norma Chilena basada en la ISO 14.046 para medición de huella hídrica, la cual sería coordinada con la participación de los organismos del Estado y técnicos competentes, considerándola como una norma voluntaria en su aplicación. Cabe destacar que la Norma ISO 14.046 contempla la ejecución de acciones de reducción y compensación dentro del proceso de mejora continua.</p> <p>Si la norma chilena es oficializada por una institución del Estado (MOP), pasaría a ser parte de la normativa a cumplir, particularmente en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), donde los titulares</p>

deberán Evaluar su Huella Hídrica, así como comprometer medidas de reducción y compensación de impactos vinculados al agua.

BRECHA QUE ABORDA EN CHILE

Mecanismos de incentivo para la reducción y compensación de aguas, con el fin de estimular la conservación de las mismas. Hoy en día no existen mecanismos que incentiven la reducción o compensación de aguas en Chile, desde una mirada estratégica. La huella hídrica es un mecanismo que sirve de base para generar cultura del agua, así como incentivar acciones de reducción y compensación de aguas, acciones que están contempladas en la norma ISO 14.046.-

8.2.5.2. México: Norma de Huella Hídrica en desarrollo, como indicador de impacto ambiental

Lugar aplicación	: México
Institución de Contacto	: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Enero 2015 a Diciembre 2016.
Web	: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5390099&fecha=24/04/2015 (Nro. 70)
PROBLEMA IDENTIFICADO	
Dado que el agua dulce es un recurso finito, escaso y limitado, es necesario administrarla de forma eficiente. Se ha identificado la Huella Hídrica como una herramienta base para la administración el agua.	
CONTEXTO	
El uso eficiente del agua se basa en el principio de escasez. México ha sentido los efectos de la escasez de agua, lo que ha sido determinado principalmente por efectos del cambio climático y el consumo de agua por parte de las actividades productivas. Uno de los lineamientos a implementar es la eficiencia hídrica, cuya principal herramienta base para su identificación estratégica es la Huella Hídrica.	
SOLUCIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> • Establecer la metodología para realizar el inventario hídrico de las empresas a través del cual se pueda verificar y determinar la Huella Hídrica y cuantificar el volumen de agua utilizado en los procesos de los diferentes sectores (agropecuario, energético, industrial y de consumo) considerando el tipo de agua, así como el uso sustentable de la misma. • Además, especificar los principios y requisitos relacionados con la evaluación de la huella hídrica de productos y procesos basados en la evaluación del ciclo del agua, así como las directrices para la realización y presentación de informes una evaluación de la huella de agua. • Debe ser aplicable a todo tipo de industria y empresa de servicios que pretendan comprobar el uso sustentable y eficiente del agua, tanto en sus procesos de producción, como en los servicios que presten. 	
USO HUELLA HIDRICA	
<ul style="list-style-type: none"> • La evaluación de la huella hídrica de cada uno de los sectores productivos del país será un indicador de impacto ambiental, el cual permitirá focalizar las intervenciones de mejoras con un mayor impacto y realizar un seguimiento de las mismas en el tiempo. • La evaluación de los impactos ambientales de las actividades antropogénicas relacionadas con el agua favorecerá su gestión 	

integral y sustentable y ayudará a identificar posibles formas de mitigar las afectaciones y, de ser posible, una remediación, contribuyendo al desarrollo de estrategias políticas, sociales y económicas en temas relacionados con el agua.
OPORTUNIDADES DE MEJORA
Norma en desarrollo. Inicio del proceso normativo publicado en el Diario Oficial de México, el Viernes 24 de abril de 2015 (Segunda Sección).
FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN CHILE
El uso de la Huella Hídrica como indicador de impacto ambiental es completamente factible de ser aplicada por la Dirección General de Aguas, a través del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (manual de normas y procedimientos del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos). Además, puede elaborarse una Norma Chilena de Huella Hídrica, oficializada por un Ministerio competente.
BRECHA QUE ABORDA EN CHILE
Mecanismos de incentivo para la reducción y compensación de aguas. Hoy en día no existen mecanismos que incentiven la reducción y compensación de aguas en Chile, desde una mirada estratégica, con el fin de estimular la conservación de las mismas. La huella hídrica es un mecanismo que sirve de base para generar cultura del agua, así como incentivar acciones de reducción y compensación de aguas. Apoya a mejorar la información de consumos de agua en Chile, para la determinación de la demanda actual y futura del agua en territorios que son compartidos por varios usuarios.

8.2.5.3. Baja California México: Uso de Huella Hídrica en Programa Cultura del Agua

Instrumento	:	Cultura del Agua
Institución de Contacto	:	Tecnológico de Monterrey
Web	:	http://b1mas4.com/-/nuestra-huella-hidrica-las-politicas-publicas-sobre-el-agua-en-baja-california/
PROBLEMA IDENTIFICADO		
De manera equivocada, en Baja California se considera que disponer de agua es un servicio que está garantizado. Gran parte del problema del consumo desmedido que se hace del agua proviene de una cultura errónea, donde la disponibilidad del recurso se da por hecho, sin imaginar todo lo que debe suceder para que al abrir la llave salga un chorro de agua.		
CONTEXTO TERRITORIAL		
Cuarto año de sequía con pérdidas de 2.2 mil millones de dólares en ingresos y de unos 17,100 empleos de temporada en el sector agrícola, tanto de tiempo completo como de medio tiempo.		
SOLUCIÓN		
Las autoridades del agua en Baja California han decidido cambiar su política distributiva en el tema y encaminarse a una política del uso racional, centrada en un ciudadano que reconoce el impacto de la falta de agua en el futuro. Esto consiste en centrar todo el proceso en un usuario responsable del recurso diseñando la política pública para exponer los impactos ecológicos, sociales y de seguridad que tendrá la falta del recurso, contar con organismos financieramente estables y estableciendo el costo real del agua. La tarea no sólo se trata de cambiar hábitos, sino de establecer unos nuevos orientados al consumo racional y optimizado del agua incorporando el concepto de reutilización del agua reciclada.		
USO HUELLA HIDRICA		
La Huella Hídrica puede ser la pauta para establecer los consumos de agua en los procesos de producción y establecer iniciativas que fomenten su uso racional y óptimo, estrategias de reducción y compensación de agua. Socializar en forma simple y didáctica los resultados obtenidos de un análisis de huella hídrica en un territorio compartido por diferentes usuarios del agua, genera conciencia respecto a la situación hídrica que los afecta.		
OPORTUNIDADES DE MEJORA		

Proceso lento que requiere un sistema integrado de coordinación. Los efectos de un proceso de cambio cultural pueden visualizarse después de 10 años.

FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN CHILE

El uso de la Huella Hídrica como herramienta de base técnica para establecer un Programa de Cultura del Agua, es factible de ser replicado por la DGA y otros organismos del Estado (SISS, MMA, CNR, Otros).

Cabe destacar que los diputados UDI Andrea Molina, Claudia Nogueira, Pedro Pablo Álvarez-Salamanca, Ramón Barros, Sergio Gahona, Javier Hernández, Javier Macaya, Celso Morales, Iván Norambuena y Enrique Van Rysselberghe, presentaron una moción que modifica la Ley 20.370, General de Educación, para incorporar en las bases curriculares de los establecimientos educacionales contenidos relativos a la eficiencia energética e hídrica (boletín 10412). La iniciativa propone incorporar en el artículo 32 de la Ley General de Educación una frase que señale que "los establecimientos educacionales reconocidos por el Estado deberán incorporar en sus mallas curriculares, y en todas las etapas del proceso educativo, contenidos o módulos relativos al uso eficiente de los recursos energéticos e hídricos".

El texto será estudiado por la Comisión de Educación, considera que uno de los principales desafíos para Chile y el mundo es el cambio climático y sus consecuencias.

https://www.camara.cl/pley/pley_detalle.aspx?prmID=10834&prmBL=10412-04

BRECHA QUE ABORDA EN CHILE

Mecanismos de incentivo para la reducción y compensación de aguas. La huella hídrica es un mecanismo que sirve de base para generar cultura del agua, así como incentivar acciones de reducción y compensación de aguas, con el fin de estimular la conservación de las mismas.

8.2.5.4. ESPAÑA: Uso de Huella Hídrica en modelos de desarrollo

Instrumento	: Modelos de Desarrollo
Institución de Contacto	: Universidad Complutense de Madrid, febrero 2014
Web	: http://www.fundacionbotin.org/89dguuytdfr276ed_uploads/Observatorio%20Tendencias/Seminarios%20internacionales/9%20sem%20internacional/9%20sem%20inter-4hh%20mapfre.pdf
PROBLEMA IDENTIFICADO	
<p>La escasez de agua en España se debe principalmente a la mala gestión del recurso en el sector agrícola.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La persistencia de la idea antigua de la autosuficiencia alimentaria • La aún imperfecta Organización Mundial del Comercio (OMC) • La ausencia de instrumentos económicos adecuados para la gestión del agua y de políticas nacionales que promuevan la agricultura de regadío para contribuir a la estabilidad regional y a los precios de los productos agrícolas. 	
CONTEXTO	
<p>España posee un territorio que se caracteriza por la presencia de importantes diferencias regionales en la disponibilidad de los recursos hídricos. Esto es similar al caso de Chile. La escasez hídrica ha tenido repercusiones económicas, sociales y ambientales importantes para España.</p> <p>Las Confederaciones hidrográficas u Organismos de cuenca son los Organismos encargados de la gestión de las demarcaciones hidrográficas. Estos organismos son entidades de derecho público con personalidad jurídica propia y distinta del Estado.</p>	
SOLUCIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> • La “tarificación” ha permitido el control del consumo de “Huella Hídrica” evitando la sobreexplotación y favoreciendo un uso racional de agua. La Huella Hídrica es un indicador que permite medir el impacto de esta medida en el tiempo. • Las inversiones en tratamiento de aguas, han permitido la reutilización del agua gris, en algunas ciudades, disminuyendo así la extracción de aguas frescas desde cauces naturales y mejorando la calidad de vida de la población urbana. La Huella Hídrica permite medir el impacto en la reducción de la contaminación y en el consumo de agua. 	
USO HUELLA HIDRICA	
<ul style="list-style-type: none"> • “Huella Hídrica” española en el ámbito del cambio ambiental, su aplicación busca aproximarse a la realidad del agua, destacando el papel fundamental desempeñado por el territorio. 	

- “Huella Hídrica” pone de manifiesto la necesidad de evolucionar hacia un enfoque integrado en la planificación y gestión del recurso hídrico que incida, sobre todo, en el control de los consumos e impactos sobre el agua.
- En España se está analizando la “Huella Hídrica” para ser considerada en las políticas de inversión en materia de aguas. Ej. La inversión en mejoras de captación y explotación del recurso hídrico, está favoreciendo la disminución de demanda de “Huella Hídrica”.
- La aplicación de nuevas normativas orientadas a la mejora de la gestión del recursos hídrico, ha potenciado el incremento de oferta de “Huella Hídrica”.

OPORTUNIDADES DE MEJORA

La importancia del análisis de la huella hídrica, desde un punto de vista hidrológico, económico y ambiental, tomando como punto de referencia territorial la cuenca del río, se utiliza para obtener información más completa y valiosa, que facilite una asignación eficiente de los recursos hídricos a las diferentes demandas económicas y ambientales.

FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN CHILE

- Aplicación en Políticas de Inversión: El presente estudio está enfocado en diseñar una herramienta para la evaluación de la huella hídrica en cuencas, así como establecer indicadores de sustentabilidad para identificar los “puntos críticos” del recurso hídrico en el territorio. Esto permitirá focalizar las intervenciones en el territorio, priorizando las inversiones a realizar.
- Facilita el control y la asignación eficiente de los recursos hídricos: Esto es aplicable sólo en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, donde es posible establecer Programas de Vigilancia Ambiental, donde la Huella Hídrica es un indicador de base técnica sólida.
- Indicador para medir el impacto de las medidas de reducción de agua en el tiempo: La Huella Hídrica es el mejor indicador para medir el impacto de las medidas de reducción y compensación en el tiempo. Dado que la mayor parte de los derechos de agua en Chile ya han sido otorgados, junto a que el otorgamiento de derechos de agua no están vinculados a un uso específico, la factibilidad de utilizar la Huella Hídrica como indicador para medir impactos es en el marco del SEIA.

BRECHA QUE ABORDA EN CHILE

Indicador para medir los impactos de las medidas de reducción de consumo de agua en el tiempo. La huella hídrica es un indicador de consumo de agua, construido con una base técnica sólida. Es posible usarlo para medir el impacto en el tiempo, de las acciones implementadas en reducción de consumo hídrico.

El uso de la Huella Hídrica como indicador de impacto ambiental es completamente factible de ser aplicada por la Dirección General de Aguas, a través del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (manual de normas y procedimientos del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos). Además, puede elaborarse una Norma Chilena de Huella Hídrica, oficializada por un Ministerio competente.

8.2.5.5. Cuenca del Guadalquivir, Andalucía, ESPAÑA: Uso de Huella Hídrica en plan hidrológico

Instrumento	: Plan Hidrológico
Institución de Contacto	: Fundación Botín, Junio 2011
Web	: http://www.huellahidrica.org/Reports/Salmoral-et-al-2011.pdf
PROBLEMA IDENTIFICADO	
Escasez hídrica y sobreconsumo de agua principalmente por crecimiento agrícola.	
CONTEXTO	
La cuenca del Guadalquivir es una región con escasez relativa de precipitaciones, donde el riego ha crecido ininterrumpidamente durante las últimas décadas.	
SOLUCIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> • Se ha planteado la necesidad que los planes hidrológicos consideren medidas y herramientas que apuntan a la eficiencia en riego. Para ello se presenta por primera vez la integración de la huella hídrica dentro del ciclo hidrológico y su balance a escala de cuenca, con el fin de identificar a nivel territorial los sobreconsumos y las áreas donde la escasez hídrica en la cuenca puede ser una amenaza. • En el contexto andaluz, con garantía de acceso al mercado común europeo y con el fin de facilitar la integración de aspectos económicos, sociales y ambientales, los resultados de este estudio apoyan la necesidad de explorar la posibilidad de realizar un cambio de patrones de cultivo y la utilización de parte del agua en actividades más rentables, como cosechas de alto valor u otras actividades como la energía solar o el turismo, que consideren a su vez el medio ambiente como factor de calidad y competitividad. Todavía más cuando está perspectiva se ve contemplada en la nueva Ley de Aguas de Andalucía. • Se identifica la necesidad de reorientación de la política del agua, teniendo en cuenta criterios no solo de oferta sino también de demanda y considerando aspectos económicos, sociales y ambientales. La huella hídrica extendida es un indicador que proporciona un marco multidisciplinario y transparente que puede ser muy útil para mejorar la gestión de los recursos hídricos, identificando claramente la demanda de agua y los espacios territoriales prioritarios de intervenir. 	
USO HUELLA HIDRICA	

- El enfoque del concepto de Huella Hídrica en el Plan Hidrológico se centra en un análisis de las presiones sobre los recursos hídricos a escala de cuenca (demanda), identificadas como los mayores consumos de agua y sus impactos. En este caso, la mayor presión era ejercida por el sector agrícola, con énfasis en algunos cultivos y sectores geográficos a focalizar.
- En el sector agrícola, el concepto de huella hídrica se aplica a escala de cuenca para optimizar la distribución territorial de los cultivos de riego y minimizar el consumo de agua por parte del sector agrícola y, a escala de finca, combinado con otros indicadores de gestión, para la detección de ineficiencias en el proceso de cultivo (e.g. fresa), en particular del riego (sistema y manejo).
- La huella hídrica tiene como fin facilitar información para conseguir una mejor asignación y gestión de los recursos hídricos en esta región, así como focalizar territorios de intervención para maximizar el impacto de las soluciones a implementar.

LIMITACIONES

Hasta la fecha el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (MARM) de España, no ha publicado los resultados de la aplicación del método de la huella Hídrica a los planes hidrológicos, dado que deben ser enviados a la Comisión de la Unión Europea para su aprobación.

OTROS ANTECEDENTES

La nueva Ley de Aguas de Andalucía establece “un nuevo orden de prioridad de uso para las actividades económicas, en el que se tendrá en cuenta la sostenibilidad, el mantenimiento de la cohesión territorial y el mayor valor añadido en términos de creación de empleo y generación de riqueza para Andalucía” (Junta de Andalucía, 2010a) : Aunque la aplicabilidad de esta ley aún no se ha clarificado al haberse declarado como inconstitucional las competencias exclusivas de la Comunidad Autónoma de Andalucía sobre la cuenca del Guadalquivir (art. 51 del Estatuto de Andalucía).

Con cara al futuro resulta primordial tener presente una eficiente asignación de los limitados recursos hídricos de la cuenca. Un ejemplo de asignación hacía actividades más productivas tuvo lugar ante la sequía de 2007-2008, donde se realizaron intercambios de derechos del agua del bajo y medio Guadalquivir a la Junta Central de Usuarios del Bajo Almanzora (Almería) para producir cosechas con una productividad muy superior (fundamentalmente cítricos y hortalizas a cielo abierto), siendo los acuerdos positivos para las partes.

FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN CHILE

La DGA podría incorporar la Huella Hídrica en los **Planes Maestros de Recursos Hídricos Regionales**, dado que aporta información adicional sobre el consumo de agua, incorporando la mirada de territorio

compartido por diversos usuarios en el diagnóstico, lo cual servirá para determinar las presiones sobre los recursos hídricos a escala de cuenca (demanda), identificadas como los mayores consumos de agua y sus impactos.

La integración de la huella hídrica dentro del ciclo hidrológico y su balance a escala de cuenca, permitirá identificar a nivel territorial los sobreconsumos y las áreas donde la escasez hídrica en la cuenca puede ser una amenaza.

Esta información será clave para determinar la necesidad de reorientación de la política del agua, teniendo en cuenta criterios no solo de oferta sino también de demanda y considerando aspectos económicos, sociales y ambientales, determinando los espacios territoriales prioritarios de intervenir.

BRECHA QUE ABORDA EN CHILE

Determinación de la demanda actual y futura del agua en territorios que son compartidos por varios usuarios. Si bien en Chile se cuenta con información sectorial respecto a la demanda hídrica, la Huella Hídrica es una herramienta validada a nivel internacional para determinarla en forma clara y objetiva.

Indicador para medir los impactos de las medidas de reducción de consumo de agua en el tiempo. La huella hídrica es un indicador de consumo de agua, construido con una base técnica sólida. Es posible usarlo para medir el impacto en el tiempo, de las acciones implementadas en reducción de consumo hídrico.

8.2.5.6. ESPAÑA: Uso de Huella Hídrica en Instrucción de planificación hidrológica

Instrumento	: Instrucción de planificación hidrológica (ORDEN ARM/2656/2008).
Institución de Contacto	: MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO, 10 de Septiembre 2008
Web	: http://www.magrama.gob.es/es/agua/legislacion/Marco_normativo_planificacion.aspx
PROBLEMA IDENTIFICADO	
Necesidad de obtención de resultados homogéneos y sistemáticos en el conjunto de la planificación hidrológica, partiendo de la heterogeneidad intrínseca y de las diferentes características básicas de cada plan hidrológico.	
CONTEXTO	
País con problemas de escasez hídrica y sobreconsumo de agua. Asimismo, la distribución de la oferta hídrica no es homogénea en el país.	
SOLUCIÓN	
Se regulan sucesivamente la descripción general en la demarcación hidrográfica, los usos y presiones antrópicas significativas, las zonas protegidas, el estado de las aguas, los objetivos medioambientales, la recuperación de costos, los programas de medidas y otros contenidos de diverso alcance.	
USO HUELLA HIDRICA	
<ul style="list-style-type: none"> • La Huella Hídrica se inserta como herramienta explícita en la "Instrucción de planificación hidrológica" para determinar los usos y presiones de consumo sobre los sistemas hídricos. • Queda establecido en el punto 3. USOS, PRESIONES E INCIDENCIAS ANTRÓPICAS SIGNIFICATIVAS; punto 3.1 USOS Y DEMANDAS; punto 3.1.1 CARACTERIZACIÓN ECONÓMICA DE LOS USOS DEL AGUA; punto 3.1.1.1 ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS <p><i>"El plan hidrológico recogerá un resumen de los análisis efectuados sobre las distintas actividades económicas que afectan al uso del agua, suministrando información agregada para la demarcación hidrográfica y, cuando proceda, a escala regional. Incluirá información sobre las actividades económicas actuales y su evolución hasta la actualidad. Asimismo se realizará un análisis de la huella hidrológica de los distintos sectores socioeconómicos entendida como la suma total del agua utilizada de origen interno y del saldo neto de agua importada y exportada, en cada demarcación".</i></p>	

<ul style="list-style-type: none"> Los sectores a considerar para el análisis son: Uso doméstico, turismo y ocio, regadío y usos agrarios, usos industriales para producción de energía eléctrica y otros usos industriales.
OPORTUNIDADES DE MEJORA
No detectadas aún
FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN CHILE
<p>La DGA podría incorporar la Huella Hídrica en los Planes Maestros de Recursos Hídricos Regionales, dado que aporta información adicional sobre el consumo de agua, incorporando la mirada de territorio compartido por diversos usuarios en el diagnóstico, lo cual servirá para determinar las presiones sobre los recursos hídricos a escala de cuenca (demanda), identificadas como los mayores consumos de agua y sus impactos.</p> <p>La integración de la huella hídrica dentro del ciclo hidrológico y su balance a escala de cuenca, permitirá identificar a nivel territorial los sobreconsumos y las áreas donde la escasez hídrica en la cuenca puede ser una amenaza. Esta información será clave para determinar la necesidad de reorientación de la política del agua, teniendo en cuenta criterios no solo de oferta sino también de demanda y considerando aspectos económicos, sociales y ambientales, determinando los espacios territoriales prioritarios de intervenir.</p>
BRECHA QUE ABORDA EN CHILE
<p><i>Determinación de la demanda actual y futura del agua en territorios que son compartidos por varios usuarios.</i> La Huella Hídrica es una herramienta validada a nivel internacional para determinar el consumo de agua en forma clara y objetiva.</p> <p>Indicador para medir los impactos de las medidas de reducción de consumo de agua en el tiempo. La huella hídrica es un indicador de consumo de agua, construido con una base técnica sólida. Es posible usarlo para medir el impacto en el tiempo, de las acciones implementadas en reducción de consumo hídrico.</p>

8.2.5.7. SUDAFRICA: Uso de Huella Hídrica en política de aguas

Instrumento	HUELLA HÍDRICA EN SUDAFRICA
Institución de Contacto	Department of Economics and Economic History, Rhodes University, Grahamstown
Web	http://waterfootprint.org/media/downloads/Pahlow_et_al_WaterSA2015.pdf
PROBLEMA IDENTIFICADO	
Las principales cuencas fluviales enfrentan escasez severa de agua azul durante largos períodos del año. Asimismo, los niveles de contaminación del agua relacionados con el nitrógeno y el fósforo ponen en riesgo la sostenibilidad de las cuencas hidrográficas.	
CONTEXTO	
Escasez severa de agua por cantidad y calidad	
SOLUCIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> La asignación y uso del agua en forma eficiente 	
USO HUELLA HIDRICA	
<ul style="list-style-type: none"> Los cálculos de la huella hídrica de Sudáfrica han aportado elementos importantes para orientar las políticas hídricas del país. A partir de los cálculos efectuados aportan recomendaciones sobre comercio, medidas agronómicas, selección de cultivos, patrones de consumo y decisiones sobre la producción de biocombustibles. Sudáfrica considera que la información obtenida y las estrategias que se infieren del estudio de la huella hídrica puede ser instrumental, con el fin de orientar el adecuado uso de los recursos hídrico de Sudáfrica, así como apoyar en la adecuada distribución, control, gestión, desarrollo y protección en beneficio de toda la población. 	
OPORTUNIDADES DE MEJORA	
Consideran que en algunos casos se requieren estudios más precisos a nivel de cuenca para tomar decisiones de acuerdo a cada situación específica. Indican al respecto que las agencias de gestión de agua por cuencas deben encargarse de realizar estudios a un nivel alto de resolución espacial, utilizando datos locales para evaluar tendencias e incluir aspectos sociales, en particular la equidad en la asignación del agua, además de aspectos ambientales.	
FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN CHILE	
<p>En Chile es factible aplicar la Huella Hídrica al sector agrícola, con el fin de determinar los consumos en los territorios. La DGA puede determinar los consumos de agua, sin embargo, no está dentro de sus atribuciones gestionar el agua en la agricultura.</p> <p>Determinar los puntos críticos del territorio, servirá para la coordinación intersectorial con otros organismos del Estado.</p>	

BRECHA QUE ABORDA EN CHILE

Determinación de la demanda actual y futura del agua en territorios que son compartidos por varios usuarios. La Huella Hídrica es una herramienta validada a nivel internacional para determinar el consumo de agua en forma clara y objetiva.

Mecanismos de incentivo para la reducción y compensación de aguas. Hoy en día no existen mecanismos que incentiven la reducción y compensación de aguas en Chile, desde una mirada estratégica, con el fin de estimular la conservación de las mismas. La huella hídrica es un mecanismo que sirve de base para generar cultura del agua, así como incentivar acciones de reducción y compensación de aguas por parte de los mismos usuarios.

8.2.5.8. CALIFORNIA, EEUU: Uso de Huella Hídrica en escala territorial acotada

Instrumento	Water Footprint Outcomes and Policy Relevance Change with Scale Considered: Evidence from California
Institución de Contacto	Julian Fulton, Energy and Resources Group, University of California, Berkeley, California, USA. Heather Cooley and Peter H. Gleick, Pacific Institute, Oakland, California, USA
Web	http://pacinst.org/wp-content/uploads/sites/21/2014/09/pacinst-water-footprint-outcomes.pdf
PROBLEMA IDENTIFICADO	
<p>Retraso en la integración de la Huella Hídrica en las políticas públicas, debido a que la mayoría de los estudios se han centrado en unidades nacionales de análisis. Los análisis nacionales de Huella Hídrica no permiten la adecuada gestión hídrica de los territorios que utilizan una misma fuente de agua para su uso, dado que esconden las particularidades de cada unidad territorial.</p> <p>En el caso de California, existen diferencias significativas entre las opciones nacionales y estatales. La Huella Hídrica en EEUU es en gran parte interna (es decir, no dependen del agua de fuera de los EE.UU.) y verde (es decir, depende en gran medida de la agricultura de secano en contraposición a la agricultura de regadío). Por el contrario, las vulnerabilidades relacionadas con el agua de California son 70% externo y el 30% corresponde a recursos de agua azul.</p>	
CONTEXTO	
<p>Si bien los métodos de cálculo y datos de base han avanzado mucho en estos últimos años, ello no se refleja en las políticas de gestión, dado que los análisis nacionales no refleja las realidades ni particularidades de cada unidad territorial donde se realiza la gestión del recurso en un territorio compartido por diferentes usuarios.</p> <p>Cuando se trata de usar los hallazgos de Huella Hídrica para formular la política pública, sobre todo en relación con la adaptación al cambio climático, los tomadores de decisiones nacionales y subnacionales se enfrentan a diferentes consideraciones y resultados, dependiendo del nivel territorial de aplicación.</p>	
SOLUCIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de huella hídricas a menor escala. Plantean la aplicación a nivel de Estado (California) e incluso cuencas. 	
USO HUELLA HIDRICA	

- La Huella Hídrica es mejor utilizada en la toma de decisión cuando se aplica en territorios de escala adecuada. Esta herramienta tiene y tendrá más relevancia en las políticas públicas cuando la escala de aplicación territorial sea más acotada a las condiciones prevalecientes en el mismo territorio.

OPORTUNIDADES DE MEJORA

Con este estudio, queda de manifiesto la importancia de la escala de aplicación de la herramienta de huella hídrica, dado que las medidas a abordar pueden variar significativamente en función de la escala a aplicar y las características del territorio.

FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN CHILE

El presente estudio aplica la metodología de Huella Hídrica a nivel de cuenca, adaptándola a las características de Chile y transformándola en una herramienta de gestión y planificación del territorio en base a consumos hídricos.

BRECHA QUE ABORDA EN CHILE

- **Mecanismos de incentivo para la reducción y compensación de aguas.** Hoy en día no existen mecanismos que incentiven la reducción o compensación de aguas en Chile, desde una mirada estratégica, con el fin de estimular la conservación de las mismas. La huella hídrica es un mecanismo que sirve de base para generar cultura del agua, así como incentivar acciones de reducción y compensación de aguas por parte de los mismos usuarios.
- **Indicador para medir los impactos de las medidas de reducción de consumo de agua en el tiempo.** La huella hídrica es un indicador de consumo de agua, construido con una base técnica sólida. Es posible usarlo para medir el impacto en el tiempo, de las acciones implementadas en reducción de consumo hídrico.

8.3. Propuestas de aplicación de Huella Hídrica en Chile

8.3.1. Ajuste D.S. N°743 del 30 de agosto del 2005

"Fija tablas de equivalencia entre caudales de agua y usos que reflejan las prácticas habituales en el país en materia de aprovechamiento de aguas"

La aplicación de la Huella Hídrica, espera desarrollar un sistema nacional para determinar los consumos de agua para cada sector productivo, el cual se debe ir ajustando en el tiempo. Esta información servirá como antecedente para ajustar las Tablas de Equivalencias del D.S. N°743/2005, las cuales son una referencia usada para la determinación de los usos del agua según sector y rubro. Las tablas de equivalencia rigen con el objeto que la DGA pueda, mediante resolución fundada, limitar el caudal que se conceda sobre la base de una solicitud de aprovechamiento.

Es importante destacar que el D.S. N°743 fue elaborado en el año 2005, considerando diversos criterios para establecer sus valores. Específicamente en agua potable se ha considerado la dotación de producción (requerimiento de agua por habitante y por día), la cual es una medida parámetro estándar en el área sanitaria, pero no considera la posibilidad de implementar medidas de eficiencia hídrica en el sector. Por otro lado, para establecer los valores de riego, se ha recurrido a los valores de caudal por unidad de área (hectárea) encontrados en distintos proyectos integrales de riego desarrollados para la Comisión Nacional de Riego por consultores especializados. Esto implica que se ha considerado el caudal de extracción y no de real consumo hídrico, por lo tanto, no necesariamente considera criterios de eficiencia hídrica asociados a este sector.

Por otro lado, se plantea que fueron revisados los resultados más relevantes de una investigación realizada por el Consejo Nacional de Investigación de los EEUU donde se analiza la eficiencia del riego en dicho país, sin embargo, la eficiencia en el riego está determinada por las características climatológicas de cada sector a estudiar.

El Código de Aguas, Artículo 147 bis, establece que el Director General de Aguas podrá limitar el caudal de una solicitud de derechos de aprovechamiento, si manifiestamente no hubiera equivalencia entre la cantidad de agua que se necesita extraer y los caudales señalados en una tabla de equivalencias entre caudales de agua y usos, que refleje las prácticas habituales en el país en materia de aprovechamiento de aguas. Si bien en la práctica este decreto sólo es aplicable para el otorgamiento de nuevos derechos de agua, su ajuste a través de la Huella Hídrica aportará en considerar diferentes realidades contextualizadas en el territorio donde

se entregan los derechos, conformando un referente en la evaluación de consumos de agua.

Se sugiere incluir las fórmulas y bases de datos que son aplicables para determinar los consumos hídricos ajustados para cada sector, aplicando factores de corrección para cada caso.

8.3.2. Incorporar HH en el Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos

Se recomienda analizar la incorporación de Huella Hídrica dentro del manual interno de normas y procedimientos del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, como un análisis deseable de realizar por parte de los titulares que ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) para mostrar su “buena gestión del agua”.

Para este caso, la Huella Hídrica al ser un indicador del consumo de agua con base técnica, puede servir como una herramienta de coordinación con el sector privado en el marco del SEIA, apoyando en los siguientes ámbitos:

1. Establecer los consumos de agua del proyecto a ser evaluado, identificando los puntos críticos donde focalizar la gestión del recurso por parte del titular. Esto puede incentivar a que voluntariamente los titulares de proyectos puedan comprometer acciones de reducción, compensación y mitigación de los impactos identificados, con una mirada estratégica del territorio.
2. Los antecedentes entregados por parte de los titulares de proyectos, servirán para ajustar la Base de Datos nacional de consumo hídrico por sector productivo.
3. Asimismo, el indicador de huella hídrica puede considerarse como una herramienta válida para el control y seguimiento del impacto de las acciones que ejecuta el proyecto en el área de influencia.

Cabe destacar que los pasos a seguir por el titular de proyectos en la evaluación ambiental (D.S.N°40), son los mismos antecedentes que se deben levantar para el análisis de huella hídrica en cuencas. La identificación de Puntos Críticos en el territorio (determinación de impactos), permitirá focalizar las intervenciones e identificar un “Plan de Medidas Ambientales” adecuadas a considerar para eliminar, minimizar, reparar, restaurar o compensar los efectos ambientales adversos del proyecto sobre los recursos hídricos, coordinados y acordados con los proponentes de proyectos, las cuales no son vinculantes para la calificación ambiental del proyecto o actividad, pero son indispensables para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).

Las “medidas de mitigación ambiental” tienen por finalidad evitar o disminuir los efectos adversos del proyecto o actividad, cualquiera sea su fase de ejecución⁷². Las “medidas de reparación” tienen por finalidad reponer uno o

⁷² Artículo 98, D.S.N°40/2012.

más de los componentes o elementos del medio ambiente a una calidad similar a la que tenían con anterioridad al impacto sobre dicho componente o elemento o, en caso de no ser ello posible, restablecer sus propiedades básicas⁷³. Las "*medidas de compensación*" tienen por finalidad producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso identificado, que no sea posible mitigar o reparar⁷⁴.

Los efectos de las medidas de mitigación y reparación deberán producirse en las áreas o lugares en que se presenten o generen los impactos significativos sobre los elementos del medio ambiente. Las medidas de compensación se llevarán a cabo en las áreas o lugares en que los impactos significativos se presenten o generen o, si no fuera posible, en otras áreas o lugares en que resulten efectivas⁷⁵.

Si el "Plan de Medidas Ambientales" se recoge en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA)⁷⁶ aprobada, entonces el titular del proyecto o actividad, durante todas las fases del mismo, deberá someterse estrictamente al contenido de la misma. La fiscalización de la RCA corresponde a la Superintendencia del Medio Ambiente, que en caso de incumplimiento, aplicará las sanciones establecidas en la Ley N° 20.417/2010.

Antecedentes generales del sector industrial y el consumo de agua a nivel mundial

El sector industrial utiliza cerca del 20% del agua extraída a nivel mundial, incluyendo el agua destinada a la generación de energía hidráulica y nuclear, energía termoeléctrica y procesos industriales⁷⁷.

- a. El volumen anual de agua utilizado por la industria se incrementará de los 752 km³ al año en 1995 a los 1.170 km³ al año en 2025, es decir, alrededor de un 24% del total de las extracciones de agua dulce.

⁷³ Artículo 99, D.S.N°40/2012.

⁷⁴ Artículo 100, D.S.N°40/2012. Dichas medidas incluirán, entre otras, la sustitución de los recursos naturales o elementos del medio ambiente afectados por otros de similares características, clase, naturaleza, calidad y función.

⁷⁵ Artículo 101, D.S.N°40/2012.

⁷⁶ La RCA es un documento administrativo que se obtiene una vez culminado el proceso de evaluación de impacto ambiental, que coordina el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Este documento establece las condiciones, exigencias o medidas que el titular asociado a un proyecto o actividad deberá cumplir durante su ejecución. (Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental- SNIFA)

Fuente: <http://snifa.sma.gob.cl/v2/Instrumento>

⁷⁷ Programa de ONU-Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio (UNW-DPAC). "El agua, fuente de vida" 2005-2015.

- b. Se prevé que el consumo global de materias primas se triplique y pase de 50.000 a 160.000 millones de toneladas anuales para el año 2050.
- c. El sector industrial utiliza cerca del 20% del agua extraída a nivel mundial, incluyendo el agua destinada a la generación de energía hidráulica y nuclear, energía termoeléctrica y procesos industriales.

La industria, como principal productor de los bienes y servicios que consume la sociedad, juega un papel fundamental en la elaboración de patrones de producción y consumo más sostenibles. Además, la industria puede jugar un papel de liderazgo a la hora de implantar prácticas más sostenibles en materia de agua, abordando el tema de la sobreexplotación y la contaminación y mejorando las infraestructuras hidráulicas y la gestión de los recursos hídricos. Para alcanzar estos objetivos, la industria debe “hacer más con menos”, avanzando fundamentalmente hacia la meta del vertido cero aplicando por ejemplo un sistema de producción de ciclo continuo.

Entre las actividades que demandan un mayor consumo de agua, se encuentran la agricultura, la silvicultura, la industria manufacturera y la pesca (ONEI, 2013). Desde el punto de vista industrial, el procesamiento de pescado requiere una gran cantidad de agua, comenzando por el lavado y limpieza, hasta la etapa almacenamiento y refrigeración de los productos, o sea, antes y durante el proceso de industrialización. Muchas de estas plantas procesadoras, generan a su vez grandes volúmenes de agua contaminada y son frecuentemente ineficientes en el uso de la misma (World Bank Group, 2007).

Criterios para exigir la aplicación de Huella Hídrica en el marco del SEIA:

Se recomienda aplicar los siguientes criterios para determinar los proyectos que debieran aplicar la herramienta de Huella Hídrica en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental:

1. Aplicar sólo a los rubros productivos que tienen un consumo importante de agua dulce, el cual puede poner en riesgo la sustentabilidad del territorio.
2. Aplicar sólo para los Estudios de Impacto Ambiental (EIA). Las Declaraciones de Impacto Ambiental pueden aplicar la Huella Hídrica en forma voluntaria.
3. La ubicación del proyecto es relevante. Los proyectos cercanos a la costa pueden usar agua de mar o desalar, a lo contrario de los proyectos ubicados en las zonas interiores.

Por lo general, las industrias que poseen sistemas de enfriamiento, son las que poseen mayor consumo hídrico. No son industrias aptas para establecerse en zonas interiores, dado que su impacto es muy alto. En las zonas costeras, debieran evaluar su huella hídrica e impacto en el área de influencia para establecer medidas de mitigación, reducción y compensación de agua dulce.

Los rubros productivos que son susceptibles de generar un impacto significativo en el recurso hídrico, son los siguientes:

a. Rubros de muy alto impacto en la disponibilidad del recurso hídrico.

- *Celulosas:* Consideradas como una de las industrias de mayor consumo hídrico, debido a la gran necesidad de agua asociada a la fabricación de pasta de papel y torres de enfriamiento. Asimismo, producen una huella gris importante en las áreas de influencia. Dentro del sector industrial, evaluado desde la región de Valparaíso a la región del Maule, la industria celulosa consume el 60% del agua correspondiente al sector industrial.
- *Centrales térmicas y nucleares:* Poseen un alto consumo de agua en sus procesos.
- *Elaboración de productos alimenticios y bebidas:* Estas industrias utilizan una cantidad de agua considerable, dado que deben cumplir con estrictos protocolos sanitarios. Por lo general, incorporan un alto porcentaje del agua consumida como parte de su producto final. Dentro del sector industrial, evaluado desde la región de Valparaíso a la región del Maule, la industria de alimentos consume el 18% del agua correspondiente al sector industrial.
- *Las industrias químicas:* Poseen un alto consumo hídrico, sin embargo, es uno de los sectores industriales que posee el mayor potencial de reducción en el consumo de agua, dado que pueden disponer de sistemas de recuperación, que permiten la reutilización en proceso del agua depurada. Dentro del sector industrial, evaluado desde la región de Valparaíso a la región del Maule, la industria química consume el 16% del agua correspondiente al sector industrial.
- *Las industrias minerales:* Consumen agua en el proceso productivo para la generación de aguas de molienda y también por la alimentación de sistemas de enfriamiento. Gran parte de su consumo, posee un alto potencial de ser reutilizado. Sin embargo, no es posible recuperar el agua

consumida por los sistemas de enfriamiento. La Huella Gris de la industria de minerales es alta, sin embargo, hoy en día existen soluciones para mitigar ese impacto. Dentro del sector industrial, evaluado desde la región de Valparaíso a la región del Maule, la industria mineral consume el 3% del agua correspondiente al sector industrial.

- *Industria Textil:* Utilizan gran cantidad de agua para sus procesos, especialmente la fabricación del algodón.
- *Industria Pesquera:* Consume gran cantidad de agua y sólo afecta la disponibilidad cuando utilizan agua dulce para sus procesos. Por otro lado, afectan en la calidad del agua cuando utilizan agua de mar en el proceso, la cual posteriormente es descargada en sistemas de alcantarillado o cuerpos de agua natural de agua dulce.

b. Rubros de alto impacto en el recurso hídrico

- *Producción y transformación de metales:* la fabricación de elementos de acero consumen gran cantidad de agua, debido a los sistemas de enfriamiento utilizados.
- *Termoeléctricas:* las termoeléctricas poseen un alto consumo de agua (cerca del 70% del agua extraída), debido principalmente al uso de los sistemas de enfriamiento.
- *Las industrias de disolventes orgánicos:* las instalaciones de combustión son las que poseen el mayor consumo hídrico.
- *Sanitarias:* el consumo humano posee un porcentaje menor al industrial en el consumo de agua, sin embargo, está dentro de las actividades que deben ser consideradas en un análisis territorial.

Las hidroeléctricas, centrales de pasada y sistemas de almacenamiento de agua, poseen un consumo hídrico bajo comparado con otros sectores, causado por la evaporación del agua al aumentar la superficie de contacto en pondajes. Sin embargo, su mayor impacto está en la regulación de los caudales, dado que cambia el régimen hidrológico de la cuenca aguas abajo. Para analizar este tipo de impactos, la Huella Hídrica no es la mejor herramienta.

8.3.3. Incorporar Huella Hídrica en Planes Maestros de Recursos Hídricos Regionales

El Plan Maestro de Recursos Hídricos es un instrumento de planificación indicativa, que contribuye a orientar las decisiones públicas y privadas, con el fin último de maximizar la función económica, social y ambiental del agua,

en armonía con el medioambiente y proveer condiciones de equilibrio que permita dar sustentabilidad dentro de una visión de corto y largo plazo, dotando a los actores de las herramientas y capacidades para abordar los desafíos que esto impone.

Dichos planes buscan definir las directrices para realizar una adecuada gestión de los recursos hídricos, a través de la coordinación adecuada de los programas de acción y las obras involucradas, manteniendo una planificación de futuro, integrando soluciones estatales y privadas, optimizando las inversiones y administrando los recursos como sistemas a nivel de cuenca, y a través de estudios y mediciones técnicas de los sistemas subterráneos y superficiales, bajo el marco legal e institucional vigente.

La DGA podría incorporar la Huella Hídrica en estos planes, dado que aporta información adicional sobre el consumo de agua, incorporando la mirada de territorio compartido por diversos usuarios en el diagnóstico, lo cual servirá para determinar las presiones sobre los recursos hídricos a escala de cuenca (demanda), identificadas como los mayores consumos de agua y sus impactos.

La integración de la huella hídrica dentro del ciclo hidrológico y su balance a escala de cuenca, permitirá identificar a nivel territorial los sobreconsumos y las áreas donde la escasez hídrica en la cuenca puede ser una amenaza. Esta información será clave para determinar la necesidad de reorientación de la política del agua, teniendo en cuenta criterios no solo de oferta sino también de demanda y considerando aspectos económicos, sociales y ambientales, determinando los espacios territoriales prioritarios de intervenir.

8.3.4. Herramienta para la coordinación sectorial

De los resultados que arroja el estudio de Huella Hídrica, es posible determinar que el mayor consumidor de agua es el sector agrícola, tanto en la cuenca estudiada como a nivel nacional e internacional. Por esta razón, gran parte del manejo de los recursos hídricos en un territorio compartido por diversos usuarios (cuenca), dependerá del manejo de las intervenciones correspondientes al rubro que tenga un mayor consumo de agua.

La Ley de Riego es un instrumento de fomento que ha sido identificado como una potencial amenaza a la sustentabilidad ambiental, social y económica de la cuenca, dado que dentro de los criterios de selección de proyectos de riego para subsidio del Estado, se considera la superficie de nuevo riego que incorpora el proyecto, incluyendo suelos improductivos rehabilitados.

Asimismo, su finalidad es realizar estudios para dimensionar la capacidad y comportamiento de acuíferos de aguas subterráneas que puedan estar disponibles para riego, a empresas u organismos especializados, apuntando a aumentar las superficies de riego.

Debido a la crisis hídrica, en los últimos años se han tenido pérdidas de hectáreas cultivadas importantes a nivel país, lo cual se traduce en pérdidas de inversión realizadas por el Estado para aumentar la superficie de riego, siendo las regiones de Coquimbo y Valparaíso las más afectadas. Al año 2014, en la Región de Valparaíso existía una pérdida registrada de 3.762 hectáreas frutales (7,4%) y en Coquimbo equivale a 73.033 hectáreas menos (60,46%).

Si bien el tema agrícola no es de competencia directa de la Dirección General de Aguas, es necesario que el manejo de intervenciones en la cuencas se realicen en conjunto con el Ministerio de Agricultura y el Ministerio de Medio Ambiente para introducir acciones a través de lo estipulado en la Ley de Riego “La Comisión⁷⁸ debe considerar los objetivos ambientales en los proyectos de riego bonificados por la ley, siendo susceptibles de bonificación las inversiones cuyos sistemas productivos impidan la degradación del suelo, de la biodiversidad o cualquier tipo de daño ambiental, de acuerdo a las condiciones que determinen la ley N° 19.300 y el Reglamento de la ley N°18.450”.

El daño ambiental está tipificado por la Ley 19.300 como toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes.

Excepcionalmente, en casos calificados por la Comisión Nacional de Riego, podrán bonificarse como proyectos anexos a los de riego propiamente tales, obras destinadas a solucionar problemas de agua en el sector pecuario y otros relacionados con el desarrollo rural de los predios o sistemas de riego que se acojan a los beneficios de esta ley.

La huella hídrica permitirá determinar los sectores donde la agricultura posee un alto consumo hídrico que ponga en riesgo la sustentabilidad del territorio, considerando además su impacto socioeconómico y ambiental al determinar los indicadores de sustentabilidad territorial.

Además, se recomienda a la DGA analizar en este contexto la aplicación de la herramienta “Plan de Manejo” estipulada en el artículo 42 de la Ley

⁷⁸ Comisión Nacional de Riego (CNR)

19.300, la cual no ha sido desarrollada en el ámbito hídrico, donde se faculta al MMA conjuntamente con el organismo público encargado por la ley de regular el uso o aprovechamiento de los recursos naturales en un área determinada, exigir, cuando corresponda, la presentación y cumplimiento de planes de manejo de los mismos, a fin de asegurar su conservación. En este ámbito está incluida la mantención de caudales de aguas y conservación de suelos, mantención del valor paisajístico y la protección de especies clasificadas en categoría de conservación.

Identificación de mayores consumos de agua

La Huella Hídrica permite estimar los consumos óptimos de agua dulce requerida para las diferentes actividades productivas, dependiendo del tipo de producto a producir y la cantidad en un periodo determinado. Con ello, es posible identificar en el territorio los mayores consumos de agua y compararlos con los derechos de agua otorgados para ello. Un mayor consumo de agua puede ser inducido por una ineficiencia en el uso del agua por parte de la actividad productiva.

En los casos donde el nivel de producción, considerando su máxima eficiencia en el uso del agua, supera el derecho de agua otorgado, se debe identificar que otras fuentes de agua se están utilizando para alcanzar ese nivel de producción. Cuando se sospecha de este tipo de situaciones, se recomienda aplicar la Huella Hídrica a una escala más acotada en el territorio identificado.

8.3.5. Evaluación y Seguimiento

La Huella Hídrica ayuda a establecer indicadores multipropósitos y una visión integral respecto a las presiones e impactos en el recurso hídrico a nivel de cuenca, permitiendo cuantificar los impactos de las intervenciones sobre el recurso hídrico en el tiempo y espacio, contextualizando los resultados. Asimismo, permite evaluar las posibles consecuencias de futuras políticas públicas.

8.3.6. Toma de decisiones

Permite visualizar los Puntos Críticos de consumo hídrico en el territorio compartido por diversos usuarios del agua, simplificando sus resultados para mejorar la toma de decisiones y así focalizar los estudios e intervenciones a realizar para la sustentabilidad del recurso en el tiempo y espacio. Permite identificar las conexiones entre distintos agentes implicados.

9. Conclusiones Generales

A partir de los ejercicios realizados en tres niveles de análisis (macrozona-región- cuenca), se encontraron una serie de brechas que permitirían un mejor análisis de la información. Estas se refieren principalmente a la falta de información a nivel de cuenca y de sub-cuenca sobre:

- Disponibilidad de agua superficial y subterránea, esto debido a que la información que se puede obtener de las estaciones fluviométricas online de la DGA:

- a. No todas las estaciones poseen el mismo número de años de información.

- b. Los datos de las estaciones se encuentran incompletos por lo que no permite obtener valores representativos. En este caso, los datos deben ser modelados para que sean representativos de la situación local que se está estudiando. Cuando los promedios mensuales son calculados con menos días lo que corresponde es hacer un relleno de los datos (a nivel mensual) con una estación patrón. El problema es cuando las estaciones tienen muchas lagunas de datos y finalmente no se tiene la cantidad de datos suficiente para hacer rellenos de datos que sean confiables.

- c. Los caudales y por consiguiente los caudales ecológicos son mediciones puntuales. En este estudio se utilizaron los promedios de los tramos pero es necesario que se defina alguna metodología o al menos un valor consensuado y aceptado por la DGA como valor representativo por subcuenca o al menos tramo.

- Parámetros de calidad que afectan los ecosistemas como son los Nitratos y Fosfatos.

- a. La resolución espacial y temporal de los datos productivos.

- b. Datos climáticos insuficientes para la escala del estudio.

Para el caso de los valores estimados tanto para la agricultura como para los otros sectores estos son valores estimados los cuales poseen diferentes grados de incertidumbre. Es por ello que los análisis del aporte de cada sector a la huella hídrica total de la cuenca sirven de base para evaluar el consumo hídrico a nivel territorial las que junto a otras herramientas permiten una evaluación más específica y con ello la identificación de medidas que permitan ya sea disminuir o eliminar el impacto y/o riesgo.

Pese a la existencia de brechas, a través de la realización de talleres -en los cuales se aplicó la herramienta- se pudo ver que la información de las huellas hídricas desplegadas en el territorio como información base, permiten a los distintos participantes entender cómo los actores de la cuenca influyen en la disponibilidad hídrica y cómo ésta es necesaria para sus actividades. Los mencionados actores pudieron identificar problemáticas que ocurren en el territorio y proponer soluciones en conjunto. Asimismo, el hecho de poder superponer datos sociales y ambientales en el territorio escogido, contribuye a visualizar de mejor manera las interacciones entre variables, así como identificar impactos agregados.

Durante los talleres se identificaron otras deficiencias, como por ejemplo: falta de estudios específicos del impacto del sector agroforestal en las zonas costeras en las napas subterráneas y el impacto del uso de aguas industriales como agua de riego. Esta información resultaría valiosa para el mejor entendimiento de la dinámica hídrica y sus impactos.

Respecto a la aplicación de la HH en políticas públicas en Chile, según la investigación realizada, se ha comprobado que la aplicación de la HH como herramienta base para la gestión debe considerar un espacio geográfico determinado cuyos usuarios comparten las mismas fuentes de agua para su provisión y desarrollo.

En el marco de las políticas públicas, la Huella Hídrica aportaría a cubrir brechas en Chile para mejorar la estimación de los consumos de agua de los diferentes usuarios, para la determinación de la demanda actual y futura del agua en territorios que son compartidos por diversos usuarios del agua; la implementación de mecanismos de incentivo para la reducción y compensación de aguas, así como generar un indicador con base técnica sólida para medir el impacto en el tiempo, de las acciones implementadas en reducción de consumo hídrico.

El análisis de Huella Hídrica en políticas públicas identifica 7 espacios técnicos/estratégicos donde la DGA puede generar acciones:

- Ajuste D.S. N°743/2005 “Fija tablas de equivalencia entre caudales de agua y usos que reflejan las prácticas habituales en el país en materia de aprovechamiento de aguas”
- Incorporar al manual de normas y procedimientos del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos (Aplicación en el marco del SEIA)
- Incorporar en Planes Maestros de Recursos Hídricos Regionales

- Herramienta para la coordinación sectorial
- Identificación de mayores consumos de agua
- Evaluación y Seguimiento
- Toma de decisiones

Se destaca que, si bien se han realizado estudios anteriores sobre huella hídrica en Chile, el presente trabajo es el primero en su tipo⁷⁹. Por este motivo, se encontraron una gran cantidad de brechas que pueden ser disminuidas en la medida que se realicen los estudios necesarios y se mejore la disponibilidad de información. El objetivo final de ese estudio fue aplicar esta herramienta como apoyo a la evaluación del consumo de agua a nivel territorial, incluyendo todos los sectores productivos (Sector Doméstico, Silvoagropecuario, Minero, Energético e Industrial), entregando una visión completa de la situación que ocurre en una cuenca y/o territorio analizado y por ende ser un aporte para mejorar la gestión.

Por otro lado, se han identificado un número variable de deficiencias en cuanto a disponibilidad de datos que deben ser resueltas de manera de obtener números más ajustados a la realidad. A pesar de ello, se ha visto que la huella hídrica desplegada a nivel territorial permite crear un espacio para el diálogo basado en indicadores simples, entregando así una base común para los distintos organismos públicos, tanto para la formulación de respuestas individuales como en conjunto, que permita en el futuro mejorar y hacer más eficiente la gestión del recurso hídrico en el territorio nacional.

Esta herramienta entrega información relevante para la toma de decisiones y puede ser utilizada en diversas funciones de la gestión pública relacionada con 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).

En el futuro, en la medida de que las fuentes de información pública se mejoren y que aumente la transparencia en el uso del agua por los diferentes usuarios que esta herramienta va a ser un mayor aporte para los tomadores de decisiones.

⁷⁹ Ver Resumen Ejecutivo, Perspectivas futuras.

10. Reuniones y Actividades de Capacitación y Difusión

10.1.1. Reunión de Inicio

El día 12 de enero del 2015 se realizó en oficinas de la Dirección General de Aguas la reunión de Kick off, durante la cual se presentaron los equipos y se dieron los primeros lineamientos para el desarrollo del proyecto Reporte Huella Hídrica en Chile-Sectores prioritarios de la cuenca del río Rapel.

A esta actividad asistieron representantes de Fundación Chile, Dirección General de Aguas, Organizaciones Socias del Proyecto (vía skype) y Don Guillermo Donoso (Revisor).

Por parte de Fundación Chile:

- Ulrike Broschek, Jefa de Proyecto
- Axel Dourojeanni, Experto Senior temas agua
- Michelle Hervé, Analista de proyecto
- Alejandro Florenzano, Jefe de Investigación
- Cristóbal Loyola, Analista de Proyecto
- Jorge Herreros, Especialista SIG

Por parte de la Dirección General de Aguas:

- Adrián Lillo, División estudios y planificación
- Ernesto Schulbach, Unidad Organizaciones de Usuarios y Eficiencia Hídrica
- Juan Atan, Profesional de Estudios
- María José Squadritto, Unidad Organizaciones de Usuarios y Eficiencia Hídrica
- Cesar Caneleo, Unidad fiscalización
- Rodrigo Sanhueza, Dirección General de Aguas VI Región
- Raúl Cisternas, Analista estudios y planificación de recursos hídricos
- Gwendolyn Ledges
- Guillermo Donoso (Revisor)

Organizaciones Socias del Proyecto conectados vía SKYPE:

- Daniel Chico, WFN
- Rodrigo Catalán, WWF
- Carla Toranzo, COSUDE.

Temas Tratados:

- a) Reunión de apertura para ver temas de cronograma y conocer equipos.

- b) Metodología de trabajo
- c) Ver agenda de reuniones y capacitaciones a DGA inicio y fin del proyecto

10.1.2. Reunión de presentación resultados Etapa 1

La reunión de presentación de los resultados de la Etapa 1 se realizó la semana posterior a la fecha de entrega del primer informe, el día

Objetivos:

- ✓ Presentar los resultados obtenidos
- ✓ Metodología utilizada
- ✓ Dificultades encontradas
- ✓ Estructura del informe.

10.2. Actividades de Capacitación y Difusión

10.2.1. Capacitación N° 1

Título: Huella Hídrica a la Dirección General de Aguas -"Introducción a la Huella Hídrica y su aplicación como herramienta para la gestión del recurso hídrico en el territorio"

10.2.1.1. Capacitación Santiago

La capacitación de Santiago se realizó el día 20 de marzo en el Auditorio del Ministerio de Obras Públicas (Morandé N° 71, piso 3, Santiago). Asistieron 40 personas de distintas organizaciones públicas como son la Dirección General de Aguas, Instituto nacional de Estadísticas, Servicio Agrícola y Ganadero, Dirección de Obras Hidráulicas, Comisión Nacional de Riego, Ministerio de desarrollo social y el Ministerio de Obras públicas.

El objetivo de la capacitación fue entregar los conceptos básicos de la metodología de medición de la Huella Hídrica, así como las herramientas de análisis estratégico del territorio que permitirían usar este instrumento en las políticas públicas.

El Sr. Daniel Chico, perteneciente a Water Footprint Network, introdujo a los participantes de la capacitación en las bases teóricas de la medición de Huella Hídrica y su posterior análisis de sustentabilidad. También presentó experiencias internacionales donde ya se ha aplicado la medición de huella hídrica a nivel territorial con distintos niveles de alcances.

Fundación Chile realizó 4 presentaciones donde dio a conocer la experiencia nacional en la aplicación de la metodología de medición de Huella hídrica a nivel territorial como de producto, en gestión de cuencas, la experiencia de Suizagua con las empresas y se presentó el Proyecto De Huella Hídrica Nacional: Piloto Cuenca Del Río Rapel.

Además se contó con la participación de los Sres. Yuri Pinto y Juan Mariluz, representantes de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) donde expusieron de la experiencia peruana de la implementación de la Huella Hídrica en las políticas públicas.

Tabla 177: Programa capacitación Huella Hídrica (20 marzo)

Hora	Expositor	Tema
08:45 – 9:00	Acreditación	
9:00 – 9:15	DGA	Bienvenida
9:15 – 9:45	Ulrike Broschek, Fundación Chile	Visión de Gestión del Agua en Fundación Chile, Presentación del Proyecto Huella Hídrica Nacional
9:45 – 10:15	Axel Dourojeanni, Fundación Chile	Oportunidades de aplicación de las Herramientas de gestión en las políticas públicas
10:15 – 10:45	Yuri Pinto, Autoridad Nacional del Agua Perú	Proyecto de Política de Agua en Perú con la inclusión de herramienta Huella Hídrica
10:45 – 11:15	Daniel Chico, Water Footprint Network	Parte 1: Contexto y Metodología de medición de Huella Hídrica
11:15 – 11:45	CAFÉ	
11:45 – 12:30	Daniel Chico, Water Footprint Network	Parte 2: Evaluación de sostenibilidad de la huella hídrica y Casos de Aplicación de la huella hídrica a nivel territorial
12:30 – 13:00	Claudia Galleguillos, Fundación Chile	Aplicación de la Huella Hídrica en sector productivo: Proyecto Suizagua Andina
13:00 – 14:30	ALMUERZO	
14:30 – 15:15	Juan Mariluz, Autoridad Nacional del Agua Perú	Avances y resultados de la medición de huella hídrica nacional de Perú
15:15 – 16:15	Carolina Jaramillo, Fundación Chile	Revisión Bibliográfica de la medición de huella hídrica en Chile, Enfoque metodológico a usar en el proyecto Huella Hídrica Nacional, Construcción de planillas de cálculo teórico.
16: 15 – 16:45	Comentarios Finales	
16:45 – 17:00	Ulrike Broschek, Fundación Chile DGA	Cierre

10.2.1.2. Capacitación Rancagua

La capacitación de Rancagua se realizó el día 9 de abril en el Auditorio del Ministerio de Obras Públicas (Cuevas n° 530, Rancagua). Asistieron 35 personas de distintas organizaciones públicas como son la Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras públicas, Conaf y SERNATUR.

El objetivo de la capacitación fue entregar los conceptos básicos de la metodología de medición de la Huella Hídrica, así como las herramientas de análisis estratégico del territorio que permitirían usar este instrumento en las políticas públicas.

Fundación Chile dio a conocer la experiencia nacional en la aplicación de la metodología de medición de Huella hídrica a nivel territorial como de producto, en gestión de cuencas, la experiencia de Suizagua con las empresas y se presentó el Proyecto de Huella Hídrica Nacional: Piloto Cuenca del Río Rapel introdujo a los participantes de la capacitación en las bases teóricas de la medición de Huella Hídrica y su posterior análisis de sustentabilidad. También presentó experiencias internacionales donde ya se ha aplicado la medición de huella hídrica a nivel territorial con distintos niveles de alcances.

Tabla 178: Programa capacitación Huella Hídrica (9 Abril)

Hora	Expositor	Tema
08:45 – 9:00	Acreditación	
9:00 – 9:15	DGA	Bienvenida
9:15 – 9:45	Ulrike Broschek, Fundación Chile	Visión de Gestión del Agua en Fundación Chile, Presentación del Proyecto Huella Hídrica Nacional
9:45 – 10:15	Axel Dourojeanni, Fundación Chile	Oportunidades de aplicación de las Herramientas de gestión en las políticas públicas
10:15 – 11:15	Carolina Jaramillo, Fundación Chile	Contexto y Metodología de medición de Huella Hídrica y Evaluación de sostenibilidad de la huella hídrica y Casos de Aplicación de la huella hídrica a nivel territorial
11:15 – 11:35	CAFÉ	
11:35 – 12:00	Ulrike Broschek, Fundación Chile	Aplicación de la Huella Hídrica en sector productivo: Proyecto Suizagua Andina
12:00 – 13:00	Carolina Jaramillo, Fundación Chile	Revisión Bibliográfica de la medición de huella hídrica en Chile, Enfoque metodológico a usar en el proyecto Huella Hídrica Nacional, Construcción de planillas de cálculo teórico.
13:00 – 13:15	Comentarios Finales	
13:15 – 13:30	Ulrike Broschek, Fundación Chile DGA	Cierre

10.2.2. Capacitación N° 2

Título: Evaluación de la Huella Hídrica a la Dirección General de Aguas - “Pasos para a evaluación de la Huella Hídrica – Trabajo práctico”.

10.2.2.1. Capacitación Santiago-Rancagua

Para finalizar el proyecto y transferir la metodología a los distintos servicios públicos y privados interesados, la segunda capacitación estuvo enfocada realizar un trabajo práctico. El objetivo de estas fue, en primer lugar presentar los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología de medición de la Huella Hídrica y su posterior análisis de sustentabilidad, y en segundo lugar mostrar de manera práctica su uso como instrumento para la gestión integrada de los recursos hídricos.

La segunda capacitación se replicó en dos lugares, la primera capacitación se realizó el día 28 de Octubre de 2015 en el Hotel Mercure (Avda. Libertador Bernardo O'Higgins #632, piso 3, Santiago). Asistieron 22 personas principalmente de la Dirección General de Aguas (DGA) y Dirección de Planeamiento (DIRPLAN). En tanto, la segunda capacitación se realizó el día 5 de Noviembre de 2015 en las dependencias de la Dirección General de Aguas (Campos #530, Rancagua). Asistieron 52 personas de distintas organizaciones públicas y privadas como son la Dirección General de Aguas (DGA), Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), Ministerio de Energía y Medioambiente, Gobierno Regional (GORE), Municipalidades, Asociaciones Gremiales y empresas hidroeléctricas.

La capacitación se inició con una corta introducción para recordar:

- Los conceptos básicos de huella hídrica
- Presentar las fases u/o hoja de ruta para llevar a cabo la medición
- Ejemplificar las fases 1 hasta la primera parte de la fase 3 con los resultados del piloto
- Finalizar presentando las últimas fases (Fases 3-4), con un trabajo práctico

La última parte de la fase 3 tiene por objetivo identificar los puntos críticos. La fase 4, tiene como objetivo en base a los resultados obtenidos encontrar las respuestas y soluciones a los puntos críticos (hotspots) encontrados.

La dinámica del ejercicio práctico, en ambas capacitaciones, consistió en formar grupos diversos (con personas de diferentes áreas en lo posible), a los cuales se les entregaron los resultados obtenidos del piloto. A partir de la información entregada, cada grupo conto con un tiempo definido (30 min.) para interiorizarse de la información e identificar posibles puntos críticos a través del cruce de la información en el mapa de la cuenca.

A partir de la información se identificaron tres puntos críticos:

- A. La agricultura es una actividad de la cual depende gran parte de la cuenca y aporta a gran parte del PIB regional. Una disminución en la disponibilidad de agua afectaría esta actividad perdiéndose además puestos de trabajo.
- B. A partir del estudio se vio que las aguas servidas no tratadas de la parte rural producen un potencial impacto en la calidad de las aguas.

- C. Una disminución en los caudales y en la calidad de las aguas también podría afectar especies únicas de la cuenca, perdiendo así biodiversidad y potencial turístico.

Una vez identificados los puntos críticos, los grupos contaron con una hora para proponer medidas, definir actores involucrados y definir brechas que debieran ser resueltas para lograr las respuestas y/o soluciones propuestas.

Para el punto crítico A se identificaron las siguientes medidas:

Tabla 179. Comentarios de los asistentes al taller, sobre punto crítico A.

Tipo	Medida	Actor	Comentario
ACCIONES PARA AUMENTAR DISPONIBILIDAD	Verificación de derechos otorgados	DGA	Para que esta medida sea efectiva debería controlarse la extracción en cauces principales.
			Exigir a titulares de derechos la instalación de un sistema de extracción.
			Verificar captación de aguas subterráneas
	Incluir HH en sistema SEIA	MMA-DGA	Devolución de derechos para la conservación. También podría permitir crear sistema de compensación
			Telemetría credibilidad para el reporte de agua.
			Política de recarga de acuíferos.
Nuevas fuentes de agua	MOP	Reuso de Aguas	
ACCIONES QUE IMPLICAN INFRAESTRUCTURA	Mejorar el sistema de Almacenamiento	MOP	Generar embalses. Sistema de colector de aguas lluvia.
ACCIONES PARA MEJORAR ASOCIATIVIDAD	Fortalecimiento organizaciones de usuarios	CNR	Incentivos CNR para obligar a organizarse
ACCIONES PARA MITIGAR EL IMPACTO	Tecnificación y protocolo en riego	CNR	Instrumento CNR para mejorar eficiencia
	Mecanismo para restringir crecimiento suelo agrícola con CNR.		Equidad en la postulación de fondos CNR entre pequeños y grandes
			Redistribución del agua en función de la disponibilidad.

Para el punto crítico B se identificaron las siguientes medidas:

Tabla 180. Comentarios de los asistentes al taller, sobre punto crítico B.

Tipo	Medida	Actor	Comentario
ACCIONES PARA DISMINUIR EL IMPACTO	Mayor fiscalización a empresas privadas	SISS-DGA	Tener un mayor control en la descarga de residuos de las empresas a canales o ríos.
			Fiscalizar infiltraciones a napas subterráneas
			Fiscalizar el uso de agua empresas que realizan riego por goteo de grandes extensiones
	Incluir HH en sistema SEIA	MMA-DGA	Medidas de compensación de empresas hacia la comunidad
			Más transparencia en las descargas (mayor nº de empresas no implica mayor huella gris).
	Más descentralización – instalar incentivos para trasladar a las empresas a zonas de baja HH gris pero con adecuada disponibilidad de agua.		
Nuevas fuentes de agua	MOP	Reuso de Aguas	
Control de los incentivos al riego	CNR	Poner límites a la cantidad de plantaciones en el secano costero.	
ACCIONES QUE IMPLICAN INFRAESTRUCTURA	Tener una ley para el sector rural que regule el agua por alcantarillado	SUBDER E-SISS	Mejorar la calidad de vida de los habitantes
			Mejorar al óptimo las PTA de tratamiento como hecho/hito que se puede alcanzar.
			Potenciar las políticas públicas para alcantarillado rural.
	Fiscalización	DGA	Mayor información de organismos fiscalizadores
Exigir sistema satelital en línea para que DGA pueda fiscalizar.			
ACCIONES PARA MEJORAR ASOCIATIVIDAD	Fortalecimiento organizaciones de usuarios	DGA	Unir todos los actores pero que haya un ente que reúna y coordine para lograr una adecuada gestión de los recursos hídricos
			Constituir comunidades de agua subterráneas.
			Elaborar reglamentos para las organizaciones de usuarios de agua para apoyo en la gestión y fiscalización.
			Incorporar comunidades de aguas subterráneas en juntas de vigilancia

Como parte de la discusión también se identificaron brechas o información faltante referente a que no existen estudios de causa efecto de las aguas industriales que no son descargadas a cauces superficiales, ni estudios de cómo estas pueden estar afectando las fuentes de agua. Lo mismo con la calidad y la disponibilidad de agua subterránea para consumo humano, en la que se siente una mayor escasez pero no hay estudios que lo comprueben.

El aumento de la fiscalización y las fuentes de información fueron temas recurrentes, al igual que la creciente necesidad de que solo una institución se empodere del tema y dirija al resto. En este caso la DGA se mencionó como la principal institución, pero con la precaución de que para ello requeriría se tendrían que entregar un mayor número de recursos, un aumento en los fiscalizadores y el endurecimiento de las sanciones.

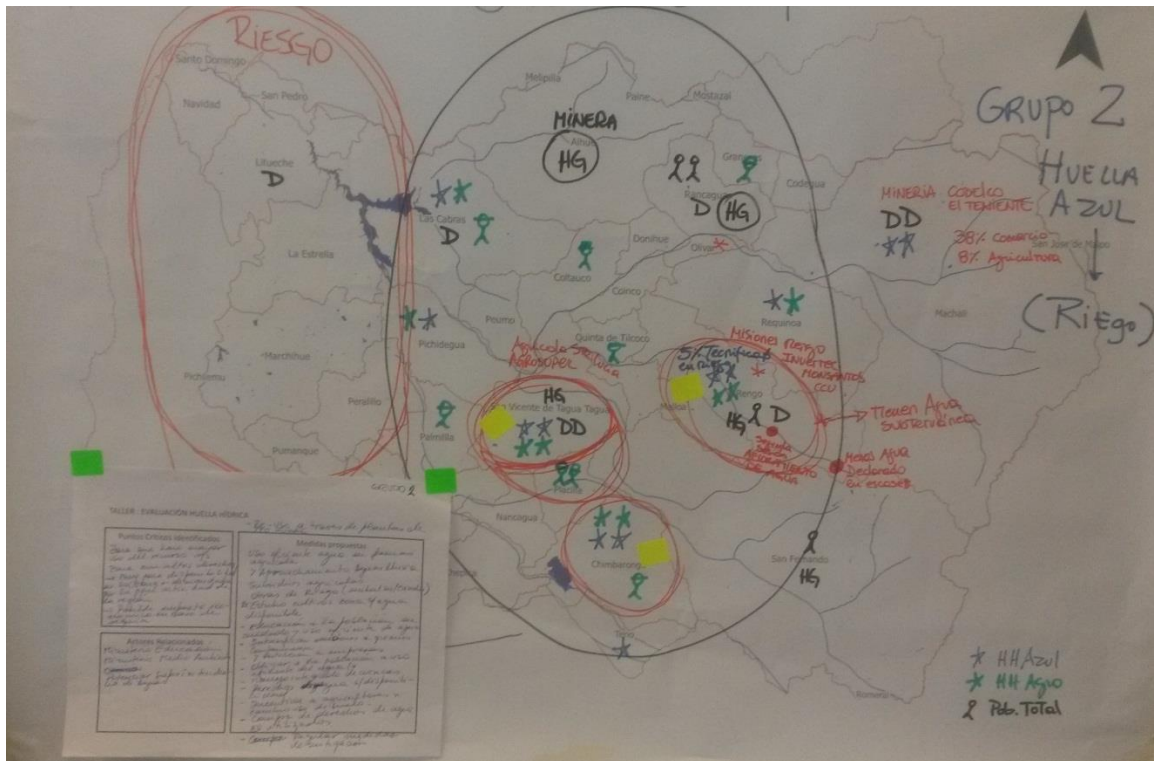
Para el punto crítico C se identificaron las siguientes medidas:

Tabla 181. Comentarios de los asistentes al taller, sobre punto crítico C.

Tipo	Medida	Actor	Comentario
ACCIONES PARA AUMENTAR PROTECCION DE LAS FUENTES DE AGUA	Ley y ente fiscalizador para responsabilidad de agua	MMA JUNTO A OTROS ORGANISMOS EN TEMAS PARTICULARES	Mayor fiscalización de los servicios respectivos.
			Legislación más comprometida con el tema de contaminación efectiva.
			Sistema de monitoreo en línea de la calidad
	Nuevas fuentes de agua	MOP	Reuso de Aguas
	Mejorar información		Más estaciones con tecnología de punta.

- También se planteó la creación de un único organismo encargado del ordenamiento territorial con planificación.

Figura 67. Mapa del caso 1 Agrícola



10.2.1. Listado de asistentes a capacitaciones⁸⁰

10.2.2. Presentaciones en capacitaciones⁸¹

⁸⁰ Ver anexo digital.

⁸¹ Ver anexo digital.

11. Hitos y Productos comprometidos⁸²

11.1. Fichas Resumen (Revisión Bibliográfica)

11.2. Proyecto SIG y mapas

11.3. Guía para la evaluación de la Huella Hídrica en una cuenca

Se tienen comprometidas 300 copias impresas

11.4. Video explicativo de la evaluación de Huella Hídrica

11.5. Tríptico y libretas

Se imprimieron 1000 copias que se han distribuidos entre los participantes de las capacitaciones de la DGA desarrolladas en Santiago y en Rancagua y en el Seminario de cierre. Asimismo se diseñaron e imprimieron libretas

11.6. Base de Datos

11.6.1. Fichas de proceso

Las siguientes fichas fueron desarrolladas para estimar el consumo hídrico de las distintas actividades económicas presentes en la cuenca del río Rapel. Estas se estimaron mediante el método de 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 SEIA y a datos obtenidos de la base de datos ECOBASE. Para cada proceso, se evaluó como consumo hídrico la diferencia de las entradas menos las salidas por unidad productiva.

Durante el proyecto se llevaron a cabo varias reuniones con el sector industrial y las distintas asociaciones productivas, de modo de validar los resultados obtenidos. En estas reuniones se revisaron los datos y se compararon con la información levantada por los mismos sectores.

⁸² Puntos 11.1 a 11.7 ver en anexo digital.

En estas reuniones se identificaron algunas restricciones de los resultados obtenidos:

- **Unidad Funcional:** para este estudio se calcularon los consumos hídricos de acuerdo a la información oficial existente, como por ejemplo, Kg de fruta procesada para la producción de la agroindustria. En mucho de los casos esta unidad no era compatible con la unidad que utilizan las diferentes industrias para la generación de sus indicadores. Por ejemplo, el uso de agua en la producción de aceite de oliva está relacionada con la cantidad de aceite de la fruta y no con la cantidad de aceitunas que se requiera por litro de aceite.
- **Nivel Tecnológico:** Dentro de los supuestos que se utilizaron se definió que el nivel tecnológico de la industria es relativamente similar y se generó un modelo en base a este nivel. Este punto fue debatido con algunas empresas ya que, en ciertos casos, como por ejemplo en la producción de cerdos el uso de agua es más intensivo en los planteles antiguos que en los más modernos, por lo que asumir el mismo nivel tecnológico podría llevar a errores.
- **Más de un tipo de producción por planta:** Cada uno de los productos se evaluaron como procesos individuales. A nivel nacional los grandes productores de la agroindustria tiene más de una línea de procesos por planta. Por lo que en algunos casos fue imposible comparar los resultados obtenidos con los indicadores de la industria.

11.7. Planillas de Excel

- Cálculos de la evapotranspiración potencial y potencial ajustada

12. Trabajos citados

- ADUANAS CHILE. (2015). Series de productos exportados - Importados.
- ALDAYA, M., & LLAMAS, M. (2008). 'Water footprint analysis for the Guadiana river basin', *Value of Water Research Report Series No.35*. Delft, Holanda: UNESCO-IHE.
- ALLEN, R., PEREIRA, L., RAES, D., & SMITH, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma, Italia: Organización para las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- ARÉVALO, D., CAMPUZANO, C., BUILES, E., MORENO, S., RODRÍGUEZ, C., & OTROS, y. (2013). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN UNA CUENCA HIDROGRÁFICA*. Colombia.
- ARJEN Y. HOEKSTRA, A. K. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. London: Earthscan.
- AYALA, L. (2010). *Aspectos técnicos de la gestión integrada de las aguas (GIRH) - Primera etapa diagnóstico. Informe preparado para el diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos*. Santiago, Chile.
- BANCO CENTRAL, B. (2015). *Producto Interno Bruto Regional*. Obtenido de Varias Regiones: www.bancocentral.cl
- BANCO MUNDIAL. (2013). *Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua*. Recuperado el 30 de Abril de 2015, de www.dga.cl
- BANCO MUNDIAL. (2011). *Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos*. Recuperado el 30 de Abril de 2015, de www.dga.cl
- BCN., B. d. (s.a.). *Clima y vegetación Región Libertador B. O'Higgins*. Recuperado el 30 de Abril de 2015, de <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region6/clima.htm>
- BOSIRE, C., OGUTU, J., SAID, M., KROL, M., DE LEEUW, J., & HOEKSTRA, A. (2014). Trends and spatial variation in water and land footprints of meat and milk production systems in Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 205: 36-47.
- BOULAY, A., BOUCHARD, C., BULLE, C., DESCHRENE, L., & MARGNI, M. (2011). Categorizing water for LCA inventory. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Volume 16, Issue 7, pp 639-651.
- CEPIS, C. P. (2000). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Evaluación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en las Américas: <http://www.bvsde.paho.org/eswww/eva2000/Chile/informe/inf-04.htm>.
- CHAPANGAIN, A., & HOEKSTRA, A. (2008). The component of freshwater of freshwater demand and supply: An assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. *Water International*, 33 (1): 19-32.
- CHAPANGAIN, A., & HOEKSTRA, A. (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, 70(4): 749-758.
- CHAPANGAIN, A., HOEKSTRA, A., SEVENIJE, H., & GAUTAM, R. (2006). 2006, The water of cotton consumption An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, (1):186-203.
- CHICO, D., SALMORAL, G., LLAMAS, M., GARRIDO, A., & ALDAYA, M. (2010). *The Water Footprint and Virtual Water Exports of Spanish Tomatoes*. Obtenido de Papeles de Agua Virtual: <http://www.rac.es/ficheros/doc/00819.pdf>

- Chile, F. (2010). *Huella de Agua de productos agroforestales*. Santiago, Chile: Estudio no publicado para el Ministerio de Agricultura.
- CIREN, C. d., & CNR, C. N. (1997). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile.: bibliotecadigital.ciren.cl
- CNE, C. N. (2015). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Reporte Mensual Sector Energético, Volumen 1: www.cne.cl
- CNR., C. N., & CIREN., C. d. (1997). *Cálculo y Cartografía de la Evaporación Potencial en Chile*. Santiago de Chile: CIREN.
- COCHILCO, Comisión Chilena de Cobre. (2008). *Buenas prácticas y uso eficiente del agua en la industria minera*. Santiago: COCHILCO.
- Comision Chilena del Cobre, C. (2008). *Análisis Comparativo de Normativas de descarga de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales*. Recuperado el 2015, de www.cochilco.cl
- CONAF. (Varios años). *Catastro de Bosque Nativo*. Santiago, Chile: CONAF.
- CONAMA, C. N. (2005). *Guía CONAMA Para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales y Marinas*. Santiago, Chile: CONAMA. Recuperado el 30 de Abril de 2015
- CONAMA, C. N. (2006). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Anteproyecto de normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Cachapoal: Santiago
- ConsejoDirectivo del Río Cachapoal. (2015a). *Reporte estadístico de calidad de aguas superficiales de la subcuenca del Río Cachapoal*. Rancagua, Chile: Consejo Directivo del Río Cachapoal.
- ConsejoDirectivo del Río Cachapoal. (2015b). *Reporte estadístico de calidad de aguas superficiales de la subcuenca del Río Tinguiririca*. Rancagua, Chile: ConsejoDirectivo del Río Cachapoal.
- Dames, & Moore. (1993). *Análisis de la Información Histórica, Hidrológica y de la calidad del Agua para la Evaluación de Descargas de Aguas Residuales e Industriales en la cuenca del río Rapel*.
- DGA. (2003). *Informe Técnico, Evaluación de los recursos subterráneos de la VI región. STD N160*. Santiago: Departameto de administración de los recursos hídricos.
- DGA, D. G. (2005). Obtenido de Evaluación de la Explotación Máxima Sustentable de los Acuíferos de la VI Región. Modelación Hidrogeológica de los Valles de Alhué, Cachapoal y Tinguiririca. Informe Técnico S.D.T N°229,: www.documentos.dga.cl
- DGA, D. G. (2011). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Diagnóstico De La Red De Aguas Subterráneas Región Del Libertador Bernardo O'Higgins: www.documentos.dga.cl
- DGA, D. G. (2015). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Listado de derechos concedidos por región (Archivo Excel descargable: www.dga.cl)
- DGA, D. G. (2015a). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Boletín: información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas: www.dga.cl
- DGA., D. G. (1987). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Balance Hídrico de Chile: www.documentos.dga.cl
- DGA., D. G. (1996). *Análisis de la oferta y demanda de recursos hídricos en cuencas críticas de Loa, Rapel y Mataquito*. Santiago, Chile: DGA., Dirección General de Aguas.
- DONOSO, G., & AL., E. (2012). *Seguridad Hídrica y Alimentaria en América Latina y España: El caso de Chile*. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- ESPINOZA, C. (2006). *Determinación de tasas características de uso del agua según sector y rubro*. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- ESSBIO. (s.a.). Obtenido de ¿Cómo se produce el agua potable? : www.essbio.cl/comunidad/elagua_y_essbio_como_se_produce.php

- FAGUENBAUM, H. (2003). *Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile*. Santiago, Chile.: Universidad de Chile.
- FAO, L. a. (s.f.). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de CROPWAT 8.0: http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html
- FAO, O. d. (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. Cómo gestionar los sistemas en peligro*. Roma, ITALIA: FAO.
- Federación de Juntas de Vigilancia de Ríos y Esteros de la Sexta Región. (s.a.). *Federación de Juntas de Vigilancia de Ríos y Esteros de la Sexta Región*. Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Juntas de Vigilancia: www.federacionjuntas.cl
- FRANKE, N., BOYACIOGLU, H., & HOEKSTRA, A. (2013). *Grey Water Footprint Accounting*. Delft: Unesco.
- FULTON, J., COOLEY, H., & GLEICK, P. (2014). Water Footprint Outcomes and policy relevance change with scale considered: Evidence from California. *Springer Science*.
- FUNDACIÓN CHILE. (2010). *Huella de Agua de productos agroforestales*. Santiago, Chile: Informe para el Ministerio de Agricultura.
- FUNDACIÓN CHILE. (2010a). *Huella de Agua en la cuenca de Huasco*. Santiago de Chile: Informe no publicado para el.
- FUNDACIÓN CHILE. (2010b). *Huella de agua empresas Agrícolas de Huasco y Copiapo*. Santiago, Chile: Informe no publicado realizado para .
- FUNDACIÓN CHILE. (2010c). *Informe, Agricom* . Santiago, Chile: Fundación Chile para Agricom.
- FUNDACIÓN CHILE. (2010d). *Medición Huella Hídrica Concha y Toro*. Santiago, Chile: Fundación Chile para Concha y Toro.
- FUNDACIÓN CHILE. (2010e). *Huella Hídrica Municipalidad de Vitacura*. Santiago, Chile: Fundación Chile para Municipalidad de Vitacura.
- FUNDACIÓN CHILE. (2012). *Medición de Huella Hídrica para Concha y Toro*. Santiago, Chile: Fundación Chile para Concha y Toro.
- GAJARDO, R. (1994). *La Vegetación Natural de Chile, Clasificación y Distribución Geográfica*. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- GALLOWAY, J. (2007). International trade meat: The tip of the pork chop. *Ambio*, 36 (8):622-629.
- GARCÉS, M. A. (2011). *Análisis técnico de la huella hídrica como indicador de sustentabilidad del uso del agua en la producción del concentrado de cobre en División El Teniente de CODELCO*. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- GARRIDO, A., LLAMAS, R., VARELA-ORTEGA, C., NOVO, P., & RODRÍGUEZ-CASADO, R. (2010). *Water footprint and virtual water trade in Spain*. Londres: Springer.
- GERBENS-LEENES, P., MEKONNEN, M., & HOEKSTRA, A. (2013). The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. *Water Resources and Industry*, 1-2: 25-36.
- GIL, G. (2006). *Fruticultura Producción de Fruta*. Santiago, Chile.: Colección en agricultura Facultad de Agronomía e ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- GIL, G. (2009). *Fruticultura el potencial productivo*. Santiago, Chile. : Colección en agricultura Facultad de Agronomía e ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- HIRZEL, J. (s.a.). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Nutrición y Fertilización del Arándano: www.comitedearandanos.cl
- HISCHER, R. (2007). *Life Cycle Inventories of Packaging and graphical Papers. Ecoinvent-Report n°11*. Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories.
- HOEKSTRA, A. (2014). Water for animal products: a blind spot in water policy. *Environmental Research Letters*, 9(9).

- HOEKSTRA, A., & CHAPANGAIN, A. (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, 21(1): 35-48.
- HOEKSTRA, A., & CHAPANGAIN, A. (2007a). The water footprints of Morocco and the Netherlands: Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. *Ecological Economics*, 64(1): 143-151.
- HOEKSTRA, A., & HUNG, P. (2005). Globalization of water resources: international virtual water flows in relation to crop production. *Global Environmental Change*, 15: 45-46.
- HOEKSTRA, A., BOOIJ, M., HUNINK, J., & MEIJER, K. (2012). *Blue water footprint of agriculture, industry, households and water management in the Netherlands: An exploration of using the Netherlands Hydrological Instrument*. Value of Water Research Report Series N° 58: UNESCO-IHE.
- HOEKSTRA, A., CHAPAGAIN, A. K., ALDAYA, M. M., & MEKONNEN, M. M. (2009). *Water Footprint Manual, State of the Art 2009*. . Holanda: Water Footprint Network.
- HOEKSTRA, A., CHAPANGAIN, A., ALDAYA, M., & MEKONNEN, M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. London, UK. : Earthscan.
- IDEACONSULTORA., I. p. (2012). Recuperado el 2015, de Actualización del catastro de la agroindustria Hortofrutícola chilena, Licitación pública de la Subsecretaría de Agricultura N° 1590-23-LE11: www.odepa.cl
- IDEPE, C. (2004). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad*. Santiago, Chile: Dirección General de Aguas.
- INAP, C. d. (2013). *Informe país, Estado Del Medio Ambiente En Chile 2012*. Santiago, Chile: Universidad de Chile .
- INE, I. N. (1997). Recuperado el 2015, de VI Censo Nacional Agropecuario.
- INE., I. N. (2007). *Censo Silvoagropecuario*. Recuperado el 2015, de www.ine.cl.
- INE., I. N. (2010). Recuperado el 2015, de Información Hortícola 2008-2009: www.ine.cl
- INE., I. N. (2012). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA): www.ine.cl
- INE., I. N. (2013a). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Antecedentes Metodológicos de la Encuesta Nacional de la Industria Anual: www.ine.cl
- INE., I. N. (2014a). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Compendio estadístico 2014: www.ine.cl
- INE., I. N. (2014b). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Encuesta de superficie hortícola 2014: www.ine.cl
- INE., I. N. (2014c). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Evolución superficie frutícola por región 2014 (Formato Excel): www.ine.cl
- INE., I. N. (2014d). Obtenido de Informe pecuario primer semestre 2014: www.ine.cl
- INFOR, I. F. (2014). Recuperado el 2015, de El sector forestal chileno: wef.infor.cl
- INIA, I. d. (2011). *Fertilización de cultivos en Chile* . Chillan, Chile.: INIA.
- INODÚ. (2014). Obtenido de Estudio De Antecedentes Técnicos, Económicos, Normativos Y Ambientales De Tecnologías De Centrales Termoeléctricas Y Sus Sistemas De Refrigeración, Informe Final preparado para el Ministerio de Energía.: Ministerio de Energía
- LIU, J., & SAVENIJE, H. (2008). Food consumption patterns and their effect on water requirement in China. *Hydrology and Earth System Science*, 12(3): 887-898.
- MA, J., HOEKSTRA, A., WANG, H., CHAPANGAIN, A., & WANG, D. (2006). Virtual versus real water transfer within China. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* , 361 (1469): 835-842.
- 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.

- MEKONNEN, M. P., ALDAYA, M., ZARATE, E., & HOEKSTRA, A. (2014a). *Water Footprint Assessment for Latin America and the Caribbean: An analysis of the sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution. Value of Water Research Report Series No. 66.* . Delft, Holanda: UNESCO-IHE.
- MEKONNEN, M., & HOEKSTRA, A. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5): 1577-1600.
- MEKONNEN, M., & HOEKSTRA, A. (2010). A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(7), 1259–1276.
- MEKONNEN, M., & HOEKSTRA, A. (2010a). *The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products*. Delft, Holanda: UNESCO-IHE.
- MEKONNEN, M., & HOEKSTRA, A. (2014). Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment. *Ecological Indicators*, 46:214-223.
- MEKONNEN, M., GERBENS-LEENES, P., & HOEKSTRA, A. (2015). The consumptive water footprint of electricity and heat: A global assessment. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 1: 285-297.
- MINISTERIO DEL INTERIOR Y SEGURIDAD PÚBLICA. (2015). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Política Nacional de los Recursos Hídricos 2015: www.interior.gob.cl
- MMA, M. d. (2012). *Diireccion General de Aguas*. Recuperado el 2015, de Reglamento para la determinación de caudale ecológico mínimo: www.dga.cl
- MMA., M. d. (s.a.). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Acceso al agua potable y Alcantarillado: www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_Capitulo_5.pdf
- MOP., M. d. (2013). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Chile cuida su agua, estrategia nacional de los recursos hídricos 2012-2025: www.mop.cl
- NAVARRO, P., ZAMORANO, H., & DONOSO, G. (2007). *INFORME FINAL DE EVALUACIÓN PROGRAMA DE AGUA POTABLE RURAL*.
- ODEPA., O. d. (2013b). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Panorama de la Agricultura Chilena: www.odepa.cl
- ODEPA., O. d. (2015f). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Boletín vivos y licores 2015: www.odepa.cl
- ODEPA., O. d. (2015h). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Boletín frutícola 2015: www.odepa.cl
- ODEPA., O. d. (2015i). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Documento Excel Existencia Broilers: www.odepa.cl
- ODEPA., O. d. (2015k). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Informe pecuario (Formato Excel): www.odepa.cl
- ODEPA., Oficina de Estadísticas y Políticas Agrarias. (2015l). Recuperado el 2015, de ODEPA: www.odepa.cl
- OSORIO, U. (2013). *Huella HídricaDeterminación de la Huella del Agua y estrategias de manejo de recursos hídricos, Serie Actas n°50*. La Serena: INIA.
- PAHLOW, M., SNOWBALL, J., & FRASER, G. (2015). Water Footprint Assessment to inform water management and policy making in South Africa . *Watre SA*, 300-314.
- PEÑA, C., & HUIJBREGTS, M. (2013). The blue water footprint of primary copper production in northern Chile. *Journal of Industrial Ecology*.
- PIRDT., P. d. (2009). *“Manual de soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales”*. Santiago, Chile: Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.
- SALMORAL, G., DUMONT, A., ALDAYA, M., RODRIGUEZ-CASADO, R., GARRIDO, A., & LLAMAS, M. (2011). *Análisis de la huella HÍDRICA eXTENDIDA DE LA CUENCA DEL gUADALQUIVIR*. Fundación Botín.

- SANTIBÁÑES, F., SANTIBÁÑES, P., CAROCA, C., MORALES, P., GONZALES, P., GAJARDO, N., MELILLÁN, C. (2015). *Atlas del Cambio Climático*. Recuperado el 30 de Junio de 2015, de Atlas del Cambio Climático: www.agrimed.cl
- SANTIBÁÑEZ, F., SANTIBÁÑEZ, P., CAROCA, C., GONZALES, P., HUIZA, F., PERRY, P., & MELILLÁN, C. (2015). *Centro Agrimed*. Recuperado el 2015, de Evapotranspiración de Referencia para la determinación de demandas de riego en Chile: <http://agrimed.wix.com/>
- SERNAGEOMIN., S. N. (2012). Recuperado el 30 de Abril de 2015, de Atlas de las faenas mineras zona centro: www.sernageomin.cl
- SISS., S. d. (2007). *Estudio de consumo de agua potable en el país*. Santiago de Chile.: SISS.
- SISS., S. d. (2013). *Informe de Gestión del Sector Sanitario*. Santiago de Chile: SISS.
- SISS., S. d. (2014). *Informe anual de coberturas urbanas*. Santiago de Chile: SISS.
- SMA., S. d. (2014). *Guía de aspectos ambientales relevantes para centrales termoeléctricas*. Santiago, Chile: SMA.
- 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.
- SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO, S. (s.f.). *Subdere*. Recuperado el 2015, de Programa de Infraestructura Rural para el Desarrollo Territorial (PIRDT): <http://www.subdere.gov.cl/>
- UDECHILE, U. d. (1999). *Informe País, Estado del Medio Ambiente en Chile*. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- UdeChile, U. d. (2012). *Informe país, estado del medio ambiente en Chile*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- UNESCO. (2003). *WATER FOR PEOPLE, WATER FOR LIFE, Executive Summary of the UN World Water development*. Paris, France: UNESCO/Mundi-Prensa Libros.
- VAN OEL, P., & HOEKSTRA, A. (2010). *The green and blue water footprint of paper products: methodological considerations and quantification, Value of Water Research Report Series No.46*. Delft, Holanda: UNESCO-IHE.
- VANHAM, D. (2013). An assessment of the virtual water balance for agricultural products in EU river basin. *Water resources and Industry*, 1-2: 49-59.
- WATER FOOTPRINT NETWORK. (s.f.). Recuperado el 2015, de Water Footprint Network: waterfootprint.org
- WWF-BELGIUM. (2011). *Belgium and its water footprint*. Bruselas, Bélgica: WWF.
- WWF-MEDITERRANEAN. (2010). *Water Footprint in Portugal*. WWF.
- Zang, C., Van der Velde, M., & Kraxner, F. (2012). Assessment of Spatia and temporal patterns of green and blue water flows in inland basins in Northwest China. *Hydrology and Earth Systems Science Discussions*, 1-28.
- ZENG, Z., LIU, J., KOENEMAN, P., ZARATE, E., & HOEKSTRA, A. (2012). Assessing water footprint at a river basin level: A case study for the heihe River Basin in Northwest China. *Hydrology and Earth system Science*, 16 (8): 2771-2781.
- ZHAO, X., YANG, H., & YANG, Z. (2010). Applying the input-output methos to account for water footprint and virtual water trade in the Heihe River Basin China. *Environmental Science Technology*, 9150-9106.

PÁGINAS DE INTERNET

<http://diarioeldia.cl/articulo/dura-batalla-mantener-cultivos>

<https://www.coagra.com/noticias/revista-coagra/articulos-destacados/sequia-en-chile-todas-las-esperanzas-puestas-en-el-cielo>

<http://www.emol.com/noticias/economia/2010/10/22/443062/subsecretario-de-agricultura-chile-incorporara-8-mil-hectareas-de-riego-al-ano.html>

13. Índice Tablas

TABLA 1: GRADO DE ESPECIFICIDAD PARA LOS DISTINTOS NIVELES DE ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA.	24
TABLA 2: LISTADO: RECOPIACIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS EN CHILE 2010- HASTA HOY	34
TABLA 3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE HUELLA HÍDRICA PARA DIFERENTES CULTIVOS.	41
TABLA 4: RAZÓN COMPARATIVA ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN CHILE POR OSORIO (2013) Y DONOSO ET AL. (2012) PARA DIFERENTES CULTIVOS, POR REGIÓN.	45
TABLA 5: RAZÓN COMPARATIVA ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN CHILE OSORIO (2013) Y MEKONNEN & HOEKSTRA, (2011) PARA LOS DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS.	48
TABLA 6. RAZÓN COMPARATIVA ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN CHILE DONOSO ET AL. (2012) Y (MEKONNEN & HOEKSTRA, 2011) PARA LOS DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS.	51
TABLA 7. TABLA 6. RAZÓN COMPARATIVA ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN CHILE DONOSO ET AL. (2012) Y (MEKONNEN & HOEKSTRA, 2011) PARA LOS DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS (CONTINUACIÓN).	52
TABLA 8: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN POR SECTOR.	88
TABLA 9. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN POR SECTOR (CONTINUACIÓN).	89
TABLA 10: APORTE DE LOS SECTORES ECONÓMICOS AL PIB REGIONAL.	92
TABLA 11: VARIACIÓN EN LA SUPERFICIE NACIONAL POR TIPO DE ESPECIE FRUTAL.	94
TABLA 12 SUPERFICIE PRINCIPALES FRUTALES MACROZONA CENTRAL	96
TABLA 13: PRINCIPALES FRUTAS EXPORTADAS DURANTE EL 2014	98
TABLA 14: EXPORTACIONES POR PAÍS (VOLÚMENES Y VALORES).	98
TABLA 15: VARIACIÓN EN LA SUPERFICIE Y RENDIMIENTO DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS ANUALES.	99
TABLA 16: SUPERFICIE DESTINADA A CULTIVOS ANUALES POR REGIÓN (MACROZONA CENTRAL)	100
TABLA 17: DISTRIBUCIÓN DE LA SUPERFICIE NACIONAL DESTINADA A LOS CULTIVOS ANUALES E INDUSTRIALES MÁS IMPORTANTES POR REGIÓN.	101
TABLA 18: IMPORTACIONES TRIGO.	101
TABLA 19: SUPERFICIE (HA) DESTINADA A VIÑAS (2007).	102
TABLA 20: SUPERFICIE Y PRODUCCIÓN DE VIDES PARA VINIFICACIÓN, DE MESA Y PISQUERAS.	104
TABLA 21: EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE PLANTADA POR REGIÓN.	105
TABLA 22: PRINCIPALES TIPOS DE RIEGO QUE SE REALIZAN POR REGIÓN	106
TABLA 23: SUPERFICIE (HA) DESTINADA A HORTALIZAS POR REGIÓN (MACROZONA CENTRAL).	107
TABLA 24: EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE DESTINADA AL CULTIVO DE HORTALIZAS A NIVEL NACIONAL.	109
TABLA 25: MÉTODOS DE RIEGO POR REGIÓN.	110
TABLA 26: RENDIMIENTOS PROMEDIO POR TIPO DE CULTIVO Y REGIÓN.	111
TABLA 27: EXISTENCIA DE AVES AÑO 2007.	113
TABLA 28: EXISTENCIA DE BROILERS EN LOS CRIADEROS, SEGÚN REGIÓN EN MILES DE UNIDADES.	113
TABLA 29: EXISTENCIA DE CERDOS AÑO 2007.	114
TABLA 30: EXISTENCIAS CONSIDERANDO REBAÑOS DE 60 O MÁS CABEZAS.	115
TABLA 31: EXISTENCIAS DE GANADO BOVINO SEGÚN REGIÓN CENSO 2007.	116
TABLA 32: SUPERFICIE DESTINADA A PLANTACIONES FORESTALES MACROZONA CENTRAL.	117
TABLA 33: PRODUCCIÓN MILES TON COBRE FINO POR MINA.	119
TABLA 34: EVOLUCIÓN PRODUCCIÓN DE COBRE REGIONAL MACROZONA CENTRAL (MILES DE TON).	120
TABLA 35 CONSUMO UNITARIO DE AGUA FRESCA POR TONELADA DE MINERAL PROCESADO O LIXIVIADO.	121
TABLA 36: PRODUCCIÓN DE MOLIBDENO POR PROCESO Y EMPRESA TONELADAS MÉTRICAS.	123
TABLA 37: PRODUCCIÓN ANUAL DE ORO POR REGIONES (EN TON. DE ORO FINO).	124
TABLA 38: PRODUCCIÓN ANUAL DE PLATA POR REGIONES (EN TON. DE PLATA FINA).	124
TABLA 39: INDUSTRIAS MANUFACTURERAS EN CHILE EL AÑO 2012	127
TABLA 40. INDUSTRIAS MANUFACTURERAS EN CHILE EL AÑO 2012 (CONTINUACIÓN)	128
TABLA 41: CONSUMO DE AGUA EN M ³ INDUSTRIAS MANUFACTURERAS EN CHILE AL AÑO 2012.	129

TABLA 42. TABLA 40: CONSUMO DE AGUA EN M ³ INDUSTRIAS MANUFACTURERAS EN CHILE AL AÑO 2012 (CONTINUACIÓN).	130
TABLA 43: TONELADAS DE FRUTA PROCESADA POR LAS PRINCIPALES AGROINDUSTRIAS POR REGIÓN, MACROZONA CENTRAL.....	132
TABLA 44: CONSUMO DE MADERA EN TROZAS POR INDUSTRIA FORESTAL, TOTAL PAÍS	133
TABLA 45 CONSUMO DE MADERA TROZA POR REGIÓN MACROZONA CENTRAL.....	135
TABLA 46 PRODUCCIÓN DE VINO POR REGIONES EN MILES DE LITROS.	136
TABLA 47: EXPORTACIÓN DE VINOS Y ALCOHOLES.....	137
TABLA 48 EXPORTACIÓN DE VINOS CON DENOMINACIÓN DE ORIGEN POR PAÍS DE DESTINO	138
TABLA 49: MOLINERÍA NACIONAL DE TRIGO (A ABRIL DEL 2015)	139
TABLA 50: PRODUCCIÓN DE CARNE DE AVE POR TIPO Y REGIÓN EN TONELADAS ANUALES.....	141
TABLA 51: NÚMERO DE AVES FAENADAS POR TIPO Y REGIÓN (MILES DE AVES ANUALES).	141
TABLA 52: BENEFICIO DE CARNE DE CERDO EN VARA (KILOGRAMOS).....	142
TABLA 53: NÚMERO DE ANIMALES FAENADOS (CERDOS).	143
TABLA 54: VOLUMEN Y VALOR DE LA EXPORTACIÓN DE CARNE DE CERDO	143
TABLA 55: NÚMERO DE ANIMALES FAENADOS BOVINOS, POR REGIÓN.....	144
TABLA 56: TONELADAS DE CARNE BOVINA, POR REGIÓN.....	144
TABLA 57: EVOLUCIÓN DEL BENEFICIO (FAENA) DE ANIMALES POR AÑO.....	145
TABLA 58: BENEFICIO DE OVINOS (KG CARNE EN VARA) POR REGIÓN.	145
TABLA 59. PRODUCCIÓN LECHERA NACIONAL	146
TABLA 60: VARIACIÓN MENSUAL Y ANUAL EN GENERACIÓN PARA LOS SISTEMAS SING Y SIC.	147
TABLA 61: GENERACIÓN SIC Y SING POR FUENTE (%).	147
TABLA 62: POTENCIA INSTALADA SIC POR REGIÓN (MACROZONA CENTRAL) Y TIPO DE CENTRAL.	150
TABLA 63 GENERACIÓN ELECTRICIDAD SISTEMA SIC POR REGIÓN (MACROZONA CENTRAL) Y TIPO DE CENTRAL.	151
TABLA 64: POBLACIÓN RURAL Y URBANA POR REGIÓN.....	152
TABLA 65: COBERTURAS REGIONALES ACTUALIZADO HASTA EL 2013.	154
TABLA 66 RESUMEN DE NORMAS ATINGENTES AL SECTOR RURAL.	157
TABLA 67: RESUMEN CARACTERIZACIÓN PRODUCTIVA MACROZONA CENTRAL.	158
TABLA 68: PRINCIPALES LAGOS Y LAGUNAS PRESENTES EN LA MACROZONA.	165
TABLA 69 BALANCE HÍDRICO, 1987.	166
TABLA 70: DISPONIBILIDAD DE AGUA EN CHILE POR HABITANTE AL 2009.	167
TABLA 71: LISTADOS DE LOS PRINCIPALES EMBALSES EXISTENTES EN LA MACROZONA CENTRAL Y PRINCIPAL USO.....	168
TABLA 72: ETO CALCULADO EN BASE A LOS DATOS AGROCLIMÁTICOS DE LA BBDD CLIMWAT	169
TABLA 73: PRECIPITACIONES.....	170
TABLA 74: COEFICIENTES DE CULTIVO- CORREGIDOS PARA LA MACROZONA CENTRAL.	171
TABLA 75: REQUERIMIENTO DE NITRÓGENO PROMEDIO POR HA. POR CULTIVO.	172
TABLA 76: HUELLA HÍDRICA AZUL ANUAL POR REGIÓN (MILLONES DE M ³).....	182
TABLA 77: DEMANDA HÍDRICA POR SECTOR Y REGIÓN (M ³ /S).....	182
TABLA 78: DESGLOSE DE LA HH AZUL DEL SECTOR SILVOAGROPECUARIO POR SUBSECTOR.....	183
TABLA 79: APOORTE DE LOS DISTINTOS CULTIVOS INCLUIDOS EN EL ESTUDIO EN LA HH AZUL DEL SECTOR.	183
TABLA 80: DESGLOSE DE LA HH AZUL DEL SECTOR INDUSTRIAL POR SUBSECTOR	184
TABLA 81: HUELLA HÍDRICA VERDE ANUAL POR REGIÓN (MILLONES DE M ³).....	184
TABLA 82: HUELLA HÍDRICA GRIS ANUAL POR REGIÓN (MILLONES DE M ³).....	185
TABLA 83: APOORTE DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS REGIONAL A LA MACROZONA (%).	185
TABLA 84. HUELLA HÍDRICA AZUL MACROZONA, EN M ³ /S POR SECTOR.	186
TABLA 85. HUELLA HÍDRICA MACROZONA, EN % POR SECTOR.....	186
TABLA 86: RAZÓN COMPARATIVA ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS (M ³ /TON) CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN CHILE POR OSORIO (2013) Y DONOSO ET AL. (2012) Y VALORES DE MEKONNEN &	

HOEKSTRA (2011) PARA DIFERENTES CULTIVOS PARA LAS REGIONES DE VALPARAÍSO Y METROPOLITANA.	188
TABLA 87: RECARGA MEDIA ANUAL Y CAUDALES SUSTENTABLES DE EXTRACCIÓN.	195
TABLA 88 ESTADO DE LOS ACUÍFEROS EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL.	196
TABLA 89 ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS Y DE CALIDAD DE AGUA VIGENTES EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL.	197
TABLA 90 ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS Y DE CALIDAD DE AGUA VIGENTES EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL (CONTINUACIÓN).	198
TABLA 91: CAUDALES PROMEDIO MENSUALES DE LOS PRINCIPALES RÍOS DE LA CUENCA.	199
TABLA 92: CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m ³ /s) POR SUBCUENCA.	199
TABLA 93: ÁREA DE JURISDICCIÓN DE LAS JUNTAS DE VIGILANCIA POR SECCIÓN DE LOS PRINCIPALES RÍOS Y ESTEROS DE LA CUENCA DEL RÍO RAPEL.	201
TABLA 94 DISTRIBUCIÓN DE LOS DERECHOS CONSUNTIVOS Y NO CONSUNTIVOS.	203
TABLA 95: DISTRIBUCIÓN DE LOS DERECHOS OTORGADOS EN LA VI REGIÓN, EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL POR TIPO.	204
TABLA 96: SUPERFICIE CUERPOS DE AGUA PRESENTES EN LA CUENCA DEL RIO RAPEL.	205
TABLA 97: DESGLOSE SUPERFICIE CUERPOS DE AGUA PRESENTES EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL.	206
TABLA 98. SUPERFICIE DESTINADA A LOS DISTINTOS TIPOS DE USO DE SUELO.	212
TABLA 99: COMUNAS QUE PERTENECEN A LA CUENCA DEL RIO RAPEL.	216
TABLA 100: COMUNAS QUE PERTENECEN A LA CUENCA DEL RIO RAPEL (CONTINUACIÓN).	217
TABLA 101: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN POR SECTOR.	218
TABLA 102: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN POR SECTOR (CONTINUACIÓN).	219
TABLA 103: CASOS EXTREMOS EN DATOS SOCIOECONÓMICOS.	251
TABLA 104: COMPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN SEGÚN EL INE.	256
TABLA 105 PORCENTAJE DE VIVIENDAS EN EL SECTOR URBANO Y RURAL DE LA VI REGIÓN.	256
TABLA 106: LOCALIDADES ATENDIDAS POR ESSBIO EN LA REGIÓN Y RESPECTIVAS COBERTURAS DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO.	258
TABLA 107: APORTE DE LOS SECTORES PRODUCTIVOS AL PIB REGIONAL.	261
TABLA 108: SUPERFICIE DESTINADA A FRUTALES EN LA CUENCA.	262
TABLA 109: EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE PLANTADA DE LOS PRINCIPALES FRUTALES EN LA REGIÓN.	264
TABLA 110: EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE DESTINADA A CEREALES.	264
TABLA 111: EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE DESTINADA A HORTALIZAS.	266
TABLA 112: SUPERFICIE DE LA CUENCA DEL RIO RAPEL DESTINADA A LA PRODUCCIÓN DE VIDES.	268
TABLA 113: EXISTENCIAS DE LAS PRINCIPALES ESPECIES ANIMALES EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL.	269
TABLA 114: SUPERFICIE DESTINADA EN PLANTACIONES FORESTALES EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL.	270
TABLA 115: FAENAS MINERAS Y ESTADO ACTUAL DE LAS MISMAS.	271
TABLA 116: FAENAS ACTIVAS CUENCA RIO RAPEL.	272
TABLA 117: FAENAS ACTIVAS CUENCA RIO RAPEL (CONTINUACIÓN).	273
TABLA 118: PRODUCCIÓN MILES TON COBRE FINO.	274
TABLA 119 CONSUMO UNITARIO DE AGUA FRESCA POR TONELADA DE MINERAL PROCESADO O LIXIVIADO.	274
TABLA 120: PRODUCCIÓN DE MOLIBDENO POR PROCESO Y EMPRESA TONELADAS MÉTRICAS.	274
TABLA 121: PRODUCCIÓN ANUAL DE ORO POR REGIONES (EN KG. DE ORO FINO).	275
TABLA 122: PRODUCCIÓN ANUAL DE PLATA POR REGIONES (EN KG. DE PLATA FINA).	275
TABLA 123 CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA AZUL EN DET.	280
TABLA 124. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA GRIS EN DET.	282
TABLA 125: TONELADAS DE FRUTA PROCESADA POR TIPO DE EMPRESA Y PROCESO PARA LA CUENCA DEL RIO RAPEL.	284
TABLA 126: NÚMERO DE EMPRESAS POR TIPO DE PROCESO PARA LA CUENCA DEL RIO RAPEL.	285
TABLA 127: CONSUMO DE MADERA TROZA PARA LA REGIÓN DE O´HIGGINS (MILES M ³ SSC).	286
TABLA 128: EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE AVES FAENADAS EN LA REGIÓN DE O´HIGGINS.	287
TABLA 129 EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE BOVINOS FAENADOS EN LA REGIÓN DE O´HIGGINS.	287

TABLA 130: EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE CERDOS FAENADOS EN LA REGIÓN DE O'HIGGINS.....	288
TABLA 131: CENTRALES ELÉCTRICAS PRESENTES EN LA CUENCA DEL RIO RAPEL.	289
TABLA 132: PRODUCCIÓN REGIONAL POR TIPO DE CENTRAL.	290
TABLA 133: TOTAL MWh GENERADAS POR CENTRAL EN MWh.	290
TABLA 134. ESTACIONES DE MONITOREO Y PARÁMETROS EVALUADOS.....	293
TABLA 135. ESTACIONES DE MONITOREO Y PARÁMETROS EVALUADOS (CONTINUACIÓN).....	294
TABLA 136. CALIDAD DEL AGUA SUBCUENCA DEL RÍO CACHAPOAL.....	296
TABLA 137. CALIDAD DEL AGUA SUBCUENCA DEL RÍO TINGUIRIRICA	298
TABLA 138: EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA PARA LA CUENCA DEL RÍO RAPEL.....	303
TABLA 139: EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA PARA LA CUENCA DEL RÍO RAPEL (CONTINUACIÓN).	304
TABLA 140: EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA PARA LA CUENCA DEL RIO RAPEL (CONTINUACIÓN).	305
TABLA 141: COEFICIENTES DE CULTIVO- CORREGIDOS PARA LA MACROZONA CENTRAL.	306
TABLA 142: INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL AJUSTE DE LAS ETp CON RESPECTO AL RENDIMIENTO	308
TABLA 143: INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL AJUSTE DE LAS ETp CON RESPECTO AL RENDIMIENTO (CONTINUACIÓN).	309
TABLA 144: INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL AJUSTE DE LAS ETp CON RESPECTO AL RENDIMIENTO (CONTINUACIÓN).	310
TABLA 145: PRECIPITACIONES (MM/MES)	312
TABLA 146: PRECIPITACIONES (MM/MES). CONTINUACIÓN.....	313
TABLA 147: REQUERIMIENTO DE NITRÓGENO PROMEDIO POR HA. POR CULTIVO.....	315
TABLA 148: PARÁMETROS DE CALIDAD PARA CAUCES	316
TABLA 149: PARÁMETROS DE CALIDAD PARA CAUCES (CONTINUACIÓN).....	317
TABLA 150: VARIACIÓN ENTRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y AJUSTADA.....	324
TABLA 151: COMPARACIÓN ENTRE REQUERIMIENTO HÍDRICO TOTAL Y POTENCIAL.	325
TABLA 152: COMPARACIÓN ENTRE HUELLAS HÍDRICAS VERDE Y AZUL DE ACUERDO A LOS DATOS	325
TABLA 153: HUELLA HÍDRICA AZUL, VERDE Y GRIS ANUAL DE LA CUENCA PILOTO (MILLONES DE M3)	326
TABLA 154: REQUERIMIENTO MÍNIMO DE HH AZUL VERDE Y GRIS (M ³ /S) PARA LA CUENCA DEL RIO RAPEL.	327
TABLA 155: APORTE DE CADA UNO DE LOS TIPOS DE CULTIVOS A LA HH AZUL TOTAL DEL SECTOR	327
TABLA 156: COMUNAS QUE APORTAN EL 70 % DE LA HH AZUL.....	328
TABLA 157: APORTE DE CADA UNO DE LOS TIPOS DE CULTIVOS A LA HH VERDE TOTAL DEL SECTOR AGROFORESTAL.	330
TABLA 158: PRINCIPALES APORTES POR COMUNA A LA HH GRIS DOMÉSTICA.....	336
TABLA 159 : PRINCIPALES COMUNAS QUE APORTAN A LA HH GRIS DOMÉSTICA.....	338
TABLA 160 : PRINCIPALES COMUNAS QUE APORTAN A LA HH GRIS DOMÉSTICA (CONTINUACIÓN).	339
TABLA 161. RANGOS PROPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA HH.	340
TABLA 162. VARIABLES SOCIO-ECONÓMICAS ANALIZADAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS (HOTSPOT) Y SUS RANGOS DE VULNERABILIDAD.....	341
TABLA 163. VARIABLES AMBIENTALES ANALIZADAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS (HOTSPOTS) Y SUS RANGOS DE VULNERABILIDAD	345
TABLA 164. RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES-SOCIALES Y ECONÓMICOS EVALUADOS DE ACUERDO A LOS RANGOS DESCRITOS	347
TABLA 165: HH AZUL MENSUAL (M ³ /S) POR SECTOR ANALIZADO PARA LA CUENCA.	351
TABLA 166: CAUDALES ECOLÓGICOS POR TRAMO Y PROMEDIO (M ³ /S) CUENCA RÍO RAPEL	354
TABLA 167: CAUDALES MENSUALES PARA UN 85% DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA (M ³ /S) CUENCA DEL RÍO RAPEL.	356
TABLA 168: CAUDAL SUSTENTABLE DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA (M ³ /S) PARA LA CUENCA DEL RÍO RAPEL.	357
TABLA 169: ÍNDICE DE ESTRÉS AZUL PARA LA CUENCA	362
TABLA 170 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ESTRÉS POR TRAMOS.....	364

TABLA 171 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR SECTORES.....	367
TABLA 172. CRUCE ENTRE HH GRIS DOMÉSTICA RURAL Y CANTIDAD DE POBLACIÓN RURAL SIN ACCESO A ALCANTARILLADO.	370
TABLA 173. CRUCE ENTRE HH GRIS DOMÉSTICA RURAL Y FUNCIONAMIENTO DE PTAS RURALES (PRINCIPALES COMUNAS).....	372
TABLA 174. CRUCE ENTRE HH AZUL SECTOR SILVOAGROPECUARIO Y PORCENTAJE DE EMPLEO EN EL SECTOR.	375
TABLA 175: PROGRAMA CAPACITACIÓN HUELLA HÍDRICA (20 MARZO)	441
TABLA 176: PROGRAMA CAPACITACIÓN HUELLA HÍDRICA (9 ABRIL)	443
TABLA 177. COMENTARIOS DE LOS ASISTENTES AL TALLER, SOBRE PUNTO CRÍTICO A.	446
TABLA 178. COMENTARIOS DE LOS ASISTENTES AL TALLER, SOBRE PUNTO CRÍTICO B.	447
TABLA 179. COMENTARIOS DE LOS ASISTENTES AL TALLER, SOBRE PUNTO CRÍTICO C.	448

14. Índice Figuras

FIGURA 1: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS COMPONENTES DE LA HUELLA HÍDRICA.	7
FIGURA 2: RELACIÓN ENTRE LAS HUELLAS HÍDRICAS AZUL Y VERDE Y EL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA.	20
FIGURA 3: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS COMPONENTES DE LA HUELLA HÍDRICA.	22
FIGURA 4: ESQUEMA PARA EL ANÁLISIS DE LA HH A NIVEL TERRITORIAL (CUENCA).	22
FIGURA 5: FASES DEL ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA.	23
FIGURA 6: 4 PASOS PARA EL ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD DE LA HUELLA HÍDRICA.	25
FIGURA 7. MARCO METODOLÓGICO SEGUIDO POR ZENG, LIU, KOENEMAN, ZARATE, & HOEKSTRA (2012)	28
FIGURA 8: METODOLOGÍA EMPLEADA POR GARRIDO ET AL. (2010)	30
FIGURA 9: PERSPECTIVAS DE LA HUELLA HÍDRICA DENTRO DE LA CUENCA.	62
FIGURA 10. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD PROPUESTO POR FUNDACIÓN CHILE, EN BASE A METODOLOGÍA DE WATER FOOTPRINT NETWORK.	80
FIGURA 11: PORCENTAJE DEL EMPLEO QUE ESTÁ RELACIONADO CON EL SECTOR SILVOAGROPECUARIO ..	82
FIGURA 12. CRITERIOS DE DETERMINACIÓN DE Q_{eco} EN BASE AL 10% DEL CAUDAL MEDIO ANUAL.	84
FIGURA 13. RESTRICCIONES PARA DETERMINACIÓN DE CAUDAL ECOLÓGICO MÍNIMO.	85
FIGURA 14. FASES INCLUIDAS EN EL ANÁLISIS.	87
FIGURA 15: ACTIVIDADES POR SECTOR QUE SE PUEDE ENCONTRAR EN UNA CUENCA	90
FIGURA 16: ESTIMACIÓN DEL APOORTE REGIONAL A LA SUPERFICIE TOTAL NACIONAL.	95
FIGURA 17: EVOLUCIÓN DE LAS EXPORTACIONES DE FRUTA FRESCA ENTRE EL 2004 Y 2014.	97
FIGURA 18: SUPERFICIE NACIONAL DESTINADA A CULTIVOS ANUALES TEMPORADA 2013/14.	100
FIGURA 19: DISTRIBUCIÓN DE LA SUPERFICIE NACIONAL DESTINADA A UVA VINÍFERA POR REGIÓN. ...	105
FIGURA 20: DISTRIBUCIÓN DE LA SUPERFICIE NACIONAL DESTINADA A HORTALIZAS POR REGIÓN.	108
FIGURA 21: EXISTENCIAS DE AVES POR TIPO.	112
FIGURA 22: EXISTENCIAS DE CERDOS SEGÚN REGIÓN PARA EL 2013	114
FIGURA 23: EXISTENCIAS DE GANADO OVINO SEGÚN REGIÓN.	115
FIGURA 24: EXISTENCIAS DE GANADO BOVINO SEGÚN REGIÓN CENSO 2007.	116
FIGURA 25: FLUJO DE PRODUCTOS DE MADERA DEL SECTOR FORESTAL CHILENO (PARA EL AÑO 2013)	134
FIGURA 26: EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CARNE DE AVE POR TIPO.	140
FIGURA 27: PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE.	154
FIGURA 28: COMPARACIÓN ENTRE LOS DATOS CIREN Y CNR (1997) Y BBDD CLIMWAT PARA LA REGIÓN DE O´HIGGINS.	170
FIGURA 29: APOORTE DE LAS DISTINTAS REGIONES A LAS HUELLAS HÍDRICAS AZUL VERDE Y GRIS DE LA MACROZONA- CENTRAL.	181
FIGURA 30: DISTRIBUCIÓN DE LOS ACUÍFEROS EN LA CUENCA.	193
FIGURA 31. MAPA USO DE SUELOS EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL.	211
FIGURA 32. ESQUEMA, FASES DE ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA.	215
FIGURA 33: ACTIVIDADES POR SECTOR QUE SE PUEDE ENCONTRAR EN UNA CUENCA.	220
FIGURA 34: MAPA DE POBREZA Y DESOCUPACIÓN, POR COMUNA EN LA CUENCA DEL RAPEL.	252
FIGURA 35: MAPA QUE INDICA TASA DE NATALIDAD Y DE ADULTOS MAYORES, POR COMUNA EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL.	254
FIGURA 36: MAPA DE INGRESO PROMEDIO Y PORCENTAJE DE JEFATURA DE HOGAR FEMENINA Y MASCULINA, POR COMUNAS, CUENCA DEL RÍO RAPEL.	255
FIGURA 37: SUPERFICIE DE FRUTALES POR COMUNA.	263
FIGURA 38: SUPERFICIE DESTINADA A CEREALES.	265
FIGURA 39: SUPERFICIE DESTINADA A HORTALIZAS.	267
FIGURA 40: COMPARACIÓN SUPERFICIE DESTINADA A PARA VIDES.	268
FIGURA 41: EXISTENCIAS DE ANIMALES POR COMUNA (NÚMERO DE ANIMALES).	269

FIGURA 42: SUPERFICIE DESTINADA A PLANTACIONES FORESTALES (PINO INSIGNE – EUCALIPTUS GLOBULIS).....	270
FIGURA 43. PROCESO PRODUCTIVO DET	276
FIGURA 44: COMPOSICIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL EN DET.	281
FIGURA 45: DIAGRAMA DEL BALANCE HÍDRICO PARA EL SECTOR “MINERÍA” DE LA REGIÓN DE O’HIGGINS.	282
FIGURA 46: PRECIPITACIONES MENSUALES PROMEDIO POR SUB-CUENCA.	314
FIGURA 47: MAPA DE HUELLA HÍDRICA AZUL TOTAL DE LA CUENCA DE RIO RAPEL.....	329
FIGURA 48: MAPA DE HUELLA HÍDRICA VERDE TOTAL DE LA CUENCA DEL RIO RAPEL.....	330
FIGURA 49 HUELLA HÍDRICA GRIS TOTAL DE LA CUENCA DEL RIO RAPEL	331
FIGURA 50: APORTE DE LOS DIFERENTES SECTORES A LA HH GRIS TOTAL A NIVEL CUENCA.....	332
FIGURA 51: HUELLA GRIS DE LA MINERÍA	333
FIGURA 52: HUELLA HÍDRICA GRIS DEL SECTOR DOMÉSTICO.....	334
FIGURA 53. DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL	335
FIGURA 54. HH GRIS DOMÉSTICA RURAL V/S URBANA EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL.....	335
FIGURA 55. HH GRIS DOMÉSTICA RURAL INDUSTRIAL	337
FIGURA 56: HH AZUL DE LOS SECTORES PRODUCTIVOS COMPARADA CON EL CAUDAL PASANTE MENSUAL DE LA CUENCA DEL RIO RAPEL.....	358
FIGURA 57: HH AZUL DE LA AGRICULTURA COMPARADA CON LA OFERTA HÍDRICA MENSUAL PROMEDIO DE LA CUENCA DEL RIO RAPEL	359
FIGURA 58: HH AZUL DE LA AGRICULTURA (CENSO AGROPECUARIO 2007) COMPARADA CON LA OFERTA HÍDRICA MENSUAL MÍNIMA DE LA CUENCA DEL RIO RAPEL	360
FIGURA 59: HH AZUL DE LA AGRICULTURA (AUMENTO EN EL SUPERFICIE FRUTÍCOLA DE UN 25%) COMPARADA CON LA OFERTA HÍDRICA MENSUAL MÍNIMA DE LA CUENCA DEL RIO RAPEL	360
FIGURA 60. RANGO DE VULNERABILIDAD ÁREAS DE PROTECCIÓN.....	378
FIGURA 61. RANGO DE VULNERABILIDAD PECES EN ESTADO DE CONSERVACIÓN.	379
FIGURA 62. RANGOS DE VULNERABILIDAD DESCARGA DE RESIDUOS LÍQUIDOS.	380
FIGURA 63. RANGOS DE VULNERABILIDAD EXTRACCIONES DE AGUA DULCE.....	381
FIGURA 64. RANGOS DE VULNERABILIDAD CONTAMINACIÓN DIFUSA.	383
FIGURA 65. RANGO DE VULNERABILIDAD MODIFICACIONES HIDROMORFOLÓGICAS.	384
FIGURA 66. VULNERABILIDAD AMBIENTAL EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL	386
FIGURA 67. MAPA DEL CASO 1 AGRÍCOLA	449
FIGURA 68. MAPA DEL CASO 2: ALCANTARILLADO	450
FIGURA 69. MAPA DEL CASO 3 ESPECIES PROTEGIDAS	450

15. Índice Ecuaciones

ECUACIÓN 1: ESTIMACIÓN DE LA HUELLA GRIS (HOEKSTRA, CHAPANGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2011)	20
ECUACIÓN 2 ESTIMACIÓN DE LA HUELLA GRIS SIMPLIFICADA (HOEKSTRA, CHAPANGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2011)	21
ECUACIÓN 3 ESTIMACIÓN EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVOS (ETc) (FUENTE ALLAN ET AL., 2006)..	65
ECUACIÓN 4 ESTIMACIÓN EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ETo) MÉTODO PENMAN- MONTEITH (FUENTE ALLAN ET AL., 2006)	66
ECUACIÓN 5 RESPUESTA DEL RENDIMIENTO A CAMBIO EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN (DOORENBOS Y KASSAM, 1979):	68
ECUACIÓN 6 ESTIMACIÓN PRECIPITACIÓN EFECTIVA (DOORENBOS Y PRUIT, 1977)	69
ECUACIÓN 7 ESTIMACIÓN HUELLA HÍDRICA DEL SECTOR AGRICULTURA	70
ECUACIÓN 8 HUELLA HÍDRICA DE LA COSECHA	71
ECUACIÓN 9 ESTIMACIÓN HUELLA HÍDRICA DEL SECTOR FORESTAL	72
ECUACIÓN 10 HUELLA HÍDRICA DE LA MADERA (UPM-KYMMENE, 2011)	72
ECUACIÓN 11 HUELLA HÍDRICA DEL SECTOR PECUARIO	73
ECUACIÓN 12 HUELLA HÍDRICA DE LA PRODUCTOS PECUARIOS	74
ECUACIÓN 13 HUELLA HÍDRICA DE LA PRODUCTOS (HOEKSTRA ET AL. 2011)	74
ECUACIÓN 14 HUELLA HÍDRICA DEL SECTOR INDUSTRIAL	75
ECUACIÓN 15 HUELLA HÍDRICA DE LA PRODUCTOS INDUSTRIALES.	76
ECUACIÓN 16 HUELLA HÍDRICA DE LA PRODUCTOS (HOEKSTRA ET AL. 2011)	76
ECUACIÓN 17 HUELLA HÍDRICA DEL SECTOR MINERO	77
ECUACIÓN 18 HUELLA HÍDRICA DE LA PRODUCTOS MINEROS	77
ECUACIÓN 19 HUELLA HÍDRICA DE LA PRODUCTOS (HOEKSTRA ET AL. 2011)	78
ECUACIÓN 20 EVAPORACIÓN DESDE SUPERFICIES PENMAN –MONTEITH.	78
ECUACIÓN 21 HUELLA HÍDRICA DEL SECTOR DOMÉSTICO	79
ECUACIÓN 22 ÍNDICE DE ESTRÉS AZUL (HOEKSTRA, ET AL. 2011,, ADAPTADA POR FUNDACION CHILE 2015)	83
ECUACIÓN 23 DISPONIBILIDAD (HOEKSTRA, ET AL. 2011, ADAPTADA POR FUNDACION CHILE 2015)..	84
ECUACIÓN 24 ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN (HOEKSTRA, CHAPANGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2011)	85
ECUACIÓN 25 CAUDAL PASANTE MODIFICADO (ADAPTADA POR FUNDACION CHILE 2015).....	357
ECUACIÓN 26 ÍNDICE DE ESTRÉS AZUL (HOEKSTRA, CHAPANGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2011)..	361
ECUACIÓN 27 CAUDAL PASANTE (HOEKSTRA, CHAPANGAIN AND ALDAYA, ET AL. 2011 ADAPTADA POR FUNDACION CHILE 2015).....	362
ECUACIÓN 28 ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN (HOEKSTRA, CHAPANGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2011)	365

16. Acrónimos

ANA: Agencia Nacional del Agua, Perú

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

APR: Agua Potable Rural

ASPROCER: Asociación de Productores de Cerdo

BBDD: Bases de datos

CASEN: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional

CIEMAT: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

CIIU: 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, impactos ambientales de alimentos

ENIA: Encuesta Nacional Industrial Anual

ERNC: Energías Renovables No Convencionales

ESSBIO: Empresas Sanitarias del Biobío

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

HH: Huella Hídrica

HHA: Huella Hídrica Azul

HHG: Huella Hídrica Gris

HHV: Huella Hídrica Verde

IDH: Índice de Desarrollo Humano

INE: Instituto Nacional de Estadísticas

INFOR: Instituto Forestal

MIDEPLAN: Ministerio de Planificación Social (Ex Ministerio de Desarrollo y Planificación)

MMA: Ministerio del Medio Ambiente

MOP: Ministerio de Obras Públicas

NSCA: Norma Secundaria de Calidad Ambiental

PIRDT: Programa de Infraestructura Rural para el Desarrollo Territorial

PTAS: Planta de Tratamiento de Aguas Servidas

RCA: Resolución de calificación Ambiental

SEA: Servicio de Evaluación Ambiental

SEREMI: Secretaría Regional Ministerial