

CLARIANT



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
**Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE**



SuizAgua
Andina Chile

Evaluación de huella hídrica al Site Maipú de Clariant acorde a la norma ISO 14046

Documento elaborado para:
Clariant Chile

Marzo 2015

Con el apoyo científico y la revisión crítica interna de:



Este reporte es un producto del proyecto SuizAgua Andina Chile.

SuizAgua Andina Chile se constituye en una alianza público privada entre el Gobierno Suizo, a través de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), y 5 empresas líderes en Chile con el objetivo de medir y reducir su huella hídrica, ejecutar planes de responsabilidad social y ambiental enfocados en el tema de agua y diseminar nuevos conocimientos y demás desarrollos del proyecto. Este reporte ha sido preparado por la Gerencia de Sustentabilidad de Fundación Chile, organismo ejecutor del proyecto por encargo de COSUDE, con la asesoría y apoyo científico de Quantis.

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

Este y más productos de conocimiento desarrollados como parte del proyecto Suizagua Andina son accesibles en www.suizagua.org. Por favor dirigir todas las consultas sobre este reporte a las oficinas de Clariant Chile y/o Fundación Chile - equipo SuizAgua Andina Chile.

Daniel Rodriguez
Gerente Site Maipú, Clariant Chile
E-mail: Daniel.Rodriguez@clariant.com
Teléfono: +56 2 23734209

Ulrike Broschek, Asesora Técnica del Proyecto SuizAgua Andina Chile
Subgerente Políticas y Estrategias,
E-mail: ulrike.broschek@fch.cl
Teléfono: +56 2 22400604

Claudia Galleguillos, Jefa del Proyecto SuizAgua Andina Chile
Líder Estrategias Hídricas,
E-mail: claudia.galleguillos@fch.cl
Teléfono: +56 2 22400343

Sebastián Papi, Asistente de Ingeniería del Proyecto SuizAgua Andina Chile
Ingeniero de Proyectos Estrategias Hídricas,
E-mail: sebastian.papi@fch.cl
Teléfono: +56 2 22400464

Información del proyecto

Título	Suizagua Andina Chile Sector privado
Título del reporte	Evaluación de huella hídrica al Site Maipú de Clariant acorde a la norma ISO 14046
Empresa socia de SuizAgua Andina Chile	Clariant Chile
Declaración de responsabilidad	La información contenida en este reporte ha sido compilada y/o calculada de fuentes que se consideran creíbles. La aplicación de los datos es estrictamente bajo el criterio y la responsabilidad del lector, Fundación Chile y COSUDE no son responsables de ningún daño causado por el uso de la información contenida en este documento.
Equipo del proyecto SuizAgua Andina Chile	<ul style="list-style-type: none"> - Claudia Galleguillos, jefe de proyecto SuizAgua Andina Chile (claudia.galleguillos@fch.cl) - Sebastián Papi, ingeniero a cargo de la evaluación de huella hídrica (sebastian.papi@fch.cl) - Gonzalo León, encargado de responsabilidad social empresarial (gonzalo.leon@fch.cl) - Michelle Hervé, coordinadora del proyecto (michelle.herve@fch.cl)
Revisor del reporte según ISO 14046 numeral 7.3	Xavier Bengoa, consultor ACV de Quantis (xavier.bengoa@quantis-intl.com)
Representante Clariant - empresa socia de SuizAgua Andina Chile	Daniel Rodriguez, Gerente del Site Maipú, Clariant Chile (daniel.rodriguez@clariant.com)
Equipo asesor en ISO 14046 - Quantis	<ul style="list-style-type: none"> - Samuel Vionnet, consultor ACV (samuel.vionnet@quantis-intl.com) - Sandi Ruiz, consultor ACV (sandi.ruiz@quantis-intl.com)
Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación	<ul style="list-style-type: none"> - Jean-Gabriel Duss, Director de Cooperación – Programas Globales en la Región Andina (jean-gabriel.duss@eda.admin.ch) - Carla Toranzo, Oficial del Programa Global Agua en la Región Andina (carla.toranzo@eda.admin.ch)

Tabla de Contenido

Información del proyecto	3
Resumen ejecutivo	7
Objetivo y alcance	8
Productos y definición del sistema	8
Resultados generales	8
Análisis de sensibilidad.....	10
Conclusiones y comentarios finales	10
Abreviaturas y acrónimos	11
Definiciones	12
1 Introducción	14
1.1 Descripción general de análisis de ciclo de vida y huella hídrica.....	15
1.2 Contexto y antecedentes	15
2 Objetivos y alcance	16
2.1 Objetivos y aplicación prevista.....	16
2.2 Descripción general.....	16
2.3 Función del sistema y unidad funcional.....	18
2.4 Límites del sistema	19
2.5 Reglas de asignación	20
2.6 Datos de inventario	20
2.7 Principales datos y supuestos	22
2.7.1 Cadena de suministro	22
2.7.2 Energía	22
2.7.3 Operación directa	23
2.7.4 Tratamiento de los RILes y aguas servidas.....	24
2.8 Evaluación de impactos relacionados con el recurso hídrico	24
2.9 Análisis de calidad de los datos.....	25
2.10 Análisis de sensibilidad.....	28
2.11 Revisión crítica	28

3	Resultados	29
3.1	Balance hídrico directo.....	29
3.2	Agua consumida	33
3.3	Indicadores de impacto.....	35
3.3.1	Índice de impacto hídrico (WIIX).....	35
3.3.2	Impactos potenciales en salud humana y calidad de los ecosistemas	37
4	Discusión	40
4.1	Agua consumida	40
4.2	Índice de impacto hídrico, WIIX	41
4.3	Impactos potenciales en salud humana y calidad de los ecosistemas.....	42
4.3.1	Impactos potenciales en salud humana.....	42
4.3.2	Impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas	43
4.4	Análisis de sensibilidad.....	44
4.5	Limitaciones del estudio.....	46
5	Conclusiones y recomendaciones	48
5.1	Primeras acciones de reducción/mitigación propuestas en el uso de agua	49
6	Referencias	51
7	Anexos	54
7.1	Anexo A: resultados en base a 1 año de operación como unidad funcional	54
7.2	Anexo B: revisión crítica	55

Índice de Tablas

TABLA 1 TIPOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL DE CHILE Y PROCESOS PARA SU MODELACIÓN.	23
TABLA 2 ANÁLISIS DE CALIDAD DE LOS DATOS.	27
TABLA 3 INSUMOS CON MAYOR APORTE AL CONSUMO DE AGUA INDIRECTO, PROCESO SELECCIONADO EN BASE DE DATOS DE QUANTIS PARA SU MODELACIÓN Y SU RESPECTIVO CONSUMO DE AGUA.	35
TABLA 4 PROCESOS SELECCIONADOS PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS INSUMOS ESCOGIDOS.	44
TABLA 5 VARIACIÓN EN LOS RESULTADOS DE HUELLA HÍDRICA AL REALIZAR UN ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LOS INSUMOS ÁCIDO GRASO DE COCO, MONTANOL Y LEUCOFOR.	45
TABLA 6 SÍNTESIS DE LAS PRIMERAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN EL USO DE AGUA IDENTIFICADAS PARA EL SITE DE CLARIANT.	50
TABLA 7 PRINCIPALES RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE HUELLA HÍDRICA EN BASE A 1 AÑO DE OPERACIÓN COMO UNIDAD FUNCIONAL (OCTUBRE 2012 – SEPTIEMBRE 2013).	54

Índice de Figuras

FIGURA 1 ESQUEMA DEL SISTEMA ANALIZADO PARA LA EVALUACIÓN DE HUELLA HÍDRICA EN CLARIANT.	16
FIGURA 2 DESCRIPCIÓN SINTETIZADA DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN ANALIZADO PARA LA EVALUACIÓN DE HUELLA HÍDRICA DEL SITE MAIPÚ DE CLARIANT.	19
FIGURA 3 BALANCE HÍDRICO DIRECTO DEL SITE MAIPÚ.	31
FIGURA 4 BALANCE HÍDRICO DIRECTO POR UNIDAD FUNCIONAL DEL SITE MAIPÚ.	32
FIGURA 5 AGUA CONSUMIDA A TRAVÉS DE USOS DIRECTOS E INDIRECTOS EN EL SITE MAIPÚ.	33
FIGURA 6 FRACCIONAMIENTO PORCENTUAL DE AGUA CONSUMIDA EN USOS DIRECTOS E INDIRECTOS EN EL SITE MAIPÚ.	34
FIGURA 7 CONSUMO DE AGUA POR INSUMOS DE LAS PLANTAS MULTIPROPÓSITO Y EMULSIONES.	34
FIGURA 8 CÁLCULO DEL WIIX DIRECTO Y WIIX TOTAL DEL SITE MAIPÚ.	36
FIGURA 9 COMPOSICIÓN PORCENTUAL DEL WIIX TOTAL DEL SITE MAIPÚ.	36
FIGURA 10 POTENCIALES IMPACTOS EN LA SALUD HUMANA PRODUCIDOS DE MANERA DIRECTA E INDIRECTA POR EL SITE MAIPÚ.	37
FIGURA 11 POTENCIALES IMPACTOS EN LA CALIDAD DE LOS ECOSISTEMAS PRODUCIDOS DE MANERA DIRECTA E INDIRECTA POR EL SITE MAIPÚ.	38

Resumen ejecutivo

SuizAgua Andina (SA) es un proyecto de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), mediante el cual Suiza aspira a contribuir con Chile y Perú en la mejor gestión de sus recursos hídricos, uno de los desafíos más apremiante para el desarrollo regional. El principal objetivo de SA, es influenciar el diálogo político en gestión integrada de los recursos hídricos, para asegurar un uso más sostenible del agua y evitar conflictos, el proyecto está basado en el concepto de huella hídrica. SA tiene una línea específica de trabajo con el sector privado, con el objetivo de que compañías clave adopten el concepto de huella hídrica para contribuir a una asignación más equitativa de los recursos hídricos disponibles y que el concepto y herramientas relacionadas a la huella hídrica, sean desarrollados y diseminados en la Región Andina por actores empresariales con influencia en la región, de modo que puedan servir de modelo y así facilitar su escalamiento para lograr un mayor impacto en beneficio de más personas. El proyecto inició en el 2013 y tiene una duración de 3 años.

Las empresas socias de SA son signatarias del United Nations Global Compact, miembros de Acción RSE (capítulo local del World Business Council for Sustainable Development) o similares, son empresas que manifiestan y muestran que la sustentabilidad es uno de los pilares fundamentales del desarrollo. Una de estas empresas es Clariant.

El presente informe describe la evaluación de huella hídrica del Site productivo de Clariant en Chile (Site Maipú). La metodología empleada para la evaluación de huella hídrica, es acorde a la norma ISO 14046:2014 de huella hídrica, cuyo desarrollo fue apoyado por COSUDE¹, e involucra la contabilidad del agua en los procesos productivos (análisis de inventario de huella hídrica), la evaluación de potenciales impactos causados por la huella hídrica y la interpretación de los resultados. Su enfoque metodológico se basa en el análisis de ciclo de vida (ACV) aplicado al uso de agua, calculando su consumo y contaminación en la cadena de valor de un producto (o servicio), proceso u organización, además de los potenciales impactos en la salud humana y la calidad de los ecosistemas.

En primera instancia se determinaron las entradas y salidas de agua que tiene el Site Maipú, junto con la calidad de estos influentes y efluentes. Con esta información se pudo calcular los consumos de agua y los potenciales impactos asociados a los **usos directo de agua**. Además con base en la información de insumos y energías consumidos, se calcularon los respectivos indicadores de huella hídrica para los **usos indirectos de agua**, con ayuda de la base de datos desarrollada por la consultora suiza internacional Quantis (Quantis Water Database). A partir de los resultados obtenidos, **se proponen medidas para reducir los impactos asociados a la huella hídrica**.

¹ A través de la participación de Sebastien Humbert en el comité de desarrollo de la norma. Sebastien Humbert es Director Científico de Quantis International.

Objetivo y alcance

De acuerdo a los objetivos del proyecto SuizAgua Andina, se trabajó para instalar el concepto de huella hídrica como una herramienta que permita gestionar de manera sostenible, los usos de agua (consumo y contaminación) en las empresas. En ese sentido, el proyecto se alinea con el objetivo principal de Clariant con respecto del proyecto, que es poder gestionar sus usos de agua eficientemente, detectando oportunidades de mejora que les permitan usar de forma sustentable el recurso hídrico.

En el estudio se realizó una evaluación de la huella hídrica del Site Maipú de Clariant Chile, acorde a la nueva norma ISO 14046 de huella hídrica. **El alcance abarca tanto los usos directos de agua que tiene el Site, como los usos indirectos de agua**, a través de la cadena de suministros y las energías requeridas para su operación. La unidad funcional (base de cálculo) a la que los resultados están normalizados es **una tonelada total de productos fabricados**. La evaluación de huella hídrica se realiza para el período comprendido entre octubre 2012 y septiembre 2013.

Productos y definición del sistema

El Site Maipú cuenta con cuatro plantas productivas, que dan origen a decenas de productos distintos cada una. Las plantas productivas corresponden a una planta de emulsiones (produce dispersiones de polímeros en solución acuosa), una planta multipropósito (produce una variedad de productos de familias químicas diferentes), una planta de preparaciones pigmentarias (produce dispersiones pigmentarias) y una planta masterbatch (produce concentrados plástico de color). **Se realizó el análisis de la producción total de una tonelada de productos del Site Maipú como sistema**, utilizando la metodología en conformidad con el estándar internacional en huella hídrica, norma ISO 14046. La evaluación de huella hídrica es al Site Maipú, y no a un producto específico, por lo tanto **incorpora desde el consumo de materias primas y energías, hasta los productos terminados en el Site (sistema delimitado desde la cuna hasta la puerta de la fábrica)**.

Resultados generales

a. Consumo de agua

El volumen de agua consumida por tonelada total de productos fabricados en el site de Clariant es de 38,7 m³, de este total **un 6% es directo y un 94% indirecto**.

El mayor consumo de agua directo se debe a la evapotranspiración del agua de riego de las áreas verdes, al agua que queda incorporada en los productos que se fabrican en las plantas productivas y a la evaporación que ocurre en las torres de enfriamiento. Cada uno de estos consumos aporta el 42%, 27% y 18% del consumo directo total respectivamente.

Los consumos indirectos de agua se deben principalmente al hostafloc x 23 y al ácido graso de coco usados en la planta multipropósito y al acetato de vinilo, el acrilato de butilo y el estireno usados en la planta de emulsiones. Cada uno de estos insumos aporta el 19%, 15%, 19%, 11% y 5% de los consumos indirectos respectivamente.

b. Índice de impacto hídrico (WIIX)

El WIIX total calculado por unidad funcional del estudio es de 25,4 m³ equivalentes, compuesto en un **14% por los usos directos de agua del Site Maipú**, y en un **86% por los usos indirectos de agua**, principalmente asociados a la cadena de suministros de la planta de emulsiones (42%) y multipropósito (39%). El acetato de vinilo, acrilato de butilo y estireno, son los insumos que más aportan al índice de impacto hídrico en la planta de emulsiones, con un 48%, 25% y 10% del total de planta respectivamente, y el hostafloc x 23, el ácido graso de coco y la epicloridrina son los insumos que más aportan en la planta multipropósito, con un 43%, 10% y 9% del total de planta respectivamente.

c. Impactos potenciales en salud humana

Los impactos potenciales en salud humana por toxicidad y desnutrición calculados para el Site de Clariant en el período de estudio fueron de $1,1 \times 10^{-3}$ y $2,6 \times 10^{-5}$ DALY/UF respectivamente. En los impactos potenciales por toxicidad, el hostafloc x 23 y el ácido fosfórico usados en la planta multipropósito generan el 24% y 6% de los impactos respectivamente, y el acetato de vinilo, estireno y acrilato de butilo usados en la planta de emulsiones producen el 22%, 10% y 6% respectivamente. En los impactos potenciales por desnutrición, el acetato de vinilo, acrilato de butilo y estireno de la planta de emulsiones generan el 21%, 12% y 5% de los impactos respectivamente, y el hostafloc x 23, el ácido graso de coco y la epicloridrina de la planta multipropósito producen el 21%, 4% y 3% respectivamente.

d. Impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas

Los indicadores de punto final más afectadas en calidad de los ecosistemas, fueron la reducción de la disponibilidad de agua para ecosistemas y las perturbaciones físicas o químicas por eutrofización, cada una con 20 y 14 PDF*m²*y/UF respectivamente. Nuevamente las plantas multipropósito y de emulsiones fueron las que produjeron los mayores impactos. En los impactos potenciales por reducción de la disponibilidad de agua para ecosistemas, el acetato de vinilo, acrilato de butilo y estireno usados en la planta de emulsiones producen el 21%, 12% y 5% de los impactos respectivamente, y el hostafloc x 23 y la epicloridrina usados en la planta multipropósito generan el 21% y 3% del total respectivamente. En los impactos potenciales por eutrofización, el hostafloc x 23 y el ácido fosfórico usados en la planta multipropósito producen el 47% y 3% del total de los impactos.

De la planta de emulsiones, el acetato de vinilo, acrilato de butilo y estireno son los insumos que mayor impacto generan con un 20%, 3% y 2% del total respectivamente.

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad mostró que al cambiar el proceso para modelar la huella hídrica del insumo leucofor usado en la planta de emulsiones, algunos de los resultados obtenidos cambian significativamente. El consumo de agua y el índice de impacto hídrico (WIIX) aumentaron en 12% y 28% respectivamente, y el impacto potencial en disminución de la disponibilidad de agua para ecosistemas aumentó en 14%. Sin embargo el orden de magnitud de los resultados obtenidos en el estudio no cambian con respecto a los resultados obtenidos en el análisis de sensibilidad y las conclusiones globales se mantienen.

Conclusiones y comentarios finales

Los resultados muestran que la mayor huella hídrica del Site de Clariant es indirecta, principalmente por la cadena de suministros de las plantas multipropósito y emulsiones. Debido a la magnitud de insumo que ingresa al sistema, es razonable que la huella hídrica tenga ese perfil. Los insumos que mayor huella hídrica generan son el hostafлот x 23 y el ácido graso de coco usados en la planta multipropósito y el acetato de vinilo, acrilato de butilo y estireno usados en la fabricación de productos en la planta de emulsiones. Además el análisis de sensibilidad mostró que el insumo leucofor de la planta de emulsiones también genera una huella hídrica significativa.

Si bien los resultados indican que la huella hídrica está fuertemente asociada a la cadena de suministros que requiere el Site Maipú para la fabricación de sus productos químicos, es importante usar de forma responsable y sostenible los recursos hídricos locales, ya que la operación depende directamente de ellos. Además el Site Maipú está ubicado en una zona de escasez hídrica acorde a Pfister et al. (2009), situación corroborada en terreno. Esto implica que se deben realizar esfuerzos colectivos para cuidar los recursos locales.

La metodología de huella hídrica acorde a la norma ISO 14046, basada en análisis de ciclo de vida aplicado al agua, permitió discernir con claridad en donde se encuentran los puntos clave en consumo de agua e impactos generados, a partir de los cuales se crearán las estrategias de mitigación de la huella hídrica. Los resultados de la evaluación de huella hídrica son de gran valor a la hora de tomar decisiones con respecto a la gestión del agua.

Abreviaturas y acrónimos

ACV	Análisis de ciclo de vida
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
DALY	<i>Disability adjusted life years</i>
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DS	Decreto Supremo
FC	Factor de caracterización
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IWMI	<i>International Water Management Institute</i>
PDF*m²*y	<i>Potentially disappeared fraction of species per m² per year</i>
RIL	Residuo industrial líquido
SA	SuizAgua Andina
SIC	Sistema Interconectado Central
SMAPA	Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado
UF	Unidad funcional
WFN	<i>Water Footprint Network</i>
WIIX	<i>Water Impact Index</i>
WSI	<i>Water Stress Index</i>

Definiciones

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

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

Análisis de Ciclo de Vida: recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los potenciales impactos ambientales de un sistema productivo a lo largo de su ciclo de vida.

Análisis de inventario de huella hídrica: fase de la evaluación de huella hídrica que incorpora la recopilación y cuantificación de entradas y salidas relacionadas con el agua para productos, procesos u organizaciones.

Calidad del agua: Características físicas, químicas y biológicas del agua con respecto a su idoneidad para un uso previsto por los seres humanos o los ecosistemas.

Categoría de impacto: clasificación que representa aspectos ambientales de interés para asignar los resultados del análisis del inventario de ciclo de vida.

Categoría de punto medio: Variable intermedia que evalúa el riesgo asociado a las extracciones (entradas) y emisiones (salidas) relacionadas con una categoría de salida.

Categoría de punto final: atributo o aspecto del medio ambiente, la salud humana o los recursos, que identifica un problema ambiental de interés.

Ciclo de vida: etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema productivo, desde la adquisición de materias primas o la generación de los recursos naturales hasta la disposición final del producto.

Consumo de agua: extracción de agua en donde no hay devolución a la cuenca de origen, debido a que el agua es evaporada, evapotranspirada, incorporada a un producto, trasvasada de cuenca o vertida al mar. Corresponde a la definición de huella azul de Water Footprint Network (WFN) para el consumo de agua dulce superficial o subterránea.

Degradación de agua: cambio negativo en la calidad del agua.

Disponibilidad de agua: grado en el cual los seres humanos y los ecosistemas tienen suficientes recursos hídricos para sus necesidades.

Evaluación de huella hídrica: recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los potenciales impactos ambientales relacionados con el agua utilizada o afectados por un producto, proceso u organización.

Evaluación integral de huella hídrica: evaluación de huella hídrica que considera todos los atributos ambientales relevantes o aspectos del ambiente natural, la salud humana y los recursos relacionados con el agua, incluyendo la disponibilidad y la degradación de la calidad del agua.

Evaluación de impactos de la huella hídrica: fase de la evaluación de la huella hídrica dirigida a la comprensión y evaluación de la magnitud y la importancia de los potenciales impactos ambientales relacionados con el agua para un producto, proceso u organización.

Extracción de agua: Remoción antropogénica de cualquier cuerpo de agua, ya sea de manera temporal o permanente.

Factor de caracterización: factor derivado de un modelo de caracterización que se aplica para convertir un resultado asignado del análisis de inventario a la unidad común del indicador para la categoría de impacto evaluada.

Huella hídrica: métrica(s) que cuantifican los potenciales impactos ambientales relacionados con el recurso hídrico.

Indicador de categoría de impacto: representación cuantificable de una categoría de impacto.

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

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

Unidad funcional: desempeño cuantificado de un sistema productivo para ser usado como unidad de referencia.

Uso de agua: uso de agua por actividades humanas.

1 Introducción

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

En Chile y América Latina, en una realidad muy similar a la observada a nivel mundial, se están produciendo desequilibrios extremadamente significativos entre zonas con y sin disponibilidad de agua. En el caso particular del Norte de Chile, área geográficamente seca, la alta actividad industrial asociada a la minería y la agricultura ha generado zonas tan críticas en cuanto a disponibilidad de agua, que incluso se ha mermado el agua de buena calidad para consumo humano.

En este contexto mundial, el gobierno suizo a través de su Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), materializó el proyecto SuizAgua Andina (SA) que se ejecuta en Chile y Perú tomando los buenos resultados del proyecto piloto SuizAgua Colombia². Las empresas socias de SA Chile son: Clariant, Nestlé Chile S.A., Mall Plaza, Polpaico y Tinguiririca Energía.

SA es un proyecto basado en el concepto de huella hídrica y en su línea de trabajo con el sector privado se alinea a la norma ISO 14046 de evaluación de huella hídrica (Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines). Esta norma que fue oficialmente aprobada en julio del 2014, basa su enfoque metodológico en el análisis de ciclo de vida, considerando los usos de agua directos e indirectos a través de la cadena de valor de un producto (o servicio), proceso u organización.

El presente reporte se constituye en el reporte de evaluación de huella hídrica, acorde a la norma ISO 14046, de la empresa Clariant en el primer año del proyecto, lo que constituye además para la empresa una línea base que podrán tomar de referencia para sus próximas evaluaciones de huella hídrica (oportunidades de mejora, registro de mejoras, etc.). Se incluyen en el informe las principales consideraciones usadas para evaluar la huella hídrica del Site Maipú de Clariant.

² Del que formaron parte 4 empresas de capitales Suizos: Clariant, Nestlé Colombia, Holcim y Syngenta.

1.1 Descripción general de análisis de ciclo de vida y huella hídrica

El constante consumo de recursos para la producción de bienes y servicios, junto con las emisiones y descargas de residuos que muchas veces están asociados a los procesos productivos, ha generado que se realicen esfuerzos para desarrollar herramientas que nos permitan evaluar y comprender de mejor manera el daño que producimos en las actividades humanas. Una de estas herramientas, cuyo objetivo apunta hacia un desarrollo sostenible, es el análisis de ciclo de vida (ACV). El ACV evalúa los potenciales impactos medio ambientales y de salud humana asociados a un producto o servicio. Dependiendo del alcance, el análisis puede tomar en cuenta todas o parte de las etapas de la cadena de valor de un producto (extracción de recursos, fabricación del producto, distribución, uso o consumos y fin de vida).

El ACV es una herramienta reconocida por la Organización Internacional de Estandarización (ISO 14040:2006; ISO 14044:2006) y pretende ayudar a detectar oportunidades para mejorar el desempeño ambiental en el ciclo de vida de un producto o servicio y además otorgar información con base científica para la toma de decisiones, campañas de marketing y comunicación, entre otros (ISO 14044, 2006).

Dentro del ACV, la huella hídrica se define como un subconjunto específico de indicadores que abordan el consumo y la contaminación del agua y los correlacionan a potenciales impactos. Los principios, requisitos y directrices para realizar una evaluación de huella hídrica se presentan en la norma ISO 14046.

1.2 Contexto y antecedentes

Clariant es una empresa internacional de origen suizo, que tiene como actividad la producción y venta de una amplia gama de productos químicos usados en la industria en general, tales como: aditivos, agentes catalizadores, detergentes, productos especiales para consumidores específicos, pigmentos, colorantes, entre otros.

Clariant Chile tiene interés en evaluar su huella hídrica principalmente porque se encuentra alineado con los objetivos medio ambientales de Clariant International y con sus prioridades respecto a zonas con escasez hídrica, como es el caso de Maipú, lugar en donde se encuentra su planta en Chile. Bajo este contexto, el proyecto SuizAgua Andina Chile es un proyecto muy relevante, ya que implica la **medición del consumo y degradación del agua de manera directa e indirecta y sus respectivos impactos asociados, a través de la huella hídrica, y la gestión de la huella mediante acciones de reducción, mitigación y compensación.**

Clariant planea replicar el proceso de evaluación de huella hídrica en Clariant Perú, en donde ya están empezando a levantar los flujos de información para el Site Callao.

2 Objetivos y alcance

2.1 Objetivos y aplicación prevista

El objetivo de Clariant con respecto a la evaluación de su huella hídrica, es contar con una herramienta de gestión para un uso sustentable del agua en el Site Maipú, detectando los puntos clave en donde se podrían adoptar medidas de reducción de huella hídrica. Además se incluyen acciones de responsabilidad social empresarial que ayuden a una mejor gestión del uso de agua a nivel de cuenca, concientizando a los actores relevantes de la situación de estrés hídrico de la zona y procurando sumarlos en acciones colectivas. En base a lo comentado, los objetivos específicos son:

- I. Evaluar la huella hídrica del Site Maipú de Clariant para identificar los puntos clave en usos de agua (consumo y contaminación), en los cuales se deben enfocar esfuerzos para implementar mejoras.
- II. Implementar acciones de reducción de huella hídrica a corto/mediano y largo plazo.
- III. Implementar proyectos de responsabilidad social empresarial cuyo objetivo sean el uso equitativo, eficiente y sustentable del agua en la cuenca donde la huella de la operación directa se localiza.

2.2 Descripción general

El estudio de evaluación de huella hídrica en Clariant fue desarrollado en sus instalaciones en la comuna de Maipú, Santiago de Chile (Site Maipú), que cuenta con cuatro plantas productivas, además de las dependencias para las actividades comerciales, almacenamiento de productos, planta de lavado de envases, planta interna de tratamiento de efluentes, entre otros. Un esquema simplificado del sistema analizado para Clariant, Site Maipú, se muestra en la **Figura 1**.

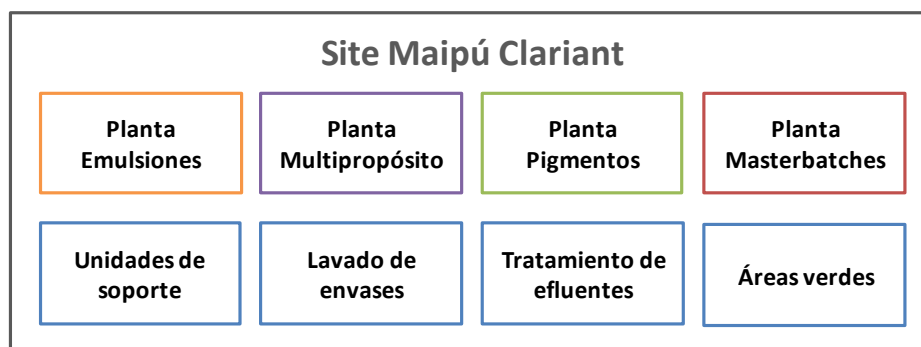


Figura 1 Esquema del sistema analizado para la evaluación de huella hídrica en Clariant.

Las plantas productivas corresponden a una planta de emulsiones, una planta multipropósito (unidades de Oil and Mining Services e Industrial Consumer Specialities), una planta de preparaciones pigmentarias (unidad Pigments) y una planta de masterbatch (unidad Masterbatch), cada una de estas plantas da origen a decenas de productos distintos (son productos embalados). En la **Figura 1** además se muestran áreas de soporte: unidades de soporte, planta de lavado de envases y planta interna de tratamiento de efluentes. También se incluyen las áreas verdes del Site. A continuación se describen cada uno de los ítems comentados:

- **Planta de emulsiones:** la planta produce dispersiones de polímeros en solución acuosa. Las producciones son de tipo lote (cantidades específicas de materias primas se cargan de una vez en reactores químicos para producir una cantidad preestablecida de producto terminado) o lote alimentado (reactantes se dosifican a flujos preestablecidos). Los productos son empleados en la industria de la madera, construcción, pinturas y textil, esencialmente como adhesivos de uso diverso y ligantes para pintura. En general los productos de la planta de emulsiones tienen un contenido de agua cercano al 50%.
- **Planta multipropósito:** la planta produce una variedad de productos de familias químicas diferentes a través de distintas operaciones químicas (alquilación, condensación, destilación, esterificación, neutralización, etc.). Los productos son usados en la industria de la minería, cosmética y maderera entre otras. Los productos de la planta multipropósito en general tienen un contenido de agua que va desde 50% a 70%.
- **Planta de preparaciones pigmentarias:** la planta produce dispersiones pigmentarias (dispersión de pigmentos en polvo y en agua). Los concentrados líquidos de color son usados en la industria de la pintura. Las dispersiones pigmentarias tienen entre un 50% a 70% de agua.
- **Planta masterbatch:** la planta produce concentrados plásticos de color que son usados en la industria plástica en general (inyección de moldes, fabricación de bolsas, entre otros). La planta fabrica productos especialmente desarrollados para cada cliente. Los productos de masterbatch esencialmente no contienen agua.
- **Unidades de soporte:** el Site cuenta con una unidad de osmosis inversa (para generación de agua desmineralizada), dos calderas (para generación de vapor usado en el calentamiento de procesos y aire acondicionado), tres torres de enfriamiento (para generar agua de enfriamiento para los procesos), tres chillers (enfriamiento de procesos y aire acondicionado), dos compresores y bodegas de almacenamiento.
- **Planta de lavado de envases:** en esta planta se lavan los contenedores tipo IBC, bidones plásticos de 25, 60, 120 y 200 litros y tambores metálicos de 200 litros.

- **Planta interna de tratamiento de efluentes:** es una planta de tratamiento físico-química primaria que trata los residuos industriales líquidos (RILes) producidos en la planta, en su mayoría por lavado de equipos. Los RILes quedan con una calidad apta para ser descargados al alcantarillado municipal que dirige las aguas hacia la planta de tratamiento El Trebal de Aguas Andinas³ (planta de lodos activados) que trata las aguas servidas de la comuna.
- **Áreas verdes:** el Site tiene aproximadamente 3 hectáreas de áreas verdes. De ellas, alrededor de 2,5 hectáreas corresponden a naranjos, que son regados por goteo, y 0,5 hectáreas a césped, que es regado por aspersión.

El Site Maipú de Clariant está ubicado en una zona industrial (barrio industrial Santa Marta), donde se encuentran numerosas fábricas de diversos sectores productivos. Clariant, al igual que muchas de estas empresas, extrae gran parte del agua para sus operaciones de fuentes subterráneas (acuífero subterráneo de Santiago central). Además usa agua potable suministrada por el Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado⁴ (SMAPA). SMAPA extrae el 100% de su agua de fuentes subterráneas. La relación del Site con el sistema hídrico del cual se abastece y al cual vierte sus excedentes es por lo expuesto mixta. Por un lado, recibe y evacúa agua por medio del sistema de agua potable y alcantarillado de la empresa local y por el otro también extrae agua de dos pozos profundos (100 y 62 metros de nivel freático cada uno, medición año 2003) ubicados dentro del área del Site. Clariant no tiene conflictos por el agua con los demás usuarios, pero se estima surgirán a medida que los niveles del acuífero disminuyan preocupantemente, ya sea por exceso de extracciones, el efecto de sequías prolongadas (las precipitaciones han disminuido en los últimos años) o la alteración de las zonas de recarga del acuífero. Clariant tiene la disposición para abordar la temática hídrica y están conscientes que es de vital importancia para garantizar la sustentabilidad operativa de la empresa a largo plazo. Además hoy en día no existe ninguna organización que reúna a los usuarios del acuífero. En este contexto de presión sobre los recursos hídricos, es relevante para Clariant evaluar y gestionar su huella hídrica.

2.3 Función del sistema y unidad funcional

La función del Site Maipú de Clariant es fabricar diferentes productos químicos para una gran variedad de industrias. El propósito de este estudio es evaluar el desempeño en términos de uso de agua, a través de la huella hídrica, de la fabricación de los productos químicos del Site Maipú. Como unidad funcional (UF) se seleccionó **una tonelada total de productos fabricados por las 4 plantas productivas del Site**, que incluye más de un centenar de productos químicos. Todas las entradas y salidas del Site están implícitamente asignadas a la tonelada total de productos fabricados. El

³ Empresa de servicios sanitarios. Realiza el suministro de agua potable, alcantarillado y tratamiento en la mayor parte de la ciudad de Santiago.

⁴ Empresa de servicios sanitarios municipal. Suministra los servicios de agua potable y alcantarillado en la comuna de Maipú.

estudio se realizó para el período de 1 año, comprendido entre octubre 2012 y septiembre 2013. De esa tonelada de productos, 60% provinieron de la planta de emulsiones, 34% de la planta multipropósito, 4% de la planta de preparaciones pigmentarias y 2% de la planta de masterbatch. La UF representa la base de cálculo con respecto a la cual se normalizan las entradas y salidas relevantes del sistema para la evaluación de huella hídrica. En el **Anexo A**: resultados en base a 1 año de operación como unidad funcional se presentan los resultados de huella hídrica normalizados por año de operación (asignados íntegramente al período comprendido entre octubre 2012 – septiembre 2013).

2.4 Límites del sistema

El **límite geográfico** del sistema analizado considera el Site Maipú. La definición del sistema incluye las etapas, procesos y flujos a considerar para la evaluación de la huella hídrica. Este debe contener todas las actividades relevantes teniendo en cuenta los objetivos del estudio y todos los procesos y flujos que puedan contribuir de manera significativa a los impactos ambientales relacionados al recurso hídrico.

La evaluación de huella hídrica fue al Site productivo y no a un producto en específico, por lo tanto el enfoque ACV usado fue **“desde la cuna a la puerta”**, que incluye las etapas de elaboración de las materias primas, insumos y energías (energía se refiere a energía eléctrica y combustibles) usados en la fabricación de los productos y la operación directa del Site (hasta el producto terminado en la “puerta de la fábrica”). Se incluyó el suministro de agua potable y el tratamiento de los efluentes generados. Se excluyen las etapas de distribución, uso y disposición final de los productos. De acuerdo a lo comentado, el sistema se dividió en 4 etapas principales: 1) cadena de suministros, 2) energía usada en la operación del Site, 3) operación directa del Site y 4) tratamiento de las aguas contaminadas generadas en el Site. El sistema productivo analizado se esquematiza de manera simplificada en la **Figura 2**.

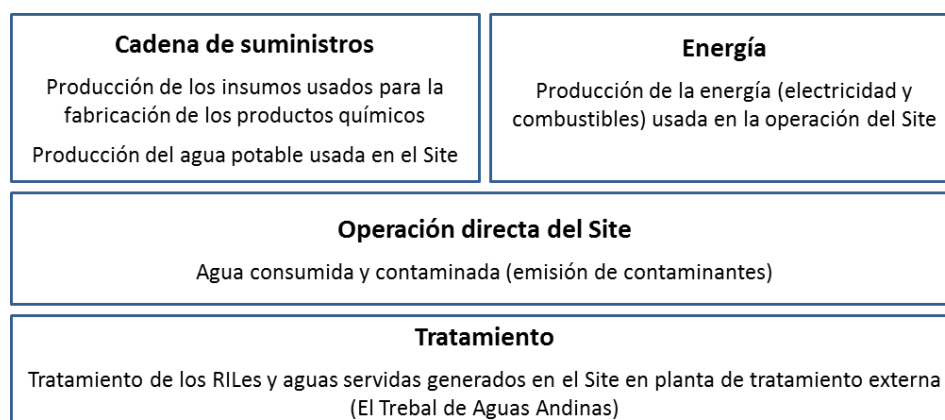


Figura 2 Descripción sintetizada del sistema de producción analizado para la evaluación de huella hídrica del Site Maipú de Clariant.

Como la medición fue hecha al Site completo, se incluyeron todos los usos de agua que hay dentro del Site, tanto como insumo para las plantas productivas, como para enfriamiento, generación de vapor, limpieza, entre otros. Además se incluyeron los usos generales de agua (*overheads*), tales como regadío de áreas verdes, uso de agua en baños y otros. Con respecto a la cadena de suministros, se incluyeron todos los insumos usados en las 4 plantas productivas para la elaboración de los productos químicos (alrededor de 500). En el caso de la energía, se cuantificó toda la electricidad y combustible (gas natural) consumido en la operación del Site.

Se dejó fuera del sistema en estudio, los insumos de embalaje de los productos químicos (debido a falta de información, se incluirán en la siguiente medición), el transporte de los insumos hacia el Site (por la magnitud de insumos que llegan de diferentes partes del mundo, se intentará incluir en la siguiente medición), la fabricación y mantención de los equipos, reactores y máquinas usados para la elaboración de los productos químicos, los fertilizantes y pesticidas usados en las áreas verdes (debido a falta de información, se incluirán en la próxima medición), los insumos administrativos y el transporte y alimentación del personal de planta (los insumos administrativos y la alimentación y transporte del personal están fuera del alcance del proyecto).

2.5 Reglas de asignación

No se realizaron asignaciones directas en los cálculos del Site de Clariant. Sin embargo, la información secundaria usada que viene de la base de datos utilizada (Quantis Water Database) se basa en los sistemas de asignación definidos en ecoinvent v2.2 (Frischknecht et al. 2005).

2.6 Datos de inventario

La calidad de los resultados del análisis de huella hídrica está directamente relacionada con la calidad del inventario utilizado. En el presente estudio, se cuantificaron todas las entradas y salidas relevantes del sistema analizado para la evaluación de la huella hídrica. Con el propósito de considerar la variación estacional y/o mensual en la producción, y por lo tanto en los requerimientos de agua, **toda la información levantada de usos de agua, insumos y energía fue obtenida en base mensual**. Este aspecto ha sido incorporado con el fin de poder evaluar las brechas del proceso independizando factores climáticos y ciclos productivos. Toda la información recolectada son datos primarios entregados por personal de Clariant vía planillas de levantamiento de información, emails, llamados telefónicos o en persona. En la información solicitada se consideraron ítems tales como, **entradas y salidas de agua (cantidad/calidad, fuente de extracción y receptor de descarga), entradas de materias primas, insumos, energías y salidas de contaminantes y productos**. Toda la información se recolectó de acuerdo a:

- **Insumos:** tipo y cantidad (masa) de insumo consumido en cada planta productiva.
- **Energía eléctrica:** kWh de energía consumida por planta productiva, por cada área de soporte (unidades de soporte, planta de lavado de envases y planta de tratamiento interna) y por usos generales (oficinas, baños, casino etc.).
- **Combustibles:** m3 de gas natural consumido en calderas.
- **Balance hídrico directo:** m3 de agua que entra y sale del Site. Se diferencia la fuente de extracción en las entradas, los diferentes usos del agua al interior del Site y el agua consumida del agua liberada en las salidas. Concentración (mg/L) de contaminantes en las entradas de agua y emitidos en los efluentes.
- **Producción:** toneladas totales de productos producidos por cada planta productiva.

Luego de obtener las cantidades mensuales de cada uno de estos ítems, se calcularon los valores anuales y se normalizaron las cantidades requeridas por UF del estudio (flujos de referencia). El estudio se realizó para el período de 1 año, comprendido entre octubre 2012 y septiembre 2013, toda la información recolectada en cuanto a usos directos de agua, insumos y energías es del período señalado. Se recopiló mensualmente toda la información pertinente para la evaluación de los impactos ambientales relacionados a los recursos hídricos.

Los datos de inventario que describen la huella hídrica (usos de agua e impactos) de los procesos de fabricación de las materias primas, insumos y energías usados en el Site de Clariant, fueron obtenidos a partir de la base de datos desarrollada por la consultora Suiza internacional Quantis⁵. La base de datos está desarrollada a partir de la base de datos para análisis de ciclo de vida de ecoinvent v2.2 (Frischknecht et al. 2005), que presenta información de datos de inventario de ciclo de vida para más de 4.000 procesos, productos y servicios. Se usó la base de datos global, en donde los procesos están extrapolados para promedios globales (*Global Quantis Water Database*). En el caso de la energía eléctrica o de insumos provenientes de cultivos, los procesos fueron asignados para el lugar de origen (para la electricidad se construyó un proceso ajustado para Chile), debido a la diferente evaporación que ocurre en las represas y las diferentes tasas de riego de los cultivos en cada locación.

⁵ Cuyo Director científico formó parte del Comité que desarrolló la norma ISO 14046 de huella hídrica con el apoyo de COSUDE.

2.7 Principales datos y supuestos

A continuación se describen las principales consideraciones que se tomaron en cuenta para los flujos de referencia en cada una de las etapas del sistema analizado. Para cada flujo se intentó utilizar la mejor información disponible.

2.7.1 Cadena de suministro

a. Sustancia químicas orgánicas e inorgánicas

Para suministros con bajo consumo (menor al 1% con respecto a la masa total de insumos consumida en la planta productiva donde es usado), se tomó como referencia el flujo para sustancias químicas orgánicas o inorgánicas global, según corresponde, basado en varios módulos de sustancias orgánicas e inorgánicas de la base de datos de ecoinvent (Althaus et al. 2007).

b. Agua potable

Para el suministro de agua potable se usó el proceso para la producción de agua potable que incluye la infraestructura, uso de la energía para el tratamiento del agua y el transporte hasta el usuario (Althaus et al. 2007).

2.7.2 Energía

a. Electricidad

Se construyó un proceso para la generación de electricidad en base al Sistema Interconectado Central de Chile (SIC) que abastece de energía eléctrica el Site Maipú de Clariant. La **Tabla 1** muestra los tipos de generación, el aporte al SIC y el proceso en base de datos usado. Para regionalizar a las condiciones locales el proceso construido, el proceso de generación de energía hidroeléctrica en embalse, se adaptó a las condiciones chilenas de evaporación en las represas en base a Pfister et al. (2011). El índice de impacto hídrico (*Water Impact Index*, WIIX) y los impactos de punto final de Pfister (desnutrición causada por consumo de agua y reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas), también se regionalizaron para Chile. El WIIX se regionalizó en base al índice de estrés hídrico (*Water Stréss Index*, WSI) de Chile (WSI_{CL} : 0,74), y los impactos de punto final, en base a los factores de caracterización (FC) de Pfister para salud humana (FC_{CL} : $1,54 \times 10^{-7}$) y calidad de los ecosistemas (FC_{CL} : 0,27) para Chile.

Tabla 1 Tipos de generación de energía eléctrica del Sistema Interconectado Central de Chile y procesos para su modelación.

Tipo	SIC	Proceso en base de datos (<i>Quantis Water Database</i>)
Carbón	34,33%	Electricity, hard coal, at power plant/UTCE U
Hidráulica embalse	18,78%	Electricity, hydropower, at reservoir power plant, non-alpine regions/RER U
Hidráulica pasada	19,48%	Electricity, hydropower, at run-of-river power plant/RER U
Gas natural	18,99%	Electricity, natural gas, at turbine, 10 MW/GLO U
Biomasa	4,44%	electricity, at cogen 6400kWth, wood, allocation exergy/CH U
Diesel	2,92%	Electricity, oil, at power plant/UTCE U
Eólica	1,06%	Electricity, at wind power plant/RER U
Solar	0,01%	electricity, production mix photovoltaic, at plant/CH U

b. Gas natural

El gas natural consumido en las calderas se clasificó como gas natural quemado en caldera atmosférica no modulada, que incluye entrada de combustibles de baja presión, infraestructura, emisiones al aire y electricidad utilizada durante el funcionamiento (Faist Emmenegger et al. 2007).

2.7.3 Operación directa

Los volúmenes de agua consumida y contaminada en la operación directa del Site fueron entregados por personal de Clariant. A nivel de los procesos para la elaboración de sus productos, Clariant lleva una contabilidad muy estricta de los volúmenes de agua utilizados, pues necesitan una cantidad determinada para no alterar la calidad de sus productos. Hay alrededor de 50 caudalímetros instalados en el Site. En las líneas de riego no hay medidores de agua, este volumen se obtuvo por diferencia del total de agua que ingresa al Site y los demás usos. El Site tiene aproximadamente 2,5 hectáreas de naranjos, regados por goteo, y 0,5 hectáreas de césped, regado por aspersión. En base a información entregada por el personal de planta, alrededor del 30% del agua usada para riego de las áreas verdes es destinada para los naranjos, y el 70% restante para el césped (cálculo obtenido en base a los flujos de operación de los sistemas de riego por goteo y aspersión usados). En el caso de los naranjos se asumió que el 90% del agua que se usó para su riego fue consumida (evapotranspirada e incorporada en los naranjos). Se asumió este valor ya que la eficiencia comúnmente reportada en sistemas de riego tecnificado por goteo es de aproximadamente 90% (Brouwer et al. 1989; US EPA, 2003). Para estimar la evapotranspiración en el césped, se usaron datos de evapotranspiración de la zona donde está ubicado el Site de Clariant obtenidos del International Water Management Institute (IWMI). La diferencia del agua estimada de riego del césped y los naranjos consumida (evapotranspiración césped y naranjos e incorporación en naranjos) con respecto al volumen total de agua calculado para riego, se asumió como agua de infiltración.

Los RILes y aguas servidas que salen del Site Maipú, son dirigidos por el alcantarillado hacia la planta de tratamiento El Trebal de Aguas Andinas, antes de ser descargados al ambiente. Se asumió que la calidad con la que estos efluentes llegan al ambiente, es la que establece el Decreto Supremo 90⁶ (DS 90, norma de emisión vigente en Chile) que deben cumplir las plantas de tratamiento previo a verter sus efluentes.

2.7.4 Tratamiento de los RILes y aguas servidas

Los efluentes del Site de Clariant son tratados en la planta de tratamiento El Trebal de Aguas Andinas, que tiene una capacidad de 4,4 m³/s (aproximadamente 137 x 10⁶ m³/año). Para el tratamiento de las aguas contaminadas generadas en el Site, se usó el proceso para una planta de tratamiento de clase 1 (aguas residuales depuradas en una planta de tratamiento de aguas residuales municipal de gran tamaño, capacidad 47 x 10⁶ m³/año o más) que incluye la canalización, el proceso de tratamiento en sí y la disposición de los lodos digeridos (Doka, 2009).

2.8 Evaluación de impactos relacionados con el recurso hídrico

Acorde a la norma ISO 14046, la evaluación de huella hídrica debe incorporar un **análisis de la alteración de cuerpos de agua** a través de indicadores de impacto asociados a los usos consuntivos y que degradan la calidad del agua (agua descargada al entorno en un volumen y/o calidad menor a la cual fue tomada). La evaluación de impactos es el nexo entre el análisis de inventario de entradas y salidas del sistema y el potencial efecto que producen en el ambiente.

En el presente proyecto se realizó una evaluación integral de la huella hídrica, **considerando diversos potenciales impactos ambientales relacionados al uso del agua**. Como indicador de punto medio se consideró el índice de impacto hídrico (WIIX), desarrollado por Veolia (Veolia, 2011), y como categorías de punto final (categorías de daño, donde se produce el efecto ambiental), se evaluaron los potenciales impactos en la salud humana y la calidad de los ecosistemas. Los indicadores de impacto evaluados en estas categorías fueron:

Salud Humana

- Desnutrición causada por consumo de agua (Pfister et al. 2009)
- Enfermedades causadas por toxicidad del agua (USEtox; Rosenbaum et al. 2008)

⁶ Norma de emisión relativa a las descargas de RILes a aguas marinas y continentales superficiales.

Calidad de los ecosistemas

- Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas (Pfister et al. 2009)
- Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas acuáticos de río (Hanafiah et al. 2011)
- Reducción de disponibilidad de agua subterránea para los ecosistemas (Van Zelm et al. 2011)
- Ecosistemas acuáticos afectados por infraestructura hidroeléctrica (Maendly y Humbert, 2012)
- Ecosistemas acuáticos afectados por termocontaminación (Verones et al. 2010)
- Ecosistemas acuáticos afectados por ecotoxicidad (USEtox; Rosenbaum et al. 2008)
- Ecosistemas acuáticos afectados por eutrofización (Goedkoop et al. 2009)
- Ecosistemas acuáticos afectados por acidificación (Jolliet et al. 2003)

El WIIX es un balance hídrico, en donde los caudales de entrada y salida están ponderados por factores de calidad y estrés hídrico de la zona donde se usa el agua, por ende el cálculo entrega un consumo equivalente de agua (m^3 eq. WIIX), debido a la caracterización de calidad y estrés que tiene asociado el indicador (Bayart et al. 2014). Los indicadores de impacto de punto final, se evalúan a nivel de impactos potenciales en salud humana e impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas, ambos generados por una reducción en la disponibilidad y/o calidad del agua (perturbación química y/o física) en un entorno definido. En el caso de los impactos potenciales en la salud humana, ellos son expresados en DALY (*disability adjusted life years*) que son años de vida perdidos por muerte prematura o por discapacidad. Los impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas se expresan en PDF $\cdot m^2 \cdot y$ (*potentially disappeared fraction of species per m^2 per year*) y se refieren a la fracción de especies que desaparece en una unidad de superficie de $1 m^2$ durante un año (Humbert et al. 2012).

2.9 Análisis de calidad de los datos

La calidad de los datos se evaluó teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- **Precisión:** se refiere a la fuente de los datos, métodos de adquisición y métodos de verificación. Datos fiables son aquellos que se han verificado y medido directamente en terreno. El criterio está relacionado con la cuantificación del flujo.
- **Integridad:** representa la exhaustividad de los datos recolectados. Los datos son completos cuando todos los elementos necesarios para realizar una actividad son cuantificados.
- **Representatividad:** evalúa la correlación geográfica y tecnológica (reflejan los datos la realidad). Los datos son representativos cuando la tecnología está directamente relacionada con la usada en terreno. Este criterio se refiere principalmente a la elección de los procesos utilizados cuando se modela el sistema.
- **Consistencia:** evalúa si la metodología del estudio se aplica de la misma manera para todos los datos.
- **Reproducibilidad:** evalúa si la información acerca de los datos y el método utilizado permite reproducir los resultados del estudio.
- **Incertidumbre:** entrega una evaluación cualitativa de la incertidumbre de los datos.

Con respecto a la información recopilada, todos los datos de entradas (agua, insumos y energías) y salidas (agua, contaminantes y productos) del Site Maipú son datos primarios medidos y proporcionados por Clariant. La información recolectada cumple con los requerimientos de precisión (son datos fiables otorgados por la empresa), integridad (se cuantificaron todos los insumos y energías consumidos en el Site en el período de estudio, además de las entradas y salidas de agua y las emisiones que contribuyan significativamente a la huella hídrica), consistencia (todos los datos fueron procesados de igual forma) y reproducibilidad. La calidad de los datos se juzga como buena y suficiente para soportar los objetivos y el alcance del presente estudio. A continuación la **Tabla 2** resume el análisis de calidad de los datos usados en el estudio.

Tabla 2 Análisis de calidad de los datos.

Fase	Detalles del proceso	Descripción de los datos	Fuente de los datos	Importancia de los datos	Cobertura de tiempo, geográfica y tecnológica de los datos	Precisión e integridad	Representatividad y consistencia	Reproducibilidad e incertidumbre
Cadena de suministro	Entrada de insumos para fabricar los productos químicos en el Site Maipú	Cantidad de cada insumo consumido en cada una de las 4 plantas productivas del Site Maipú	Clariant	Alta	Chile, octubre 2012 – septiembre 2013	Buena precisión e integridad de los datos recolectados	Representatividad media, buena consistencia	Resultados reproducibles, incertidumbre media
Energía	Consumo de energía eléctrica en la operación del Site Maipú	Consumo de electricidad de cada planta productiva y áreas de soporte	Clariant	Media	Chile, octubre 2012 – septiembre 2013	Buena precisión e integridad de los datos recolectados	Buena representatividad y consistencia	Resultados reproducibles, incertidumbre media
	Consumo de gas natural	Consumo de gas natural en calderas	Clariant	Baja	Chile, octubre 2012 – septiembre 2013	Buena precisión e integridad de los datos recolectados	Buena representatividad y consistencia	Resultados reproducibles, incertidumbre media
Operación directa	Usos directos de agua del Site Maipú	Entradas y salidas de agua del Site Maipú	Clariant	Alta	Chile, octubre 2012 – septiembre 2013	Buena precisión e integridad de los datos recolectados	Buena representatividad y consistencia	Resultados reproducibles, poca incertidumbre
Tratamiento	Tratamiento de los RILes y aguas servidas generados en el Site Maipú	Efluentes que salen del Site Maipú hacia la planta de tratamiento El Trebal de Aguas Andinas	Clariant	Media	Chile, octubre 2012 – septiembre 2013	Buena precisión e integridad de los datos recolectados	Buena representatividad y consistente	Resultados reproducibles, incertidumbre media

2.10 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad analiza la solidez de las conclusiones. El objetivo es evaluar la sensibilidad de los resultados con respecto a los supuestos establecidos para algunos parámetros clave y determinar si las principales conclusiones del estudio se mantienen.

En el análisis de sensibilidad, se cambiará el proceso de la base de datos seleccionado para modelar algunas entradas de la cadena de suministros que presenten incertidumbre⁷, y se evaluará el efecto que producen en los resultados globales del estudio.

2.11 Revisión crítica

La revisión crítica fue realizada por Xavier Bengoa, experto en el campo del análisis de ciclo de vida y consultor ACV de Quantis. El proceso consistió en la revisión del reporte por parte del revisor, envió de sus comentarios al autor para realizar las correcciones pertinentes y los comentarios se encuentran adjuntados en el anexo A.

⁷ Incertidumbre se refiere a que existen dudas sobre los procesos usados para modelar los insumos.

3 Resultados

Todos los resultados que se presentan a continuación son exclusivos del período en el que se realizó la evaluación de huella hídrica (octubre 2012 – septiembre 2013).

3.1 Balance hídrico directo

Para elaborar el balance hídrico directo se cuantificaron todas las entradas y salidas mensuales de agua del Site productivo para el período de estudio. El Site extrae agua de dos pozos profundos (100 y 62 metros de nivel freático cada uno, medición año 2003) y adicionalmente ingresa agua potable suministrada por SMAPA (también es extraída de fuente subterráneas). Con respecto a las salidas, una fracción es descargada al alcantarillado (hacia la planta de tratamiento El Trebal de Aguas Andinas), otra parte es descargada hacia un canal superficial, una parte del agua de riego se infiltra en las áreas verdes y por último una parte del agua es consumida (incorporada en los productos y evaporada/evapotranspirada). A continuación se comentan estas entradas y salidas de agua.

Entradas y usos de agua

Agua de pozo profundo

- Agua a la unidad de osmosis inversa para producir agua desmineralizada para usar en las plantas productivas (el rendimiento de la unidad de osmosis inversa es de aproximadamente la mitad del agua que ingresa, la otra mitad sale como rechazo). Esta agua se usa como insumo de los productos en las plantas de emulsiones, multipropósito y pigmentos, además para limpieza en la planta de pigmentos y para enfriamiento en la planta de masterbatches.
- Agua a la unidad de osmosis inversa para producir agua desmineralizada para usar en las calderas. El vapor producido en las calderas se usa para termoregular procesos en las plantas de emulsiones y multipropósito, para calentar agua de lavado en la planta de pigmentos, para lavado en la planta de lavado de envases y para calefacción del edificio de marketing.
- Agua para las torres de enfriamiento. El agua enfriada se usa en las cuatro plantas productivas para refrigeración.
- Agua para limpieza en las plantas de emulsiones, multipropósito y de lavado de envases.
- Agua para riego de las áreas verdes (césped y naranjos).

- Agua para la planta interna de tratamiento de efluentes (principalmente para preparar soluciones que se usan en la planta) y para baños (para la descarga de los excusados de los baños).

Agua potable

- Agua para la planta multipropósito (como insumo de algunos productos), para baños y casino.

Salidas de agua

Descargas

- Descarga al alcantarillado de la planta interna de tratamiento de efluentes. Esta descarga incorpora los RILes de las cuatro plantas productivas, además de los RILes de la planta de lavado de envases, una parte del condensado del vapor de calderas que va hacia la planta de tratamiento y RILes de la propia planta de tratamiento.
- Descarga de aguas servidas al alcantarillado.
- Descarga del rechazo de la unidad de osmosis inversa hacia canal superficial.

Infiltraciones

- Infiltraciones del agua de riego en las áreas verdes.

Agua consumida

- Evapotranspiración del agua de riego en el césped y evapotranspiración e incorporación de agua de riego en los naranjos.
- Agua incorporada en los productos de las plantas de emulsiones, multipropósito y pigmentos.
- Evaporación en las torres de enfriamiento, en calderas y parte del condensado de calderas.
- Agua consumida en planta de tratamiento externa. Se asumió un consumo del 10% (valor adoptado por conversaciones con personal de Quantis) de los efluentes del Site que van hacia la planta de tratamiento El Trebal de Aguas Andinas, debido a la evaporación que ocurre en las piscinas de lodos activados y por el agua que queda retenida en los lodos.

Se calcularon los volúmenes de agua para cada una de las entradas y salidas comentadas en cada ítem. El balance hídrico anual del Site Maipú de Clariant, entregó como resultado que ingresaron 215.485 m³ de agua y salieron 213.943 m³, lo que muestra una diferencia no contabilizada de 1.542 m³. En otras palabras 0,7% de las entradas de agua no salió del Site, no fue contabilizada o hubo un pequeño error de estimación. A continuación la **Figura 3** muestra el balance hídrico directo anual y la **Figura 4** presenta las entradas y salidas de agua por tonelada de productos (unidad funcional).

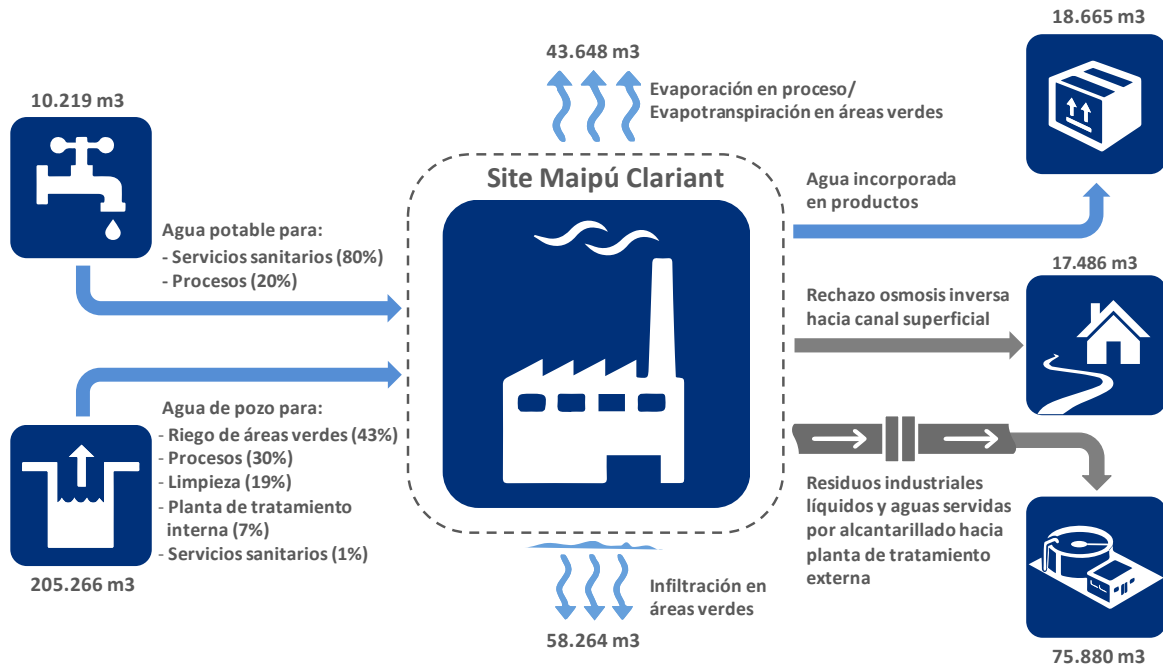


Figura 3 Balance hídrico directo del Site Maipú.

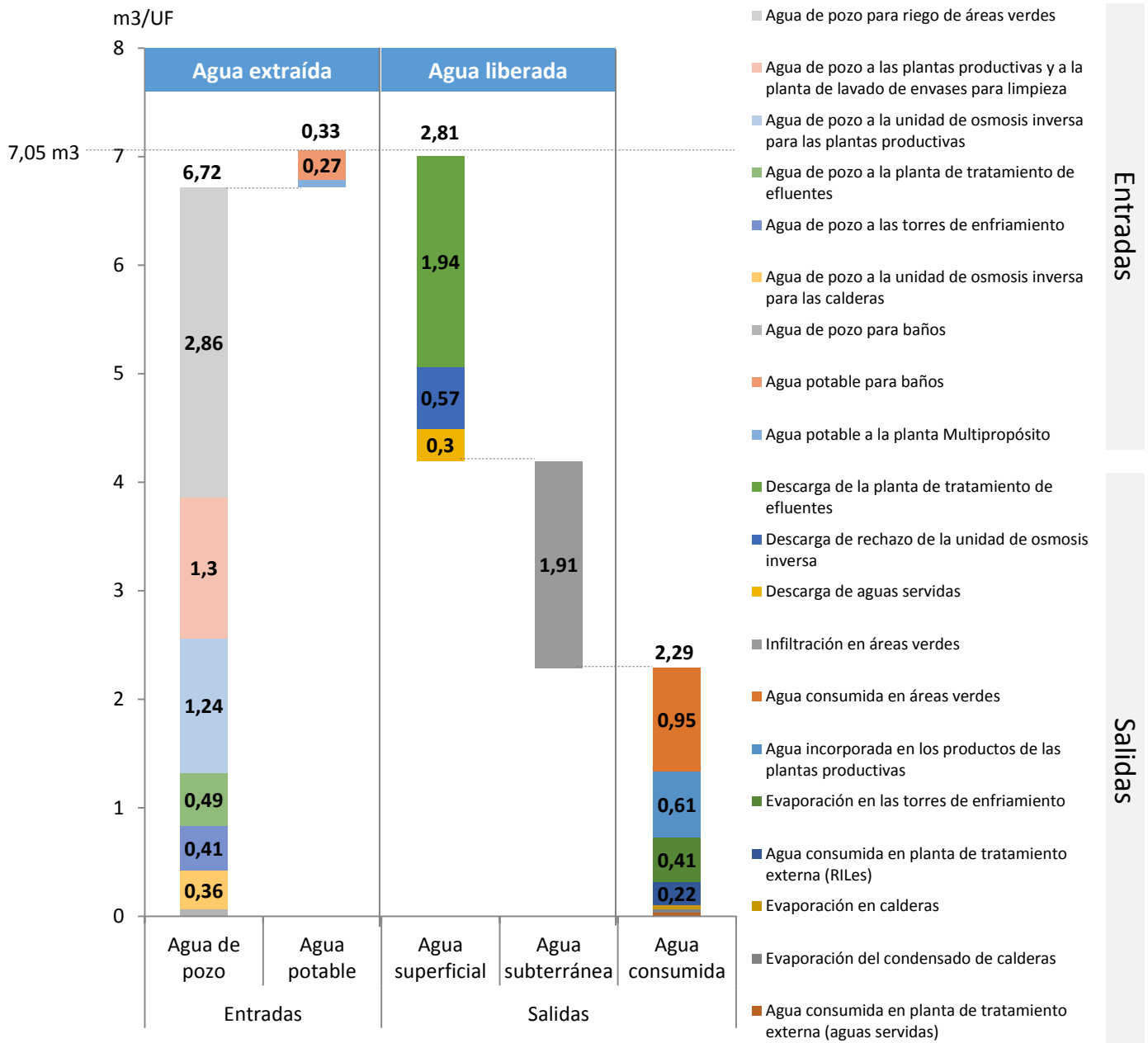


Figura 4 Balance hídrico directo por unidad funcional del Site Maipú.

La **Figura 4** muestra las distintas entradas y salidas directas de agua en orden creciente y decreciente. Se puede observar que por UF, el balance de agua es de aproximadamente 7 m3. **Del volumen total de agua que ingresó al Site, el 68% retornó al sistema hídrico de la cuenca y el 32% restante fue consumido.**

Los mayores volúmenes de agua se requieren para el riego de las áreas verdes, para limpieza en las plantas productivas y de lavado de envases y para producir agua desmineralizada en la unidad de

osmosis inversa para las plantas productivas. Por contraparte, las mayores salidas de agua del sistema son por la descarga al alcantarillado de los RILes de la planta de tratamiento interna, por la infiltración del agua de riego en las áreas verdes y por el agua de riego consumida (evapotranspiración césped y naranjos e incorporación en naranjos). Esta segregación de los usos internos de agua en el Site, permite discriminar flujos de agua con potencial de ser reusados, como por ejemplo el rechazo de la unidad de osmosis inversa que va hacia un canal superficial.

3.2 Agua consumida

El agua consumida se refiere al agua dulce extraída que no es devuelta a la cuenca de origen debido a que es evaporada, evapotranspirada, incorporada en los productos, trasvasijada de cuenca o vertida al mar. Corresponde a la huella azul de la metodología de huella hídrica de *Water Footprint Network* (WFN) (Hoekstra et al. 2011). La **Figura 5** muestra los consumos directos (agua consumida directamente por la operación del Site) e indirectos (agua consumida en los procesos de fabricación de los insumos y energías consumidos en el Site y el tratamiento de los efluentes generados) por unidad funcional producida.

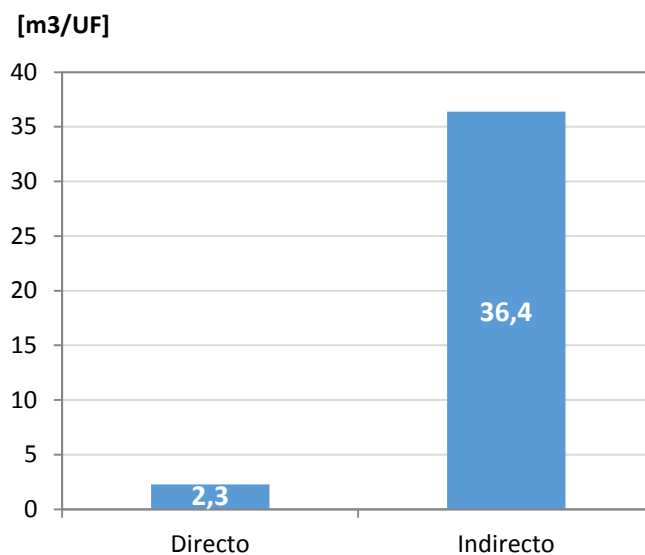


Figura 5 Agua consumida a través de usos directos e indirectos en el Site Maipú.

Según los resultados obtenidos, de los 38,7 m3 de agua consumida por tonelada total de productos fabricados, **un 94% proviene del consumo indirecto y un 6% del consumo directo**. Clariant, por su naturaleza productiva, usa una gran cantidad de insumos en su operación (alrededor de 500), lo que se traduce en que sus mayores consumos de agua sean indirectos. A continuación la **Figura 6** muestra como están conformados los consumos directos e indirectos. Debido a la magnitud de insumos que ingresa al sistema, el desglose de los consumos de agua indirectos asociados a la cadena de suministros, se hizo por planta productiva.

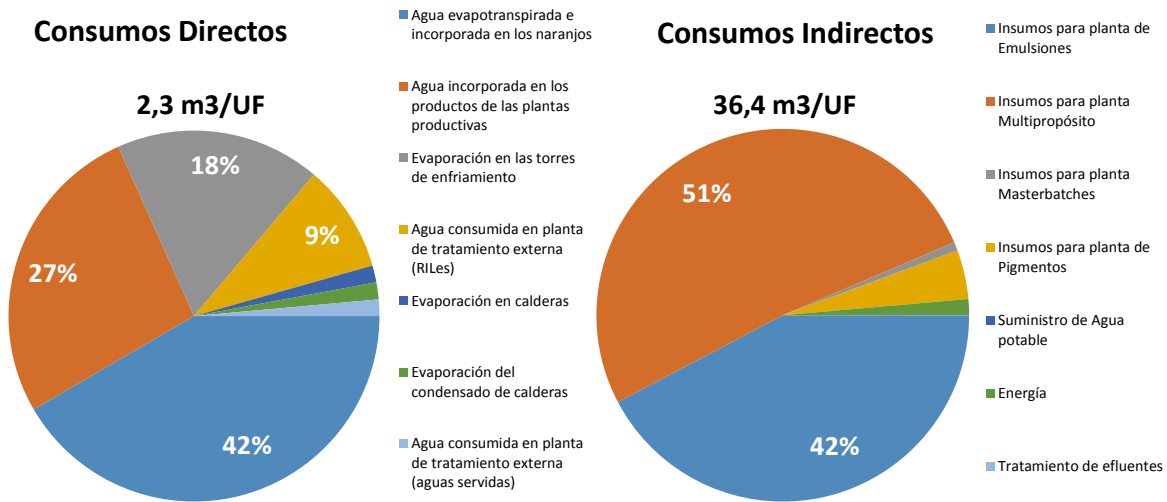


Figura 6 Fraccionamiento porcentual de agua consumida en usos directos e indirectos en el Site Maipú.

Los mayores consumos de agua directos se deben a la evapotranspiración del agua de riego en las áreas verdes y el agua integrada en los naranjos, al agua incorporada en los productos, a la evaporación en las torres de enfriamiento y al consumo de agua producido en la planta de tratamiento externa. En el caso de los consumos indirectos, las plantas más intensivas en consumo de agua son la planta multipropósito y de emulsiones, con un 51% y 42% respectivamente. A continuación la **Figura 7** hace un zoom a los consumos de agua por insumo de estas dos plantas productivas.

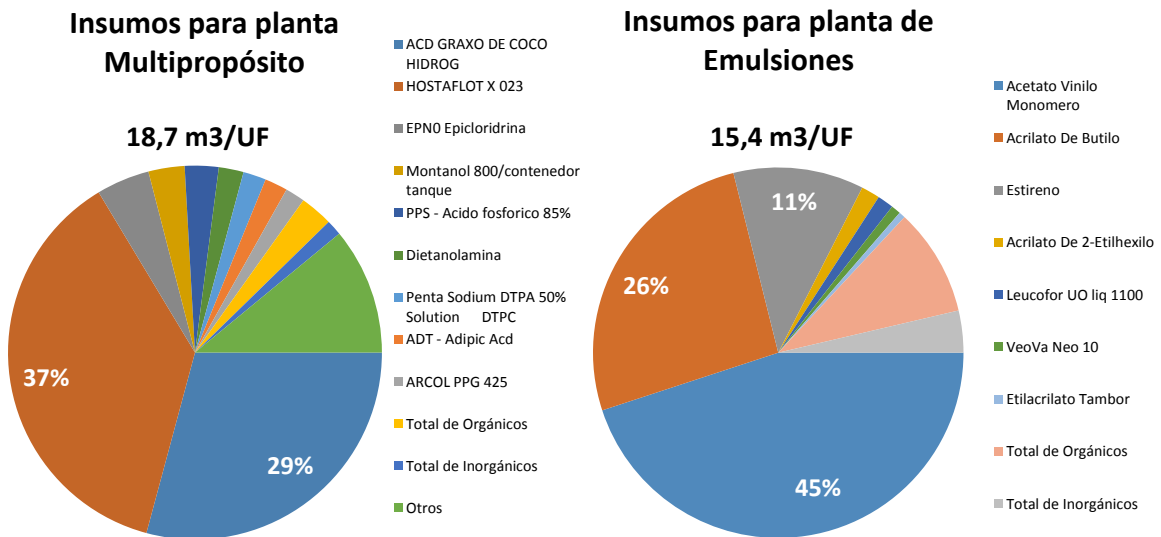


Figura 7 Consumo de agua por insumos de las plantas multipropósito y emulsiones.

Los consumos de agua en la planta multipropósito son dominados principalmente por el hostaflo x 23 y el ácido graso de coco, mientras que en la planta de emulsiones, el acetato de vinilo, el acrilato de butilo y el estireno, son los insumos que más aportan al consumo de agua. A continuación la **Tabla 3** muestra la cantidad de estos insumos consumido en el período de estudio, el proceso de la base de datos seleccionado para modelarlos y su respectivo consumo de agua. Como la materia prima para fabricar el ácido graso de coco proviene de un cultivo (palmas), el proceso de la base de datos usado está regionalizado para el lugar desde donde lo importan (Indonesia).

Tabla 3 Insumos con mayor aporte al consumo de agua indirecto, proceso seleccionado en base de datos de Quantis para su modelación y su respectivo consumo de agua.

Insumo	Cantidad consumida Oct. 2012 – Sep. 2013 (kg)	Proceso de base de datos (Quantis Water Database)	Consumo de agua (m ³ /kg)
Hostaflo x 23	1.001.935	[thio]carbamate-compounds, at regional storehouse/RER U	0,212
Acid graxo de coco hidrog	341.474	fatty alcohol, from coconut oil, at plant/RER U	0,488
Acetato Vinilo Monómero	4.724.918	vinyl acetate, at plant/RER U	0,045
Acrilato de Butilo	1.193.220	butyl acrylate, at plant/RER U	0,103
Estireno	898.733	styrene, at plant/RER U	0,06

3.3 Indicadores de impacto

3.3.1 Índice de impacto hídrico (WIIX)

El WIIX directo se calculó para cada uno de los influentes y efluentes del Site. Los RILes y aguas servidas que salen del Site Maipú, van a la planta de tratamiento El Trebal de Aguas Andinas antes de ser descargados al ambiente. Para calcular el factor de calidad del WIIX asociado a estas descargas, se asumió que los efluentes cumplen con la calidad que establece la norma de emisión vigente en Chile (DS 90). Las concentraciones de referencia que se usaron son las propuestas por Boulay et al. (2011), para una calidad de agua buena (2a). El índice de impacto hídrico además geo-referencia este impacto en la zona donde ocurre a través del índice de estrés hídrico local (*Water Stress Index, WSI*). Clariant se encuentra en una zona con extrema escasez hídrica acorde a Pfister et al. 2009 (número de Pfister de la cuenca 65345, WSI de 1). A continuación la **Figura 8** muestra el WIIX directo y total. El WIIX indirecto que se observa en la figura de WIIX total, está compuesto por la cadena de suministros, la energía y el tratamiento de los efluentes del Site.

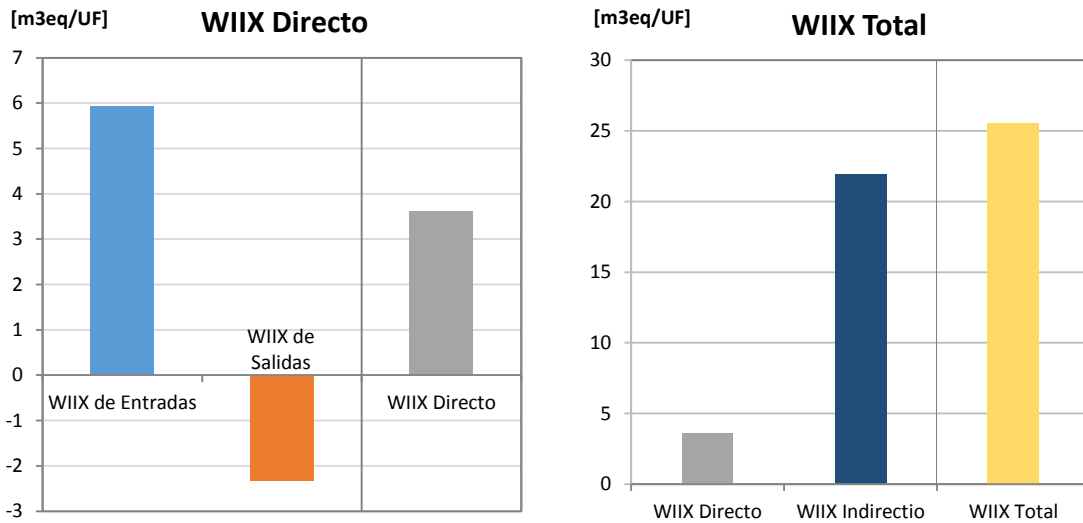


Figura 8 Cálculo del WIIX directo y WIIX total del Site Maipú.

Al igual que en los resultados de consumo de agua, el WIIX total del Site es principalmente indirecto. A continuación la **Figura 9** muestra la composición porcentual del WIIX total.

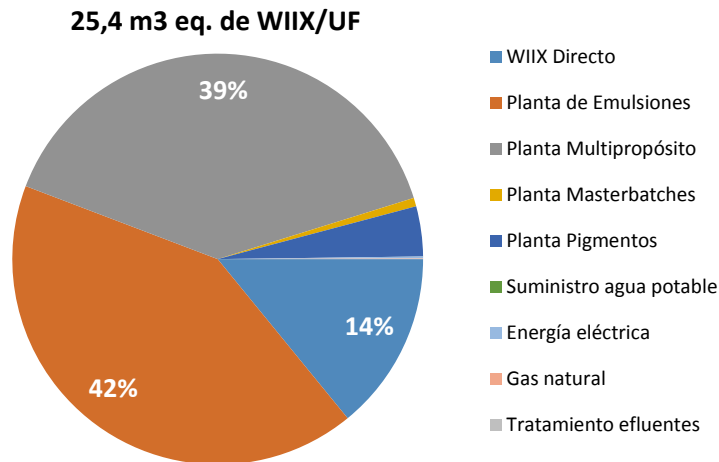


Figura 9 Composición porcentual del WIIX total del Site Maipú.

De los aproximadamente 25 m3 equivalente de WIIX total por UF, **un 14% está asociado a los usos directos de agua en el Site y un 86% a los usos indirectos, principalmente a la cadena de suministros de la planta de emulsiones (42%) y la planta multipropósito (39%)**. El acetato de vinilo, acrilato de butilo y estireno son los insumos que más aportan al índice de impacto hídrico en la planta de emulsiones, con un 48%, 25% y 10% del total de planta respectivamente, y el hostafлот, el ácido graso de coco y la epicloridrina son los insumos que más aportan en la planta multipropósito con un 43%, 10% y 9% del total de planta respectivamente.

3.3.2 Impactos potenciales en salud humana y calidad de los ecosistemas

Estos indicadores presentan estimaciones de potenciales impactos tanto por reducción de la disponibilidad de agua, al hacer un uso consuntivo del recurso, como por alterar la calidad de cuerpos receptores, al emitir contaminantes al ambiente. A continuación la **Figura 10** muestra los resultados de los potenciales impactos en la salud humana, y la **Figura 11** muestra los resultados de los potenciales impactos en la calidad de los ecosistemas (perfiles de huella hídrica). Para el cálculo de estos potenciales impactos por emisión de contaminantes producidos de manera directa, se usaron los mismos supuestos de calidad de efluentes que en el caso del WIIX.

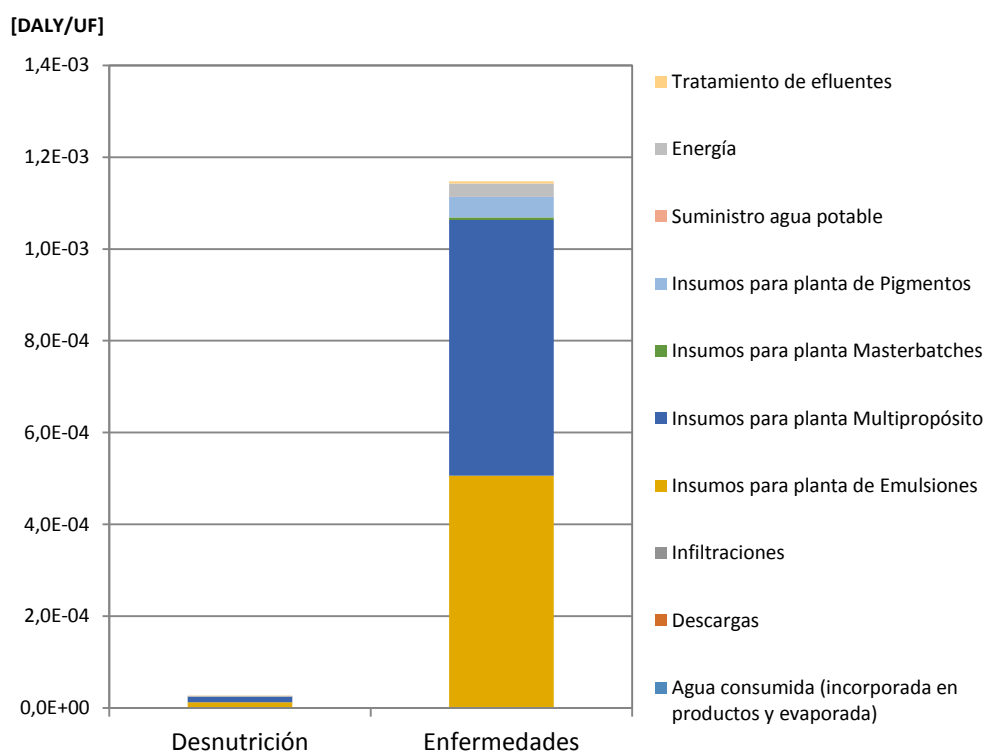


Figura 10 Potenciales impactos en la salud humana producidos de manera directa e indirecta por el Site Maipú.

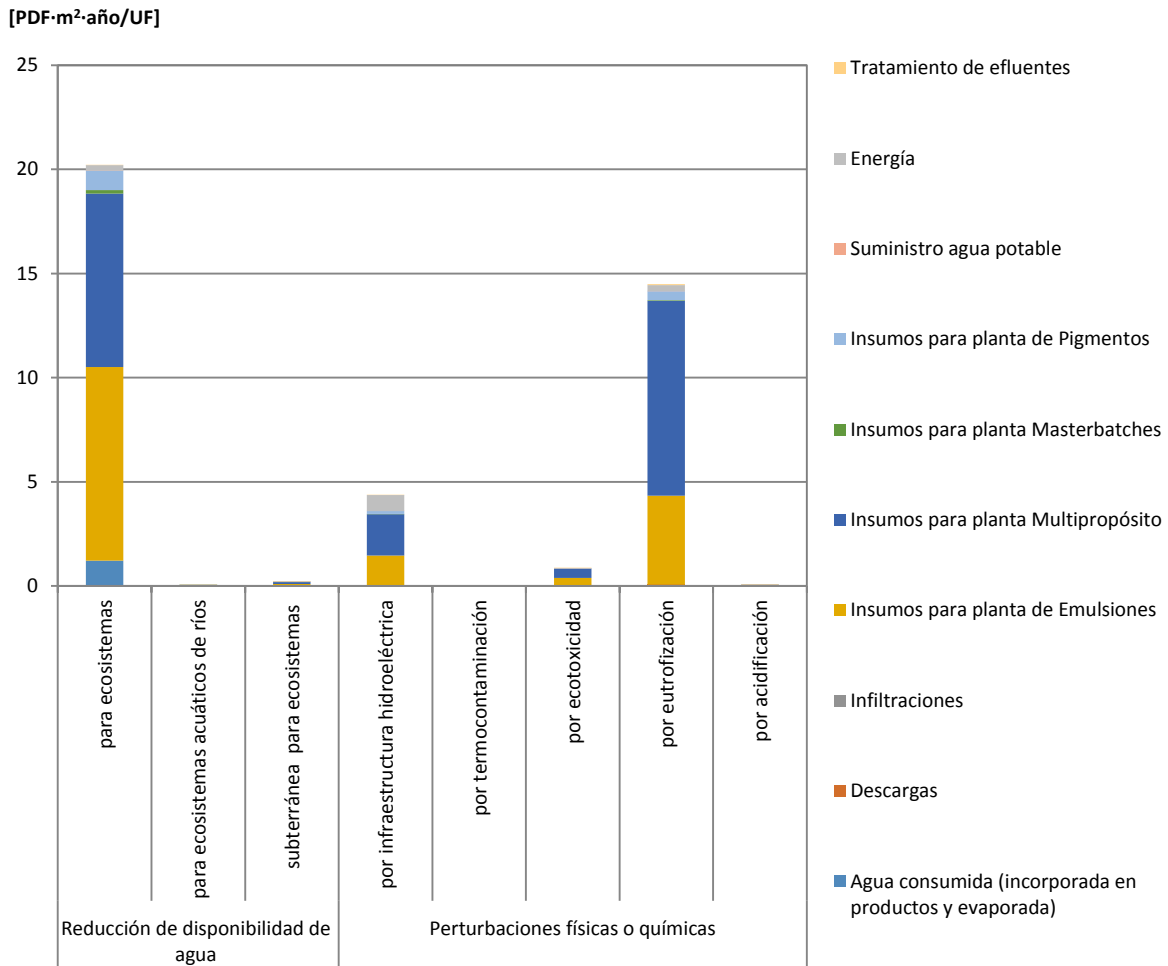


Figura 11 Potenciales impactos en la calidad de los ecosistemas producidos de manera directa e indirecta por el Site Maipú.

Los mayores impactos potenciales tanto, en salud humana como, en calidad de los ecosistemas, se deben nuevamente a los **insumos usados por las plantas multipropósito y de emulsiones** (colores dominantes en ambas gráficas). **En el caso de enfermedades en salud humana, la planta multipropósito aporta el 49% del total de los impactos, y la planta de emulsiones el 44%**. El hostafлот y el ácido fosfórico, son los insumos que mayor impacto generan de la planta multipropósito, con 48% y 12% del total de la planta respectivamente, y el acetato de vinilo, el estireno y el acrilato de butilo, son los insumos que mayor impacto generan de la planta de emulsiones, con 49%, 22% y 12% del total de la planta respectivamente. Los impactos potenciales por desnutrición se deben en un 46% a los insumos usados en la planta de emulsiones, principalmente por el acetato de vinilo, el acrilato de butilo y el estireno que contribuyen con el 45%, 26% y 11% del total de la planta, y en un 45% a la planta multipropósito, siendo el hostafлот x 23, el ácido graso de coco y la epícloridrina, los que más aportan con un 47%, 9% y 6% del total de la planta.

En los impactos potenciales hacia los ecosistemas, las categorías más afectadas son la reducción de disponibilidad de agua para ecosistemas y las perturbaciones por eutrofización. En el primer caso, **la planta de emulsiones genera el 46% de los impactos y la planta multipropósito el 41%**, mientras que en el segundo caso, **la planta multipropósito genera el 65% de los impactos y la planta de emulsiones el 30%**. El acetato de vinilo, acrilato de butilo y estireno producen el 45%, 26% y 11% de los impactos potenciales en reducción de la disponibilidad de agua para ecosistemas de la planta de emulsiones, y el hostaflo x 23 y la epicloridrina generan el mayor impacto de la planta multipropósito, con 50% y 6% respectivamente. En los impactos potenciales por eutrofización, el hostaflo x 23 y el ácido fosfórico producen el 73% y 5% de los impactos de la planta multipropósito respectivamente, y el acetato de vinilo, acrilato de butilo y estireno, son los insumos que mayor impacto generan en la planta de emulsiones, con un 67%, 11% y 7% del total de la planta respectivamente.

4 Discusión

4.1 Agua consumida

Si bien los resultados muestran que los consumos operacionales totales de agua (consumos directos más indirectos) se deben principalmente a la cadena de suministros (94%), **es importante gestionar de manera eficiente los recursos locales, ya que son los que ponen directamente en riesgo la operación del Site y además es donde se tiene mayor control para tomar medidas.** Los mayores consumos directos de agua se deben a la evapotranspiración del agua de riego en el césped y evapotranspiración e incorporación de agua de riego en los naranjos (42%), al agua incorporada en los productos del Site (27%), a la evaporación en las torres de enfriamiento (18%) y al consumo de agua producido en la planta de tratamiento externa (9%). No se pueden adoptar medidas para reducir el consumo del agua que va incorporada como receta en los productos (a menos que se innove en nuevas recetas que incluyan una menor cantidad de agua), pero si se pueden reducir los demás consumos, por ejemplo restringiendo las áreas verdes y usando mejores técnicas y protocolos de riego, manteniendo en buenas condiciones las torres de enfriamiento para evitar pérdidas excesivas por evaporación y reduciendo los efluentes generados en la planta al reusar la mayor cantidad de agua posible, siempre que su calidad lo permita (también se pueden tratar y luego reusar los efluentes). El consumo de agua que no se puede reducir, se debe abordar desarrollando proyectos de compensación en la cuenca donde se localiza la huella.

Los consumos indirectos de agua se deben principalmente al hostafloc x 23 y al ácido graso de coco usados en la planta multipropósito y al acetato de vinilo, el acrilato de butilo y el estireno usados en la planta de emulsiones. Cada uno de estos insumos aporta el 19%, 15%, 19%, 11% y 5% de los consumos indirectos respectivamente. Hay dos motivos por los que estos 5 insumos concentran el 69% del total de agua consumida de manera indirecta. Por un lado el ácido graso de coco, el hostafloc x 23 y el acrilato de butilo presentan un consumo de agua mayor en comparación a la mayoría de los demás insumos consumidos en el Site, y por otro lado, el acetato de vinilo, acrilato de butilo, hostafloc x 23 y estireno, son insumos que se consumen en grandes cantidades (**Tabla 3**), lo que se traduce en que su aporte sea significativo. Las estrategias para disminuir los consumos de agua indirectos son distintas para cada caso. Con respecto a los insumos que no tienen un consumo de agua alto pero que se usan en grandes cantidades, como el caso del acetato de vinilo, no tiene sentido gastar tiempo y recursos evaluando por cuales otros insumos se podrían cambiar, sino más bien hay que ser lo más eficientes posible en el uso de esos insumos, evitando al máximo las pérdidas que puedan ocurrir en fábrica y reutilizando todo el material posible. Además se puede investigar si se puede disminuir el consumo de estos insumos innovando en nuevos productos o en nuevos diseños de los ya existentes, que requieran una menor cantidad de materias primas en su fabricación. Para insumos que tienen un consumo de agua más significativo, como el caso del ácido graso de coco, además de minimizar las pérdidas, se debe evaluar si se puede reemplazar por otro insumo que tenga una menor huella, sino, averiguar si los proveedores están trabajando en su huella

hídrica o ver en qué lugares se produce ese insumo, para evaluar si se están realizando esfuerzos en reducir la huella hídrica y la condición de estrés hídrico de la zona de fabricación del insumo, a la hora de optar a qué proveedor comprar. El ácido graso de coco que se usa en el Site de Clariant proviene de Indonesia. Acorde a Pfister, el índice de estrés hídrico (WSI) promedio de Indonesia es de 0,18. Con la base de datos de Pfister, se puede evaluar si hay países que produzcan el ácido graso de coco y que tengan un menor WSI.

Al igual que para los consumos de agua directos que no se pueden reducir, los consumos indirectos más impactantes, se deben enfrentar implementando proyectos de compensación en la cuenca donde se produce el consumo. El propósito de los proyectos de compensación debe dirigirse a un uso mejor y más equitativo del recurso hídrico, abordando temas como suministro, purificación y conservación del agua, para ayudar a un desarrollo sostenible en la cuenca donde son ejecutados. En esta línea de trabajo, The Gold Standard⁸ presenta una certificación para este tipo de proyectos.

4.2 Índice de impacto hídrico, WIIX

El WIIX directo es afectado por el consumo de agua (aproximadamente el 32% del agua que entró al Site en el período de estudio fue consumida) y por la calidad de los afluentes y efluentes. Las principales estrategias para reducir el índice de impacto hídrico, son consumir la menor cantidad de agua posible, extraer agua de mala calidad del ambiente y devolver al ambiente agua con la mejor calidad posible luego de usarla. Los últimos dos puntos se deben a que no tiene el mismo impacto para el medio ambiente, extraer agua de buena calidad que de mala calidad, y lo mismo para las descargas, no tiene el mismo impacto devolver al ambiente agua de buena calidad que de mala calidad. Bajo ese contexto, extraer agua de mala calidad para usar en los procesos productivos (acondicionarla en fábrica si es necesario para cumplir con la calidad requerida) y devolver agua de mejor calidad al medio ambiente reduciría el impacto. El agua de pozo que extraen en el Site Maipú es bastante dura (600 mg CaCO₃/L), por lo cual tiene que ser acondicionada mediante la unidad de osmosis inversa para ser apta para algunos de los usos requeridos. En este caso el WIIX de entrada del agua de pozo se ve disminuido por el factor de calidad al ser un agua que no es de óptima calidad. Sin embargo la descarga del rechazo de la unidad de osmosis inversa se ve afectada por la alta dureza que presenta (alrededor de 1.200 mg de CaCO₃/L), lo que produce que el volumen de agua equivalente de la salida disminuya y por ende aumente el índice de impacto hídrico directo. Por su parte, la descarga de RILes y aguas servidas al ambiente se ve empeorada por la demanda biológica de oxígeno (DBO). Los RILes y aguas servidas que salen del Site como efluente son descargados al alcantarillado y conducidos a la planta de tratamiento El Trebal de Aguas Andinas. Se asumió que la descarga al ambiente de estos efluentes cumple con la calidad establecida por la norma ambiental vigente. La calidad establecida para la DBO por el DS 90 que regula la calidad de las descargas a

⁸ The Gold Standard es una fundación que busca financiar proyectos que aborden problemas ambientales contingentes para ayudar a un desarrollo sostenible, una de sus líneas de trabajo es con respecto al agua.

aguas marinas y continentales superficiales en Chile, es de 35 mg/L, y la calidad que establece Bouley et al. (2010) para una buena calidad de agua es de 5 mg/L. En base a lo comentado, las principales estrategias para abatir el WIIX directo del Site tienen que ver con disminuir el consumo de agua, reusar toda el agua posible y procurar que los efluentes tengan buena calidad.

Al igual que para los consumos de agua, los insumos que mayor WIIX generan son el acetato de vinilo, acrilato de butilo y estireno de la planta de emulsiones y el hostaflo x 23, el ácido graso de coco y la epicloridrina de la planta multipropósito. Cada uno de ellos produce el 23%, 12%, 5%, 20%, 5% y 4% del WIIX indirecto respectivamente.

4.3 Impactos potenciales en salud humana y calidad de los ecosistemas

4.3.1 Impactos potenciales en salud humana

Los impactos potenciales por toxicidad en salud humana, se encuentran en el orden de magnitud de 1×10^{-3} DALY/UF, y los impactos potenciales por desnutrición en el orden de 1×10^{-5} DALY/UF. Los impactos por toxicidad se deben a la emisión de contaminantes que potencialmente producirían enfermedades en la población, y los impactos por desnutrición, a la falta de agua para riego del sector agrícola debido al consumo de agua para otros fines, lo que potencialmente produciría falta de alimento y por lo tanto desnutrición de la población.

De manera directa no se pudieron calcular impactos potenciales por toxicidad, ya que la masa de contaminantes potencialmente tóxicos para la salud de las personas emitida en las descargas de la planta de tratamiento interna del Site de Clariant es muy pequeña, además los efluentes pasan por una planta de tratamiento externa, donde parte de la masa de estos contaminantes queda retenida, por lo que no se puede estimar de manera objetiva, la masa final de contaminante que llega al ambiente. Los impactos potenciales directos por desnutrición, se deben principalmente al consumo de agua por la evapotranspiración de las áreas verdes y por el consumo del agua que queda embebida en los productos fabricados en el Site. Cada uno produce $1,8 \times 10^{-7}$ y $1,2 \times 10^{-7}$ DALY/UF respectivamente. Como se comentó anteriormente, disminuir el consumo del agua que va como receta en los productos es difícil o no es posible (se puede abordar con proyectos de compensación), sin embargo la evapotranspiración de las áreas verdes se puede reducir, disminuyendo las zonas de áreas verdes, mejorando las técnicas y horarios de riego y prefiriendo especies autóctonas que consuman menos agua. El Site Maipú tiene 3 hectáreas de áreas verdes, de las cuales aproximadamente 2,5 son de cultivo de naranjos y 0,5 de césped. Los naranjos se riegan por goteo y el césped por aspersión. Para Clariant es importante mantener los naranjos ya que una vez al año se realiza la cosecha de las naranjas con las familias de los trabajadores y ya se ha convertido en una tradición. El césped se encuentra esparcido en diversas áreas del Site. Las zonas de césped se deben escoger de manera estratégica, prefiriendo zonas que sean vistosas o de descanso del personal y

eliminando áreas verdes en zonas que no tenga sentido tenerlas. Además es importante mantener los sistemas de riego en buenas condiciones para evitar posibles filtraciones.

Los impactos potenciales indirectos por toxicidad en salud humana, se deben en su mayoría al hostaflo x 23 y al ácido fosfórico usados en la planta multipropósito y al acetato de vinilo, estireno y acrilato de butilo usados en la planta de emulsiones. Cada uno de estos insumos genera $2,7 \times 10^{-4}$, $6,8 \times 10^{-5}$, $2,5 \times 10^{-4}$, $1,1 \times 10^{-4}$ y $6,3 \times 10^{-5}$ DALY/UF respectivamente. Los impactos potenciales indirectos por desnutrición, son producidos principalmente por el acetato de vinilo ($5,4 \times 10^{-6}$ DALY/UF), acrilato de butilo ($3,2 \times 10^{-6}$ DALY/UF) y estireno ($1,4 \times 10^{-6}$ DALY/UF) usados en la planta de emulsiones y por el hostaflo x 23 ($5,5 \times 10^{-6}$ DALY/UF), el ácido graso de coco ($1,1 \times 10^{-6}$ DALY/UF) y la epicloridrina ($6,8 \times 10^{-7}$ DALY/UF) de la planta multipropósito.

4.3.2 Impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas

Dentro de los impactos potenciales para la calidad de los ecosistemas, las categorías más afectadas son la reducción de disponibilidad de agua para ecosistemas y las perturbaciones por eutrofización. La reducción de disponibilidad de agua para ecosistemas mide el impacto potencial en los ecosistemas causado por consumo de agua dulce. Este indicador de categoría de impacto, tiene en cuenta el daño a la vegetación por menor disponibilidad de agua, debido al consumo de agua para otros fines. Las perturbaciones por eutrofización miden el impacto potencial en los ecosistemas de agua dulce causado por eutrofización. Este indicador de categoría de impacto, tiene en cuenta los daños a la biodiversidad de los ecosistemas de agua dulce por emisión de fósforo y/o otras sustancias eutrofizantes. En los dos casos el orden de magnitud de los impactos es de 1×10^{-1} PDF*m²*y/UF.

De manera directa, los impactos potenciales por disminución de disponibilidad de agua para ecosistemas, se deben principalmente a los puntos de mayor consumo de agua en el Site (evapotranspiración del agua usada en la irrigación de las áreas verdes, agua incorporada en los productos de fábrica y evaporación en las torres de enfriamiento). La evapotranspiración en áreas verdes produce $4,8 \times 10^{-1}$ PDF*m²*y/UF, el agua incorporada en los productos $3,1 \times 10^{-1}$ PDF*m²*y/UF y la evaporación en las torres $2,1 \times 10^{-1}$ PDF*m²*y/UF. No se pudieron calcular impactos potenciales directos por eutrofización, ya que no se pudo estimar emisiones de fósforo al ambiente de manera objetiva. Es difícil saber cuál es exactamente la calidad con la que llegan al ambiente los efluentes del Site de Clariant, o mejor dicho la masa de contaminante que llega al ambiente debido a que es emitida en los efluentes del Site, ya que al pasar estos efluentes por una planta de tratamiento externa, para cumplir con la norma de descarga al ambiente, éstos se mezclan con otros efluentes de otras industrias y hogares antes de llegar a cuerpos de agua superficiales. Además parte de la masa de contaminantes emitidos en los efluentes del Site, queda retenida en los lodos de la planta de tratamiento externa.

Los impactos potenciales indirectos por disminución de la disponibilidad de agua para ecosistemas se deben especialmente al acetato de vinilo, al acrilato de butilo y al estireno de la planta de emulsiones, y al hostafлот x 23, la epicloridrina y al montanol usados en la planta multipropósito. Cada uno de ellos genera 4,2, 2,4, 1,1, 4,2, 0,5 y 0,4 PDF*m²*y/UF respectivamente. Los impactos potenciales indirectos por eutrofización, se explican en su mayoría por el hostafлот x 23 de la planta multipropósito que genera 6,8 PDF*m²*y/UF, y por el acetato de vinilo, acrilato de butilo y estireno usados en la planta de emulsiones, que generan 2,9, 0,5 y 0,3 PDF*m²*y/UF respectivamente.

4.4 Análisis de sensibilidad

Para el análisis de sensibilidad se cambiaron los procesos seleccionados para modelar la huella hídrica de los insumos ácido graso de coco y montanol de la planta multipropósito y del insumo leucofor de la planta de emulsiones. Se escogieron estos tres insumos ya que presentan incertidumbre en los procesos usados para su modelación, lo que potencialmente podría estar encubriendo algunos resultados. El ácido graso de coco, es uno de los insumos que tiene mayor consumo de agua asociado y los otros dos insumos presentaron aportes moderados a la huella hídrica. No se realizó un análisis de sensibilidad a otros insumos que presentaron aportes significativos a la huella hídrica como el hostafлот x 23, el acetato de vinilo, el acrilato de butilo o el estireno, porque los procesos seleccionados para su modelación son los más correctos en base a la información disponible.

A continuación la **Tabla 4** muestra los insumos a los que se les realizó el análisis de sensibilidad, los procesos usados para modelar la huella hídrica de estos insumos en el estudio y los nuevos procesos con los que se realizó el análisis de sensibilidad.

Tabla 4 Procesos seleccionados para realizar el análisis de sensibilidad de los insumos escogidos.

Insumo	Proceso de base de datos usado para el estudio	Nuevo proceso de base de datos usado para el análisis de sensibilidad
Acd graxo de coco hidrog	fatty alcohol, from coconut oil, at plant/RER U	fatty acids, from vegetarian oil, at plant/RER U
Montanol	chemicals organic, at plant/GLO U	1-pentanol, at plant/RER U
Leucofor	chemicals organic, at plant/GLO U	DAS-1, fluorescent whitening agent triazinylaminostilben type, at plant/RER U

El ácido graso de coco como su nombre lo indica es un ácido graso que proviene del coco. Para modelar este insumo en el estudio se usó alcohol graso de coco ya que no está el proceso para ácido graso de coco. Para el análisis de sensibilidad se usó el proceso ácido graso de aceite vegetal para ver la incidencia de este cambio de proceso en los resultados. Para modelar el montanol se escogió el proceso del pentanol, ya que el montanol es un alcohol que tiene una cadena de 21 carbonos y en la base de datos el alcohol de cadena más larga es el pentanol, que tiene una cadena de 5

carbonos. De todas formas existe una diferencia significativa en el tamaño de la cadena de carbono, por lo que el proceso sigue sin ser el más apropiado para describir el montanol. Para el análisis de sensibilidad del leucofor se usó el proceso DAS-1, que también es un sulfonato aromático. A continuación la **Tabla 5** muestra la variación en los resultados de huella hídrica obtenidos al cambiar los procesos de los insumos comentados. El escenario base muestra los resultados obtenidos en el estudio, el escenario 1 muestra los resultados al cambiar el proceso del ácido graso de coco, el escenario 2 muestra los resultados al cambiar el proceso del montanol y el escenario 3 muestra los resultados al cambiar el proceso del leucofor.

Tabla 5 Variación en los resultados de huella hídrica al realizar un análisis de sensibilidad a los insumos ácido graso de coco, montanol y leucofor.

Parámetro de la huella hídrica	Escenario base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Consumo indirecto de agua (m3/UF)	36,4	35,9	36,9	41,2
WIIX indirecto (m3eq/UF)	21,9	22,5	22,2	29,1
Impactos potenciales indirectos por toxicidad (DALY/UF)	$1,1 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-3}$
Impactos potenciales indirectos por desnutrición (DALY/UF)	$2,6 \times 10^{-5}$	$2,5 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-5}$	$2,9 \times 10^{-5}$
Impactos potenciales indirectos por reducción de disponibilidad de agua para ecosistemas (PDF*m2*año/UF)	19	19	19,3	22
Impactos potenciales indirectos por eutrofización (PDF*m2*año/UF)	14,4	14,4	14,5	14,5

Al cambiar el proceso para el ácido graso de coco de alcohol graso de coco por ácido graso de aceite vegetal, los resultados obtenidos se mantienen prácticamente iguales, en ninguno de ellos se observa un cambio significativo. Lo mismo ocurre al realizar el análisis de sensibilidad para el montanol, los resultados globales se mantienen sin variación. Sin embargo en el análisis de sensibilidad realizado al leucofor, si se obtiene un cambio significativo en algunos de los resultados expuestos. El consumo indirecto de agua aumenta en un 13% y el leucofor pasa a ser el segundo insumo con mayor consumo de agua de la planta de emulsiones (después del acetato de vinilo) con un 25% del consumo total de agua de la planta. El WIIX indirecto aumenta en un 32% y específicamente la planta de emulsiones aumenta de un 42% de aporte al WIIX total a un 54%, siendo el leucofor el insumo que mayor WIIX genera en la planta de emulsiones con un 41% del total de planta. La categoría de punto final que presenta un cambio significativo es la disminución de la disponibilidad de agua para ecosistemas, que aumenta en 14%. La planta de emulsiones aumenta su aporte a este impacto de 46%, en el escenario base, a 53% y el leucofor pasa de generar el 1% del impacto de la planta, a generar el 25%, siendo el segundo insumo con mayor impacto después del acetato de vinilo.

Si bien el análisis de sensibilidad para el insumo leucofor usado en la planta de emulsiones muestra un cambio significativo en algunos de los resultados obtenidos, de todas maneras en ninguno de los tres análisis cambió el orden de magnitud de los resultados obtenidos con respecto a los resultados base.

4.5 Limitaciones del estudio

Los resultados presentados están limitados a los objetivos y alcance mencionados anteriormente. Es importante recordar que el estudio se aplica al Site Maipú como un todo y no se puede usar como evaluación de la huella hídrica de los diferentes productos del Site. Algunas de las limitaciones en los resultados presentados son:

- Se asume que todos los procesos de producción incluyen un sistema de gestión promedio. Esto quiere decir, por ejemplo, que los derrames accidentales de reactivos no son considerados en los procesos de producción de las sustancias químicas.
- Debido a la magnitud de los insumos, las sustancias químicas que se usan en menor cantidad fueron consideradas como químicos orgánicos o inorgánicos estándar, lo que excluye procesos específicos que puedan existir en la producción de algunas sustancias.
- Para modelar la huella hídrica indirecta, asociada a la cadena de suministros, energías y tratamiento, se usó información secundaria de la base de datos de Quantis. Para que esta información describa mejor la realidad del Site Maipú de Clariant, debería estar regionalizada para Chile.
- Los factores de caracterización usados para la evaluación de impactos producidos de manera directa, con excepción del WSI y los factores de escasez de Pfister que se usaron factores por cuenca, no están regionalizados para Chile. Para que los cálculos directos describan mejor la realidad del Site Maipú de Clariant, los factores de caracterización deberían estar regionalizados para Chile.
- No se sabe la calidad exacta con la que llegan al ambiente los RILes y aguas servidas que salen del Site y pasan por la planta de tratamiento El Trebal de Aguas Andinas antes de ser descargados al ambiente (cuerpos superficiales). Para estos casos se asumió la calidad que exige la norma ambiental vigente en Chile, debido a que son tratados en una planta externa que debe cumplir con esa calidad.
- No se incluyeron en el estudio los siguientes aspectos: insumos de embalaje, el transporte de los insumos hacia el Site, fabricación y mantención de los equipos y reactores usados

para elaborar los productos químicos, los fertilizantes y pesticidas usados en las áreas verdes, los insumos administrativos y el transporte y alimentación del personal de planta.

- El estudio contempla solamente los potenciales impactos ambientales asociados al consumo y contaminación del agua, dejando de lado otros impactos, como impactos ambientales por emisión de gases de efecto invernadero, uso de suelo, etc. o impactos sociales.

5 Conclusiones y recomendaciones

El Site de Clariant ubicado en Maipú, se encuentra en un lugar con extrema escasez hídrica acorde a Pfister et al. (2009). El WSI del lugar tiene un valor de 1. El WSI estima el estrés hídrico asociado al suministro y la demanda de agua en una zona determinada. La magnitud del WSI de la zona donde se encuentra el Site Maipú, indica que el agua debe ser usada teniendo en cuenta el riesgo de agotamiento, más aún al ser un sector industrial. **Esto implica que se deben hacer esfuerzos colectivos para cuidar los recursos locales.** En base a lo comentado es importante invertir recursos en mejorar los usos directos de agua en el Site, ya que es el principal riesgo (de agotamiento) al que están expuestos.

Los resultados muestran que los mayores consumos de agua e impactos se deben a la cadena de suministro, especialmente al hostafloc x 23, el ácido graso de coco y la epicloridrina usados en la planta multipropósito y al acetato de vinilo, el acrilato de butilo y el estireno usados en la planta de emulsiones. Además el análisis de sensibilidad mostró que el leucofor también es un insumo que genera una huella hídrica significativa.

Del análisis de huella hídrica se puede identificar dónde focalizar los esfuerzos en acciones de reducción de consumos de agua. De todas maneras es importante siempre usar el recurso de manera eficiente, incluso en usos que a simple vista no sean tan importantes, ya que muchas veces donde se pueden adoptar medidas rápidas y eficientes, no coincide con los puntos donde se encuentran los mayores consumos, y además la sumatoria de pequeños cambios puede ser significativa.

El enfoque de análisis de ciclo de vida aplicado a la huella hídrica, es una herramienta útil en lograr la correlación que existe entre el consumo y degradación del recurso hídrico y los respectivos impactos potenciales producidos. Además de determinar en qué parte de la línea productiva se encuentran los mayores impactos. Los resultados obtenidos a partir de la medición de huella hídrica son de gran valor a la hora de tomar decisiones con respecto a la gestión estratégica del agua.

5.1 Primeras acciones de reducción/mitigación propuestas en el uso de agua

- Recircular el agua de enfriamiento de la planta de masterbatches que se vierte al canal de efluentes. Potencialmente se evitaría la extracción de unos 600 - 700 m³/mes de agua desde el acuífero.
- Recuperar y reusar el condensado del vapor que usa la planta multipropósito para calentar los reactores del proceso. Potencialmente se evitaría la extracción de unos 50 m³/mes de agua desde el acuífero.
- Reusar el rechazo de la unidad de osmosis inversa por ejemplo en operaciones de lavado.
- Mantener las torres de enfriamiento en buenas condiciones para evitar pérdidas excesivas de agua por evaporación.
- Reducir la cantidad de agua usada en la planta de lavado de envases, estableciendo procedimientos operacionales de lavado e introduciendo mejoras tecnológicas.
- Restringir las áreas verdes a lugares clave, que sean vistosos y de descanso del personal. Preferir flora nativa y disminuir el césped, que tiene una gran evapotranspiración. Realizar los riegos en la mañana o en la tarde, en horarios donde no llegue la radiación solar en forma directa para evitar que la mayor parte del agua se evapore. Además es importante instalar caudalímetros en las líneas de riego para saber en forma ajustada cuánta agua se usa para este fin, diferenciando los caudales de riego por goteo y por aspersión. También se podría automatizar el riego, estableciendo protocolos adecuados para el tiempo de riego, con esta medida se puede evitar el sobreuso de agua por parte del operador encargado.
- Instalar en los baños y camarines grifería de ahorro, para disminuir la cantidad de aguas servidas que se generan en planta.
- Evaluar posibles reusos de las aguas grises (lava manos y duchas).
- Concientizar a los trabajadores de planta en la importancia de un uso responsable del recurso hídrico.
- Reusar todo el material posible, minimizando las pérdidas que puedan haber en el proceso. Mantener las máquinas del proceso en buenas condiciones para evitar pérdida de material.

- Informarse de si sus proveedores están midiendo y gestionando su huella hídrica, y preferir proveedores que estén realizando proyectos en esta temática.
- Ver la factibilidad de reemplazar insumos por otros que tengan una menor huella hídrica o por el mismo insumo fabricado por otros procesos que tengan menor huella o se fabriquen en países poco estresados desde el punto de vista hídrico.
- La huella residual que no se puede mitigar, se debe abordar realizando proyectos de compensación cuyo objetivo sean el uso equitativo, eficiente y sustentable del agua en la cuenca donde la huella hídrica se localiza.

La **Tabla 6** presenta una síntesis de las primeras medidas de mitigación en el uso de agua identificadas para Clariant.

Tabla 6 Síntesis de las primeras medidas de mitigación en el uso de agua identificadas para el Site de Clariant.

Área de aplicación	Situación actual	Medida propuesta
General planta	Actualmente no hay instrumentos de medición de caudal en las líneas de riego	Instalar caudalímetros para conocer flujos reales de uso de agua. Diferenciar el caudal de agua para riego por goteo (naranjos) y por aspersión (césped)
Recuperación de aguas en proceso	En algunas áreas, por ejemplo en masterbatch, se descargan aguas factibles de ser reutilizadas. Lo mismo sucede con las aguas de rechazo de la unidad de osmosis inversa empleada para acondicionar las aguas de ingreso al proceso.	Recircular y reusar las aguas que su calidad lo permita, por ejemplo para regadío u operaciones internas de la planta como en operaciones de lavado.
Reuso de aguas tratadas	El Site cuenta con una planta de tratamiento físico-químico y posterior descarga al alcantarillado.	Análisis de la calidad de estas aguas para su potencial reuso.
Operaciones de lavado de equipos (IBC/reactores)	En algunas operaciones de lavado el parámetro de "limpieza" es definido por el criterio del operador.	Desarrollar protocolos de lavado específicos a la operación y en base a la experiencia de los operarios. Incorporar mejoras tecnológicas.
Áreas verdes	El Site tiene aproximadamente 3 hectareas de áreas verdes.	Limitar las áreas verdes a lugares clave, eliminando el césped en zonas que no tenga sentido tenerlo. Protocolizar el riego.
Sensibilización del personal	El personal de planta no siempre tiene conciencia de que debe cuidar el recurso hídrico.	Hacer campañas para que el personal de planta aprenda que debe cuidar y usar de manera responsable el agua.

6 Referencias

Althaus, H. -J., Chudacoff, M., Hischier, R., Jungbluth, N., Osses, M., Primas, A. (2007). Life cycle inventories of chemicals. Ecoinvent report No. 8, V2.0. Swiss centre for life cycle inventories, Dübendorf, CH.

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

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

Brouwer, C., Prins, K., Heibloem, M. (1989). Irrigation water management: irrigation scheduling. Training manual, 4.

Doka, G. (2009). Life cycle inventories of waste treatment services. Ecoinvent report No. 13. Swiss centre for life cycle inventories, Dübendorf, CH.

Fais Emmenegger, M., Heck, T., Jungbluth, N., Tuchschnid, M. (2007). Erdgas. Final report ecoinvent No. 6-V. Swiss centre for life cycle inventories, Dübendorf, CH.

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

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

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

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

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

ISO 14040. (2006). Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework.

ISO 14044. (2006). Environmental management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines.

ISO 14046. (2014). Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines.

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

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

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

Pfister, S., Saner, D., & Koehler, A. (2011). The environmental relevance of freshwater consumption in global power production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(6), 580-591.

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

Shiklomanov, I. A. (1993). *World water resources. Water in Crisis*. New York, Oxford.

United Nations World Water Development Report. (2014). “Water and Energy”. Volume 1.

United States Environmental Protection Agency. (2003). *National management measures to control nonpoint source pollution from agriculture. Chapter 4F: irrigation water management*.

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

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

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

International Water Management Institute.
<http://www.iwmi.cgiar.org/>

7 Anexos

7.1 Anexo A: resultados en base a 1 año de operación como unidad funcional

Tabla 7 Principales resultados de la evaluación de huella hídrica en base a 1 año de operación como unidad funcional (octubre 2012 – septiembre 2013).

Parámetro de la huella hídrica	Unidad	Ítem	Valor	Porcentaje
Consumo de agua	m ³ /año	Consumo directo	69.901	6%
		Consumo indirecto	1.111.670	94%
		Consumo total	1.181.571	---
Índice de impacto hídrico	m ³ eq WIIX/año	WIIX directo	106.058	14%
		WIIX indirecto	670.037	86%
		WIIX total	776.095	---
Potencial impacto por toxicidad	DALY/año	Impacto directo	0	0%
		Impacto indirecto	35	100%
		Impacto total	35	0
Potencial impacto por desnutrición	DALY/año	Impacto directo	0,01	2%
		Impacto indirecto	0,78	98%
		Impacto total	0,79	---
Impacto potencial por reducción de la disponibilidad de agua para ecosistemas	PDF*m ² *y/año	Impacto directo	35.289	6%
		Impacto indirecto	580.153	94%
		Impacto total	615.442	0
Impacto potencial por eutrofización	PDF*m ² *y/año	Impacto directo	0	0%
		Impacto indirecto	440.890	100%
		Impacto total	440.890	---
Impacto potencial por infraestructura hidroeléctrica	PDF*m ² *y/año	Impacto directo	0	0%
		Impacto indirecto	133.532	100%
		Impacto total	133.532	---

7.2 Anexo B: revisión crítica

Date: **24 November 2015**
Reviewer (Internal independent expert): **Xavier Bengoa**
Quantis
EPFL Innovation Park, Bat D, 1015 Lausanne, Switzerland
+41 21 693 91 93
xavier.bengoa@quantis-intl.com

Study commissioner: **SDC and Clariant**
Study practitioner: Claudia Galleguillos (claudia.galleguillos@fch.cl), Sebastián Papi (sebastian.papi@fch.cl), Gonzalo León (gonzalo.leon@fch.cl), Michelle Hervé (michelle.herve@fch.cl)

Title of the study and version of the report (date if relevant): **Evaluación de huella hídrica al Site Maipú de Clariant acorde a la norma ISO 14046**

This critical review was done based on the final report of the water footprint study, according to ISO 14'046. All editorial and other minor comments were intentionally excluded from the comments reported below and addressed directly by the study practitioners. The water footprint study was realized by the practitioner with the scientific support of Quantis team along the study. Quantis ensured the relevance of the goal and scope, inventory, impact assessment and interpretation of the water footprint study.

I ensure that I, Xavier Bengoa, was not involved directly in the water footprint study realization and neither in the scientific support to the practitioner. I am an internal independent expert according to the definition of the critical review norm ISO 14'071.

The critical review process ensured that:

- The methods used to carry out the LCA are consistent with ISO 14'046
- The methods used to carry out the LCA are scientifically and technically valid
- The data used are appropriate and reasonable in relation to the goal of the study
- The interpretations reflect the limitations identified and the goal of the study
- The study report is transparent and consistent

The answers and adaptations made in the report by the study practitioner were adequate and accepted by the reviewer

#	Position	Reviewer comment	Reviewer recommendation	Response from the practitioner
1	p. 8 (Executive summary)	The temporal boundaries and reference flows of the system studied are stated, but not the functional unit.	Clearly state the functional unit in the executive summary.	Implementado.
2	s. 2.4, figure 2 (System boundaries)	The following aspects are unclear on figure 2: <ul style="list-style-type: none"> - Are chemical products packaged? - What does the dashed line refer to? Apparently not the system boundaries, since inputs (in the left) and treatment of outputs (to the top) are also included in the assessment - Emissions should also exit the site, and be included in the system boundaries - It is not clear if there is on-site transport of products or people, being included/excluded of the system boundaries - Water released should be distinguished from water evaporated (consumed) - The term "otros" is not self-explanatory (even if explained below). Such "stages" or "categories" should be avoided 	Please adapt figure accordingly or provide more detail in the text.	Implementado.
3	s. 2.3 (Functional unit)	The functional unit is defined as " <i>una tonelada total de productos</i> ". It is not explained which products are included in this FU. Since there are 4 plants for different products, it should be stated how this ton is split between different products (or products categories ; e.g. X kg of product A, Y kg of product B, etc. Total 1000 kg). This would add understandability and transparency of the assessment.	Provide more information on the products included in the functional unit, if the ton of products is kept as FU.	Implementado.
4	s. 2.3 (Functional unit)	The functional unit is defined as " <i>una tonelada total de productos</i> ". This is the reference flow. The functional unit should qualify where the ton of chemicals is assessed (at Maipu's site exit gate), when (produced between Oct. 2012 and Sep. 2013), how (packaged)	Provide geographical and temporal information in the functional unit.	Implementado.

#	Position	Reviewer comment	Reviewer recommendation	Response from the practitioner
5	s. 2.5 (Allocation rules)	It is not clear if all inputs and outputs to/from the Maipu site are simply allocated to the ton of products. When possible, specific inputs/outputs should be only allocated to the unit (plant or dependency) they are involved with. It should also be explained how the use of recycled materials (e.g. for packaging), the recycling of waste or energy recovery from incineration (if any) are handled. The choice of general mass allocation needs further justification.	Further detail this section	Implementado.
6	s. 2.3 (Functional unit)	Since you do not differentiate between input/output flows used in the different production units, the mass allocation results in undifferentiated impacts per product category. Hence, it could have been more straightforward to pick 1 year of operations as the FU. Now that the choice to use 1 ton of products has been made, you should provide justification and highlight that this is due to convenience (or other justification), and should not be interpreted as an approach aimed to assess the water footprint of Clariant products.	Consider changing the functional unit to 1 year of operations, or provide justification for choosing 1 ton of undifferentiated products. Also highlight this point in the limitations	Implementado. Se agregó una tabla con resultados usando 1 año de operación como unidad funcional en el anexo A.
7	s.3.1 figure 4 (Direct water balance)	Figure 4 is rather difficult to understand at first sight. Some indications are missing/misleading.	To improve readability, it would be recommended to add dashed lines between the top of "groundwater entry" and the bottom of "tap water" ; same between the bottom of "water consumed" and the top of "surface water", etc. As per example below:	Implementado.

#	Position	Reviewer comment	Reviewer recommendation	Response from the practitioner
			<p>The chart displays water balance data. On the left, 'Freshwater withdrawal' is shown with four categories: Surface water (without cooling) at 59, Surface water (cooling water only) at 56, Groundwater shallow at 13, and Groundwater other at 2. On the right, 'Water released' is shown with four categories: Surface water (without cooling) at 53, Surface water (cooling water only) at 45, Groundwater all at 1, and Consumed water at 27. A dashed horizontal line is drawn at the 140 level on the y-axis.</p>	
			<p>Also, indicate the total per water type, since it not straightforward, either on the graph and/or in the text below</p> <p>The label "agua consumida" is misleading, since it only accounts for the direct water consumed. I suggest you change the label to "Agua consumida (directo)"</p>	
8	s.3.2 (Water consumed)	Irrigation of coconut palm trees can vary a lot among countries and practices. Given its relative high contribution, it should be assessed/discussed to which extent the data from the Quantis Water Database is representative of Carient's supply chain of coconut oil fatty alcohol. Typically, information on the production countries would be useful for a critical analysis.	Provide more information on the sourcing of coconut oil at the Maipu site and discuss limitations related to data on irrigation water of coconut palm trees.	Implementado.
9	s. 4.1 (Discussion)	About potential reduction of water consumption: Typically, one could check if other types of fatty acids (from other crops than coconut, as in the sensitivity analysis) result in lower blue water footprint, or check with suppliers	Be more specific in recommendations.	Implementado.

#	Position	Reviewer comment	Reviewer recommendation	Response from the practitioner
		where the coconut is actually produced with specific concern on the efficiency of irrigation practices.		
10	s.4.5 (Study limitations)	Please add your thoughts about limitations related to the data used (e.g. the fatty acid from coconut), and about the general uncertainty of the methods Repeat here that the study applies to the Maipu site as a whole, but should not be used for assessing the water footprint of the different products (or product categories) from the Maipu site Also reflect on packaging. It is not clear whether packaging inputs were included in the system boundaries.	Be more specific in study limitations	Implementado.
11	s.4.5 (Study limitations)	Several limitations listed should be put in relation to the system boundaries, such as the exclusion of fertilizers, pesticides, and transports of input products.	Ensure consistency between limitations and description of the system boundaries.	Implementado.

