

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

**“Metodología práctica para la cuantificación de la huella de agua en Plantas
Empacadoras de banano en Costa Rica”**

Ana Lorena Vallejo Chaverri

CARTAGO, septiembre, 2015



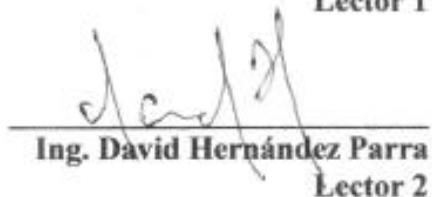
“Metodología práctica para la cuantificación de la huella de agua en Plantas Empacadoras de banano en Costa Rica”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

Miembros del tribunal


M.Sc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Director


Ing. Luis Guillermo Valerio Pérez
Lector 1


Ing. David Hernández Parra
Lector 2


Dr. Luis Guillermo Romero Esquivel
Coordinador COTRAFIG


Dra. Floria Roa Gutiérrez
Directora Escuela de Química


M.Sc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Coordinador Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

“Trabajen de buena gana en todo lo que hagan, como si fuera para el Señor y no para la gente.” Col 3:23 (La Biblia, NTV)

AGRADECIMIENTOS

Cuando una cuota de excelencia es agregada al esfuerzo debe ser exaltada, con esto en mente, quisiera extender un agradecimiento a mi familia por todo su apoyo, y especialmente a mi papá M.Sc. Miguel Vallejo, al Ing. Sergio Laprade Coordinador de Protección Ambiental de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA), y a mi directora de tesis M.Sc. Ana Lorena Arias, por su contribución, asesorías y recomendaciones para el desarrollo del trabajo. Agradezco a su vez a CORBANA, por abrirme las puertas, darme el apoyo, y permitir desarrollar el trabajo en conjunto con la institución. Así mismo, agradezco al Ing. Luis Guillermo Valerio y al Ing. David Hernández por su apoyo en el proceso de revisión del trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	vii
Abstract	viii
1 Introducción.....	1
1.1 <i>Objetivos</i>	2
1.1.1 Objetivo general	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
2 Revisión de literatura	3
2.1 <i>USO Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO</i>	3
2.1.1 Uso y disponibilidad del agua a nivel mundial.....	3
2.1.2 Uso y disponibilidad del agua en Costa Rica	5
2.2 <i>HUELLA DE AGUA Y HUELLA HÍDRICA</i>	8
2.2.1 Responsabilidad Social Empresarial	8
2.2.2 Huella de agua y huella hídrica	9
2.3 <i>ACTIVIDAD BANANERA Y RECURSO HÍDRICO</i>	11
2.3.1 Actividad bananera.....	11
2.3.2 Proceso post-cosecha del banano de exportación y uso del agua.....	13
2.3.3 Corporación Bananera Nacional (CORBANA S.A.) y Finca San Pablo	16
3 Materiales y métodos.....	17
3.1 <i>FASE I: Investigación y capacitación</i>	17
3.1.1 Revisión de literatura, consulta y estudio de las metodologías disponibles de cálculo de la huella por el uso de agua	17
3.1.2 Capacitación	18
3.2 <i>FASE II: Diseño de la metodología</i>	18
3.2.1 Selección de los métodos base para el diseño de la metodología.....	18
3.3 <i>FASE III: Experimentación y ajustes</i>	19
3.3.1 Lugar de estudio para el caso práctico.....	19
3.3.2 Cuantificación de la huella de agua para el caso de estudio.....	19
3.3.3 Ajustes finales a la metodología.....	21
4 Resultados y discusión.....	22

4.1	<i>FASE I: Comparativo de métodos</i>	22
4.1.1	Metodologías para cuantificar la huella por uso del agua	22
4.1.2	Metodologías para cuantificar los impactos ambientales potenciales según la ISO 14046.....	24
4.2	<i>FASE II: Diseño de la metodología para el cálculo de la huella de agua por eutrofización y escasez en Plantas Empacadoras de banano</i>	29
4.3	<i>FASE III: Evaluación de la metodología propuesta en la Finca San Pablo, CORBANA S.A.</i>	31
4.3.1	Hallazgos y mejoras implementadas en la propuesta	31
4.3.2	Huella de agua en la Planta Empacadora de la Finca San Pablo	32
4.3.3	Limitaciones y recomendaciones adicionales a la metodología propuesta	36
5	Conclusiones y recomendaciones	38
6	Referencias	40
	Apéndices	47
	Apéndice 1: Cuadros comparativos de las metodologías de evaluación de impactos ..	48
	Apéndice 2: Metodología práctica para el cálculo de la huella de agua por uso directo del recurso en las Plantas Empacadoras de banano en Costa Rica	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Proceso productivo llevado a cabo en las Plantas Empacadoras de banano	14
Figura 3.1 Ubicación geográfica de la Finca San Pablo (Modificado de Maps of World (2014))	19
Figura 3.2 Tanque de desleche en la Finca San Pablo (a) y medidor de la Planta Empacadora (b).....	20
Figura 4.1 Etapas de una evaluación de huella de agua acorde a la ISO 14046:2014 (ISO, 2014a)	24
Figura 4.2 Diagrama-resumen de los métodos de evaluación de impactos estudiados	27
Figura 4.3 Etapas descritas en la metodología diseñada para obtener la huella de agua en Plantas Empacadoras de banano.....	30
Figura 4.4 Diagrama del proceso llevado a cabo al aplicar la metodología al caso práctico	33

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1 Zonas de Producción bananera en Costa Rica (Tomado de CORBANA, 2013b)	13
Cuadro 3.1 Fuentes de información principales para el desarrollo de la primera fase del proyecto	17
Cuadro 4.1 Comparación de las metodologías disponibles para la cuantificación de las huellas ambientales relacionadas con el uso del recurso hídrico.	22
Cuadro 4.2 Puntos críticos identificados y corregidos en la metodología propuesta	31
Cuadro 4.3 Características regionales y climáticas del caso en estudio, Finca San Pablo, CORBANA.	32
Cuadro 4.4 Volúmenes estimados de entrada y salida semanales del proceso para las proyecciones	34
Cuadro 4.5 Resultados obtenidos del estudio de huella de agua por escasez y eutrofización por uso directo del recurso en la Finca San Pablo	35

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
ASADAS	Operadoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillado Sanitario
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
CAB	Comisión Ambiental Bananera
CCI	Corporación Colombiana Internacional
CENIGA	Centro Nacional de Información Geoambiental
CORBANA	Corporación Bananera Nacional
EC	Comisión Europea
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GIRH	Gestión Integral del Recurso Hídrico
GWP	Asociación Mundial del Agua
HA	Huella de Agua
HH	Huella Hídrica
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INTECO	Instituto Nacional de Normas Técnicas de Costa Rica
ISO	Organización Internacional de Estandarización
MINAET	Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones
RSE	Responsabilidad Social Empresarial
SENARA	Servicio Nacional de Riego y Avenamiento
UN	Naciones Unidas

UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
WFN	Red de Huella Hídrica
WULCA	Uso del Agua en Análisis de Ciclo de Vida
WWAP	Programa de Evaluación del Agua de las Naciones Unidas

RESUMEN

Actualmente existe una gran presión sobre el recurso hídrico a nivel mundial, por lo tanto, se deben enfocar los esfuerzos hacia un desarrollo que contemple la gestión integral del mismo. El sector bananero costarricense como usuario de éste, requiere de herramientas prácticas y accesibles para promover el uso eficiente y adecuado del agua en las Plantas Empacadoras. Con el fin de contribuir a esta necesidad, se propone una metodología para cuantificar la huella de agua por escasez y eutrofización para este sector productivo. Para su desarrollo se realizó una exhaustiva revisión literaria de los métodos disponibles de medición de la huella, se construyeron cuadros comparativos de estos, se seleccionaron los métodos adecuados para el sector y se evaluó la guía propuesta en un caso práctico. Se seleccionó la ISO 14046:2014 como base para el desarrollo de la metodología, en la cual se contemplan los impactos ambientales por eutrofización siguiendo el método ReCiPe, y por escasez, salud humana, calidad del ecosistema y recursos por el método de Pfister et al. (2009). El método propuesto guía al lector mediante ayudas visuales y ejemplos prácticos, para obtener la huella de agua por escasez y eutrofización como resultado de su uso directo en las Plantas Empacadoras de banano de exportación en el país. Al implementarla en la Finca San Pablo de CORBANA, se logró identificar oportunidades de mejora importantes para la gestión eficiente del recurso, que constituye el principal beneficio de su aplicación. El proyecto desarrollado contribuye grandemente al sector bananero costarricense, al sintetizar y facilitar el acceso a este complejo indicador.

Palabras clave: Recurso hídrico, Huella de agua, Impactos ambientales, Escasez, Eutrofización, Banano, Planta Empacadora

ABSTRACT

There is currently great pressure on water resources worldwide; therefore, the efforts should be focused towards development that includes the integrated management of this resource. The Costa Rican banana sector as a user of water, requires practical and accessible tools to promote the efficient and appropriate use of this resource in the packing plants facilities. For this purpose, a methodology to quantify the scarcity and eutrophication water footprint was proposed. For its developing, a comprehensive literature review of available methods for measuring the footprint was made, comparative tables of these were built, the suitable methods for the sector were selected and the proposed guide was evaluated in a practical case. The ISO 14046:2014 was selected as the basis for the development of the methodology, in which the environmental impacts evaluated were eutrophication by following ReCiPe's method, and scarcity, human health, ecosystem quality and resources, by Pfister's et al. (2009) method. The proposal, guides the reader through visual aids and practical examples to calculate the scarcity and eutrophication water footprint because of its direct use in the banana packing plants. In the implementation in San Pablo's farm of CORBANA, it was possible to identify improvement opportunities important for the efficient management of the resource, which is the main benefit of its application. The synthesis and facilitated access to this complex indicator, is the most important contribution of this project to the Costa Rican banana industry.

Key words: Water resources, Water footprint, Environmental impacts, Scarcity, Eutrophication, Bananas, Packing plants

1 INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es esencial para el sostenimiento de la vida humana y el ecosistema. Dado a su importancia, las Naciones Unidas (UN) reconocen el acceso al agua como “un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos” (United Nations [UN], 2010, p.3). El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2012) afirma que las extracciones se han triplicado en los últimos cincuenta años, y como consecuencia, una cuarta parte del uso del recurso ya excede los suministros accesibles para el ser humano. Se estima que la demanda será 40% mayor a la actual para el año 2030, y la presión ocasionada por el uso ineficiente y la contaminación del recurso, entre otros aspectos, agrava el panorama (UNEP, 2012).

En Costa Rica se reconoce el recurso hídrico como un bien público (Morales, 2010), a pesar de ello, las fuentes de agua disponibles no escapan a las problemáticas mundiales que se enfrentan. Excluyendo el sector energético, la agroindustria es responsable de un 19% del consumo total de agua en el país (Global Water Partnership [GWP], 2011), actividad productiva en la cual se clasifica la labor realizada en las Plantas Empacadoras de banano para exportación. Dicha actividad es de suma importancia para la economía del país, el cual se ubica como líder a nivel mundial en el tema de producción bananera (Corporación Bananera Nacional [CORBANA], 2013b). Por estas razones, es prioritario que estos usuarios interioricen en el concepto de la gestión integral del recurso hídrico, y que se provea al sector de herramientas para este propósito (GWP, 2011).

Existen en la literatura, diferentes instrumentos que proveen una guía para desarrollar las actividades de una forma socialmente y ambientalmente responsable. Actualmente Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen (2011) y la Organización Internacional de Estandarización (ISO, 2014), han publicado metodologías generales que permiten evaluar la huella ocasionada producto del uso del recurso hídrico. En el presente trabajo se desarrolló una metodología específica para las Plantas Empacadoras de banano, que permite calcular la huella de agua por escasez y eutrofización de estas actividades. La guía propuesta se elaboró con base en la norma ISO 14046 Gestión Ambiental-Huella de Agua-Principios, requisitos y directrices-, debido a su reconocimiento por la comunidad internacional.

En comprensión de que el uso y aprovechamiento adecuado del agua es clave para el desarrollo de un país (GWP, 2011), este trabajo pretende contribuir al sector bananero nacional, en la promoción de una gestión adecuada del recurso hídrico. Lo anterior, mediante la propuesta de esta guía accesible y práctica para la cuantificación de la huella de agua por escasez y eutrofización en las Plantas Empacadoras. Esta se elaboró con base en los métodos de evaluación de impactos ambientales publicados por Goedkoop, Heijungs, De Schryver, Struijs y van Zelm (2013) y Pfister, Koehler y Hellweg (2009). Y fue evaluada y corregida al aplicarla en un caso práctico en la Finca San Pablo propiedad de CORBANA.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Diseñar una metodología para la cuantificación de la huella de agua en Plantas Empacadoras de banano en Costa Rica, que fundamente un modelo práctico de uso para el sector.

1.1.2 Objetivos específicos

Comparar las metodologías actuales de cálculo de la huella por el uso del recurso hídrico, disponibles a nivel internacional.

Definir una metodología de cuantificación de huella de agua, adaptada a las Plantas Empacadoras de banano en Costa Rica.

Evaluar la metodología diseñada en un caso práctico en la Planta Empacadora de la finca San Pablo, propia de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA) y ubicada en Siquirres en la provincia de Limón, Costa Rica.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

En la presente sección se describirá el panorama mundial y nacional en relación al uso y disponibilidad del agua, con el fin de contextualizar la importancia de una gestión adecuada del recurso. Posteriormente se introducirá el concepto de huella de agua y huella hídrica y generalidades al respecto, el cual se tratará a profundidad en el desarrollo del trabajo. La última subsección abarca todo aquello relacionado con la actividad bananera a nivel internacional y en Costa Rica, el proceso post-cosecha del banano de exportación y el papel de CORBANA en el país.

2.1 USO Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

2.1.1 Uso y disponibilidad del agua a nivel mundial

El agua es un recurso fundamental para el sostenimiento de la vida en la Tierra y para el desarrollo de toda actividad social y económica (Hanasaki et al., 2013). Se espera que la demanda global de ésta aumente significativamente y con una proporción mayor en los países en vías de desarrollo, según afirma el Programa de Evaluación del Agua de las Naciones Unidas (United Nations World Water Assessment Programme [WWAP], 2014).

Recientemente Ercin y Hoekstra (2014) evaluaron el consumo de agua a nivel mundial, en cuatro diferentes escenarios para el 2050. El primer escenario representa un desarrollo enfocado en los mercados globales, el segundo en los mercados regionales, el tercero enfocado en la sostenibilidad global y el cuarto en la sostenibilidad regional. Como variables para el estudio se contemplaron la demografía, economía, tecnología, reservas de agua, infraestructura, clima, comportamiento social, políticas, ambiente y gobernancia. En los resultados se destaca, que el consumo de agua podría aumentar desde un 30% hasta un 175% respecto al año 2000, en los diferentes escenarios. Este estudio demuestra que los patrones de consumo de agua, se encuentran directamente relacionados con las tendencias globales seguidas en los aspectos considerados como variables (Ercin & Hoekstra, 2014). Por lo tanto se requiere atención y planificación en el tema para lograr una gestión integral y sostenible del recurso en el futuro.

Las tendencias globales que se siguen actualmente, dirigen el desarrollo hacia un futuro en el cual la presión sobre los recursos de agua dulce irá en aumento. El crecimiento

demográfico es mencionado por múltiples autores como uno de los factores principales que ejercen esta presión (Ercin y Hoekstra, 2014; Hanasaki et al., 2013; Pahl-Wostl, Conca, Kramer, Maestu y Schmidt, 2013; Rossi, 2015; WWAP, 2014). Se ha proyectado que para el año 2050 la población mundial va a haber aumentado en un tercio, principalmente en los países en vías de desarrollo (WWAP, 2014). Esto ocasiona un incremento en la demanda de agua para uso doméstico, industrial y agrícola (Ercin y Hoekstra, 2014), y trae consigo otras implicaciones como una mayor demanda energética y de alimentos (Pahl-Wostl et al., 2013).

La tendencia al incremento en la demanda de productos agrícolas para alimento y otros usos como biocombustibles, es otro aspecto destacado en la literatura como factor de presión sobre el recurso hídrico (Ercin y Hoekstra, 2014; Pahl-Wostl et al., 2013; Rulli, Saviori y D'Odorico, 2013; WWAP, 2014). El agua es indispensable para la agricultura así como para la producción de alimentos. A la producción agrícola se le asigna el 70% de las extracciones de agua y es la actividad que utiliza los mayores volúmenes de ésta. Por otra parte, las industrias productoras de alimentos no se quedan atrás, ya que para desempeñar sus actividades dependen principalmente de agua subterránea, por lo que contribuyen al agotamiento del recurso (WWAP, 2014).

El crecimiento económico se menciona como otro aspecto que influye en la presión sobre este recurso (Ercin y Hoekstra, 2014; Hanasaki et al., 2013; WWAP, 2014). El WWAP (2014) asegura que el incremento en los estándares de vida trae consigo consumidores más exigentes, y por consiguiente se da un aumento de la demanda de agua global.

Así como las tendencias ya mencionadas crean presión sobre las fuentes de agua, existen problemáticas que agravan el panorama. Rossi (2015) advierte que, actualmente en muchos países, hay una cantidad insuficiente de recursos de agua disponibles para lograr la seguridad alimentaria. Además, la sobreexplotación y degradación de la tierra (Pahl-Wostl et al., 2013; Rossi, 2015), así como la sobreexplotación de los recursos de agua disponibles (WWAP, 2014), contribuyen a la crisis del recurso. Se estima que un 20% de los acuíferos del mundo han sido sobreexplotados (WWAP, 2014).

La contaminación es una de las problemáticas más agravantes de la situación (Rossi, 2015; WWAP, 2014). No solamente tiene como consecuencia el daño en los ecosistemas,

sino que también reduce las fuentes de agua potenciales para abastecimiento. El WWAP (2014) estima que el porcentaje de agua residual a nivel mundial que no se recolecta ni se le da algún tipo de tratamiento, está cercano al 80%. Adicional a este aspecto, Hanasaki et al. (2013), Pahl-Wostl et al. (2013), Rossi (2015) y el WWAP (2014), destacan al cambio climático como otro de los factores que intensifican la crisis del agua. Este último autor explica que al verse afectado el ciclo del agua debido al cambio climático, se verán afectadas consecuentemente las fuentes de agua, intensificando aún más la competencia por el recurso (WWAP, 2014).

Tal como Ercin y Hoekstra (2014) concluyen, los riesgos y consecuencias que actualmente generan la escasez y contaminación del agua, se verán agravados en el futuro en mayor medida debido al aumento en la demanda de esta y la disminución en su disponibilidad y calidad. Además, los recursos de agua dulce se encuentran distribuidos de forma desigual alrededor del mundo, lo que podría obstaculizar y crear tensiones en el uso y asignación adecuada de las fuentes, así como en planes de desarrollo y manejo en las regiones (Pahl-Wostl et al., 2013).

Ante este panorama, Rossi (2015) afirma que se requiere de un esfuerzo común para dar solución a estas situaciones. Este debe ir enfocado al desarrollo de leyes internacionales, y a la aplicación de principios éticos en el manejo y gobernanza de estos recursos. Respecto al primer enfoque, ya se han llevado a cabo algunos esfuerzos como la creación de la UN-Water en el 2003. Esta se encarga de llevar a acción los objetivos relacionados al recurso, establecidos en las Declaraciones del Milenio (Baumgartner y Pahl-Wostl, 2013). Adicionalmente, el WWAP (2014) resalta el reto existente de monitorear adecuadamente la disponibilidad y uso de los recursos de agua globales.

2.1.2 Uso y disponibilidad del agua en Costa Rica

La región Latinoamericana destaca por su gran cantidad de recursos hídricos en comparación con las otras regiones del mundo. Sin embargo, la distribución poblacional, la contaminación y la creciente demanda de agua en todos los sectores de consumo, unido a una desigual distribución espacial y temporal de ésta, ocasiona escasez del recurso en extensas zonas (Guzmán y Calvo, 2013). A su vez, el crecimiento demográfico y económico, la urbanización, el desarrollo económico concentrado y el papel predominante

de la energía hidroeléctrica en la región, son factores que generan un mayor estrés sobre las fuentes de agua disponibles (WWAP, 2014).

Inmersa en esta región, se encuentra Centroamérica, que no escapa en riqueza de recursos hídricos. Sin embargo, la GWP (2011) afirma que existen cuencas con problemas de escasez en épocas secas, principalmente por insuficiencia de obras de regulación y variaciones en las precipitaciones. A pesar de esto, el mismo autor destaca que los países de este territorio utilizan menos del 10% de su oferta disponible de agua, con excepción de Costa Rica que utiliza el 20,73%. La cobertura del servicio de agua potable es heterogénea entre los países, donde Nicaragua presenta los índices más bajos (62%) y Costa Rica los mayores (99,4%) (GWP, 2011).

La Asociación Mundial del Agua (GWP, 2011) resalta que la ausencia de control en relación a las descargas y tratamientos de las aguas residuales, así como las prácticas agrícolas inadecuadas, han ocasionado un deterioro en la calidad de las fuentes de agua. Además, ésta asociación menciona que la situación empeora ya que Centroamérica es una de las regiones más afectadas por el cambio climático. Estudios han revelado, que las consecuencias de éste serán diferenciadas en la parte norte y sur del territorio (GWP, 2011). Ocasionando disminución en las precipitaciones y menor recarga de fuentes de agua en la primera; y aumento de las mismas con consecuentes riesgos de inundación y declive en la calidad del agua en la parte sur según la misma publicación. Proyecciones de estrés hídrico indican, que para el 2025, habrá una caída en la oferta del recurso; y que la demanda se espera que aumente en un 12% para el 2050 (GWP, 2011).

Entre los retos que enfrenta la región centroamericana en el tema de agua, se encuentran la investigación, control hidrológico, monitoreo en la calidad de las fuentes de agua y la recuperación de ecosistemas, tal como lo destaca la GWP (2011). Así mismo, resalta la necesidad de educar a los usuarios del recurso para promover la gestión integral del mismo.

Ubicado en Centroamérica se encuentra Costa Rica, país que cuenta con una gran riqueza de recursos hídricos distribuidos en tres vertientes y treinta y cuatro cuencas, con una temperatura promedio entre los 18 y 27°C, y una escorrentía superficial y evapotranspiración real de 2215 mm y 996 mm respectivamente (Morales, 2010). La vertiente costera del Caribe cuenta con once cuencas y la continental Norte con siete, en ambas, no se manifiesta escasez de agua ya que la estación lluviosa predomina durante todo

el año (GWP, 2011). Su precipitación media real varía entre 2415 y 5720 mm, con un promedio de lluvia en los meses secos de 200 mm; y la descarga superficial se calcula en 58,9 km³. Por otra parte, según el mismo autor, la vertiente costera del Pacífico cuenta con dieciséis cuencas y dos estaciones climáticas definidas; entre mayo y noviembre, la lluviosa, y la seca de diciembre a abril. Su precipitación media es de 1664 a 5282 mm y se estima que su caudal superficial es de 44,2 km³ (GWP, 2011).

Según Morales (2010), el país posee un alto potencial hidrogeológico con cincuenta y ocho acuíferos, de los cuales, treinta y cuatro son costeros, nueve volcánicos y quince sedimentarios continentales. En ausencia de una red nacional de control del recurso hídrico subterráneo, el mismo autor afirma que la información se encuentra desactualizada, contabilizando únicamente 16 534 pozos en concesión. En cuanto al uso del recurso, la GWP (2011) destaca que el 94% de las extracciones de agua son para generación hidroeléctrica, el 3% para agricultura y el resto se distribuye en consumo humano, turismo, industria y agroindustria.

El Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) es el encargado de la gestión del recurso hídrico, el cual coordina para ello con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), el Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA) y la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) (Guzmán y Calvo, 2013; GWP, 2011; Madrigal, Alpízar, y Schlüter, 2013; Morales, 2010). Además, los autores anteriores destacan que otras instituciones como municipalidades, Operadoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillado Sanitario (ASADAS) y el Ministerio de Salud (MS), tienen parte en el tema. En cuanto al marco normativo, la GWP (2011) lo describe como deficiente y centrado en las aguas superficiales, mientras que Guzmán y Calvo (2013) lo caracterizan como amplio, desarticulado y obsoleto. Entre las normas más importantes se destacan la Ley de Aguas N° 276 del año 1942, el Reglamento para la Calidad de Agua Potable N°32327 del año 2005 y el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N°33601 del año 2006 (Morales, 2010). Y recientemente se ha desarrollado el Plan para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GWP, 2011).

La cobertura de agua potable en Costa Rica es la más alta de Centroamérica (GWP, 2011). Sin embargo, Madrigal, Alpízar, y Schlüter (2013) resaltan que sólo el 60% de esa agua cumple con los estándares de calidad nacionales establecidos por el Reglamento para

la Calidad de Agua Potable, debido a deficiencias en el sector de ASADAS. Sumado a esto, la GWP (2011) recalca que el valor de las pérdidas de agua no es contabilizado y afecta la continuidad del servicio. Según la publicación anterior, para el 2022 se espera un desequilibrio en la demanda y la oferta del recurso en el país. Por otra parte, la mayor problemática es la gran cantidad de agua residual vertida a cuerpos receptores sin previo tratamiento (70%), así como la creciente presencia preocupante de nitratos en aguas subterráneas (GWP, 2011). La GWP (2011) expone los resultados del Balance Hídrico Nacional, en el que se encontró que el país dispone de 113,1 km³ de agua al año, de los cuales 38 km³ contribuyen a la recarga de acuíferos.

2.2 HUELLA DE AGUA Y HUELLA HÍDRICA

2.2.1 Responsabilidad Social Empresarial

El fenómeno conocido como globalización ha conducido a la liberalización de los mercados, y por consiguiente a una mayor competencia que ha provocado que se valoren incluso los activos intangibles de los productos. A su vez, la conciencia sobre la limitación de los recursos naturales ha creado una sensibilización en los consumidores, quienes ahora exigen a las empresas un comportamiento responsable (Bajo, González y Fernández, 2013). Los autores Ghazaly, Shehadi, Jamjoom y Jamali, (2013) destacan un estudio desarrollado en el 2011 en cincuenta y seis países, el cual reveló que el 66% de los consumidores prefieren comprar los productos de aquellas compañías que actúan responsablemente y que aportan a la sociedad. Además, el mismo estudio mostró que un 59% invertirían en las mismas, y un 46% están dispuestas a pagar dinero extra para comprar los productos y servicios de estas.

Este contexto de la sociedad actual, ha permitido la integración del concepto de Responsabilidad Social Empresarial (RSE) en la dinámica de los negocios. Bajo et al. (2013) la definen como:

“...la integración voluntaria en su gobierno y gestión, en su estrategia, políticas y procedimientos de las preocupaciones sociales, laborales, medioambientales y de respeto a los derechos humanos que surgen de la relación y el diálogo transparentes con sus grupos de interés, responsabilizándose así de las consecuencias y los impactos que se deriven de sus acciones” (p.229).

El concepto va más allá de cumplir con la legislación vigente y mitigar riesgos, la RSE correctamente practicada, llega a aumentar valor a la empresa (Ghazaly et al., 2013). Entre los beneficios adquiridos se pueden mencionar: fidelidad de los clientes, diferenciación de la competencia, captación de inversiones o consumos responsables, y por consiguiente la confianza de la sociedad (Bajo et al., 2013).

Las empresas cada vez están más expuestas a la presión de desarrollar sus actividades bajo el clima de RSE, ya que entre las compañías internacionales se ha popularizado el publicar los reportes, iniciativas y logros en estos temas (Ghazaly et al., 2013). Es importante reconocer que para llevar a cabo las políticas de una empresa en RSE, se deben proponer proyectos ejecutables por parte de la misma (Bajo et al., 2013). Por esta razón, ha surgido todo un conjunto de herramientas, expresadas en normas internacionales, metodologías, certificaciones, etiquetas, entre otros, que permiten comprobar su desempeño responsable en el área ambiental, social y económica. De estas, el tema ambiental es el más avanzado, teniendo indicadores como la huella energética, huella de carbono, huella de biodiversidad, huella de fósforo, huella de nitrógeno, la huella hídrica y la huella de agua, que han sido complementos para demostrar la huella ecológica de las actividades en cuestión (Fang, Heijungs y De Snoo, 2014).

2.2.2 Huella de agua y huella hídrica

El análisis de ciclo de vida (ACV) viene a ser una importante herramienta para demostrar la RSE, respaldada en la norma internacional ISO 14044 (International Standard Organization [ISO], 2006). Esta permite cuantificar impactos ambientales potenciales en diferentes áreas, generados por las actividades humanas en el ciclo de vida de un determinado producto o servicio (Water Use in Life Cycle Assessment [WULCA], 2014). Cabe resaltar que la ISO (2006) se refiere al ciclo de vida como las “etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema de un producto, desde la adquisición de las materias primas o generación a partir de los recursos naturales hasta su disposición final” (p.8).

Los impactos ambientales en relación al recurso hídrico, son de gran interés por la importancia que tiene el mismo en todos los aspectos de la vida humana y de los ecosistemas. Sin embargo, son complejos de evaluar y requieren un análisis más detallado y específico de lo que provee la metodología de ACV (WULCA, 2014). Sumado a este

aspecto, existe en general, un gran vacío en el conocimiento de las formas de uso del agua, así como de cantidades utilizadas, consumidas y disponibles en un futuro comprendiendo las problemáticas que se enfrentan (UNEP, 2012). El UNEP afirma que “No podemos esperar controlar lo que ni siquiera medimos” (UNEP, 2012, p. 11). Surge entonces la necesidad de normar y estandarizar un mecanismo de cuantificación y evaluación de los impactos en el recurso hídrico, mediante la llamada “huella de agua”, respaldada en la norma internacional ISO 14046:2014 con un enfoque de ACV (WULCA, 2014)

WULCA (2014) destaca que una evaluación de huella de agua integral basada en la norma ISO 14046:2014, debe incluir todos los aspectos ambientales significativos que la actividad en cuestión genera sobre el recurso hídrico, tanto en su disponibilidad como en su degradación. De otra forma, éste autor resalta que el resultado se debe presentar con un calificativo que describa el tipo de huella de agua desarrollado (por ejemplo: “huella de agua por escasez”). El estudio puede presentarse únicamente como huella de agua, o bien como parte de un ACV (Instituto Nacional de Normas Técnicas de Costa Rica [INTECO], 2015; ISO, 2014a; WULCA, 2014).

Según las necesidades y el alcance definido para el estudio, se pueden contemplar los usos directos del agua, los usos indirectos, o ambos. La ISO (2014a) aclara que los directos son aquellos propios de las actividades desarrolladas dentro de los límites de la organización. Mientras que los indirectos contemplan las entradas y salidas de agua, producto de actividades desarrolladas por otras organizaciones, pero que las mismas son consecuencia de las operaciones de la organización responsable de la medición (ISO, 2014a).

Al desarrollar un estudio de huella de agua, uno de los más importantes beneficios que se pueden obtener, es la oportunidad de identificar dónde y cómo se puede optimizar la eficiencia y la productividad en relación a la gestión del recurso y disminuir los impactos ambientales (INTECO, 2015; ISO, 2014b; UNEP, 2012). Además, ya que la sostenibilidad se ha convertido en un aspecto de marketing, la huella de agua llega a funcionar como un mecanismo de comprobación de una responsable gestión del recurso (Boulay y Pfister, 2013). Entre otras ventajas está la oportunidad de informar, con evidencia confiable y respaldada científicamente, sobre impactos ambientales potenciales relacionados con el agua a quienes toman las decisiones en las compañías (INTECO, 2015; ISO, 2014b).

Otra herramienta para la evaluación de la gestión del agua, es la denominada huella hídrica. Este término es empleado para los resultados obtenidos a partir de la publicación de Hoekstra et al. (2011), titulada, en su idioma original, “The Water Footprint Assessment Manual”. Esta última ha sido utilizada en una amplia cantidad de artículos y estudios de gran valor y aporte. Estos autores definen su huella como la “medida volumétrica del consumo y contaminación del agua” (p.3). La principal diferencia respecto a la huella de agua publicada por la ISO, radica en que ésta última tiene un enfoque de ACV, y por consiguiente se obtendrán los resultados de los impactos potenciales y no únicamente un volumen de agua (Suppen, 2013).

2.3 ACTIVIDAD BANANERA Y RECURSO HÍDRICO

2.3.1 Actividad bananera

El banano es uno de los alimentos más baratos de cultivar, con la ventaja de que el fruto crece durante todo el año. Actualmente se siembra en las regiones tropicales húmedas, y constituye el cuarto cultivo alimenticio más extendido en el mundo (Hailu, Workneh y Belew, 2013). Según estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2014), en el año 2012 se alcanzó el récord más alto en exportaciones, con un total de 16,5 millones de toneladas. Respecto al año anterior, esta organización afirma que hubo un incremento del 7,3% en el volumen total de banano exportado, gracias al crecimiento en las exportaciones de Latinoamérica y el Caribe. Además, para este mismo período, la FAO resalta en este estudio que Centroamérica y México aumentaron en un 22,1% sus volúmenes de exportación; y que los mayores importadores en el 2012 fueron Estados Unidos y la Unión Europea (27%), seguidos por Rusia, China y Japón.

En Costa Rica, las exportaciones de banano comenzaron en el año 1880 tras la construcción del ferrocarril, y ahora se ha convertido en una de las actividades más importantes para la economía del país (CORBANA, 2013b). Bach (2014) coloca al banano, después de la caña de azúcar y la piña, en el tercer puesto de los cultivos de mayor producción en el 2013, y afirma que esta muestra tendencias al aumento. CORBANA (2013b) estima que las exportaciones alcanzan en promedio los 100 millones de cajas anuales, equivalente a 1,8 millones de toneladas métricas. Para el 2012 Costa Rica tomó el

primer lugar como exportador de Latinoamérica, alcanzando una exportación de 2,1 millones de toneladas (FAO, 2014). Es el cultivo, junto a la piña, que genera la mayor cantidad de divisas por exportación de productos agrícolas (Arauz, 2011); para el 2013 el 7,3% del total de las exportaciones nacionales le correspondían a este cultivo (CORBANA, 2013b).

Los principales mercados de la producción bananera del país los conforman la Unión Europea y los Estados Unidos, que recibieron el 48,3% y 40,7% respectivamente de la fruta nacional para el 2013 (CORBANA, 2013b). Costa Rica es líder a nivel mundial en esta área productiva gracias a las investigaciones y tecnificación promovida según afirma CORBANA (2013b). Además, desde la creación de la Comisión Ambiental Bananera (CAB) en 1992, el país ha logrado implementar acciones de responsabilidad ambiental tales como reciclaje de desechos plásticos, manejo de aguas, establecimiento de zonas de amortiguamiento, reforestación y adopción de sistemas de manejo y sistemas de control basados en estándares internacionales y auditorías externas (Arauz, 2011). Gracias a esfuerzos realizados por CORBANA, se logró conseguir un sello en el Registro de Propiedad Intelectual que identifica al banano costarricense como un producto responsable ética y socialmente (CORBANA, 2013b).

La región Caribe del país presenta las condiciones de suelos y clima más favorables para el cultivo de banano en Centroamérica, por esta razón es la zona donde se encuentran localizadas la mayor parte de las plantaciones de exportación del país (Cuadro 2.1) (CORBANA, 2013b). Sin embargo, recientemente el Caribe y la zona Norte se han visto afectadas por una reducción de entre 30% y 50% de sus lluvias, lo que se ha compensado con el uso del riego (Bach, 2014). En el Cuadro 2.1 se detallan todas las zonas de producción bananera de Costa Rica y sus características, donde se puede observar que existe en el país un área cultivada total de 42849 ha, y la productividad alcanza los 2571 cajas/ha/año (CORBANA, 2013b).

Cuadro 2.1 Zonas de Producción bananera en Costa Rica (Tomado de CORBANA, 2013b)

Zona	Exportación (millones de cajas)	Exportación (toneladas métricas)	Área cultivada (ha)	Productividad (cajas/ha/año)
Matina	26,86	487 155	10 219	2 628
Pococí	20,28	367 843	8 555	2 370
Siquirres	20,17	365 960	8 210	2 457
Sarapiquí	12,45	225 841	5 829	2 136
Guácimo	8,86	160 749	3 752	2 362
Talamanca	4,84	87 828	2 001	2 420
Corredores	0,22	3 931	134	1 616
Parrita	1,92	34 903	552	3 484
Limón	8,71	157 969	3 546	2 456
Osa	0,22	3 941	51	4 289
Total	110,2	1 998 400	42 849	2 571

2.3.2 Proceso post-cosecha del banano de exportación y uso del agua

La siembra de banano se desarrolla en regiones tropicales o cercanas, entre los 30°N y 30°S de latitud, con un rango de temperaturas de 15°C a los 38°C y una precipitación media mínima de 100 mm por mes (Hailu et al., 2013). El banano de exportación debe llegar al consumidor en las mejores condiciones, por lo que es necesario el cumplimiento de requisitos específicos de calidad, conseguidos mediante apropiados métodos de cosecha, empaque y transporte de la fruta (Hailu et al., 2013). El proceso de post-cosecha de banano llevado a cabo en las Plantas Empacadoras, generalmente abarca las etapas de: recepción y evaluación de la fruta, desmane, lavado, selección, desleche, pesaje, desinfección, etiquetado y empaque (Figura 2.1) (Corporación Colombia Internacional [CCI], 2010).

El proceso inicia cuando los racimos de banano llegan a la Planta Empacadora por el sistema de cable vía, y se realiza una inspección de la fruta para evaluar la edad del racimo, estado, plagas, maduración precoz, entre otros (Moreno, Blanco y Mendoza, 2009; Rivas, 2014). Una vez que se ha evaluado el racimo se procede al desmane, que es la separación de las manos de banano del mismo. Las manos de banano se colocan en un tanque con agua circulante para su lavado inicial, y acabado su recorrido en este, se selecciona la fruta según las especificaciones del mercado y se desecha la fruta de rechazo. Aquellas manos seleccionadas se colocan en el tanque de desleche, con agua circulante para la remoción de la sustancia exudada por las coronas, conocida como látex (Moreno, Blanco y Mendoza, 2009; Ramírez, Sáenz y Vargas, 2011; Rivas, 2014).

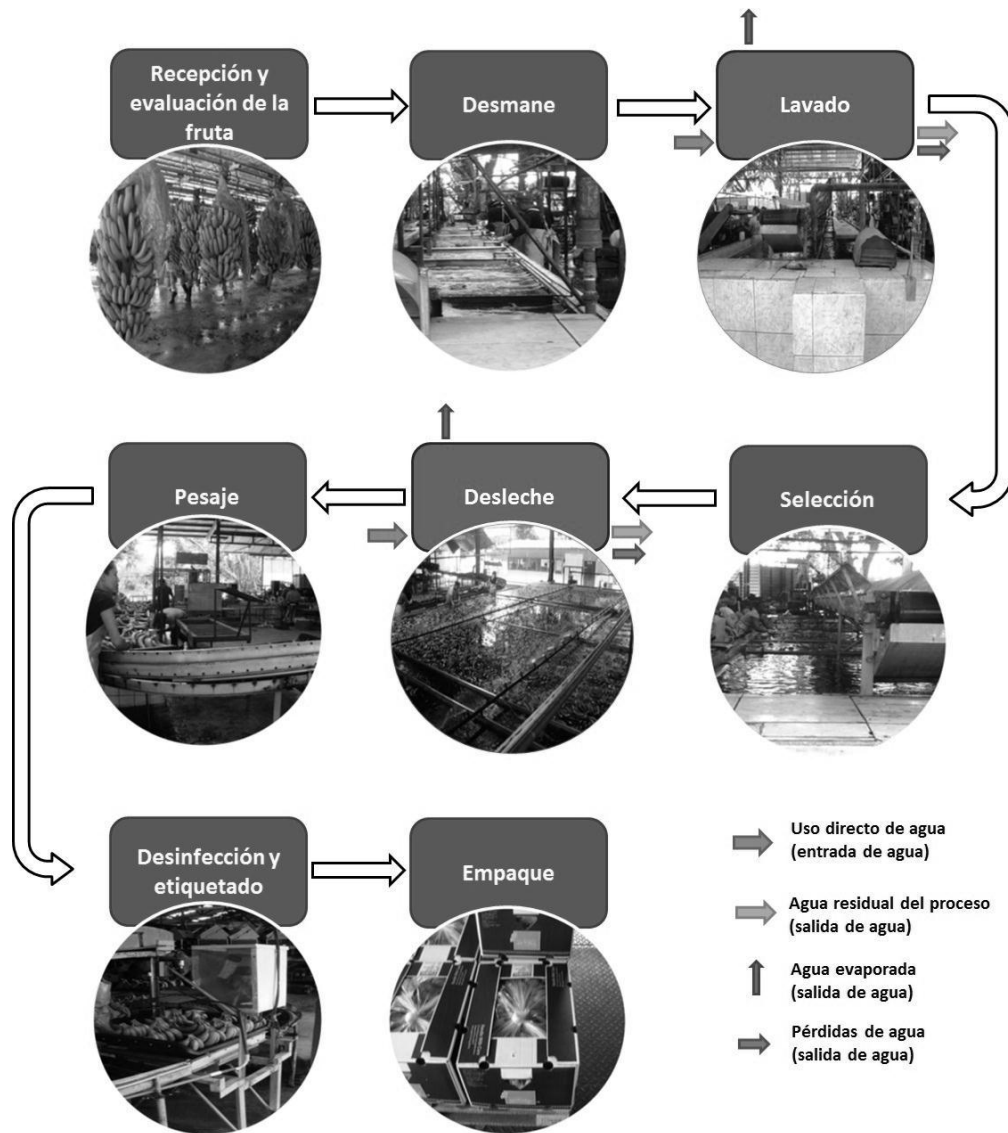


Figura 2.1 Proceso productivo llevado a cabo en las Plantas Empacadoras de banana

El proceso de lavado y desleche de la fruta tiene como fin eliminar los posibles residuos de suciedad y agroquímicos, así como eliminar y detener la exudación del látex (Ramírez et al., 2011). El látex es una savia segregada en puntos de daño en los tejidos de la planta, cuya función biológica es retrasar el desarrollo de hongos y bacterias para que esta no pierda su utilidad funcional (Konno, 2011; Ramírez et al., 2011; Surendar et al., 2013). Según las publicaciones anteriores, es considerada una suspensión coloidal compuesta por gran diversidad de metabolitos secundarios, proteínas, lípidos, azúcares, compuestos de fenoles, terpenos, agua y algunos iones como potasio y magnesio. La eliminación de esta

sustancia con el proceso de lavado, es de suma importancia ya que esta afecta en gran medida la calidad de la fruta para exportación (Ramírez et al., 2011).

Posterior a estos procesos de lavado, las manos de banano se trasladan a unas bandejas y se pesan de tal forma que cumplan con un peso de 18,14 kg según lo solicitado por los mercados internacionales (Ministerio de Economía Industria y Comercio [MEIC], Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] y Ministerio de Comercio Exterior [COMEX], 2010). La fruta se introduce en una cámara de rociado, en la cual se cubre con una solución fungicida para evitar la pudrición de la corona durante el transporte y almacenamiento (Rivas, 2014). Algunas compañías colocan etiquetas en los dedos de banano para la identificación de la marca del producto. Finalmente se empacan las manos de banano cubiertas por plástico en cajas de cartón, y se ordenan las cajas en pallets para su transporte y exportación (Moreno, Blanco y Mendoza, 2009 y Rivas, 2014).

Cabe destacar que el uso directo más significativo del recurso hídrico, se encuentra en las etapas de lavado y desleche. Sin embargo, en ocasiones se acostumbra a rociar la fruta con agua en la etapa de recepción y evaluación, para mantener su temperatura.

En lo que respecta a los impactos ambientales potenciales por el uso del agua en las Plantas Empacadoras de banano, los más significativos son el aporte de sólidos, materia orgánica, grasas y aceites a este recurso (CCI, 2010). Esto provoca un enriquecimiento en nutrientes y consecuentes alteraciones en el ecosistema, este fenómeno es conocido como eutrofización (Goedkoop et al., 2013). Se debe tener en cuenta que también hay un potencial impacto ambiental en la disponibilidad del recurso hídrico, como consecuencia del consumo del mismo. Adicionalmente se debe contemplar la posibilidad de que se afecte, en menor medida, la calidad del agua por la presencia de agroquímicos en la fruta y por las emisiones de los fungicidas aplicados a la corona (CCI, 2010), así como por los dispersantes de látex agregados (Ramírez et al., 2011).

Es importante mencionar, que hasta la fecha, no hay metodologías publicadas específicamente para la medición de la huella de agua de Plantas Empacadoras de banano. Únicamente se resalta el estudio llevado a cabo por Zarate y Kuiper (2013), titulado “Evaluación de Huella Hídrica del banano para pequeños productores en Perú y Ecuador”, basado en la metodología de Hoekstra et al. (2011). Como resultado de la fase de empaque, se obtuvo en dicho estudio una huella hídrica azul de 2 m^3 y 1 m^3 por tonelada de banano

de exportación para Ecuador y Perú respectivamente, y una huella hídrica gris de 37 m³ por tonelada de banano de exportación para Ecuador. Entre las limitaciones que presenta se destaca que los cálculos se realizaron a partir de una única medición y no un promedio de datos. Además, en esta publicación no se propone una metodología, lo que se desarrolla es un caso práctico de huella hídrica.

2.3.3 Corporación Bananera Nacional (CORBANA S.A.) y Finca San Pablo

Con el objetivo de promover el desarrollo de la industria bananera en el país y apoyar al productor, se crea CORBANA en el año 1971, como una entidad pública no estatal (CORBANA, 2013a). En la misma publicación se menciona entre sus funciones y logros, el promover la investigación para fortalecer la calidad del cultivo, brindar tecnología de punta al productor, fomentar, desarrollar y proveer información sobre la industria, proponer políticas para la sostenibilidad de la actividad, y brindar asesoría al Gobierno en estas temáticas. La corporación se ha ubicado como una empresa promotora de la RSE (CORBANA, 2013a).

Actualmente CORBANA cuenta con una finca propia ubicada en el distrito Pacuarito, en el cantón de Siquirres, en la provincia de Limón (Rodríguez, Valle, Segura, Sandoval y Laprade, 2011). Según estos autores, la Finca San Pablo está localizada a 10,11° latitud norte y a 83,38° longitud oeste, y a una altitud de 25 msnm. Éstos destacan que en dicha región la precipitación media anual es de 3172,6 mm, con dos estaciones de baja precipitación de marzo a abril y septiembre a octubre. Además, la temperatura promedio es de 25,2°C con una humedad relativa media de 91,2%. El área cultivada es de 261 ha, y su producción media anual es de 2860 cajas.ha⁻¹, es decir alrededor de 52 TM ha⁻¹año⁻¹ (Rodríguez et al., 2011). El producto se vende a la compañía Fyffes y se exporta al Reino Unido (Arce, J., comunicación personal, abril 20, 2015).

Entre los esfuerzos en RSE realizados por CORBANA, Rodríguez et al. (2011) mencionan la adopción de buenas prácticas agrícolas en la Finca San Pablo. Por ejemplo, implementación de nuevas tecnologías para mejorar la calidad del suelo, el uso de coberturas vegetales y la reducción de fertilizante y plaguicidas (Rodríguez et al., 2011). Además, a nivel nacional, ha sido pionera en la certificación Global GAP y recientemente en declararse por INTECO como C-Neutro (CORBANA, 2013a).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

La presente sección se divide en las fases (i) investigación y capacitación, (ii) diseño de la metodología y (iii) experimentación y ajustes; correspondientes respectivamente a las actividades desarrolladas para el cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto.

3.1 FASE I: INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN

3.1.1 Revisión de literatura, consulta y estudio de las metodologías disponibles de cálculo de la huella por el uso de agua

Se realizó una exhaustiva revisión de la literatura disponible hasta abril del 2015; entre las referencias consultadas se encuentran publicaciones y artículos de las organizaciones y revistas que se presentan en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Fuentes de información principales para el desarrollo de la primera fase del proyecto

Fuente	Categoría
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, UNEP por sus siglas en inglés	Programa que lidera el eje ambiental en la Organización de las Naciones Unidas (UN)
Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, WWAP por sus siglas en inglés	Programa promotor de la GIRH perteneciente a la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)
Uso del Agua en Análisis de Ciclo de Vida, WULCA por sus siglas en inglés	Grupo internacional de trabajo que se enfoca en los temas de evaluación del uso del agua con enfoque en el ACV
Organización Internacional de Estandarización, ISO por sus siglas en inglés	Organización desarrolladora de estándares y normas internacionales en temas de interés global
Red de Huella Hídrica, WFN por sus siglas en inglés	Red global de trabajo que promueve el desarrollo en temas relacionados al recurso hídrico
Environmental Science & Technology	Revista de artículos científicos de ciencias ambientales y tecnología
The International Journal of Life Cycle Assessment	Revista Internacional de artículos en temáticas de ACV
ELSEVIER	Editorial con publicaciones en diversos temas

La metodología ISO 14046 (ISO, 2014a) fue publicada en el mes de agosto del 2014, y esta se adquirió el 9 de diciembre del mismo año en la versión oficial en inglés disponible para esa fecha. Adicionalmente, se consiguió la metodología ISO 14044:2006 de Análisis de Ciclo de Vida y la norma nacional INTE/ISO 14046:2015 publicada por INTECO (2015). Por otra parte, se accedió a la metodología internacional de huella hídrica propuesta por Hoekstra et al. (2011) mediante la página oficial de WFN. A partir de la

lectura y estudio de estas, se construyó un cuadro comparativo que contiene el nombre, el autor, nombre de la huella, alcance del método, etapas de la evaluación, resultado obtenido al emplear el método y algunas observaciones de cada una.

Mediante las publicaciones de Boulay, Bayart, et al. (2015), Boulay, Motoshita, et al. (2015) y Kounina et al. (2012), se identificaron catorce metodologías disponibles que evalúan impactos ambientales relacionados al objetivo del presente proyecto. Cada una de estas se estudió y se resumió en un cuadro incluyendo la categoría de impacto, el punto de impacto, los desarrolladores, la base metodológica, el indicador de impacto, las ventajas, las desventajas y algunas referencias importantes del método.

Se consultó vía correo electrónico a los desarrolladores de la metodología ReCiPe, y se coordinó una reunión el 18 de junio del 2015 con el responsable del cálculo de la huella de agua en la empresa Florida Bebidas S.A., fuentes de las cuales se obtuvo recomendaciones y asesoría.

3.1.2 Capacitación

Como parte necesaria para conocer y aplicar la ISO 14046, se asistió al taller titulado “Taller Internacional de Huella de Agua, Cómo cuantificar la Huella de Agua”. El mismo se llevó a cabo el 24 de marzo del 2014 y fue impartido por Nydia Suppen Reynaga, profesional del Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable de México, y miembro del Comité Técnico ISO/TC 207 de Gestión ambiental.

Adicionalmente, se acudió al evento “Lanzamiento de la Norma INTE/ISO 14046:2015”, organizado por INTECO y efectuado el 27 de marzo del 2015 en San José, Costa Rica.

3.2 FASE II: DISEÑO DE LA METODOLOGÍA

3.2.1 Selección de los métodos base para el diseño de la metodología

Para seleccionar la metodología de huella a emplear en el estudio, se tomó como criterio la aceptación de la misma por parte de la comunidad científica internacional.

Los criterios utilizados para la selección de las metodologías de cálculo de impactos ambientales potenciales fueron: concordancia con los posibles impactos generados en una

Planta Empacadora de banano, practicidad del método, empleo del método en la literatura y acceso al mismo, y las recomendaciones de los expertos.

3.3 FASE III: EXPERIMENTACIÓN Y AJUSTES

3.3.1 Lugar de estudio para el caso práctico

La metodología propuesta se puso a prueba, mediante su aplicación a un caso práctico llevado a cabo en el proceso de la Planta Empacadora de la Finca San Pablo, propiedad de CORBANA S.A. Las instalaciones se encuentran dentro de la finca ubicada en el distrito Pacuarito, del cantón de Siquirres en la provincia de Limón (Figura 3.1), a $10,11^{\circ}$ latitud norte y a $83,38^{\circ}$ longitud oeste.

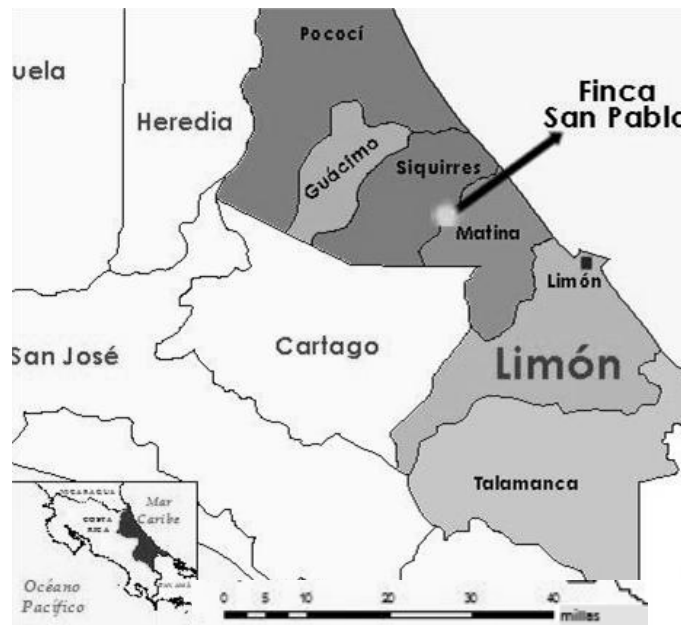


Figura 3.1 Ubicación geográfica de la Finca San Pablo (Modificado de Maps of World (2014))

3.3.2 Cuantificación de la huella de agua para el caso de estudio

Se elaboró una hoja de cálculo con base en la metodología propuesta para cuantificar la huella de agua en Plantas Empacadoras de banano. En este se organizó la información recolectada de la Finca San Pablo, según lo solicita la metodología, y se procesaron los datos para la estimación final de la huella de agua del año 2014.

El 17 de marzo del 2015 se realizó una reunión con el encargado de Protección Ambiental y Entomología en CORBANA. En esta se introdujo el concepto de huella de agua y las implicaciones del estudio a realizar, y se coordinó la recopilación de la información.

El 25 de marzo del 2015 se llevó a cabo la primera visita a la Planta Empacadora de la Finca San Pablo, con el fin de reconocer el proceso de empaque, identificar los usos directos del agua y pérdidas en el proceso, ubicar el medidor, la fuente de abastecimiento de agua y el cuerpo receptor. Se preparó una plantilla para las anotaciones, con base en la información a recolectar según la metodología propuesta, y se tomó registro fotográfico del proceso y usos del agua (Figura 3.2).



Figura 3.2 Tanque de desleche en la Finca San Pablo (a) y medidor de la Planta Empacadora (b)

La segunda visita a la Planta Empacadora se realizó el 30 de mayo, en la que se midieron las dimensiones de las pilas y canales utilizando una cinta métrica. Además, se observó el proceso de aseo general, se tomó fotografías del proceso de lavado, y se realizó el conteo e identificación de servicios sanitarios y grifos.

La entrada de agua se estimó a partir del promedio de los datos registrados del medidor durante dos semanas laborales (Figura 3.2b). Por otra parte, el volumen vertido semanal fue estimado mediante la suma de: el promedio de tres mediciones del volumen de vertido diario de la planta de recirculación, el volumen de vertido el día de lavado estimado a partir de las dimensiones de la pila de desleche, la pila de desmane y la planta de recirculación, y el volumen diario vertido de la pila de lavado de las espumas. Se calculó el porcentaje de

diferencia de estos dos resultados estimados, así como las incertidumbres absolutas de los mismos.

3.3.3 Ajustes finales a la metodología

Se identificaron y nombraron en un cuadro-resumen, los puntos críticos de la metodología propuesta, considerados como aquellas etapas o deficiencias que tenía la misma en su aplicación. Se realizaron los ajustes y correcciones finales mediante la consulta de la literatura y el uso de los programas básicos de computación.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la presente sección se exponen y discuten los resultados respectivos de cada fase del proyecto. La primera fase responde a una revisión de literatura y un estudio comparativo de los métodos de cuantificación de las huellas por uso del agua. En la segunda fase se resume la estructura y función de la metodología propuesta. Y, finalmente, se discuten los resultados obtenidos de su aplicación, las correcciones realizadas a esta y sus limitaciones.

4.1 FASE I: COMPARATIVO DE MÉTODOS

4.1.1 Metodologías para cuantificar la huella por uso del agua

A nivel internacional se conocen dos publicaciones de métodos cuyo fin último es el obtener un resultado nombrado como “huella”, para evaluar el peso ambiental que genera una actividad con el uso del recurso hídrico. La primera de estas fue desarrollada por Hoekstra et al. (2011), y sus resultados de huella son reconocidos como “huella hídrica”. El segundo método constituye la norma ISO 14046:2014, publicada recientemente por la ISO, y sus resultados son nombrados como “huella de agua”.

El Cuadro 4.1. resume las características principales de estos dos métodos, así como aquellas referidas a la reciente publicación de INTECO en el país, la cual es una traducción de la norma ISO 14046:2014.

Cuadro 4.1 Comparación de las metodologías disponibles para la cuantificación de las huellas ambientales relacionadas con el uso del recurso hídrico.

	(Hoekstra et al., 2011)	(ISO, 2014a)	(INTECO, 2015)
Nombre de la metodología	The Water Footprint Assesment Manual	ISO14046:2014, Environmental management - - Water footprint - Principles, requirements and guidelines	INTE ISO 14046:2015, Gestión ambiental — Huella de agua — Principios, requisitos y directrices
Autor	Water Footprint Network (WFN)	International Standard Organization (ISO)	Instituto Nacional de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO)
Nombre de la huella	Huella hídrica (HH)	Huella de agua (HA)	Huella de agua (HA)
Definición de la huella	“Medida volumétrica del consumo y contaminación del agua.” (p.3).	“Métrica(s) que cuantifica los posibles impactos ambientales relacionados con el agua” (p.3).	“Métrica o métricas con las que se cuantifican los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua.”(p.12)

Continuación del Cuadro 4.1

	(Hoekstra et al., 2011)	(ISO, 2014a)	(INTECO, 2015)
Alcance	Define una serie de criterios y procedimientos para el cálculo de la huella hídrica, clasificada en: azul, verde y gris. La HH azul contempla los usos consuntivos de agua superficial y subterránea, y la HH verde aquellos en los que la fuente es el agua de lluvia. La HH gris es el agua dulce necesaria para asimilar las cargas de contaminantes.	Establece los principios, requisitos y pautas para el desarrollo e informe de una evaluación de huella de agua, basado en el ACV, de productos, procesos y organizaciones.	Establece, con base en el ACV, los principios, requisitos y guía para el desarrollo e informe de una evaluación de huella de agua de productos, procesos y organizaciones.
Etapas de la evaluación de la huella	(i) Establecer metas y alcances, (ii) Contabilizar la huella hídrica, (iii) Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica, (iv) Formulación de la respuesta de huella hídrica	(i) Definición del objetivo y alcance, (ii) Análisis del inventario de huella de agua, (iii) Evaluación del impacto de la huella de agua, (iv) Interpretación de resultados	(i) Definición del objetivo y del alcance, (ii) Análisis del inventario de huella de agua, (iii) Evaluación del impacto de la huella de agua, (iv) Interpretación de los resultados
Resultado	Es un volumen de agua consuntiva clasificado por tipo de fuente de donde es tomada (HH azul y verde) y un volumen de agua dulce requerido para asimilar la carga de contaminantes (HH gris). Los volúmenes serán dados por unidad de producto o de tiempo según la definición del alcance.	Es un valor individual del impacto o un perfil de los resultados de estos. Estarán dados según la unidad funcional definida en el alcance, que es un “indicador cuantitativo del rendimiento del proceso o sistema, que se utiliza como unidad de referencia y comparación” (p.7).	Es un valor individual o perfil de los resultados de los impactos, dados en términos de la unidad funcional seleccionada y descrita en el alcance.
Observaciones	-Esta metodología fue desarrollada por profesionales miembros de las organizaciones socias de la WFN. - Su aplicación tiende a ser muy compleja, por lo que incluye una sección de ejemplos para diferentes casos y preguntas frecuentes. -Aclara que la HH “no es una medida de la severidad de los impactos ambientales locales del consumo y contaminación del agua” (p.3).	-Fue desarrollada por el Comité Técnico ISO/TC 207 de Gestión ambiental, integrado por profesionales de diferentes campos y países. -Un estudio sólo puede ser llamado “Huella de agua” si es comprensivo (principio de integralidad), es decir si incluye todos los impactos ambientales significativos en relación a la disponibilidad y degradación del recurso.	-Esta norma nacional es una copia idéntica de la ISO 14046:2014, cuya traducción fue realizada por el Spanish Translation Task Force (STTF) del Comité Técnico ISO/TC 207, y aprobada en el país el 23 de marzo del 2015 por la Comisión Nacional de Normalización.

Cabe resaltar que la metodología aceptada por la comunidad internacional para el cálculo de la huella de agua, es la ISO 14046:2014, cuyo proceso de evaluación se muestra

en la Figura 4.1. Lo anterior debido a que la propuesta por Hoekstra et al. (2011), se limita a resultados en términos de volúmenes, los cuales son poco comparables y concluyentes (Suppen, 2013). En el ámbito de la ISO 14046, Hoekstra et al. (2011) se considera como parte de las metodologías que se podrían emplear en un estudio de huella de agua para el desarrollo de inventarios o para un posible indicador de impacto (Kounina et al., 2012).

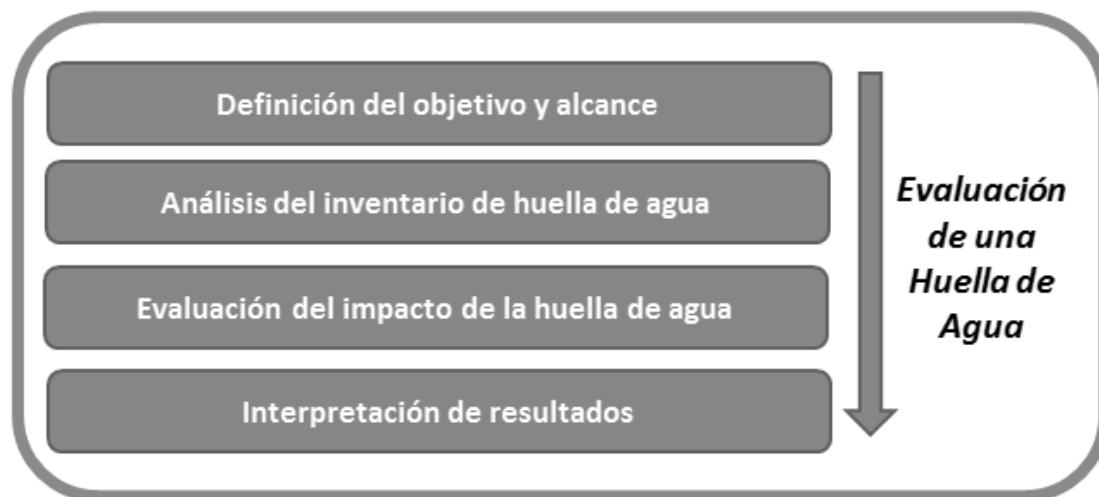


Figura 4.1 Etapas de una evaluación de huella de agua acorde a la ISO 14046:2014 (ISO, 2014a)

4.1.2 Metodologías para cuantificar los impactos ambientales potenciales según la ISO 14046

La ISO 14046:2014 establece únicamente los requisitos a cumplir para una evaluación de los impactos ambientales por el uso del agua, los cuales se clasifican según sea su efecto en la disponibilidad o la degradación del recurso. Los primeros están relacionados a los usos consuntivos o consumo del agua, que es aquel uso en el que ésta no regresa a la misma cuenca de la que fue extraída; por ejemplo incorporaciones a los productos, evaporación o bien cuando es vertida en una cuenca distinta de donde fue captada (UNEP, 2012). El segundo tipo se refieren a los usos degradativos del agua, es decir, aquellos que implican un cambio en la calidad de la misma (Pfister et al., 2009).

En cada una de estas clasificaciones se deben seleccionar, según el caso, las categorías de impacto a estudiar. Estas son clases que representan aspectos ambientales de importancia, relacionados con el uso del agua en las actividades en cuestión (INTECO, 2015; ISO, 2014a). La representación cuantitativa de cada una de estas categorías es el

indicador de impacto (ISO, 2014a), y se calcula mediante la multiplicación de la cantidad de emisión o consumo del recurso, por un determinado factor de caracterización (ecuación 1) (Suppen, 2013).

$$Impacto_{categoría} = \sum_i m_i * CF_{categoría,i} \quad (1)$$

Donde:

m_i: cantidad de emisión de la sustancia i o consumo del recurso i

CF_{categoría, i}: factor de caracterización según la categoría de impacto y la sustancia o recurso i

En la literatura hay disponibles una variedad de metodologías para el cálculo de los diferentes factores de caracterización, las cuales pueden tener un alcance de punto medio o final. El punto medio es el alcance que evalúa el impacto ambiental ocasionado entre el proceso de liberación de las sustancias o el consumo del recurso, y el nivel de punto final. Este último es el que evalúa el impacto ambiental a nivel de áreas de protección o daño (salud humana, ecosistema y recurso) (Dong y Ng, 2014). La Comisión Europea (EC, 2012) recomienda considerar para un estudio de esta naturaleza, las categorías de acidificación acuática, eutrofización acuática, eco-toxicidad acuática, toxicidad humana, y escasez del agua.

A continuación se presenta un resumen comparativo de las metodologías disponibles en la literatura, para la evaluación de impactos ambientales relacionados al uso del recurso hídrico (Figura 4.2). Se incluyen únicamente aquellas publicaciones con mayor aceptación por la comunidad científica y de mayor trascendencia, según Boulay, Bayart, et al. (2015), Boulay, Motoshita, et al. (2015) y Kounina et al. (2012), y cuyos impactos evaluados se relacionan en algún grado al objetivo del presente proyecto. En el Apéndice 1 se pone a disposición un cuadro-resumen por cada método estudiado. En estos se detallan el nombre del mismo con su referencia, la categoría de impacto evaluada, el alcance del impacto, los desarrolladores, la base metodológica, el indicador de impacto, ventajas, desventajas y algunas publicaciones para consulta de la respectiva metodología.

En cuanto a los métodos de evaluación de impactos por uso degradativo del agua, se analizaron el ReCiPe (Goedkoop et al., 2013) y UseTox (Henderson et al., 2011). Estos son los más recomendados para evaluar el impacto por eutrofización y por toxicidad humana y ecotoxicidad respectivamente, ya que comúnmente se utilizan en estudios de ACV. Los

factores de caracterización ya han sido publicados para diferentes situaciones y sustancias según corresponda, y se emplean para evaluar a un alcance de punto medio y final, lo cual constituye una gran ventaja (apéndices A.1.1 y A.1.2).

Existe una amplia gama de metodologías para estimar impactos por uso consuntivo del agua, las cuales evalúan vías de impacto que difieren en múltiples detalles. En el alcance de punto medio lo más recomendado es evaluar el impacto en la escasez del recurso, para lo cual están disponibles el método de Pfister et al. (2009), Hoekstra et al. (2011), Boulay, Bulle, Bayart, Deschênes, y Margni (2011), Ridoutt y Pfister (2010) y Frischknecht, Steiner y Jungbluth (2009) (apéndices A.1.4 hasta el A.1.8). El método de Hoekstra et al. (2011) no contempla parámetros sociales ni económicos en su factor de caracterización, aspecto que la pone en desventaja respecto a las otras. Por otra parte, Frischknecht et al. (2009) emplea como unidades en el indicador los “eco-puntos”, por lo que sus resultados son poco comparables con resultados de otras metodologías. Sumado a ello, los factores de caracterización no están accesibles, únicamente contactando a los autores. La publicación de Ridoutt y Pfister (2010) es una extensión de la publicación de Pfister et al. (2009), empleando el concepto de huella hídrica gris de Hoekstra et al. (2011), el cual no ha sido del todo aceptado por la comunidad científica.

Los métodos de Boulay et al. (2011) y Pfister et al. (2009), se diferencian principalmente en que el primero utiliza la razón del consumo y agua disponible, y el segundo, la razón de la extracción con la cantidad de agua disponible. Sin embargo, la publicación de Boulay et al. (2011) aún presenta bases de datos de factores de caracterización incompletos para algunos países. El método propuesto por Pfister et al. (2009) es el que ha tenido mayor trascendencia, ya que ha sido empleado en gran cantidad de estudios de huella de agua y de ACV. Sus factores de caracterización están disponibles para el público en varios formatos, entre los que se incluyen documentos en Excel y una capa para utilizar en el programa de Google Earth. Cabe resaltar que este último es el que comúnmente recomiendan los expertos en huella de agua (Suppen, 2013; T. Ponsioen, comunicación personal, junio 10, 2015; L.G. Valerio, comunicación personal, junio 23, 2015).

Metodologías para la evaluación de impactos ambientales

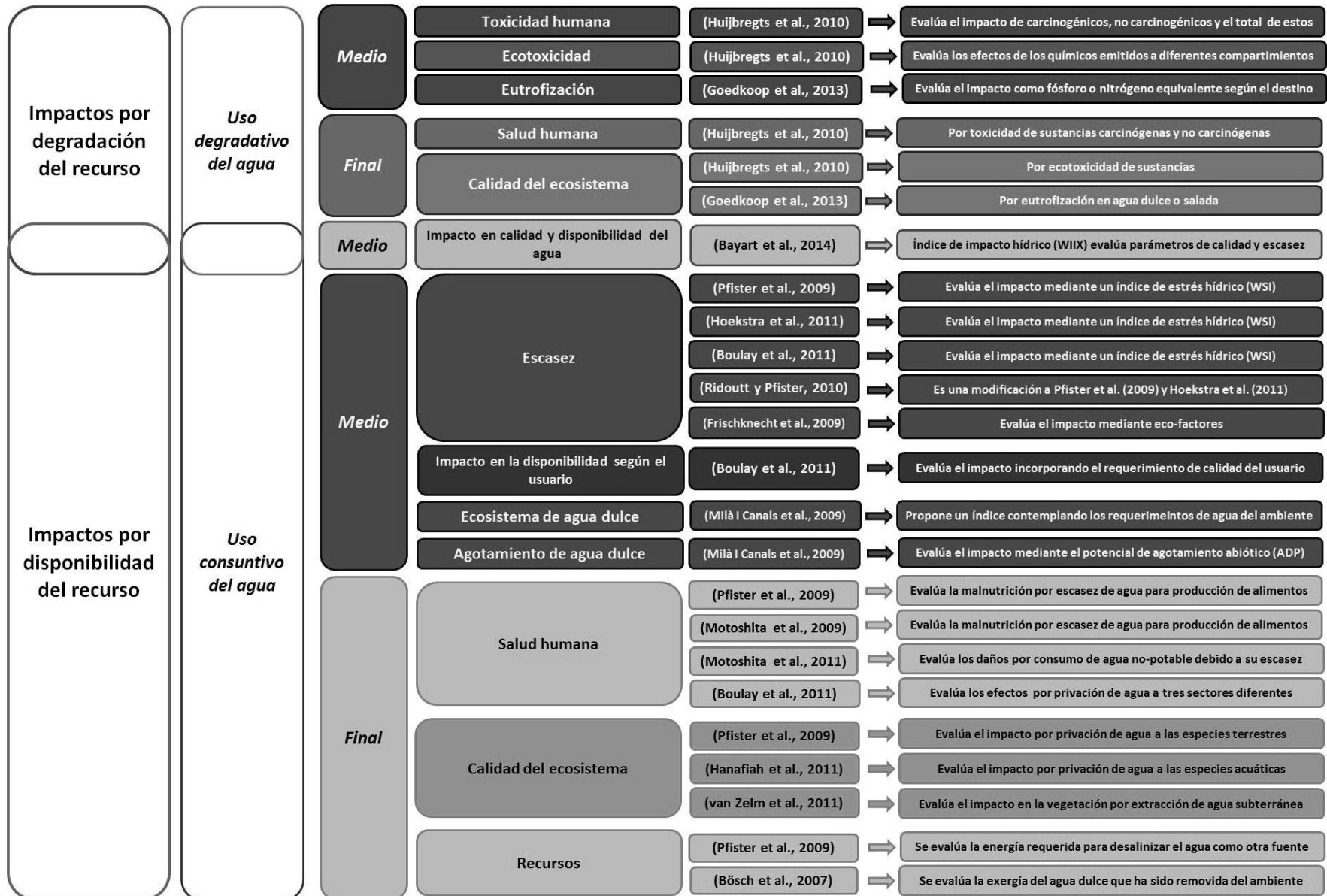


Figura 4.2 Diagrama-resumen de los métodos de evaluación de impactos estudiados

Las otras metodologías de punto medio para la evaluación de los efectos en la disponibilidad del recurso, comprenden una variación de Boulay et al. (2011) que incluye aspectos de calidad según el usuario, y la propuesta por Milà I Canals et al. (2009) (apéndices A.1.6 y A.1.9). Estas evalúan impactos muy específicos, razón por la cual no se utilizan comúnmente.

Los métodos de punto final en el área de salud humana, varían en gran medida en la forma de evaluar el impacto (apéndices A.1.4, A.1.6, A.1.10 y A.1.11). Boulay et al. (2011), Motoshita, Itsubo e Inaba (2009) y Pfister et al. (2009) toman como vía de impacto la malnutrición ocasionada por privación de agua para el sector agrícola, y Boulay et al. (2011) contempla también al sector pesquero. Por otra parte, Boulay et al. (2011) y Motoshita, Itsubo e Inaba (2011) se enfocan en los efectos por privación de agua para uso doméstico. La ventaja que resalta a Pfister et al. (2009) sobre los otros métodos, es su accesibilidad a los factores de caracterización, y que estos están completos y detallados a nivel de cuadrícula en el mapa mundial.

El efecto en la calidad del ecosistema es estudiado por Hanafiah, Xenopoulos, Pfister, Leuven y Huijbregts (2011), Pfister et al. (2009) y van Zelm et al. (2011) en diferentes formas (apéndices A.1.12, A.1.4 y A.1.13 respectivamente). Esta última se desarrolló únicamente para los Países Bajos, y aunque se puede extrapolar sus resultados a otras regiones, no es lo recomendable. En Hanafiah et al. (2011) se evalúa el impacto en las especies acuáticas de aguas superficiales, por lo que se excluyen aquellas cuencas a nivel mundial que permanecen congeladas. Pfister et al. (2009) se enfoca en el efecto sobre las especies terrestres, por lo que tiene mayor cobertura.

El daño en el recurso como punto final aún no está totalmente establecido y está bajo debate en la comunidad científica (Boulay, Motoshita, et al., 2015). Sin embargo, puede ser estimado con Bösch, Hellweg, Huijbregts y Frischknecht (2007) o Pfister et al. (2009) (apéndices A.1.14 y A.1.4 respectivamente). La primera de estas presenta la desventaja de que no está diferenciada espacialmente y no toma en cuenta el aspecto de escasez, por lo que Pfister et al. (2009) destaca en estos aspectos sobre la primera.

Adicionalmente a estas metodologías, la corporación Veolia propuso el índice de impacto hídrico (WIIX, por sus siglas en inglés) (Bayart, Worbe, Grimaud y Aoustin, 2014). Este es sencillo y práctico, y contempla parámetros de escasez y los efectos en la

calidad del recurso. Sin embargo, se debe utilizar con cuidado ya que puede ocasionar una doble contabilización de impactos en el estudio de huella de agua comprensiva (apéndice A.1.3).

Un aspecto importante a resaltar es que aún no hay un consenso sobre la metodología ideal de evaluación de impactos a emplear en la huella de agua; y por lo tanto, la selección de ésta depende en gran medida del objetivo y alcance que se tenga en el estudio a desarrollar (Bayart et al., 2014). Además, las incertidumbres en los ACV generalmente no se cuantifican en los métodos, ya que éstas tienden a ser de grandes magnitudes (Kounina et al., 2012).

4.2 FASE II: DISEÑO DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE AGUA POR EUTROFIZACIÓN Y ESCASEZ EN PLANTAS EMPACADORAS DE BANANO

Con base en la revisión de literatura y la comparación de los métodos realizada, se identificó que la ISO 14046:2014, debía ser la base para el diseño de la metodología de medición de la huella por uso de agua en Plantas Empacadoras de banano. La aceptación por la comunidad internacional y la amplitud de su alcance, son las características que la convirtieron en la guía ideal para alcanzar el objetivo del presente proyecto.

Al utilizar esta norma internacional como base, se requirió seleccionar los métodos de evaluación de impactos ambientales, que permitieran desarrollar un estudio comprensivo de huella de agua. Los impactos más significativos por el uso de agua directo en las Plantas Empacadoras de banano, constituyen la potencial eutrofización de los cuerpos receptores de agua por su uso degradativo, y la potencial privación de agua a otros usuarios por su uso consuntivo. Se excluye la potencial ecotoxicidad y toxicidad humana debido a que en este proceso post-cosecha, no hay un contacto directo y significativo con los plaguicidas y agroquímicos, ya que los racimos entran cubiertos por una bolsa plástica, y las instalaciones se encuentran bajo techo. Por lo tanto, se seleccionó el método ReCiPe (Goedkoop et al., 2013) para la estimación de los efectos por eutrofización, y el comúnmente recomendado y encontrado como ideal para los efectos de uso consuntivo, Pfister et al. (2009).

En el Apéndice 2 se presenta la metodología que se diseñó para cuantificar la huella de agua por escasez y eutrofización debido al uso directo del recurso en Plantas Empacadoras

de banano en Costa Rica, la cual se planteó siguiendo el orden lógico para su aplicación. Inicialmente, se agregó la sección que define y delimita el objetivo y alcance que esta metodología diseñada provee al desarrollador del estudio de huella. Posteriormente, se incluyó la definición de aquellos conceptos principales necesarios para comprender y aplicar esta guía, una introducción al proceso llevado a cabo en una Planta Empacadora, los usos directos que se le dan al agua y los impactos significativos producto de estos usos, con el fin de que el lector comprenda el contexto.

Siguiendo el orden de aplicación, se añadió la descripción detallada de las etapas de una evaluación de huella de agua (Figura 4.3). En la primera etapa se describió cómo plantear el objetivo y alcance de un estudio desarrollado según la metodología propuesta, y se puso a disposición un texto base para estos aspectos. En la segunda etapa se enlistó la información específica que se debe conseguir para un estudio con tales características, y se describió cómo relacionar los datos de producción, llamándole a dicho proceso, la indexación. En las últimas dos etapas se describió la forma de cálculo e interpretación de los resultados de los impactos ambientales.

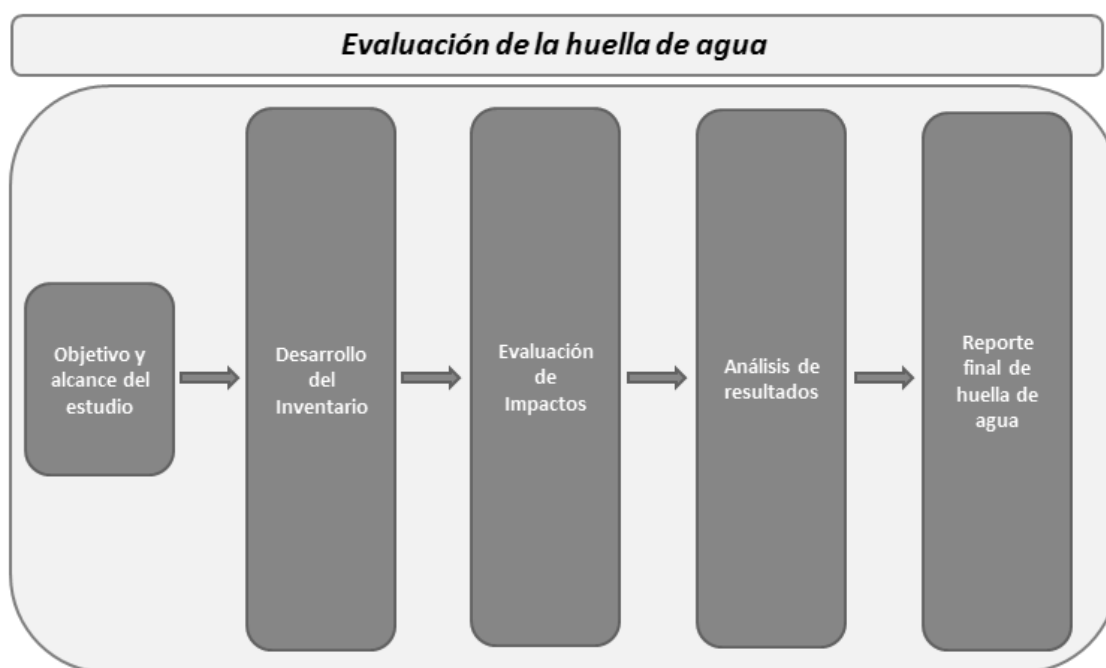


Figura 4.3 Etapas descritas en la metodología diseñada para obtener la huella de agua en Plantas Empacadoras de banano.

La metodología se concluyó con una sección de instrucciones para el reporte de huella de agua, y otra sección con recomendaciones generales de potenciales mejoras para la guía.

A lo largo de ésta, se emplearon diagramas gráficos y ejemplos de aplicación para guiar al lector y facilitar su aplicación.

4.3 FASE III: EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN LA FINCA SAN PABLO, CORBANA S.A.

4.3.1 Hallazgos y mejoras implementadas en la propuesta

Mediante el caso práctico desarrollado se logró identificar los puntos críticos, para conseguir que la guía propuesta fuera lo más clara y completa posible para el lector. En el Cuadro 4.2 se enlistan dichos puntos, junto a la solución que se empleó para su optimización.

Cuadro 4.2 Puntos críticos identificados y corregidos en la metodología propuesta

Punto crítico	Solución
No se especificaba en el objetivo y alcance de la metodología propuesta, qué tipo de huella de agua permite alcanzar al ser implementada.	Se agregó en el objetivo y alcance, que esta metodología facilita el cálculo de una huella de agua de un proceso, considerado de esta forma debido a que no incluye todas las etapas del ciclo de vida del banano.
No se definía en ninguna sección el fenómeno de eutrofización.	En la sección de conceptos importantes se incluyó la definición de eutrofización.
La unidad funcional propuesta era muy general y poco delimitada.	Se corrigió la unidad funcional en el texto base del alcance, detallándolo con el peso de la caja de banano de exportación, solicitado por los mercados internacionales.
No se especificaban fuentes importantes de consulta para guiar al lector en la etapa de recolección de datos	En la fase de desarrollo del inventario, se añadió la recomendación de referirse al Centro Nacional de Información Geoambiental (CENIGA, 2008) para la identificación de las cuencas del país. Adicionalmente se agregó la recomendación de consultar el Atlas Climatológico publicado por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2009), para recuperar la información climática de la zona de estudio.
La metodología carecía de ayuda visual y práctica para facilitar su comprensión para el lector.	Se diseñaron e incluyeron los diagramas que resumen de forma gráfica y puntual, cada etapa del estudio de huella de agua. Para la fase de evaluación de impactos ambientales, se propuso un caso ficticio de ejemplo de aplicación para cada estimación de impacto. En la sección de análisis de resultados, se resumió la información de la interpretación de los indicadores de impacto en un cuadro.

Las correcciones realizadas sin duda aportan valor a la metodología propuesta, entre las cuales se considera que el apoyo visual y el ejemplo práctico incluido, son de suma importancia y beneficio para el lector.

4.3.2 Huella de agua en la Planta Empacadora de la Finca San Pablo

La importancia de aplicar la metodología propuesta a un caso práctico, radicaba en identificar puntos críticos y realizar mejoras a la misma. Por lo anterior, se elaboró un informe detallado con los hallazgos y resultados para presentarlo a CORBANA, el cual se excluye de este trabajo escrito. A continuación, se mencionan y discuten únicamente los resultados principales del estudio, cuyo proceso de realización se muestra en la Figura 4.4.

En la etapa de desarrollo del inventario, en la recolección de información, se logró identificar características regionales y climáticas específicas del caso en estudio, se muestran las más importantes en el Cuadro 4.3. Entre estas, se encontró que la Planta Empacadora de la Finca San Pablo se ubica en el Caribe Norte, en la cuenca Río Madre de Dios. Esta cuenca posee un índice de estrés hídrico (WSI) de $0,0103 \text{ m}^3 \text{ eq./ m}^3 \text{ consuntivo}$, que la clasifica con escasez baja según Jeswani y Azapagic (2011). Por otra parte, cabe destacar que la precipitación promedio anual tiene valores entre los 3000 y 4000 mm de agua, que se encuentra cerca del promedio país (IMN, 2009).

Cuadro 4.3 Características regionales y climáticas del caso en estudio, Finca San Pablo, CORBANA

Aspecto investigado	Característica regional
Cuenca	Río Madre de Dios (CENIGA, 2008)
WSI ($\text{m}^3 \text{ eq./ m}^3 \text{ consuntivo}$)	0,0103 (ETHzürich, 2015)
Tipo de fuente de agua	Agua subterránea (pozo)
Cuerpo receptor	Canal Caño Azul
Estación meteorológica más cercana	La Lola 77002 (IMN, 2009)
Precipitación promedio anual (mm)	3000 a 4000 (IMN, 2009)
Promedio anual de días con lluvia (días)	150-200 (IMN, 2009)
Temperatura media anual (°C)	24 a 26 (IMN, 2009)
Evapotranspiración de referencia media anual (mm)	1100 hasta menos de 1200 (IMN, 2009)

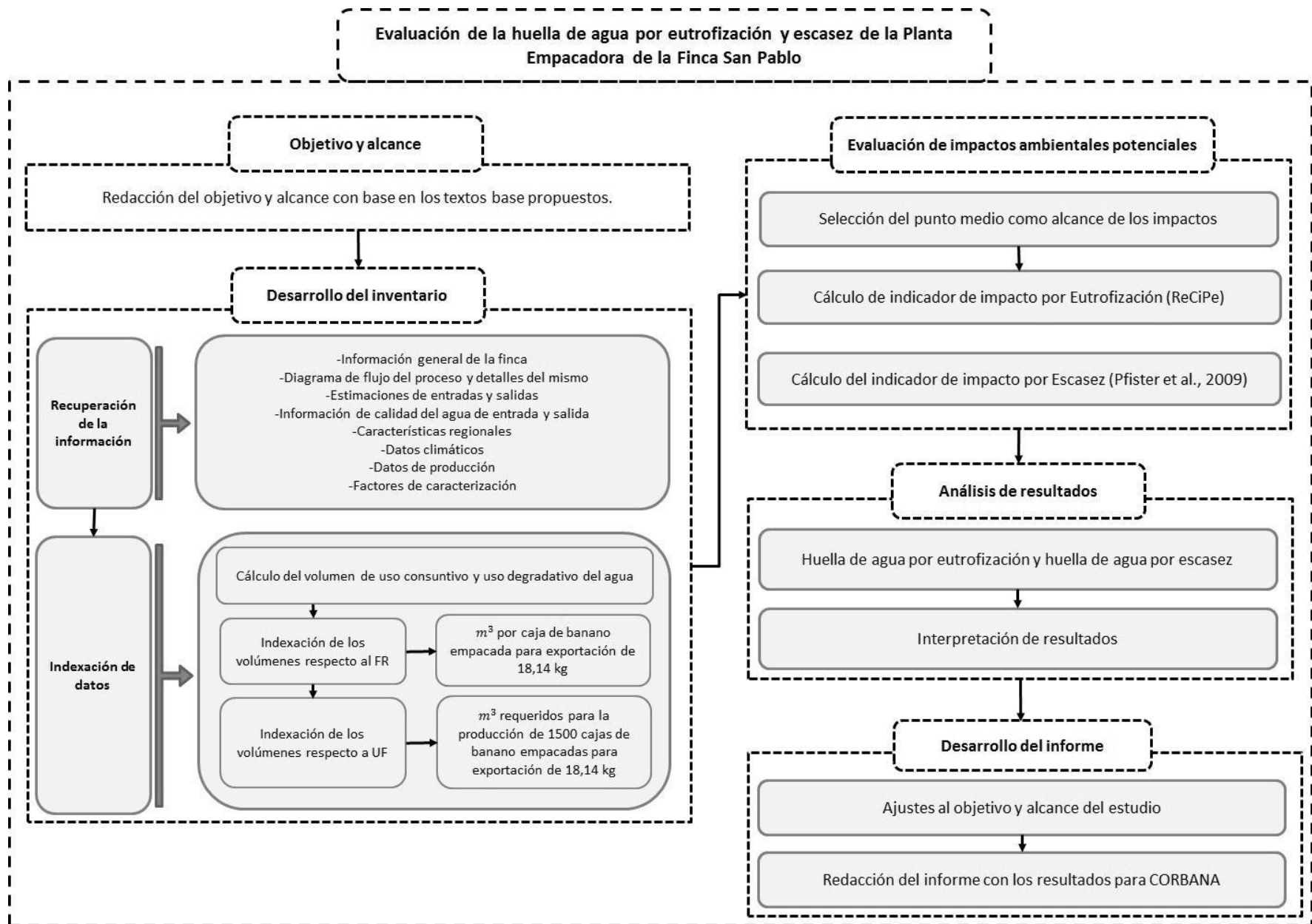


Figura 4.4 Diagrama del proceso llevado a cabo al aplicar la metodología al caso práctico

Con el fin de obtener el volumen de entrada y salida del proceso, se realizó una estimación semanal según las condiciones operativas, que resultó en un volumen de entrada de $(267 \pm 9) \text{ m}^3$ y de salida de $(268 \pm 1) \text{ m}^3$ (Cuadro 4.4). Contemplando las incertidumbres de los resultados, se puede notar que el valor de entrada podría encontrarse nueve unidades arriba del valor que se obtuvo, incluyendo en ello, el volumen de salida. Además, el porcentaje de error de estos valores es $-0,37\%$, el cual indica un error bajo por exceso. La fuente potencial más probable de este error, puede ser la sobreestimación de las dimensiones de los tanques por no contemplar los bordes de concreto. A pesar de esta diferencia, los valores de entrada y salida de agua se consideraron estadísticamente iguales para efectos de este estudio, y se tomó como valor de entrada y salida semanal los $(267 \pm 9) \text{ m}^3$ por ser el de mayor incertidumbre.

Cuadro 4.4 Volúmenes estimados de entrada y salida semanales del proceso para las proyecciones

Característica	Valor
Entrada de agua (m^3/semana)	267 ± 9
Salida de agua (m^3/semana)	268 ± 1
Porcentaje de error	$-0,37\%$

Los valores de los volúmenes estimados semanales, se utilizaron para proyectar el volumen consumido y vertido de agua anual, al multiplicarlos por las 52 semanas de trabajo en la Planta Empacadora. Sin embargo, es de suma importancia destacar que este proceso no es recomendable en un estudio de huella, según la ISO 14046. Lo correcto es obtener los resultados a lo largo de un año completo con datos más cercanos a la realidad, para que su trazabilidad sea verificable y todas las incertidumbres cualitativas y cuantitativas se reduzcan al máximo. En el caso del presente proyecto, se debió realizar de esta manera debido a que se encontró un error en la forma de la toma de datos anuales por parte de la empresa, aspecto que constituye una opción de mejora en la misma; y por consiguiente, el tiempo disponible no permitía el obtener los datos en forma tan precisa como se hubiera esperado.

Los resultados principales del estudio de huella realizado se detallan en el Cuadro 4.5, a partir de estos no se calculan incertidumbres debido a que los métodos de estimación de impactos no lo permiten. En éste se observa que la Planta Empacadora tiene un uso

consuntivo nulo, esto debido a que el volumen estimado de agua de entrada es estadísticamente igual al volumen de salida. Es decir, no hay un volumen de agua significativo que se evapore o que se introduzca en el producto, por lo tanto el agua empleada en estas instalaciones regresa a la misma cuenca. Como consecuencia de lo anterior, el impacto potencial ambiental por escasez debido al uso directo del agua fue nulo, y se obtuvo al aplicar la ecuación 4 de la metodología propuesta, disponible en el Apéndice 2 (sección A.2.4.2.2).

Cuadro 4.5 Resultados obtenidos del estudio de huella de agua por escasez y eutrofización por uso directo del recurso en la Finca San Pablo

Característica	Valor
Entrada de agua (m ³ /año)	13884
Salida de agua (m ³ /año)	13884
Uso consuntivo (m ³ /FR)	0,0000
Uso degradativo (m ³ /FR)	0,0192
Uso consuntivo (m ³ por UF)	0,0000
Uso degradativo (m ³ por UF)	288,0000
Impacto por escasez en punto medio (m ³ eq por UF)	0,0000
Impacto por eutrofización en punto medio (kg P eq por UF)	0,0970

FR: es el flujo de referencia definido como “una caja de banano empacada para exportación de 18,14 kg”

UF: es la unidad funcional definida como “15000 cajas de banano empacadas para exportación de 18,14 kg en el año de estudio”

Se determinó que el impacto ambiental más significativo de la Planta Empacadora, se da por el uso degradativo de ésta, el cual tomó el valor de 0,0192 m³/FR, es decir, se vertieron 0,0192 m³ de agua por cada caja de banano de 18,14 kg que fue empacada para exportación durante el año 2014 (Cuadro 4.5). Adicionalmente, el uso degradativo obtenido demuestra que se vertieron alrededor de 288 m³ para la producción de 15000 cajas de banano empacadas para exportación de 18,14 kg en el mismo año. El valor del impacto obtenido fue de 0,0970 kg P_{eq} por la UF, al aplicar las ecuaciones 2 y 3 de la metodología propuesta, disponible en el Apéndice 2 (sección A.2.4.2.1). El dato indica que se podría estar enriqueciendo el cuerpo receptor con esta cantidad de fósforo por cada 15000 cajas empacadas, lo que potencialmente puede ocasionar el fenómeno de eutrofización.

La huella de agua por escasez y la huella de agua por eutrofización, la constituyen los resultados respectivos de los indicadores de impacto, los cuales son el perfil de huella obtenido. A pesar de que estos valores son cercanos a cero, no pueden ser concluyentes para clasificar la magnitud del impacto en baja o alta, y cabe resaltar que son impactos potenciales, por lo cual no necesariamente están ocurriendo en tales magnitudes. Si se desea comparar el perfil de huella de agua, debe ser respecto a un estudio realizado bajo las mismas condiciones y contemplando y excluyendo los mismos aspectos; sin embargo, aún no se han desarrollado proyectos de esta clase.

Es importante destacar que para obtener resultados más significativos respecto a la huella de agua, se debe incluir en el estudio los impactos por el uso indirecto de esta; o bien realizar un estudio enfocándolo al producto y contemplar todas las etapas del ciclo de vida del mismo.

Al implementar la metodología, el principal beneficio obtenido fue la identificación de oportunidades de mejora importantes en la gestión adecuada del recurso hídrico. Entre estas resalta como la más importante, la necesidad de velar por un adecuado registro de los consumos y vertidos de agua en la Planta Empacadora de la Finca San Pablo. Adicionalmente, se identificó cuál constituye el mayor impacto ambiental por el uso directo del recurso hídrico en la Planta Empacadora, lo que debe guiar en los procesos de toma de decisiones para reducir al máximo posible dicho impacto potencial. Otro beneficio que provee un estudio de esta naturaleza, es la recopilación y detalle de información relevante en relación al recurso y a las condiciones en que éste se encuentra en la región que se analiza. Datos como el WSI o condiciones climáticas determinadas, pueden dar a conocer el estado de la escasez de agua en una región, y por consiguiente, puede constituir una base para la toma de decisiones en la actividad productiva que se realiza.

4.3.3 Limitaciones y recomendaciones adicionales a la metodología propuesta

La metodología desarrollada se limita a la cuantificación huella de agua por eutrofización y escasez de las Plantas Empacadoras, producto del uso directo del recurso, y sólo contempla esta etapa en el ciclo de vida del banano. El ampliar el estudio a todo el ciclo de vida de este producto en la empresa, e incluir la huella de agua indirecta de los

procesos (en especial el factor energía), dará un panorama más completo sobre los impactos de este producto en relación al recurso hídrico.

La empresa que desee hacer una publicación oficial de huella de agua, requiere que el estudio realizado por la misma, se someta a un proceso de verificación por parte de un ente autorizado. Si este es el objetivo por el cual se desarrolla el estudio, se necesita hacer un análisis más detallado de los impactos, incluir el uso indirecto del recurso, verificar la trazabilidad de toda la información que se incluya, y reportar los datos de forma anual respecto a la unidad funcional. Además, se deben contemplar otros aspectos importantes adicionales que establece la ISO 14046, como el llevar a cabo un análisis de sensibilidad. Este se realiza durante el desarrollo del inventario, y su fin es limitar los datos contemplados a los usos de agua más significativos para la huella (ISO, 2014a).

Esta metodología constituye únicamente una propuesta inicial para facilitar el acceso del sector bananero, a este complejo indicador. Es recomendable acudir a la norma ISO 14046 y a la ISO 14044 para el desarrollo de un estudio verificable.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las metodologías actualmente disponibles que permiten obtener un resultado de huella por uso del recurso hídrico, constituyen el manual de Hoekstra et al. (2011) y la norma ISO 14046 Gestión ambiental-Huella de agua-Principios, requisitos y directrices. Los resultados obtenidos por la primera se nombran “huella hídrica” y sus resultados principales están únicamente en términos de volúmenes. Por otra parte, los resultados que se obtienen de la norma ISO, se nombran “huella de agua” y constituye un perfil de indicadores de los impactos ambientales de la actividad que se analiza. Para el cálculo de una huella producto de un uso del recurso hídrico, es recomendable basarse en la norma ISO 14046, debido a que ésta es la más aceptada por la comunidad científica internacional y su alcance es más amplio y significativo.

En cuanto a los métodos de cálculo de los indicadores de categoría de impacto en un estudio de huella de agua, aún no existe consenso sobre cuál es el ideal, por lo que éste se debe seleccionar según el objetivo y alcance del estudio que se vaya a realizar. El método más destacado en la literatura y por los expertos, para evaluar impactos en la disponibilidad del recurso, es el propuesto por Pfister et al., (2009). Entre sus ventajas principales encontradas se destaca que permite obtener impactos en alcance de punto medio y final, abarca todas las áreas de protección, y sus factores de caracterización ya están calculados y disponibles al público en detalle por región.

El tema de huella de agua es relativamente reciente y aún falta directriz, el realizar un estudio de tal naturaleza tiende a ser complejo al encontrarse con una amplia y variada gama de literatura disponible para la estimación de impactos. Por lo anterior, se considera que el aporte de la metodología propuesta para el sector bananero costarricense es de gran utilidad, ya que al sintetizar los pasos para la estimación de la huella de agua por escasez y eutrofización, facilita el acceso a un tema que aún es complicado de comprender. Adicionalmente, el proyecto realizado contribuye con información clave que sin duda será base para extender el tema a otros sectores del país.

La metodología propuesta para la cuantificación de la huella de agua en las Plantas Empacadoras de banano en Costa Rica, dirige al lector siguiendo un orden lógico acorde a la ISO 14046. Las herramientas de apoyo visual, el ejemplo práctico y las referencias importantes para consulta que provee, permiten comprender lo que constituye una

evaluación de huella de agua, y por consiguiente, facilita el llevarlo a la práctica. Una importante limitación del método es que se enfoca únicamente en la huella de agua por escasez y eutrofización producto del uso directo del recurso, y contempla una breve sección del ciclo de vida del banano. Además, si se desea realizar un proceso de verificación, se debe acudir a la ISO 14046 y a la ISO 14044 para detallar más un estudio que se realice con base en esta propuesta.

Se recomienda contemplar en las futuras investigaciones el uso indirecto del agua, y ampliar el estudio a todo el ciclo de vida del producto. De esta forma se podrá obtener, un panorama más completo de los impactos ambientales potenciales de la actividad sobre el recurso hídrico del país.

La huella de agua por escasez de la Planta Empacadora de la Finca San Pablo de CORBANA, es nula. El impacto ambiental potencial más significativo de éste proceso lo constituye su huella de agua por eutrofización, con un valor de 0,0970 kg P_{eq} por 15000 cajas de banano empacadas para exportación de 18,14 kg. Es importante resaltar que para el desarrollo de un estudio verificable, los datos deben tener una adecuada trazabilidad. El principal beneficio de su aplicación fue la identificación de oportunidades de mejora en la gestión del recurso hídrico, así como del uso del agua que genera el mayor impacto ambiental potencial de la actividad.

6 REFERENCIAS

- Alvis, N. y Valenzuela, M. T. (2010). Los QALYS y DALYS como indicadores sintéticos de salud. *Revista Medica de Chile*, 138(2), 83–87. doi:10.4067/S0034-98872010001000005
- Arauz, L. F. (2011). *Agricultura : prácticas y desafíos ambientales 2011. Programa Estado de la Nación* (Vol. XVIII). Recuperado de http://workspace.unpan.org/sites/Internet/Documents/agricultura_desafíos.pdf
- Bach, O. (2014). *Agricultura y sostenibilidad. Programa Estado de la Nación* (Vol. XX). Recuperado de <http://www.estadonacion.or.cr/estado-nacion/investigaciones-de-base/por-tema/ambientales?highlight=YTozOntpOjA7czoxMToiYWdyaWN1bHR1cmEiO2k6MTtzOjEzOiJjb3N0YXJyaWNlbnNlIjtpOjI7czoyNToiYWdyaWN1bHR1cmEgY29zdGFycmljZW5zZSI7fQ==>
- Bajo, A., González, M., y Fernández, J. L. (2013). Responsabilidad social y empresa sostenible. *adComunica: Revista Científica de Estrategias, Tendencias E Innovación En Comunicación*, (5), 223–243. doi:10.6035/2174-0992.2013.5.14
- Baumgartner, T., y Pahl-Wostl, C. (2013). UN – Water and its Role in Global Water Governance. *Ecology and Society*, 18(3). doi:10.5751/ES-05564-180303
- Bayart, J. B., Bulle, C., Deschênes, L., Margni, M., Pfister, S., Vince, F., y Koehler, A. (2010). A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(5), 439–453. doi:10.1007/s11367-010-0172-7
- Bayart, J. B., Worbe, S., Grimaud, J., y Aoustin, E. (2014). The Water Impact Index: A simplified single-indicator approach for water footprinting. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 1336–1344. doi:10.1007/s11367-014-0732-3
- Bösch, M. E., Hellweg, S., Huijbregts, M. a. J., y Frischknecht, R. (2007). Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to theecoinvent database. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(3), 181–190. doi:10.1007/s11367-006-0282-4
- Boulay, A. M., Bayart, J., Bulle, C., Franceschini, H., Motoshita, M., Pfister, S., y Margni, M. (2015). Analysis of water use impact assessment methods (Part B): Applicability for water footprinting and decision making with a laundry case study. *Int J Life Cycle Assess*, 1–15. doi:10.1007/s11367-015-0868-9
- Boulay, A. M., Bulle, C., Bayart, J. B., Deschênes, L., y Margni, M. (2011). Regional characterization of freshwater use in LCA: Modeling direct impacts on human health. *Environmental Science and Technology*, 45(20), 8948–8957. doi:10.1021/es1030883

- Boulay, A. M., Motoshita, M., Pfister, S., Bulle, C., Muñoz, I., Franceschini, H., y Margni, M. (2015). Analysis of water use impact assessment methods (Part A): Evaluation of modeling choices based 15 on a quantitative comparison of scarcity and human health indicators. *Int J Life Cycle Assess*, 20, 139–160. doi:10.1007/s11367-014-0814-2
- Boulay, A. M., y Pfister, S. (2013). ISO 14046 Water Footprinting and Water Impact Assessment in LCA.
- Centro Nacional de Información Geoambiental [CENIGA]. (2008). Cuencas Hidrográficas de Costa Rica 50mil modificadas por CENIGA. Recuperado de <http://www.mapoteca.geo.una.ac.cr/index.php/remository.html?func=startdown&id=48>
- Chen, A., Jacobsen, K. H., Deshmukh, A. a., y Cantor, S. B. (2015). The evolution of the disability-adjusted life year (DALY). *Socio-Economic Planning Sciences*, 49, 10–15. doi:10.1016/j.seps.2014.12.002
- Corporación Bananera Nacional [CORBANA]. (2013a). CORBANA- Corporación Bananera Nacional- Fomento y desarrollo de la industria bananera en Costa Rica. Recuperado de <https://www.corbana.co.cr/>
- Corporación Bananera Nacional [CORBANA]. (2013b). La Industria Bananera en Costa Rica. Recuperado de <https://www.corbana.co.cr/categories/industria-bananera>
- Corporación Colombia Internacional [CCI]. (2010). Plan De Manejo Ambiental Asociación de productores de Banano Bocadillo de Icononzo-Tolima, ASOBAICOTOL. Recuperado de <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=35536002>
- Dong, Y. H., y Ng, S. T. (2014). Comparing the midpoint and endpoint approaches based on ReCiPe—a study of commercial buildings in Hong Kong. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 1409–1423. doi:10.1007/s11367-014-0743-0
- Ercin, a. E., y Hoekstra, A. Y. (2014). Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. *Environment International*, 64, 71–82. doi:10.1016/j.envint.2013.11.019
- ETHzürich. (2015). Downloads: Watershed level: kmz-file (for use in Google Earth). Recuperado de <http://www.ifu.ethz.ch/ESD/downloads/EI99plus>
- European Commission [EC]. (2012). *The International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook (online version)*. Luxembourg. doi:10.2788/85727
- Fang, K., Heijungs, R., y De Snoo, G. R. (2014). Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints: Overview of a footprint family. *Ecological Indicators*, 36, 508–518. doi:10.1016/j.ecolind.2013.08.017

- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2014). *Banana Market Review and Banana Statistics 2012-2013*. Rome. Recuperado de <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/bananas/en/>
- Frischknecht, R., Steiner, R., y Jungbluth, N. (2009). *The Ecological Scarcity Method- Eco Factors 2006. A method for impact assessment in LCA*.
- Ghazaly, S., Shehadi, R., Jamjoom, M., y Jamali, D. (2013). The Rise of Corporate Social Responsibility A Tool for Sustainable Development in the Middle East. *Booz & Company*. Recuperado de http://static.wamda.com/web/uploads/resources/BoozCo_The-Rise-of-Corporate-Social-Responsibility.pdf
- Global Water Partnership [GWP]. (2011). *Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: hacia una gestión integrada*. Tegucigalpa: GWP Centroamérica. Recuperado de http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM_Files/SituaciondelosRecursosHidricos.pdf
- Goedkoop, M., Heijungs, R., De Schryver, A., Struijs, J., y van Zelm, R. (2013). *ReCiPe 2008. A LCIA method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*. (1st ed.). Recuperado de http://www.pre-sustainability.com/download/misc/ReCiPe_main_report_final_27-02-2009_web.pdf
- Goedkoop, M., Heijungs, R., De Schryver, A., Struijs, J., y van Zelm, R. (2014). Characterisation and normalisation factors (updated Dec. 2014). Recuperado de <http://www.lcia-recipe.net/file-cabinet>
- Grosse, S. D., Lollar, D. J., Campbell, V. a., y Chamie, M. (2009). Disability and Disability-Adjusted Life Years: Not the Same. *Public Health Reports*, 124, 197–202. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2646475/>
- Guzmán, I., y Calvo, J. (2013). Planificación del recurso hídrico en América Latina y el Caribe Planning Water Resources in Latin America and the Caribbean. *Tecnología En Marcha*, 26(1), 3–18.
- Hailu, M., Workneh, T. S., y Belew, D. (2013). Review on postharvest technology of banana fruit. *African Journal of Biotechnology*, 12(7), 635–647. doi:10.5897/AJBX12.020
- Hanafiah, M. M., Xenopoulos, M. a, Pfister, S., Leuven, R. S. E. W., y Huijbregts, M. a J. (2011). Characterization factors for water consumption based on freshwater fish species extinction. *Environmental Science & Technology*, 45(12), 5272–5278. doi:10.1021/es1039634
- Hanasaki, N., Fujimori, S., Yamamoto, T., Yoshikawa, S., Masaki, Y., Hijioka, Y., ... Kanae, S. (2013). A global water scarcity assessment under Shared Socio-economic

Pathways - Part 1: Water use. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 2375–2391. doi:10.5194/hess-17-2375-2013

Henderson, A. D., Hauschild, M. Z., Van De Meent, D., Huijbregts, M. a J., Larsen, H. F., Margni, M., ... Jolliet, O. (2011). USEtox fate and ecotoxicity factors for comparative assessment of toxic emissions in life cycle analysis: Sensitivity to key chemical properties. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16, 701–709. doi:10.1007/s11367-011-0294-6

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., y Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual. The Water Footprint Network*. doi:978-1-84971-279-8

Huijbregts, M., Hauschild, M., Jolliet, O., Margni, M., McKone, T., Rosenbaum, R. K., y van de Meent, D. (2010). *USEtox User Manual*. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10768541>

Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (2009). Atlas Climatológico. Recuperado de http://www.imn.ac.cr/mapa_clima/

Instituto Nacional de Normas Técnicas de Costa Rica [INTECO]. (2015). INTE ISO 14046:2015 Gestión ambiental — Huella de agua — Principios , requisitos y directrices.

International Standard Organization [ISO]. (2006). INTERNATIONAL STANDARD ISO 14044:2006: Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines; German and English version.

International Standard Organization [ISO]. (2014a). INTERNATIONAL STANDARD ISO 14046:2014(E): Environmental management — Water footprint — Principles , requirements and guidelines, 2014, 1–33.

International Standard Organization [ISO]. (2014b). *ISO 14046 Environmental management*.

Jeswani, H. K., y Azapagic, A. (2011). Water footprint: Methodologies and a case study for assessing the impacts of water use. *Journal of Cleaner Production*, 19(12), 1288–1299. doi:10.1016/j.jclepro.2011.04.003

Konno, K. (2011). Plant latex and other exudates as plant defense systems: Roles of various defense chemicals and proteins contained therein. *Phytochemistry*, 72(13), 1510–1530. doi:10.1016/j.phytochem.2011.02.016

Kounina, A., Margni, M., Bayart, J.-B., Boulay, A. M., Berger, M., Bulle, C., ... Humbert, S. (2012). Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(3), 707–721. doi:10.1007/s11367-012-0519-3

- Madrigal, R., Alpízar, F., y Schlüter, A. (2013). Public perceptions of the performance of community-based drinking water organizations in Costa Rica. *Water Resources and Rural Development*, 1-2, 43–56. doi:10.1016/j.wrr.2013.10.001
- Maps of World. (2014). Mapa de Limón, Provincia de Limón Costa Rica. Recuperado de <http://espanol.mapsofworld.com/continentes/norte-america/costa-rica/provincias/limon.html>
- Milà I Canals, L., Chenoweth, J., Chapagain, A., Orr, S., Antón, A., y Clift, R. (2009). Assessing freshwater use impacts in LCA: Part I - Inventory modelling and characterisation factors for the main impact pathways. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(1), 28–42. doi:10.1007/s11367-008-0030-z
- Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE]. Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N°33601: Decreto Ejecutivo: 33601 del 9 de agosto del 2006. (2007). Costa Rica.
- Ministerio de Economía Industria y Comercio [MEIC], Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], & Ministerio de Comercio Exterior [COMEX]. Establece el precio mínimo de salida de la Caja de Banano de Exportación Ley N° 5665: Decreto Ejecutivo : 35825 del 24 de febrero del 2010 (2010). Costa Rica.
- Ministerio de Salud [MS]. Reglamento para la Calidad del Agua Potable N°32327: Decreto Ejecutivo: 32327 del 10 de febrero del 2005 (2005). Costa Rica.
- Morales, D. (2010). Recursos Hídricos - Costa Rica 2010. San José: Centro del Agua para América Latina y el Caribe. Recuperado de https://www.academia.edu/412042/Recursos_Hídricos_en_Costa_Rica
- Moreno, J., Blanco, C., y Mendoza, R. (2009). *Buenas Prácticas Agrícolas en el cultivo del banano en la región del Magdalena*. Medellín: Asociación de Bananeros de Colombia, AUGURA.
- Motoshita, M., Itsubo, N., y Inaba, A. (2009). Health Damage Assessment Modeling on Agricultural Water Scarcity based on Regression Analysis of Statistical Data T. In *Proceedings of 9th international conference on EcoBalance* (pp. 1–21). National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST). Recuperado de <http://www.lcacenter.org/LCA9/presentations/1127.pdf>
- Motoshita, M., Itsubo, N., y Inaba, A. (2011). Development of impact factors on damage to health by infectious diseases caused by domestic water scarcity. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(1), 65–73. doi:10.1007/s11367-010-0236-8
- Northey, S. a., Haque, N., Lovel, R., y Cooksey, M. a. (2014). Evaluating the application of water footprint methods to primary metal production systems. *Minerals Engineering*, 69, 65–80. doi:10.1016/j.mineng.2014.07.006

- Orozco, Á. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales, Teoría y Diseño*. Acodal.
- Pahl-Wostl, C., Conca, K., Kramer, A., Maestu, J., y Schmidt, F. (2013). Missing Links in Global Water Governance : a Processes-Oriented. *Ecology and Society*, 18(2), 33. doi:10.5751/ES-05554-180233
- Pfister, S., Koehler, A., y Hellweg, S. (2009). Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. *Environmental Science & Technology*, 43(11), 4098–4104. doi:10.1021/es802423e
- Ramírez, M., Sáenz, M. V., y Vargas, A. (2011). Efecto de la inmersión en agua caliente sobre la secreción de látex por la corona de gajos recién conformados de frutos de banano. *Agronomía Costarricense*, 35(1), 1–14.
- Ridoutt, B. G., y Pfister, S. (2010). A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. *ELSEVIER Global Environmental Change*, 20(1), 113–120. doi:10.1016/j.gloenvcha.2009.08.003
- Rivas, R. (2014). *Guía para el mejoramiento de la calidad en plantas empacadoras de banano*. San José: CORBANA S.A.
- Rodríguez, A., Valle, H., Segura, R., Sandoval, J., y Laprade, S. (2011). Evaluación de dos proyectos demostrativos en banano con implementación de Buenas Prácticas Agrícolas en el Caribe costarricense. Corporación Bananera Nacional.
- Rossi, G. (2015). Achieving ethical responsibilities in water management: A challenge. *Agricultural Water Management*, 147, 96–102. doi:10.1016/j.agwat.2014.07.030
- Rulli, M. C., Saviori, A., y D’Odorico, P. (2013). Global land and water grabbing. *PNAS*, 110(3), 892–897. doi:10.1073/pnas.1213163110/-/DCSupplemental.www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1213163110
- Shen, Z., Niu, J., Wang, Y., Wang, H., y Zhao, X. (2013). Eutrophication and Distribution of Nitrogen and Phosphorus. In *Distribution and Transformation of Nutrients in Large-Scale Lakes and Reservoirs* (pp. 17–42). Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-34964-5_2
- Singh, P., Gundimeda, H., y Stucki, M. (2014). Environmental footprint of cooking fuels: A life cycle assessment of ten fuel sources used in Indian households. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(5), 1036–1048. doi:10.1007/s11367-014-0699-0
- Suppen, N. (2013). Gestión de Ciclo de Vida en América Latina curso sobre Huella de Agua.

- Surendar, K. K., Devi, D. D., Ravi, I., Krishnakumar, S., Kumar, S. R., y Velayudham, K. (2013). Water Stress in Banana- A Review. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 2(6), 1–18. Retrieved from <http://www.bepls.com>
- United Nations [UN]. (2010). *Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010: The human right to water and sanitation*. Recuperado de http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292
- United Nations Environment Programme [UNEP]. (2012). *Measuring Water use in a Green Economy, A Report of the Working Group on Water Efficiency to the International Resource Panel*.
- United Nations World Water Assessment Programme [WWAP]. (2014). *The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy* (Vol. 1). Paris: UNESCO. Recuperado de <http://www.unwater.org/publications/publications-detail/en/c/218614/>
- USEtox. (2015). The USEtox model. Recuperado de <http://www.usetox.org/model>
- Van Zelm, R. Van, Schipper, A. M., Rombouts, M., Snepvangers, J., Huijbregts, a J., y Root, A. (2011). Implementing groundwater extraction in life cycle impact assessment : characterization factors based on plant species richness. *Water*, 45(2), 1–16. doi:10.1021/es102383v
- Water Use in Life Cycle Assessment [WULCA]. (2014). Water Footprint in LCA. Recuperado de <http://www.wulca-waterlca.org/footprinting.html>
- Zarate, E., y Kuiper, D. (2013). Evaluación de Huella Hídrica del banano para pequeños productores en Perú y Ecuador.

APÉNDICES

APÉNDICE 1: CUADROS COMPARATIVOS DE LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS

Cuadro A.1. 1 Reseña de la metodología de evaluación de impactos por uso degradativo del agua para efectos de eutrofización propuesta por (Goedkoop et al., 2013).

Metodología	ReCiPe
Categoría de impacto	Eutrofización de agua dulce (FE)
Punto de impacto	Medio y final
Desarrollador(es)	National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Radboud University (RUN), Institute of Environmental Sciences (CML) de University of Leiden, y PRé Consultants en los Países Bajos
Base metodológica	Se desarrolló con base en las metodologías Eco - indicador 99 y el CML Handbook en ACV. Su nombre se debe a una combinación de los nombres de las organizaciones que la construyeron, y a que provee una receta para calcular dieciocho indicadores de categoría de impacto para análisis de ciclo de vida. Entre estos, se encuentra el impacto por eutrofización de agua dulce para el cual considera el fósforo como el nutriente regulador del crecimiento de la biomasa acuática. Para el cálculo de los factores de caracterización utiliza el modelo CARMEN (acrónimo de “CAuse effect Relation Model to support Environmental Negotiations”), y en la categoría de daño emplea un análisis de regresión entre la pérdida de especies y la concentración de fósforo (Goedkoop et al., 2013).
Indicador de impacto	kg P equivalente (punto medio) o especies.año (punto final) (Goedkoop et al., 2013)
Ventajas	En el sitio web oficial de la metodología, se encuentra disponible la hoja de cálculo con los respectivos factores de caracterización para su aplicación práctica, así como los datos para utilizar en el programa computacional de ACV, SimaPro (Goedkoop, Heijungs, De Schryver, Struijs, & van Zelm, 2014). Uno de sus más importantes aportes es que permite obtener los resultados de la caracterización de punto final a partir de los resultados de la caracterización de punto medio. Además, provee factores de normalización a escala mundial, lo cual la hace un instrumento útil para el cálculo de impactos en diferentes regiones. Provee diferentes enfoques de los factores de caracterización según las consideraciones tomadas: individualista (corto plazo), igualitaria (largo plazo), jerarquización (equilibrado) (Dong & Ng, 2014).
Desventajas	Para el cálculo del impacto de punto final en la categoría de eutrofización de agua dulce, no se toman en cuenta factores hidrodinámicos y procesos bioquímicos que también podrían afectar la desaparición de especies (Dong & Ng, 2014).
Publicaciones para consulta	(Dong y Ng, 2014), (Singh, Gundimeda y Stucki, 2014) y (Boulay et al., 2015)

Cuadro A.1. 2 Reseña de la metodología de evaluación de impactos por uso degradativo del agua para efectos de toxicidad humana y ecotoxicidad propuesta por (Henderson et al., 2011).

Metodología	USEtox
Categoría de impacto	Toxicidad humana y Ecotoxicidad
Punto de impacto	Medio y final
Desarrollador(es)	Task Force on Toxic Impacts, UNEP-SETAC Life Cycle Initiative
Base metodológica	Esta metodología permite evaluar los efectos en el ecosistema y la salud humana, de los químicos emitidos a diferentes compartimientos (aire rural, aire urbano, agua dulce, mar, suelo de agricultura o suelo natural). El factor de caracterización de ambos impactos se obtiene a partir de la multiplicación de un factor de destino, de exposición y de efecto, calculados mediante diferentes matrices diseñadas con base en las propiedades de las sustancias químicas y la respectiva vía de entrada del compuesto al ecosistema o al ser humano. En relación a la toxicidad humana, se contemplan aquellos químicos con un potencial para aumentar las muertes. El resultado será el factor de caracterización en casos/kg emisión o Unidades Comparativas Tóxicas (CTU). En lo que respecta a la ecotoxicidad, se evalúa la fracción de especies potencialmente afectadas (Potentially Affected Fraction, PAF) debido a cambios en la concentración de las sustancias. El factor de caracterización da un el resultado en PAF.m ³ .día/kg emision o CTU (Huijbregts et al., 2010).
Indicador de impacto	PAF.m ³ .día (ecotoxicidad) y casos (toxicidad humana) (Huijbregts et al., 2010)
Ventajas	En la página oficial de la metodología está a disposición del practicante, un documento de Excel en el cual se incluyen todos los modelos y matrices de cálculo que proveen el factor de caracterización respectivo, al agregar determinados datos del químico en estudio (USEtox, 2015). Adicionalmente, se provee una lista de factores de caracterización para alrededor de dos mil quinientas sustancias químicas, disponible también en el programa computacional SimaPro (Henderson et al., 2011).
Desventajas	No presenta diferenciación por región según el lugar de emisión. Además, los factores de exposición y destino disponibles para metales y compuestos ionizantes, se consideran insuficientes y deben ser interpretados con cuidado (Henderson et al., 2011).
Publicaciones para consulta	(Henderson et al., 2011) y (Boulay et al., 2015)

Cuadro A.1. 3 Reseña de la metodología de evaluación de impactos por uso consuntivo y degradativo propuesta por (Bayart et al., 2014).

Metodología	The Water Impact Index: a simplified single-indicator approach for water footprinting
Categoría de impacto	Disponibilidad
Punto de impacto	Medio
Desarrollador(es)	Veolia
Base metodológica	Esta metodología propone el uso del Índice de Impacto Hídrico (WIIX, por sus siglas en inglés) que contempla aspectos de cantidad y calidad para evaluar el impacto ambiental potencial en la disponibilidad del recurso hídrico. El cálculo para obtener el índice es sencillo, esto se debe a que comprende únicamente una resta del producto de las características del agua extraída, menos el producto de los mismos aspectos del agua de salida. Dichas características son el volumen, un factor de calidad del agua y el índice de estrés del recurso (WSI) propuesto por Pfister, Koehler, & Hellweg, (2009). El factor de calidad de agua comprende un valor entre 0 y 1, donde este último representa la mejor calidad de agua. Este factor se calcula a partir de la sustancia de mayor peligrosidad ambiental implicada en la actividad que se evalúa, y su resultado se obtendrá a partir de la concentración del contaminante en el agua y la concentración de referencia definida como límite en la legislación respectiva. El WSI se incluye con el fin de tomar en cuenta en el índice, la escasez local de agua dulce. El resultado obtenido al emplear esta metodología, es decir el valor del WIIX, indica la disponibilidad perdida de un metro cúbico de agua de buena calidad en una región con estrés hídrico severo (Bayart et al., 2014).
Indicador de impacto	Unidad de volumen equivalente de índice de impacto hídrico (m ³ equivalentes o gal equivalentes de agua)
Ventajas	Es sencilla ya que unifica los efectos de calidad, cantidad y escasez en un solo índice para evaluar el impacto ambiental potencial por el uso del agua. Su simplicidad permite que haya claridad y transparencia para quien la implementa. Cabe destacar que el WIIX relaciona la calidad del agua de salida respecto a los umbrales que se deben cumplir basados en la legislación, que permitirán mantener un buen estado de los cuerpos de agua receptores (Bayart et al., 2014). Además, refleja el efecto positivo que se genera al liberar agua de mejor calidad al ambiente (Boulay, Bayart, et al., 2015). Kounina et al. (2012) destaca que es uno de los únicos dos métodos que consideran los parámetros de calidad en la restricción de la disponibilidad del recurso. El WIIX evalúa el uso degradativo y consuntivo del agua al incluir las características del agua de salida y entrada (Boulay, Motoshita, et al., 2015).
Desventajas	El reportar únicamente este índice en un estudio de huella de agua, no implica que se haya realizado una evaluación de carácter comprensivo, por consiguiente dicho estudio requerirá emplear más categorías de impacto. Por otra parte, el factor de calidad toma en cuenta únicamente el contaminante de mayor riesgo, lo cual excluye los potenciales impactos ambientales de los otros contaminantes así como de las combinaciones de estos (Bayart et al., 2014). Lo anterior conlleva a que el resultado obtenido se vea influenciado en gran medida por la elección del contaminante para el factor de calidad. Además, no se ha aceptado completamente el WIIX para ser integrado en un perfil de huella de agua ya que puede ocasionar una doble contabilización de impactos en calidad (Boulay, Bayart, et al., 2015).
Publicaciones para consulta	(Kounina et al., 2012), (Boulay, Bayart, et al., 2015) y (Boulay, Motoshita, et al., 2015)

Cuadro A.1. 4 Reseña de la metodología de evaluación de impactos por uso consuntivo propuesta por (Pfister et al., 2009).

Metodología	Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA
Categoría de impacto	Escasez, salud humana, ecosistemas y recursos
Punto de impacto	Medio y final
Desarrollador(es)	ETH Zurich, Institute of Environmental Engineering, Suiza
Base metodológica	<p>Para evaluar la escasez del recurso como impacto de punto medio, los desarrolladores proveen el índice de estrés hídrico (WSI, por sus siglas en inglés) como factor de caracterización. Este índice se calculó por medio de la razón del total de las extracciones anuales de agua y su disponibilidad hidrológica, utilizando el modelo global de WaterGAP2 que abarca el aspecto hidrológico y socioeconómico. Mediante la función desarrollada obtuvieron los WSI con valores entre 0,01 y 1 para las diferentes cuencas a nivel mundial (Pfister et al., 2009).</p> <p>Las categorías de daño en la salud humana, ecosistema y recursos, son los impactos de punto final evaluados por esta metodología. El indicador en la salud humana, se basa en los efectos de la privación de agua para la producción de alimentos (por la afectación al riego). Para hacer la estimación del daño se consideraron tres pasos de la cadena de causa-efecto desde el consumo de agua hasta el efecto final en la salud: i) cuantificación de la falta de agua dulce para las necesidades humanas, ii) evaluación de la vulnerabilidad y iii) estimación cuantitativa de los daños a la salud relacionados con la deficiencia de agua. El factor de caracterización para esta categoría de impacto será el resultado del producto del índice de estrés hídrico, la fracción de uso de agua en la agricultura, el factor de desarrollo humano, requerimiento de agua per cápita para prevenir la malnutrición y la constante de daño causado por malnutrición. El resultado del impacto estará dado en años de vida ajustados por discapacidad (DALY, por sus siglas en inglés). En cuanto al efecto en el ecosistema, se utilizan los valores de productividad primaria neta (NNP) afectada por escasez de agua para cuantificarlo. Estos valores se emplearon debido a que los desarrolladores encontraron una correlación significativa entre la biodiversidad de especies de plantas vasculares (VPBD) y los valores de NPP obtenidos en otro estudio. A partir de estos valores de NPP y las precipitaciones por cuenca por país, se calculan los factores de caracterización, y el impacto se dará en unidades de la fracción potencialmente desaparecida de especies (PDF, por sus siglas en inglés) por metro cuadrado de área por año (Pfister et al., 2009). El resultado de daño al ecosistema abarca la disminución de biodiversidad terrestre debido al consumo de agua (Kounina et al., 2012). Por otra parte, el daño potencial sobre los recursos abióticos se analiza a partir del concepto de tecnología de reserva (backup-technology). Se expresa como la "energía extra" (MJ) requerida para hacer que el recurso esté disponible en el futuro a partir de otras fuentes, por lo que se utiliza como referencia la tecnología para desalinizar el agua y convertirla en agua potable (Pfister et al., 2009).</p>
Indicador de impacto	m3 equivalentes de agua, DALY, PDF.m2.año y MJ
Ventajas	<p>Abarca todas las áreas de protección tanto en el impacto de punto medio con el WSI, así como para los impactos de punto final. Kounina et al. (2012) resalta que esta metodología considera la capacidad de almacenamiento según la región, aspecto importante debido a la relación que este tiene con la privación de agua. Bayart et al. (2010) destaca que la metodología "es muy funcional para evaluar el uso de agua dulce consuntivo, ya que proporciona factores de caracterización regionalizados a nivel de cuencas hidrográficas con cobertura global" (p. 441). Además, los WSI se dan en una resolución espacial de 0,5°, lo cual según Ridoutt y Pfister (2010), es la forma más relevante de describir la escasez de agua local a nivel de cuenca. Cabe destacar que es uno de los dos métodos aceptados que evalúa el impacto en los recursos, y es el único que lo hace a nivel de cuencas (Kounina et al., 2012). Sumado a las ventajas anteriores, los desarrolladores han puesto a disposición pública en la web, todos los valores de los factores de caracterización y los WSI calculados mediante este método en una capa para utilizar en el programa Google Earth y en un documento Excel, ambos disponibles en ETHzürich (2015).</p>

Continuación del Cuadro A.1.4

Metodología	Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA
Desventajas	Para el desarrollo de esta metodología se partió de varias premisas, entre las cuales se asumió que no hay una relación de causa-efecto entre el consumo de agua y la falta de agua para el uso doméstico, ya que este último uso depende principalmente de la infraestructura disponible. Adicionalmente, el factor de efecto calculado como la multiplicación de los requerimientos de agua per cápita para prevenir la malnutrición por el factor de desarrollo humano, trae consigo dos riesgosas premisas. La primera de estas es el asumir que el impacto en la salud por la malnutrición global se da únicamente por la falta de agua para irrigación, lo que podría conducir a una sobreestimación del impacto. Por el contrario, la segunda podría llevar a una subestimación del impacto, ya que se asume que el caso de malnutrición aparece una vez que ya no hay más agua disponible (Boulay, Motoshita, et al., 2015). Además, en esta metodología no se considera la capacidad de adaptación y compensación en el impacto a la salud humana, ni el efecto del uso degradativo en la disponibilidad del agua (Boulay et al., 2011).
Publicaciones para consulta	(Kounina et al., 2012), (Boulay, Bayart, et al., 2015), (Boulay, Motoshita, et al., 2015), (Jeswani & Azapagic, 2011)

Cuadro A.1. 5 Reseña de la metodología de evaluación de impactos por uso consuntivo y degradativo propuesta por (Hoekstra et al., 2011).

Metodología	The Water Footprint Assessment Manual
Categoría de impacto	Escasez
Punto de impacto	Medio
Desarrollador(es)	Water Footprint Network
Base metodológica	La metodología para el cálculo de huella hídrica desarrollada por Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen (2011), incluye una sección en la que se propone una forma de emplear los resultados obtenidos de huella hídrica azul, verde y gris para obtener un indicador de impacto. Estos autores plantean el cálculo de un índice de escasez al relacionar los resultados de huella hídrica por color obtenidos en el inventario, con la disponibilidad de agua respectiva para una determinada región en un tiempo específico. Adicionalmente, la cuantificación de los impactos se realiza calculando índices de impacto hídrico azul y verde, los cuales se obtienen a partir del producto de los resultados del inventario y el respectivo índice de escasez según el período de tiempo y la cuenca. También incluye un índice de impacto hídrico gris, obtenido a partir de la huella hídrica gris y el nivel de contaminación del agua (Hoekstra et al., 2011).
Indicador de impacto	m ³ equivalentes de agua
Ventajas	Este método de punto medio cubre con sus índices todas las áreas de protección y provee factores de caracterización diferenciados por cuenca (Kounina et al., 2012). Los índices de escasez de las principales cuenca hidrográfica en el mundo están disponibles en la web para descarga gratuita (Boulay, Bayart, et al., 2015).
Desventajas	Es importante resaltar que en este método no se toman en cuenta aspectos sociales ni económicos al evaluar los impactos (Hoekstra et al., 2011), y que los resultados disponibles por cuenca no cubren todas las regiones a nivel global (Boulay, Motoshita, et al., 2015). Además, se hace uso de los resultados del inventario como indicadores, para lo cual Kounina et al. (2012) recalca que aún no ha sido probada la interrelación entre estos resultados y el impacto relacionado al uso del agua dulce, lo que podría ser engañoso. Por otra parte, Ridoutt y Pfister (2010) mencionan que el método de huella hídrica gris no ha sido del todo aceptado, ya que consideran que un litro de agua extraída directamente del recurso es igual a un litro de agua necesaria para asimilar un contaminante.
Publicaciones para consulta	(Kounina et al., 2012), (Boulay, Bayart, et al., 2015), (Boulay, Motoshita, et al., 2015)

Cuadro A.1. 6 Reseña de la metodología de evaluación de impactos por uso consuntivo y degradativo propuesta por (Boulay et al., 2011).

Metodología	Regional Characterization of Freshwater Use in LCA: Modeling Direct Impacts on Human Health
Categoría de impacto	Escasez, disponibilidad y salud humana
Punto de impacto	Medio y final
Desarrollador(es)	Anne Marie Boulay, Cécile Bulle, Louise Deschênes y Manuele Margni de CIRAIG, Department of Chemical Engineering, Ecole Polytechnique de Montreal (QC), Canadá Jean Baptiste Bayart de Veolia Environnement, Francia
Base metodológica	Este método de caracterización provee tres enfoques diferentes para evaluar los impactos ambientales potenciales. El primero de estos comprende un enfoque de punto medio, en el cual se evalúa el impacto ambiental por escasez, como consecuencia del uso consuntivo del agua. Utiliza como factor de caracterización un índice de estrés hídrico llamado α , el cual se obtiene según el tipo de fuente de agua, y se calcula mediante un relacionamiento matemático del uso consuntivo en la región dada, la fracción de uso del recurso dependiente de agua subterránea y la proporción de agua disponible en la región. Para los datos de consumo y disponibilidad de agua utilizan como base de datos el WaterGAP 2.2. El segundo enfoque es de punto medio y contempla, adicional al primer enfoque, el impacto en la disponibilidad del agua por su uso degradativo. Este se basa en que el impacto por pérdida de funcionalidad del agua, no afecta de igual forma a todos los usuarios, debido a que estos requieren diferentes calidades de agua para el desarrollo de sus actividades. Hace uso de un factor que representa la proporción en que el usuario específico es afectado por el cambio en la disponibilidad del agua requerida para sus actividades, contemplando la funcionalidad y el tipo de usuario potencialmente afectado. El tercer enfoque es de punto final, y permite evaluar los impactos potenciales en la salud humana producto de una pérdida en la disponibilidad y/o calidad del agua. Para ello emplea un factor de caracterización que incluye el estrés de agua regional (α), el grado en que los usuarios se podrán ver afectados por cambios en la disponibilidad del recurso, la capacidad de adaptación al cambio según el país y el impacto en la salud humana por un déficit de agua para el usuario específico (método probabilístico) (Boulay et al., 2011). Las vías de impacto que evalúa son: malnutrición por privación de agua a los usuarios del sector agrícola, malnutrición por privación de agua para el sector pesquero y enfermedades relacionadas a la falta de agua en usos domésticos. Considera dos posibles escenarios, el primero es aquel en el que todos los usuarios están compitiendo por el recurso, y se ven afectados proporcionalmente según su distribución; y el segundo en el que el uso del agua sólo privará a un usuario de esta (escenario marginal) (Boulay, Motoshita, et al., 2015).
Indicador de impacto	m ³ equivalentes de agua y DALY
Ventajas	El modelo contempla cómo el uso degradativo y el uso consuntivo afectan el acceso al agua. El índice de estrés hídrico propuesto considera las variaciones por estación, y diferencia entre tipo de fuente de agua. Reconoce la diferenciación por usuario y la calidad de agua que cada uno de estos requiere al evaluar los impactos (Boulay et al., 2011).
Desventajas	Se requiere una mayor cantidad de estudios para evaluar los resultados al emplear la metodología. Además, es necesario llevar a cabo estudios de evaluación de la incertidumbre y los parámetros dados. La exactitud de los datos sobre la calidad del agua por región debe mejorarse, así como el relacionamiento en tiempo y espacio. Al poner en práctica esta metodología, pueden estar subestimando los impactos potenciales ya que no se consideran las interacciones entre aguas superficiales y subterráneas y el uso consecutivo del recurso. No hay disponible una base de datos completa para todos los países, con los factores de caracterización requeridos para la metodología (Boulay et al., 2011). El emplear la metodología requiere cuidado para evitar que haya una doble contabilidad de impacto por contaminantes (Boulay, Bayart, et al., 2015).
Publicaciones para consulta	(Kounina et al., 2012), (Boulay, Motoshita, et al., 2015) y (Boulay, Bayart, et al., 2015)

Cuadro A.1. 7 Reseña de la metodología de evaluación de impactos por uso consuntivo y degradativo propuesta por (Ridoutt & Pfister, 2010).

Metodología	A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity
Categoría de impacto	Escasez
Punto de impacto	Medio
Desarrollador(es)	Bradley G. Ridoutt, CSIRO Sustainable Ecosystems, Australia Stephan Pfister, ETH Zurich, Institute of Environmental Engineering, Suiza
Base metodológica	Este método presenta una guía para obtener un valor de escasez como impacto de punto medio, tomando como base las publicaciones de huella hídrica de Hoekstra, Chapagain, Aldaya, y Mekonnen (2011) y Pfister, Koehler, y Hellweg (2009). El volumen de agua azul se suma al volumen de agua gris obtenidos del inventario desarrollado, y el impacto es el resultado del producto de esta cantidad por el WSI propuesto por Pfister et al. (2009) (Ridoutt & Pfister, 2010). El WSI empleado como factor de caracterización está basado en la razón de las extracciones y la disponibilidad del agua (Kounina et al., 2012). Al incluir el agua gris se pretende tomar en cuenta en el impacto, el efecto del uso degradativo del agua en el estrés del recurso, ya que según los autores del método este tiene una contribución importante a la huella por escasez (entre el 30 al 62%). Por otra parte, no se considera el agua verde ya que se afirma que esta no contribuye a la escasez del recurso ya que es accesible únicamente por la ocupación de las tierras (Ridoutt & Pfister, 2010). Kounina et al. (2012) resalta que esta publicación en una versión extendida de la propuesta por (Pfister et al., 2009).
Indicador de impacto	m3 equivalentes de agua
Ventajas	El indicador de punto medio que propone es común a todas las áreas de protección y sus factores de caracterización están diferenciados por país y por celda de la cuadrícula (Kounina et al., 2012). Esta metodología es una alternativa para el análisis de los impactos por escasez, proveída a los métodos que evalúan únicamente la huella hídrica (volumen) (Ridoutt & Pfister, 2010).
Desventajas	El método de estimación de la huella de agua gris no ha sido totalmente aceptado por la comunidad científica, esto se debe a que una unidad de volumen de agua extraída del ambiente no es conceptualmente igual que la misma unidad de volumen de agua que asimila un contaminante. Por lo tanto, se prefiere el uso de otras categorías de impacto que empleen modelos más complejos para cuantificar el efecto de los contaminantes en un estudio con enfoque de ACV (Ridoutt & Pfister, 2010).
Publicaciones para consulta	(Kounina et al., 2012)

Cuadro A.1. 8 Reseña de la metodología de evaluación de impactos por uso consuntivo propuesta por (Frischknecht et al., 2009).

Metodología	The Ecological Scarcity Method- Eco Factors 2006
Categoría de impacto	Escasez
Punto de impacto	Medio
Desarrollador(es)	Federal Office for the Environment (FOEN), Suiza
Base metodológica	Esta publicación da una guía para la evaluación de impactos ambientales de diferentes categorías en un estudio de ACV, entre los que se incluyen las emisiones de contaminantes y el consumo de recursos. Sus indicadores se expresan en eco-puntos (EP), y sus factores de caracterización son llamados “eco-factores” cuya unidad de medida es el eco-punto por unidad de contaminante o extracción de recurso. Estos factores están definidos por la situación específica de emisión o extracción, así como por lineamientos políticos (política Suiza), a mayor exceso a los límites de protección ambiental, mayor será el valor final de los EP. Esta metodología está desarrollada siguiendo tres aspectos propuestos por la ISO 14044, los cuales son la caracterización, la normalización y la ponderación. El eco-factor es cuantificado a partir del producto de tres variables y una constante que permite obtener datos presentables; donde cada variable representa un valor por caracterización, por normalización y otro por ponderación. El primero de estos refleja la peligrosidad de la emisión o extracción que se realiza, mientras que el segundo cuantifica la contribución de una unidad de contaminante o recurso utilizado al total de una región dada por año (datos de Suiza). El último elemento se emplea para expresar la relación de la emisión del contaminante o extracción del recurso, con los umbrales aceptados en las políticas del país (Suiza)(Frischknecht et al., 2009). Para el cálculo del factor de escasez utiliza el principio “distancia al objetivo” lo cual, según Boulay, Motoshita, et al. (2015), es similar a utilizar la razón de las extracciones y la cantidad de agua disponible. Se hace uso de los datos del inventario WaterGap y evalúa únicamente el uso de agua consuntivo (Boulay, Motoshita, et al., 2015). Para el caso específico de agua dulce, calcula tres tipos de eco-factores: uno específico por país para Suiza y algunos países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), y para seis diferentes situaciones de escasez que comprenden: baja, moderada, media, alta, muy alta y extrema (Frischknecht et al., 2009).
Indicador de impacto	eco-puntos
Ventajas	El indicador planteado para el impacto de punto medio por escasez, es común a todas las áreas de protección según afirma Kounina et al. (2012). Los resultados están dados a nivel país y a nivel de celda de la cuadrícula de 0,5° (Boulay, Motoshita, et al., 2015). Entre otras ventajas que presenta, está que los eco-factores se pueden utilizar para cualquier tipo de recursos hídricos renovables, y están disponibles para los países de la OCDE. Si una región no está incluida en esta organización, se puede calcular el eco-factor si los datos disponibles de la misma lo permiten. Adicionalmente, el método permite un análisis muy diferenciado debido a los distintos tipos de eco-factores que provee (Frischknecht et al., 2009).
Desventajas	Si se regionalizó el eco-factor, se debe tomar en cuenta que los factores de ponderación deberán ser convertidos a la situación de Suiza (Frischknecht et al., 2009). Por otra parte, los factores de caracterización no están accesibles, se pueden obtener únicamente contactando al autor (Boulay, Bayart, et al., 2015). Cabe destacar que los resultados de los indicadores son difíciles de comparar con los resultados de las otras metodologías de evaluación de impactos, en el caso que se requiera evaluar diferentes resultados.
Publicaciones para consulta	(Kounina et al., 2012), (Boulay, Bayart, et al., 2015) y (Boulay, Motoshita, et al., 2015)

Cuadro A.1. 9 Reseña de la metodología de evaluación de impactos por uso consuntivo propuesta por (Milà I Canals et al., 2009).

Metodología	Assessing freshwater use impacts in LCA: Part I—inventory modelling and characterisation factors for the main impact pathways
Categoría de impacto	Impacto en el ecosistema de agua dulce y agotamiento de los recursos de agua dulce
Punto de impacto	Medio
Desarrollador(es)	Llorenç Milà i Canals, Unilever – Safety & Environmental Assurance Centre y Centre for Environmental Strategy, University of Surrey, Reino Unido Jonathan Chenoweth, Centre for Environmental Strategy, University of Surrey, Reino Unido Ashok Chapagain, World Wide Fund for Nature (WWF), Reino Unido Stuart Orr, WWF, Reino Unido Assumpció Antón, Instituto de Investigación de la Generalitat de Catalunya (IRTA), España. Roland Clift, Centre for Environmental Strategy, University of Surrey, Reino Unido
Base metodológica	La metodología propone el uso de un indicador que relaciona el uso de agua dulce y los recursos de agua dulce disponibles, para evaluar el impacto en el ecosistema de agua dulce (FEI); y adicionalmente realiza una exploración en el método utilizado comúnmente para evaluar la reducción de este recurso (FD). Se contempla únicamente el uso de agua consuntiva, ya que este es el que lleva a una reducción en la disponibilidad del recurso para otros usuarios, entre estos, el ecosistema (Milà I Canals et al., 2009). Para el factor de caracterización del FEI propone el uso de diferentes tipos de índices ya publicados por otros autores (Kounina et al., 2012). Sin embargo, el que recomienda más es el índice de estrés hídrico (WSI) estimado como la razón del agua utilizada y los recursos de agua disponibles menos los requerimientos de agua del ambiente. Kounina et al. (2012) detalla que esta metodología sugiere que los cambios en la disponibilidad de agua llovida causados por los sistemas de producción, por ejemplo los efectos en la infiltración, evapotranspiración y escorrentía, sean incluidos en los impactos al ecosistema. En lo que se refiere al agotamiento de los recursos de agua dulce (FD), los autores consideran como factor de caracterización el potencial de agotamiento abiótico (ADP). Proponen una adaptación del método original en el que se incluye una tasa de extracción del recurso, la tasa de regeneración del recurso, la reserva final del recurso y la tasa de des-acumulación del recurso de referencia para ADP referida al Antimonio (Sb) (Milà I Canals et al., 2009).
Indicador de impacto	m ³ de agua equivalentes y kg Sb equivalentes
Ventajas	Provee una guía para la cuantificación del agua evaporada de la irrigación en producciones agrícolas y otros procesos (reservorios y canales, agua de enfriamiento y secado de textiles) (Milà I Canals et al., 2009). Los factores de caracterización propuestos están disponibles a nivel país (Kounina et al., 2012). A pesar de que su alcance es de punto medio, según Milà I Canals et al. (2009), hay una gran relación entre los resultados de los indicadores de categorías y los de punto final.
Desventajas	Se requiere aún más investigación para establecer las relaciones de estos impactos de punto medio con las categorías de punto final en los niveles de daño. Para los impactos en el ecosistema de agua dulce, no se toman en cuenta las variaciones de los flujos estacionales, debido a que los datos se obtuvieron a partir de estimaciones anuales. Adicionalmente, el método de caracterización de FD es útil únicamente en impactos localizados, ya que presenta la problemática de que cuando se evalúa por país, los valores tienden a ser muy inciertos (Milà I Canals et al., 2009). Este método no provee factores de caracterización regionalizados, únicamente a nivel país. Los efectos por el uso de agua llovida están fuertemente relacionados al impacto por ocupación del suelo (Kounina et al., 2012), por lo que al incluirlo en los impactos en la calidad del ecosistema se debe tener cuidado de no realizar una doble contabilización de efectos.
Publicaciones para consulta	(Kounina et al., 2012)

Cuadro A.1. 10 Reseña de la metodología de evaluación de impactos por uso consuntivo propuesta por (Motoshita et al., 2009).

Metodología	Health Damage Assessment Modeling on Agricultural Water Scarcity based on Regression Analysis of Statistical Data T
Categoría de impacto	Salud humana
Punto de impacto	Final
Desarrollador(es)	Masaharu Motoshita, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japón Norihito Itsubo, Tokyo City University, Japón Atsushi Inaba, Kogakuin University, Japón
Base metodológica	Este método evalúa el impacto en la salud humana vía la malnutrición ocasionada por la privación de agua para irrigación, y se basa en datos hidrológicos y socioeconómicos (Kounina et al., 2012). Los autores toman esta vía de impacto basándose en que a nivel mundial, el 70% del uso del agua es para la producción de alimentos, y por lo tanto, la escasez de agua para la agricultura representa uno de los problemas más serios. La falta de agua para la agricultura afecta directamente la producción de cultivos, lo cual tiene un efecto negativo en el consumo de energía en la persona a través de la alimentación, y resulta en malnutrición como impacto final en la salud humana. El factor de daño es calculado como el producto del índice de estrés hídrico propuesto por Pfister, Koehler, & Hellweg (2009), la productividad de los cultivos, el consumo directo o indirecto de energía per cápita por día, y un factor de daño diferenciado estimado a partir de un estudio de regresión (Motoshita et al., 2009). El método permite una variación para evaluar el efecto sobre el comercio, aplicando un modelo de reparto de la escasez de alimentos, el cual está basado en las importaciones netas mundiales en los países incapaces de adaptarse completamente a la falta de alimentos. Esta capacidad de adaptación la evalúa mediante el modelo propuesto por Boulay, Bulle, Bayart, Deschênes, & Margni (2011). Los factores de caracterización están dados a nivel país en años de vida ajustados por discapacidad por metro cúbico de agua consumida (DALY/m ³), y el efecto final en la salud humana está dado en DALYs. El modelo se basa en los datos publicados por la FAO en su base de datos Aquastat (Boulay, Motoshita, et al., 2015).
Indicador de impacto	DALY
Ventajas	Esta metodología es la única que provee un modelo que permite entender cómo impacta en otros países alrededor del mundo, la escasez de suministro de alimentos en un determinado país, debido a sus relaciones comerciales. Se puede aplicar el método contemplando este efecto en el comercio, o bien sin el mismo, lo cual se realiza para comparar los impactos locales. Aunque la inclusión de este efecto en el comercio está en desarrollo, el no contemplarlo puede llevar a una subestimación de los impactos (Boulay, Motoshita, et al., 2015).
Desventajas	Los factores de caracterización aún no están disponibles para uso público, y se consiguen únicamente al contactar al autor (Boulay, Bayart, et al., 2015). Los resultados de aplicar esta metodología no se puede comparar directamente con los valores de DALY de las otras metodologías que utilizan la misma vía de impacto. Además, los factores de caracterización están dados por el momento a nivel país, sin mayor capacidad de detalle por región (Boulay, Motoshita, et al., 2015).
Publicaciones para consulta	(Kounina et al., 2012), (Boulay, Motoshita, et al., 2015) y (Boulay, Bayart, et al., 2015)

Cuadro A.1. 11 Reseña de la metodología de evaluación de impactos por uso consuntivo propuesta por (Motoshita et al., 2011).

Metodología	Development of impact factors on damage to health by infectious diseases caused by domestic water scarcity
Categoría de impacto	Salud Humana
Punto de impacto	Final
Desarrollador(es)	Research Institute of Science for Safety and Sustainability (RISS), National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japón
Base metodológica	La escasez de agua para uso doméstico puede llevar al consumo de agua contaminada, lo cual representa uno de los problemas más graves en los países con escasez del recurso. El consumir agua no potable puede ocasionar la propagación de enfermedades infecciosas y parasitarias; por lo tanto, la cantidad de agua disponible para uso doméstico es un aspecto a analizar para prevenir un daño en la salud humana. La pérdida de acceso a agua potable así como los daños a la salud ocasionados por un consumo de agua no potable, constituyen los dos pasos de la cadena de causa-efecto contemplados en esta metodología. Ambos pasos fueron modelados a partir de análisis de regresión múltiples no lineales. Para el primero se utilizó datos de uso doméstico de agua dulce, el producto interno bruto per cápita y el gasto per cápita de la formación bruta de capital. En cuanto al segundo paso, se consideraron otros factores que a su vez influyen en la aparición de enfermedades, entre los que se emplearon la temperatura promedio anual, la conexión de los hogares a abastecimientos de agua, la conexión de los hogares a sistemas de saneamiento, el consumo promedio de energía alimentaria, tasa de población en desnutrición, el coeficiente Gini de consumo de energía alimentaria y el gasto en salud per cápita. Los datos globales de diarrea y de tres infecciones por nematodos intestinales fueron considerados como objetos del estudio. La información estadística se tomó de diferentes bases de datos, entre las que se encuentran la de The World's Water, la WHO, The World Bank y Aquastat. El factor de caracterización para evaluar el impacto en la salud humana se da en años de vida ajustados por discapacidad causados por el déficit de una unidad de volumen de agua para uso doméstico (DALY/m ³) (Motoshita et al., 2011). Este representa, según Boulay, Motoshita, et al. (2015), la falta de acceso a agua potable debido a la escasez de agua para uso doméstico y el incremento subsecuente de enfermedades infecciosas.
Indicador de impacto	DALY
Ventajas	El método permite evaluar tanto los beneficios ambientales por la potabilización de agua para uso doméstico, como el impacto de la falta del recurso para este uso (Motoshita et al., 2011). Los factores de caracterización están dados a nivel país para todos aquellos que poseen datos estadísticos (Kounina et al., 2012).
Desventajas	Motoshita et al. (2011) afirma que se debe estudiar con más detalle la significancia de algunas de las variables excluidas para descartar su influencia en el factor de daño. A su vez destaca la necesidad de analizar los datos a un nivel más local, ya que la situación puede variar entre las diferentes regiones de un mismo país. Los factores de caracterización no han sido publicados aún, por lo que se pueden obtener únicamente si se contacta al autor (Boulay, Bayart, et al., 2015). Esta metodología se enfoca en los impactos causados por un uso específico de agua en una determinada categoría de impacto, por lo que limita su aplicación (Jeswani & Azapagic, 2011). Es importante mencionar que no se contempla la capacidad de adaptación de las poblaciones a la escasez del recurso, ni los efectos por el uso degradativo del agua (Boulay et al., 2011).
Publicaciones para consulta	(Kounina et al., 2012), (Boulay, Bayart, et al., 2015) y (Boulay, Motoshita, et al., 2015)

Cuadro A.1. 12 Reseña de la metodología de evaluación de impactos por uso consuntivo propuesta por (Hanafiah et al., 2011).

Metodología	Characterization factors for water consumption based on freshwater fish species extinction
Categoría de impacto	Calidad del ecosistema
Punto de impacto	Final
Desarrollador(es)	Marlia M. Hanafia, Department of Environmental Science, Institute for Water and Wetland Research, Radboud University Nijmegen, Países Bajos / Department of Environmental Science, National University of Malaysia, , Malasia Marguerite A. Xenopoulos, Department of Biology, Trent University, Canadá Stephan Pfister, ETH Zurich, Institute of Environmental Engineering, Suiza Rob S.E.W. Leuven, Department of Environmental Science, Institute for Water and Wetland Research, Radboud University Nijmegen, Países Bajos Mark A. J. Huijbregts, Department of Environmental Science, Institute for Water and Wetland Research, Radboud University Nijmegen, Países Bajos
Base metodológica	El consumo de agua desmedido de una fuente determinada del recurso, puede llevar a la disminución de la riqueza de especies de un ecosistema de agua dulce al reducir el caudal de este. Y la situación se puede ver empeorada, si la reducción ocasiona la concentración de nutrientes y contaminantes. Los desarrolladores del método proveen factores de caracterización que permiten evaluar el impacto ambiental por la pérdida de especies en los ecosistemas acuáticos, debido al consumo del recurso. En este, el caudal de una fuente de agua es utilizado como referencia al espacio ocupado como hábitat de las especies acuáticas, y se enfoca en las especies nativas de peces de agua dulce a nivel mundial. Se estima la relación de la reducción del caudal con la pérdida cuantitativa de especies de peces, mediante el uso de un modelo global de especies- descargas de agua, un índice de espacio que cumple el papel de hábitat y las oportunidades de alimentación y reproducción. Los factores de caracterización se calcularon a partir de este modelo para 214 cuencas a nivel global, y se utilizaron los datos del modelo de WaterGap para los cálculos. Estos factores representan el impacto ocasionado en la riqueza de especies de peces de agua dulce por el uso del agua en actividades humanas, y están expresados en la fracción potencialmente desaparecida de especies en un metro cúbico de agua en un año por los metros cúbicos consumidos (PDF.m ³ .año/m ³) (Hanafiah et al., 2011).
Indicador de impacto	PDF.m ³ .año
Ventajas	Los factores de caracterización propuestos están dados en una diferenciación espacial por cuencas (Kounina et al., 2012), y están disponibles para el público. Es la única metodología publicada que evalúa la pérdida de especies acuáticas en un contexto de ACV (Hanafiah et al., 2011).
Desventajas	El impacto evaluado contempla únicamente las fuentes de agua superficial, y por lo tanto se excluyen 83 cuencas que están en latitudes por encima de los 42° debido a que su cobertura de hielo no permite alcanzar el potencial máximo de riqueza de especies. Además, se excluyeron 29 cuencas más por vacíos de información en los volúmenes de agua y longitud de los ríos. Los datos faltantes para el resto de las cuencas debieron ser estimados a partir de la combinación de diferentes fuentes de información. Es importante aclarar que en este método se emplea un modelo global de especies-descargas. Sin embargo, es más recomendable utilizar un modelo específico por cuenca, lo cual se ve impedido por la falta de información. A su vez, los factores de caracterización no representan a cabalidad el impacto en las especies acuáticas, ya que se debieron excluir algunos grupos taxonómicos (Hanafiah et al., 2011).
Publicaciones para consulta	(Kounina et al., 2012)

Cuadro A.1. 13 Reseña de la metodología de evaluación de impactos por uso consuntivo propuesta por (van Zelm et al., 2011).

Metodología	Implementing groundwater extraction in life cycle impact assessment: characterization factors based on plant species richness for The Netherlands
Categoría de impacto	Calidad del ecosistema
Punto de impacto	Final
Desarrollador(es)	Department of Environmental Science, Institute for Water and Wetland Research, Radboud University Nijmegen, Países Bajos Deltares, Soil and Groundwater Systems, Países Bajos
Base metodológica	En el momento en que se alcanza un nivel de extracción excesivo de agua subterránea, la vegetación freatófila de origen natural o por producción agrícola, que es dependiente de esta fuente de agua, se puede ver afectada. Este método cubre esta vía de impacto, al evaluar los efectos de la extracción de agua subterránea en la riqueza de especies vegetales terrestres. Se desarrolló con un enfoque de ACV, por lo que para el cálculo del factor de caracterización se emplea un factor de destino y un factor de efecto. El primero se utiliza para expresar el tiempo necesario para reemplazar la cantidad de agua extraída, y se obtiene a partir de la Instrumentación Hidrológica Nacional (NHI) de los Países Bajos correspondiente al año 2000 y el uso del modelo MODFLOW. Los cálculos se realizan a nivel de cuadrícula específicas para el territorio de este país, contemplando el área, el cambio promedio anual del nivel de las aguas subterráneas y cambio en la tasa de extracción del recurso. En la modelación se incluye la intervención de procesos como la precipitación, evapotranspiración y permeabilidad del suelo. Por otra parte, el factor de efecto representa el cambio en la fracción potencialmente no ocuriente de especies de plantas (PNOF) debido al cambio promedio anual del nivel de las aguas subterráneas. Este se obtuvo mediante el modelo estadístico MOVE, el cual permite predecir la aparición o no de especies de plantas al influir diversos parámetros ambientales, entre los cuales se consideró la humedad. Los desarrolladores tomaron en cuenta una lista de 625 especies de plantas, y finalmente se obtuvieron los factores de caracterización en unidades de PNOF.m ² .año/m ³ lo cual es considerado también como PDF.m ² .año/m ³ (van Zelm et al., 2011). Estos resultados se consiguen a partir de una observación empírica de la disminución de la biodiversidad (Kounina et al., 2012), y hacen referencia al cambio en la cantidad de especies de plantas terrestres como producto del cambio en la extracción de agua subterránea en un área determinada (Boulay et al., 2015; van Zelm et al., 2011).
Indicador de impacto	PDF.m ² .año
Ventajas	Los desarrolladores obtuvieron los factores de caracterización a nivel de celdas de la cuadrícula para tres escenarios culturales posibles: individualista, igualitario y jerarquizado. En el método se asumió que todas las especies de plantas tienen la misma importancia para la perspectiva individualista y jerarquizada, por el contrario, para la igualitaria se consideraron sólo aquellas especies en peligro de extinción. Es la primera metodología propuesta en el contexto de ACV que evalúa los impactos de la extracción de agua subterránea sobre los ecosistemas terrestres. Además, da la posibilidad de incluir en la modelación de los factores de caracterización, los efectos de otros aspectos causantes de estrés en el ecosistema (van Zelm et al., 2011).
Desventajas	Boulay et al. (2015) señala que este método está en sus etapas iniciales. Por otra parte Boulay et al. (2015), Jeswani y Azapagic (2011), Kounina et al. (2012) y van Zelm et al. (2011) resaltan como su principal desventaja que ha sido desarrollado una región geográfica específica, Los Países Bajos, lo cual limita su aplicación. A pesar de ello este ha sido utilizado extrapolando los factores de caracterización a otras regiones, pero esto introduce una incertidumbre adicional a los resultados de impacto (Boulay, Bayart, et al., 2015). Según el autor de la metodología, los factores de caracterización para otras zonas en el mundo se podrían obtener siempre y cuando los datos hidrogeológicos requeridos estén disponibles (van Zelm et al., 2011).
Publicaciones para consulta	(Kounina et al., 2012) y (Boulay, Bayart, et al., 2015)

Cuadro A.1. 14 Reseña de la metodología de evaluación de impactos por uso consuntivo propuesta por (Bösch et al., 2007).

Metodología	Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to the ecoinvent database
Categoría de impacto	Agotamiento de los recursos
Punto de impacto	Final
Desarrollador(es)	Michael E. Bösch y Stefanie Hellweg, Institute of Environmental Engineering, ETH Zürich, Suiza Mark A.J. Huijbregts, Department of Environmental Science, Institute for Wetland and Water Research, Faculty of Science, Radboud University Nijmegen, Países Bajos Rolf Frischknecht, ecoinvent Centre, Suiza
Base metodológica	Este método evalúa el impacto ambiental ocasionado por el agotamiento de los recursos, mediante una estimación de la exergía de dicho recurso. La exergía es una propiedad física de una sustancia dada que puede ser entendida como la medida de la energía útil. Su valor cuantitativo puede ser comprendido como “la máxima cantidad de trabajo que puede ser extraído de una sustancia en un ambiente específico” (Bösch, Hellweg, Huijbregts, & Frischknecht, 2007, p.182). Los procesos de producción, así como el consumo de recursos, requieren siempre algún tipo de materia prima del ambiente que contiene un valor de exergía, el cual esta metodología utiliza como indicador para evaluar el impacto. El factor de caracterización propuesto está definido como la Demanda de Exergía Acumulada (CExD), y representa la cantidad total de exergía del recurso que ha sido removida de la naturaleza y que por consiguiente, no estará disponible en el futuro. La exergía está acumulada como energía en forma química, térmica, cinética, potencial, nuclear o radiante; y se elige para el cálculo según el uso del recurso. En el caso específico del recurso hídrico, sólo se considera el agua dulce, y la CExD se evalúa a través de la exergía química que se cuantifica con base en la composición y la energía libre de Gibbs de los respectivos compuestos (Bösch et al., 2007).
Indicador de impacto	MJex
Ventajas	El método es el más completo en términos de cobertura de recursos considerados y sus factores de caracterización están disponibles (Bösch et al., 2007).
Desventajas	Los factores de caracterización no se dan espacialmente diferenciados. Cabe señalar que la metodología no es específica para los recursos hídricos, y no considera aspectos importantes como la escasez de agua. (Kounina et al., 2012). Además, los desarrolladores no tomaron en cuenta aspectos sociales, la disponibilidad técnica del recurso, ni la calidad de la energía (Bösch et al., 2007).
Publicaciones para consulta	(Kounina et al., 2012)

APÉNDICE 2: METODOLOGÍA PRÁCTICA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE AGUA POR USO DIRECTO DEL RECURSO EN LAS PLANTAS EMPACADORAS DE BANANO EN COSTA RICA

OBJETIVO

La presente metodología se ha desarrollado con el objetivo de establecer un procedimiento práctico, para facilitar el cálculo de la huella de agua por eutrofización y escasez, del proceso llevado a cabo en las Plantas Empacadoras de banano de exportación en Costa Rica.

ALCANCE

Esta metodología propone una serie de pasos detallados necesarios a seguir, para el cálculo de la huella de agua por eutrofización y escasez, del proceso llevado a cabo en las Plantas Empacadoras de banano, como resultado del uso directo de dicho recurso. Se desarrolló con base en la norma internacional ISO 14046 Gestión Ambiental-Huella de Agua-Principios, requisitos y directrices, publicada por la Organización Internacional de Estandarización (International Standard Organization [ISO], 2014a). Para el cálculo de los indicadores de las categorías de impacto, se basa en las metodologías propuestas por Goedkoop, Heijungs, De Schryver, Struijs y van Zelm (2013) y la de Pfister, Koehler y Hellweg (2009).

Tiene como alcance geográfico aquellas Plantas Empacadoras de fincas bananeras ubicadas en Costa Rica. Sin embargo, pretende impulsar el desarrollo de metodologías específicas y estudios de huella de agua, para otras regiones de Latinoamérica.

Se incluyen los textos base para la redacción del objetivo y alcance de la medición de huella de agua. Estos contienen los requisitos y lineamientos que contempla la metodología, y que por consiguiente deben ser considerados al implementarla en un caso práctico.

Esta guía describe los procedimientos a seguir para el desarrollo del inventario y la evaluación de los impactos ambientales. Además, explica en términos generales cómo analizar los resultados y algunas recomendaciones para presentar el reporte final de huella de agua.

PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE AGUA POR EUTROFIZACIÓN Y ESCASEZ DE LAS PLANTAS EMPACADORAS

A.2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

A.2.1.1. CONCEPTOS IMPORTANTES

A continuación se definen los conceptos necesarios que se deben comprender, para la lectura y uso correcto de la metodología.

Cuerpo de agua “Entidad de agua con características hidrológicas, hidrogeomorfológicas, físicas, químicas y biológicas definidas en un área geográfica dada” (ISO, 2014, p.2).

Cuerpo receptor “Es todo aquel manantial, zonas de recarga, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, marisma, embalse natural o artificial, canal artificial, estuario, manglar, turbera, pantano, agua dulce, salobre o salada, donde se vierten aguas residuales” (Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE], 2007, Art. 3).

Cuenca “Área donde la escorrentía superficial directa de la precipitación drena por gravedad en una corriente u otro cuerpo de agua” (ISO, 2014, p.2).

Uso consuntivo del agua o consumo de agua Uso del agua en el que esta no regresa a la misma cuenca de la que fue extraída. Este es el caso de las extracciones de agua que son incorporadas en los productos, evaporadas o evapotranspiradas por el suelo o vegetación, o bien cuando es vertida en una cuenca distinta de donde fue captada (United Nations Environment Programme [UNEP], 2012).

Uso no consuntivo del agua (*in situ*) Uso del agua en el que no hay extracción. Este es el caso cuando el recurso se utiliza para navegación, recreación, pesca, vertido de efluentes y algunos casos de generación de energía hidroeléctrica (UNEP, 2012).

Uso degradativo del agua Uso del agua que implica un cambio en la calidad de la misma, la cual es liberada posteriormente a la misma cuenca (Pfister et al., 2009).

Ciclo de Vida “Etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema de un producto, desde la adquisición de las materias primas o generación a partir de los recursos naturales hasta su disposición final” (ISO, 2006, p.8).

Huella de Agua “Métrica(s) que cuantifica los posibles impactos ambientales relacionados con el agua” (ISO, 2014, p.3).

Huella de Agua Directa Estudio de huella de agua que contempla las entradas y salidas de agua, producto de las actividades desarrolladas dentro de los límites de la organización (ISO, 2014).

Huella de Agua Indirecta Estudio de huella de agua que contempla las entradas y salidas de agua, producto de actividades desarrolladas por otras organizaciones, pero que las mismas son consecuencia de las operaciones de la organización responsable de la medición (ISO, 2014).

Categoría de impacto Clase que representa aspectos ambientales de importancia, relacionados con el uso del agua en las actividades de la organización. En esta pueden clasificarse los resultados del inventario, desarrollado como parte del procedimiento para el cálculo de la huella de agua (ISO, 2014).

Indicador de categoría de impacto “Representación cuantificable de una categoría de impacto” (ISO, 2014, p.5).

Impacto de punto final Es el alcance de los modelos de categorización de impactos, que evalúa el impacto ambiental a nivel de áreas de protección (salud humana, ecosistema y recurso) (Dong y Ng, 2014).

Impacto de punto medio Es el alcance de los modelos de categorización de impactos, que evalúa el impacto ambiental desde la liberación de las sustancias o el consumo del recurso, hasta el nivel de punto final (Dong y Ng, 2014).

Eutrofización Es el enriquecimiento natural o antropogénico de nutrientes en un ecosistema acuático, cuya consecuencia es el crecimiento exponencial de las algas y fitoplancton, lo que conlleva a la disminución del oxígeno disuelto, deterioro de la calidad del agua y desaparición de especies acuáticas (Shen, Niu, Wang, Wang y Zhao, 2013).

Perfil de Huella de Agua “Compilación de los resultados de los indicadores de categoría de impacto que abordan los posibles impactos ambientales relacionados con el agua” (ISO, 2014, p.5).

Límites del sistema “Conjunto de criterios especificando cuáles procesos unitarios son parte de un sistema productivo o las actividades de una organización” (ISO, 2014, p.4).

Dueño de información Es la persona que provee los datos medidos directamente de algún proceso, y que son requeridos para el desarrollo del inventario y el posterior cálculo de los impactos por uso del agua.

Unidad Funcional (UF) “Indicador cuantitativo del rendimiento del sistema productivo, proceso u organización para uso como unidad de referencia” (ISO, 2014, p.7).

Flujo de referencia (FR) “Medida de las salidas de un proceso en un sistema productivo dado requeridas para cumplir la función expresada por la unidad funcional” (ISO, 2014, p.7).

A.2.1.2. ASPECTOS GENERALES SOBRE LAS EMPACADORAS

El proceso de post-cosecha de banano para su exportación, generalmente abarca las etapas de: recepción y evaluación de la fruta, desmane, lavado, selección, desleche, pesaje, desinfección, etiquetado y el empaque (Figura A.2.1).

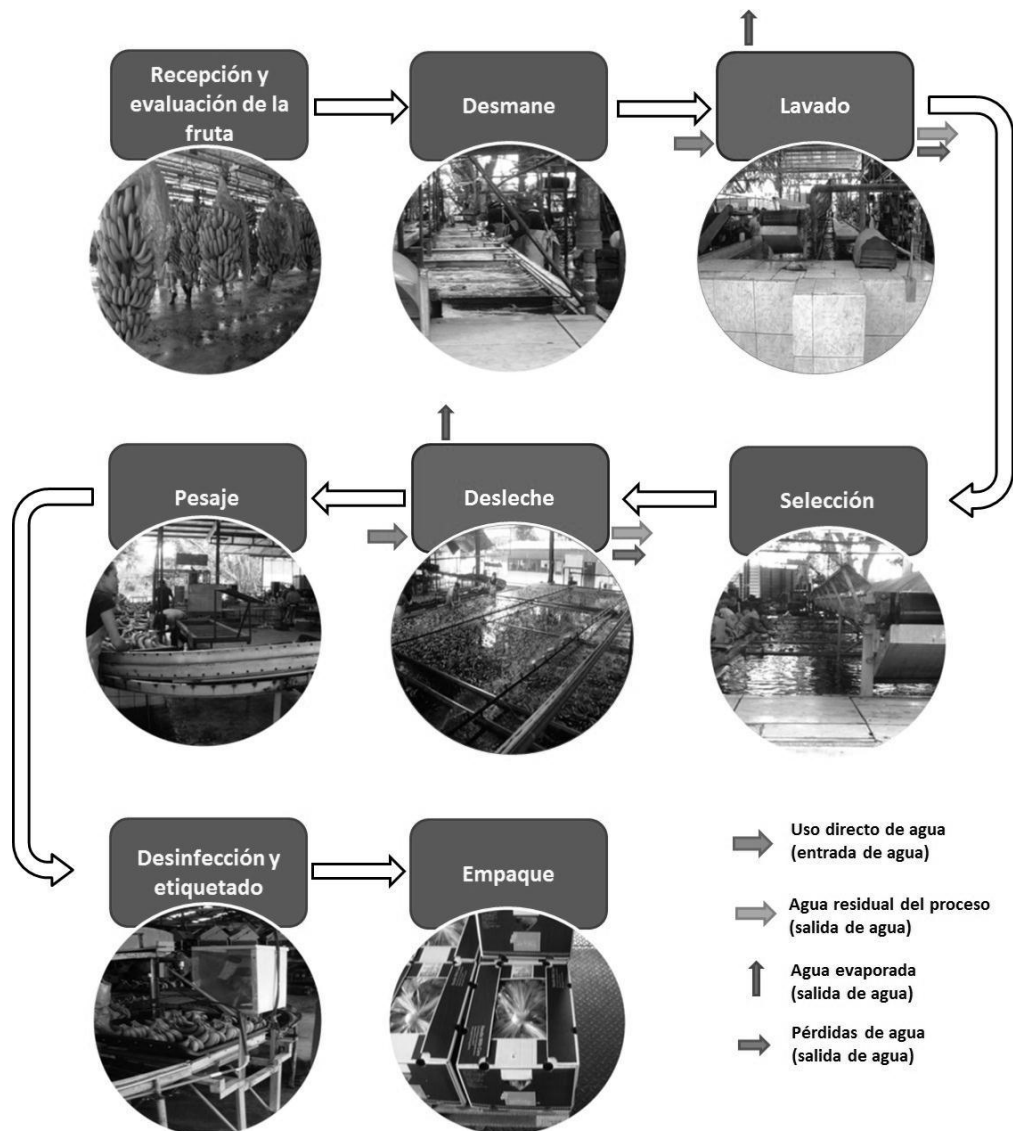


Figura A.2. 1 Proceso post-cosecha del banano de exportación llevado a cabo en la Planta Empacadora

Los racimos de banano cosechados se transportan en un sistema de cable vía hacia la Planta Empacadora (Moreno, Blanco y Mendoza, 2009). Al llegar a la misma, se realiza una inspección de la fruta para evaluar la edad del racimo, estado, plagas, maduración precoz, entre otros (Rivas, 2014). En ocasiones se acostumbra rociar la fruta con agua en esta etapa para mantener su temperatura, lo cual representa un uso directo del agua.

Una vez que se ha evaluado el racimo se procede al desmane, que es la separación de las manos de banano del mismo, las cuales se colocan en un tanque para su lavado inicial. Acabado el recorrido en el tanque de desmane, se selecciona la fruta según las especificaciones del mercado y se desecha la fruta de rechazo. Las manos seleccionadas se colocan en el tanque de desleche para la remoción del látex de las coronas (Moreno et al., 2009). Cabe destacar que en estas etapas existe siempre un uso directo del agua, a la cual se le acostumbra adicionar dispersantes de látex u otras sustancias como reguladores del pH y cloro (Rivas, 2014).

Posteriormente, las manos de banano se trasladan del tanque de desleche a unas bandejas y se pesan de tal forma que cumplan con un peso de 18,14 kg según lo solicitado por los mercados internacionales (Ministerio de Economía Industria y Comercio [MEIC], Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] y Ministerio de Comercio Exterior [COMEX], 2010). La fruta pesada se rocía con una solución fungicida para evitar la pudrición de la corona durante el transporte y almacenamiento (Rivas, 2014). Algunas compañías colocan etiquetas en los dedos de banano para la identificación de la marca del producto. Finalmente se empacan las manos de banano cubiertas por un plástico en cajas de cartón, y se ordenan las cajas en pallets para su transporte y exportación (Moreno et al., 2009; Rivas, 2014).

Cabe destacar que el uso directo más significativo del recurso hídrico, se encuentra en las etapas de lavado y desleche. Sin embargo, puede haber otros usos directos como los procesos de lavado y aseo de la Planta y el rociado de la fruta en la recepción de la misma, los cuales deben ser considerados.

A.2.2. OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO DE HUELLA DE AGUA

Al comenzar una evaluación de huella de agua (Figura A.2.2), lo primero que se debe hacer es definir por qué se realizará y qué se espera obtener con el mismo. Para ello se define un objetivo y alcance preliminar que deben contener toda la descripción y detalles del estudio, los cuales se deberán reforzar al concluir el mismo.

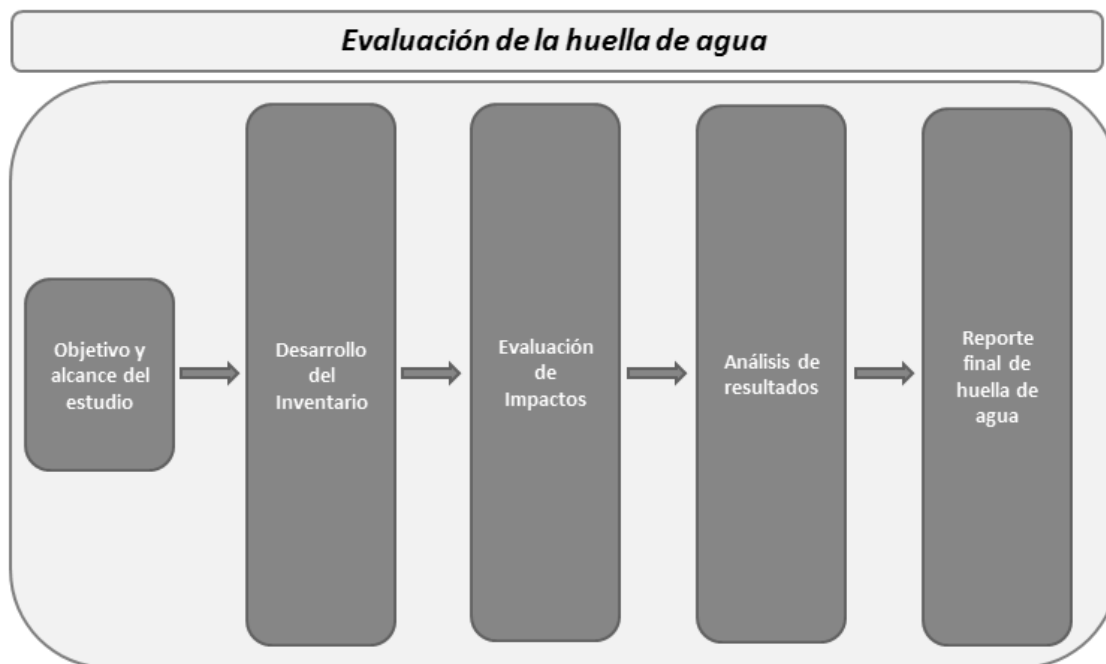


Figura A.2. 2 Proceso de una evaluación de la huella de agua

A.2.2.1. OBJETIVO

La ISO (2014) afirma que el objetivo de un estudio de huella de agua debe aclarar: la aplicación que se le dará al estudio, las razones para llevar a cabo el estudio, la audiencia prevista, si el estudio es una única evaluación o si es parte de un análisis de ciclo de vida. Se propone como texto base del objetivo, según la presente metodología, el siguiente:

El estudio se desarrolla con el fin de evaluar la huella de agua por eutrofización y escasez de las actividades de la Planta Empacadora de banano ____ (nombre de la Planta Empacadora o empresa) ____, y buscar una mejora continua en la gestión del recurso hídrico por parte de la empresa. Los resultados obtenidos serán confidenciales, y únicamente para el uso que la empresa permita.

A.2.2.2. ALCANCE

El alcance debe especificar: el sistema en estudio y los límites del sistema, la unidad funcional, la cobertura temporal y geográfica, datos y requerimientos de calidad, aspectos asumidos, decisiones tomadas, las metodologías de evaluación de impactos utilizadas así como las categorías de impacto seleccionadas, cómo se expresarán los resultados, los impactos ambientales potenciales considerados y los excluidos, limitaciones y detalles inciertos, justificación de información excluida y año base (ISO, 2014). Se recomienda como texto base para el alcance:

El alcance esperado para el estudio de huella de agua por eutrofización y escasez, comprende únicamente el uso directo de esta en el proceso desarrollado en las instalaciones de la Planta Empacadora de banano ____ (nombre de la Planta Empacadora o empresa) ____, ubicada en ____ (ubicación geográfica) ____.

Las etapas del proceso desempeñado en la Planta Empacadora son la recepción y el mantenimiento de la fruta, el diagnóstico de la fruta, el corte y separación de las manos de banano, la selección, el lavado, la clasificación, el etiquetado, el tratamiento final, el pesaje y el empaquetado. Adicionalmente se considera el lavado y aseo general de la planta. Las fases que comprenden un uso directo de agua son: _____.

El flujo de referencia es una “caja de banano empacada para exportación de 18,14 kilogramos”. La unidad funcional considerada para el estudio son “15000 cajas de banano empacadas para exportación de 18,14 kilogramos”. El año base para la recuperación de la información será el ____ (año o período de años de los que se recuperarán los datos para el estudio) ____.

Los datos recuperados son ____ (describir si los datos son mediciones directas o estimaciones; de ser estimaciones se debe explicar el procedimiento) ____.

Se consideraron los impactos ambientales tomando en cuenta su efecto en la degradación de la calidad y disponibilidad del recurso. Para los primeros se evaluó en la categoría de impacto de punto medio como eutrofización de agua dulce, y de punto final como el daño potencial al ecosistema. Para la

cuantificación de estos impactos se empleó la metodología ReCiPe propuesta por Goedkoop et al. (2013). Por otra parte, la disponibilidad del recurso se analizó mediante la metodología de Pfister et al. (2009). Para la cual se contempló la escasez del agua como categoría de impacto de punto medio, y como punto final se cuantificó el daño potencial sobre la salud humana, calidad del ecosistema y los recursos.

Los resultados del estudio se expresan en un perfil de huella de agua, según se representan los indicadores de cada categoría en las metodologías empleadas. La eutrofización como impacto de punto medio da como resultado los “kilogramos de fósforo equivalente” (kg Peq.), y como impacto de punto final está dada en “fracción potencialmente desaparecida de especies por metro cuadrado por año” (PDF.m².año). Los indicadores de impacto por disponibilidad del recurso son los “metros cúbicos de agua equivalentes” (m³eq.) para la escasez, los “años de vida ajustados por discapacidad” (DALY) para la salud humana, la “fracción potencialmente desaparecida de especies por metro cuadrado por año” (PDF.m².año) para la calidad del ecosistema y los “mega julios” (MJ) para el daño potencial a los recursos. Todos los resultados de impacto están dados respecto a la unidad funcional definida.

Los textos base anteriores deben ser reforzados y modificados con las características específicas de cada estudio desarrollado. Cabe destacar que quien implemente esta metodología, puede contemplar más categorías de impacto o bien, no considerar todas las que se han propuesto, lo cual modificaría el nombre de la huella cuantificada. Además, una vez llevado a cabo todo el estudio, se deben incluir en el alcance: los aspectos asumidos, decisiones tomadas, los impactos ambientales potenciales considerados y los excluidos, limitaciones y detalles inciertos, justificación de la información excluida y estimada, y formato y estructura del reporte.

A.2.3. DESARROLLO DEL INVENTARIO

La fase de Desarrollo del Inventario (Figura A.2.3), consiste en la recolección de la información relacionada al uso del agua en los procesos de la Planta Empacadora (ISO, 2014). Además, incluye los cálculos y estimaciones necesarias, para obtener los datos que no se encuentren disponibles de forma directa.

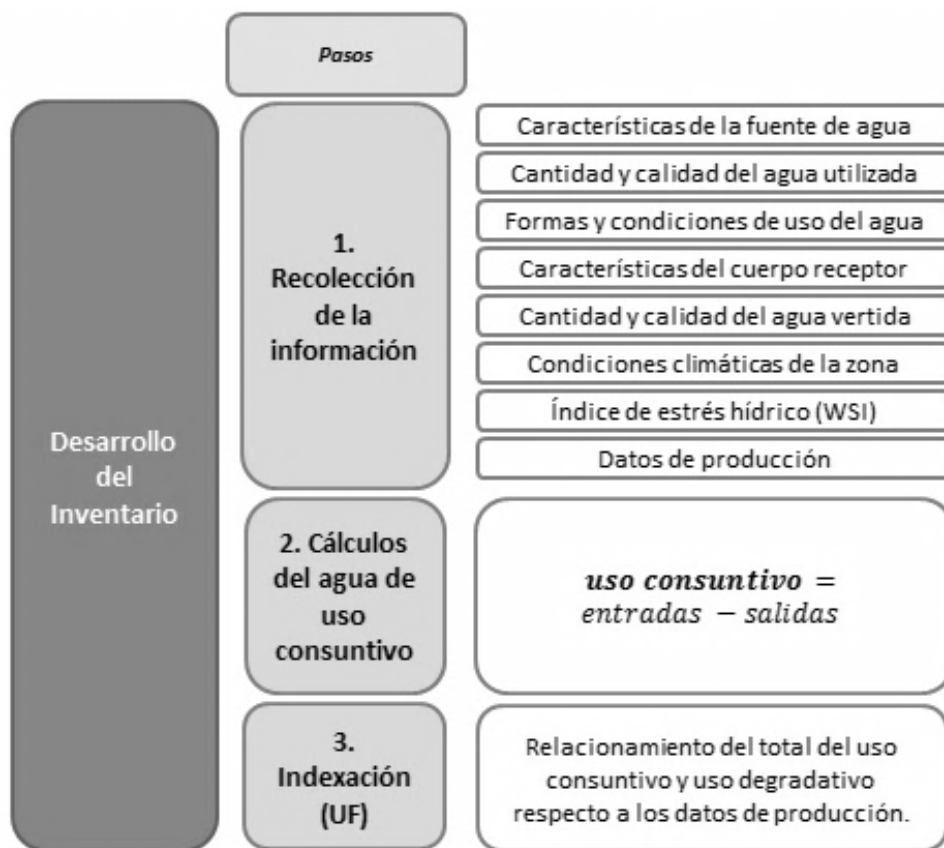


Figura A.2. 3 Descripción gráfica de la etapa de desarrollo del inventario

Los datos e información a conseguir están dados según el objetivo y el alcance definidos para el estudio de huella de agua (sección A.2.2.), y se detallan en la sección A.2.3.1. Estos deben ser solicitados a los respectivos dueños de información identificados en la empresa. El producto de esta fase es el documento que contiene organizada y referenciada la información, datos y cálculos para el estudio.

A.2.3.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La información recolectada será a partir del año base seleccionado para reportar la huella de agua.

Características de la fuente de agua

Es necesario conocer las características sobre la(las) fuente(s) de dónde se toma el agua, de forma tal que sea posible reconocer el impacto sobre la calidad de esta. La información básica que se debe recuperar para el inventario es:

- Tipo de fuente de agua: Clasificada según sea agua superficial (lagos o ríos), agua subterránea poco profunda, agua subterránea proveniente de un estrato profundo o agua de lluvia (Suppen, 2013).
- Ubicación: Es necesario conocer y nombrar la cuenca a la que pertenece, para lo cual se puede consultar la referencia del Centro Nacional de Información Geoambiental (CENIGA, 2008).
- Calidad de la fuente de agua: Si se dispone de información sobre la calidad de la fuente de agua previa a cualquier tratamiento de potabilización, es importante incluirla en el inventario. Los parámetros importantes a contemplar son: coliformes termotolerantes (fecales), *Escherichia coli*, color aparente, turbiedad, olor, sabor, temperatura, pH, conductividad, y todo parámetro específico según la naturaleza de la actividad desarrollada. Estos parámetros son los mismos que establece el Reglamento para la Calidad del Agua Potable en Costa Rica (Ministerio de Salud [MS], 2005) para el control básico, exceptuando el cloro residual.

Cantidad y calidad del agua utilizada

Para cuantificar el impacto se deben conocer los datos acerca de la calidad y volumen total de agua, que ingresó en la Planta Empacadora para ser utilizada en sus respectivos procesos.

- Calidad del agua utilizada para la actividad: Es importante informar en el inventario, los parámetros correspondientes al programa de control básico según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable en Costa Rica (MS, 2005). Tales son: coliformes termotolerantes (fecales), *Escherichia coli*, color aparente, turbiedad, olor, sabor, temperatura, pH, conductividad, y cloro residual libre o combinado.

Además, se debe agregar al inventario todo parámetro solicitado según la naturaleza de la actividad desarrollada.

- Cantidad total del agua de entrada al proceso: Se recomienda la recolección de datos por mes y por etapa del proceso. De forma tal que sea posible reflejar en los resultados finales, variaciones y detalles específicos en relación a estas variables, y que los datos tengan una adecuada trazabilidad. Con el dato anual de agua de entrada a la Planta, los resultados obtenidos serán más generales. El reporte del volumen de agua de entrada se debe dar en metros cúbicos (m³) para facilitar el cálculo de los impactos.

Formas y condiciones de uso del agua

Los usos directos que se le da al agua deben estar descritos en el inventario. Los detalles que deben presentarse serán:

- Descripción de cada etapa donde se utilice el agua en el proceso de la Planta Empacadora
- Caudales de entrada y salida a los tanques (si el cálculo se desea detallado por etapa)
- Pérdidas de volumen de agua (formas y cantidades)
- Dimensiones de los tanques (profundidad, largo y ancho)
- Tiempo de uso del agua
- Sustancias adicionadas (nombre, función, concentración)
- Especificar si existe recirculación y las características de este proceso (dimensiones de la planta, tiempo de uso del mismo volumen de agua, porcentaje de ahorro estimado, el tipo de tratamiento y otra información considerada de valor para ser especificada).
- Marca de los equipos y reportes de calibración

Características del cuerpo receptor

Sobre el cuerpo receptor es indispensable reportar:

- Ubicación: Se debe informar el nombre y la cuenca a la que pertenece, para lo cual se recomienda también la consulta de la referencia del CENIGA (2008).
- Tipo: Generalmente las aguas grises se vierten a cuerpos de agua superficiales, ya sean lagos o ríos.

Cantidad y calidad de agua vertida

Se requiere conocer el volumen total de agua vertida así como su calidad para evaluar el impacto de la actividad de la Planta Empacadora.

- Calidad: Los parámetros de calidad para reportar serán los dispuestos en el Artículo 15, Capítulo II, del Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales: Demanda Bioquímica de Oxígeno ($DBO_{5,20}$), Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH, grasas y aceites (GyA), sólidos sedimentables (SSed), sólidos suspendidos totales (SST), sustancias activas al azul de metileno (SAAM) y temperatura. Además, se debe especificar la concentración de los parámetros solicitados específicos según la actividad que se desarrolla (procesamiento de frutas) (MINAE, 2007).
- Cantidad: Se debe incluir en el inventario el caudal total vertido al cuerpo receptor en metros cúbicos (m^3), ya sea por mes o año según se haya reportado en la cantidad total del agua de entrada al proceso. Este corresponderá al volumen de uso degradativo del recurso.

Condiciones climáticas de la zona

Las condiciones climáticas básicas para caracterizar la zona de estudio son:

- Precipitación
- Índice de evaporación

Para obtener esta información se recomienda la consulta de los Atlas Climatológicos publicados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2009).

Índice de Estrés Hídrico (WSI)

Como menciona UNEP (2012), el estrés hídrico “describe las consecuencias de la escasez de agua en los ecosistemas y las poblaciones humanas” (p.20). Pfister et al. (2009) afirma que comúnmente para la cuantificación de esta característica, se toma la relación entre las extracciones totales anuales y la disponibilidad del recurso. Por lo tanto, a partir de dicha afirmación, propone una metodología de cálculo del Índice de Estrés Hídrico o WSI por sus siglas en inglés (Water Stress Index).

Cada cuenca posee índices propios con base en sus respectivas características. Estos toman valores entre 0 y 1; entre más cercano a 0 refleja menor escasez local de agua (Pfister et al., 2009). Cada valor del WSI ya ha sido calculado, y se encuentran en una capa para utilizar en el programa Google Earth, disponible en ETHzürich (2015).

Algunas metodologías de cálculo de impacto utilizan este índice, por lo cual debe ser reportado en el inventario para cada cuenca en estudio.

Datos de producción

Esta información se requiere para el cálculo de los datos según el flujo de referencia, y el posterior relacionamiento para reportar los resultados respecto a la unidad funcional. Los datos a incluir serán:

- Cantidad total de cajas de banano de 18,14 kg empacadas por mes o año, según se reporten los datos de volúmenes de agua.

Aclaraciones

El inventario debe estar respaldado por las referencias bibliográficas de dónde se tomaron los datos, para demostrar confiabilidad en el mismo. A su vez, debe enlistarse aquella información que no se pudo recolectar, y aclararse el por qué no se logró obtener. Todos los datos estimados y cálculos realizados deben estar explicados en el inventario.

A.2.3.2. INDEXACIÓN DE LOS DATOS

Una vez ingresada toda la información en el inventario, se procede a hacer el cálculo del volumen total de agua consumida y vertida por la Planta Empacadora por mes o año según se disponga de datos. Esta información debe ser relacionada con la cantidad total de cajas de banano empacadas por mes o año (según se reporten los datos de volúmenes de agua) para obtener los resultados respecto al flujo de referencia (Figura A.2.4).

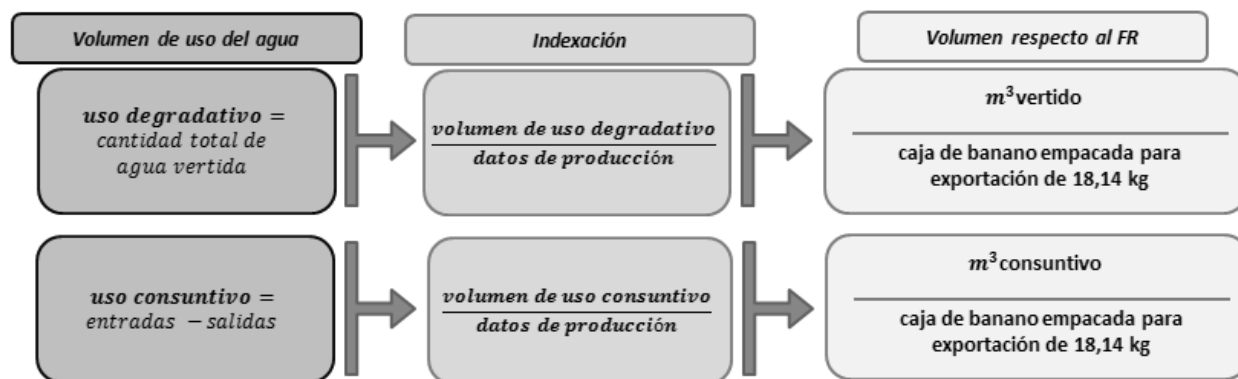


Figura A.2. 4 Proceso de indexación de los datos respecto al Flujo de referencia (FR)

Para cuantificar los impactos en la calidad del agua, se utiliza la cantidad total que ha sido vertida en los procesos de la Planta Empacadora (uso degradativo del agua). Sin embargo, para la evaluación de los impactos en la disponibilidad del recurso, se debe contemplar únicamente el uso consuntivo de la misma. En esta cantidad se consideran los volúmenes de agua que no regresan a la misma cuenca. Es decir, el agua incorporada al producto o evaporada (pérdidas) y aquella que se vierte en un cuerpo de agua perteneciente a una cuenca distinta de la que fue extraída (UNEP, 2012). Será el resultado de la resta de los volúmenes de entrada menos los de salida (Figura A.2.4).

Como resultado final al desarrollar el inventario, se debe tener la cantidad total de agua vertida y consumida, expresada en términos de la unidad funcional, obtenido a partir de su relacionamiento con el flujo de referencia (Figura A.2.5). La norma recomienda que se reporte el resultado final de manera anual.

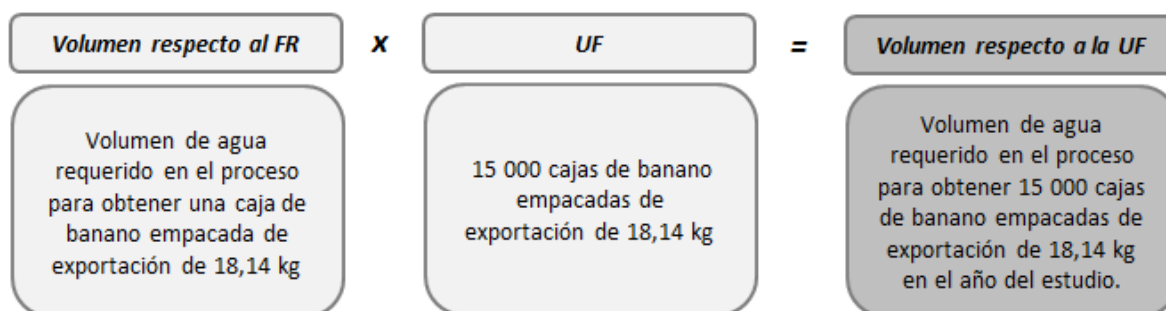


Figura A.2. 5 Proceso de indexación de los datos respecto a la Unidad Funcional (UF)

A.2.4. EVALUACIÓN DE IMPACTOS

La Evaluación de Impactos comprende la clasificación por categorías, de los impactos ambientales potenciales relacionados al uso del agua en los procesos de la Planta Empacadora (Figura A.2.6). A su vez, esta fase incluye el cálculo de los indicadores de categoría para evaluar la magnitud y significancia de los impactos (ISO, 2014).

Las categorías de impacto consideradas deben estar incluidas en el alcance de la huella de agua (sección A.2.2), y se definen en la sección A.2.4.1. Cabe destacar que a nivel internacional existen gran cantidad de metodologías para el cálculo de los indicadores de impacto por categoría, las cuales se referencian en la sección A.2.8 para su consulta. Sin embargo, las que se consideran en la presente guía, se eligieron según los posibles impactos significativos en el ambiente por las actividades de las Plantas Empacadoras, y con base en la recomendación de expertos y el carácter práctico, apropiado y accesible de cada metodología.

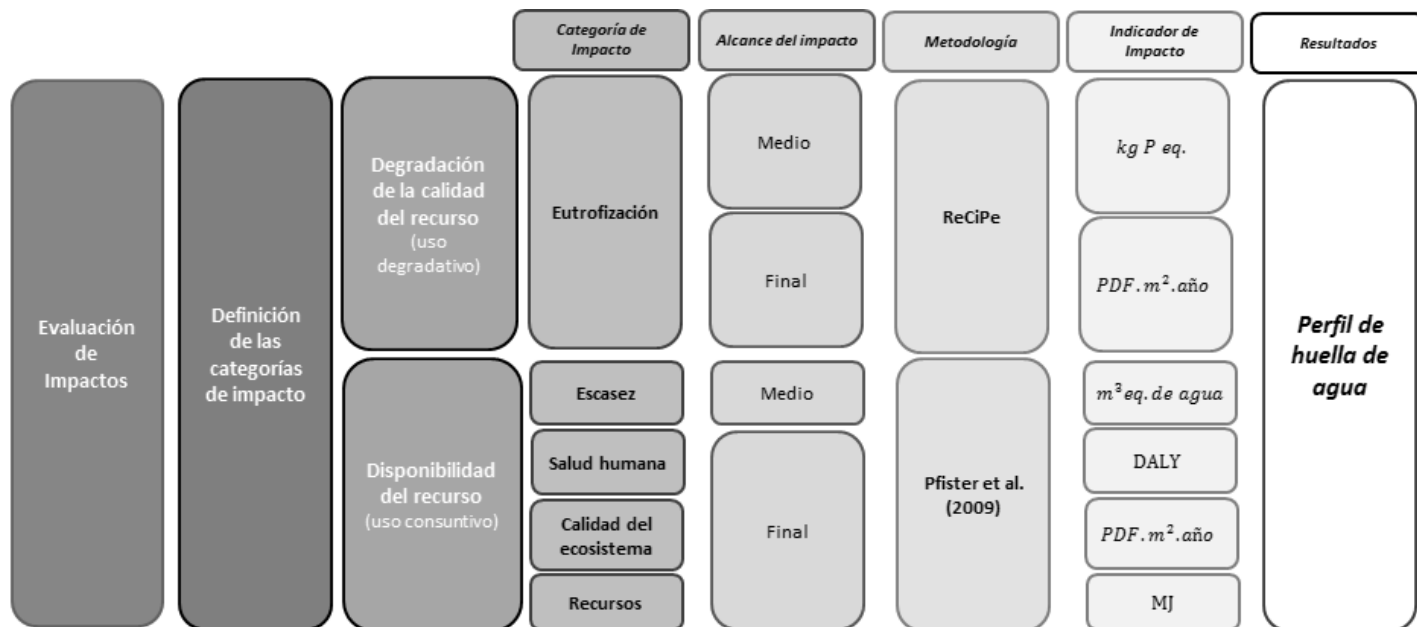


Figura A.2. 6 Descripción gráfica de la etapa de evaluación de impactos

A.2.4.1. DEFINICIÓN DE CATEGORÍAS DE IMPACTO

A.2.4.1.1. Degradación de la calidad del recurso

Las fuentes de agua dulce se pueden ver afectadas por un cambio negativo en su calidad, lo cual se conoce como degradación o contaminación del recurso. Esto sucede por la emisión de sustancias químicas producto de las actividades desarrolladas por el ser humano, así como por procesos naturales (ISO, 2014; UNEP, 2012).

En el caso de las Plantas Empacadoras de banano, se debe cuantificar el impacto en la degradación de la calidad de las fuentes de agua que reciben el agua residual o agua gris, resultante de sus operaciones. El impacto potencial de mayor significancia en esta actividad, es la eutrofización que los cuerpos receptores puedan sufrir por recibir el agua residual cargada de compuestos orgánicos (látex y otros residuos de la fruta).

La metodología ReCiPe permite el cálculo de los indicadores de impacto por eutrofización de agua dulce para punto medio, así como el cálculo para punto final del daño potencial en el ecosistema producto de esta descarga de materia orgánica (Goedkoop et al., 2013). El proceso de cálculo se detalla en la sección A.2.4.2.

A.2.4.1.2. Disponibilidad del recurso

La disponibilidad del agua es definida por el UNEP (2012) como la cantidad total de agua potencialmente disponible en una cuenca para el uso por parte del ser humano y del ecosistema. El mismo autor asegura que ésta depende de las características propias de cada región. La escasez de agua ocurre cuando este recurso no está disponible en cantidades suficientes para satisfacer la demanda del mismo, o puede ocurrir por el uso excesivo de los cuerpos de agua (UNEP, 2012).

Para evaluar los impactos ambientales sobre la disponibilidad del recurso debido al uso del agua en las actividades de las Empacadoras de banano, se propone el uso de la metodología desarrollada por Pfister et al. (2009). En esta se evalúa el impacto de punto medio por escasez del recurso, y el impacto potencial de punto final en las tres categorías de daño: deterioro en la salud humana, calidad de los ecosistemas y recursos. La explicación de cada indicador así como el cálculo del mismo, se explica en la sección A.2.4.2.

A.2.4.2. CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE IMPACTOS

Para la evaluación cuantitativa de impactos ambientales en la huella de agua, los indicadores se calculan mediante la multiplicación de la cantidad de emisión o consumo del recurso, por un determinado factor de caracterización, según se muestra en la ecuación 1 (Suppen, 2013).

$$\text{Impacto}_{\text{categoría}} = \sum_i m_i * CF_{\text{categoría},i} \quad (1)$$

Donde:

m_i: cantidad de emisión de la sustancia i o consumo del recurso i

CF_{categoría, i}: factor de caracterización según la categoría de impacto y la sustancia o recurso i

Las metodologías a nivel internacional varían para el cálculo de estos factores de caracterización (consultar sección A.2.8.). Por lo tanto, en esta guía se incluye la referencia y explicación únicamente de las metodologías recomendadas, así como la referencia a documentos y sitios de interés necesarios para los cálculos. Además, se explica el cálculo de los impactos para ambos enfoques de punto medio y final, pero se recomienda seleccionar alguno de los dos alcances al momento de implementar la presente guía en un estudio de huella de agua.

Es importante verificar el uso apropiado de las unidades a lo largo del proceso, de tal forma que se obtengan los resultados correctos para cada caso.

A.2.4.2.1. Degradación de la calidad del recurso: Eutrofización

El fósforo y nitrógeno son nutrientes cuya disponibilidad limita o favorece el crecimiento de la biomasa acuática, comprendida por el fitoplancton o algas y la lenteja de agua tal como afirma Goedkoop et al. (2013). El mismo autor destaca que la emisión de aguas residuales cargadas de materia orgánica, es fuente importante de aporte de estos macronutrientes a los cuerpos receptores, y podrían potencialmente ocasionar un crecimiento exponencial de esta biomasa y por consiguiente llevar a la eutrofización del receptor de la descarga. La metodología conocida a nivel internacional para la estimación de impactos potenciales de eutrofización en agua dulce es titulada ReCiPe, y fue publicada por Goedkoop et al. (2013).

La metodología se basa en la composición molecular de las algas, para relacionar la cantidad de biomasa según las emisiones de fósforo y nitrógeno, y considera únicamente al

fósforo como nutriente limitante en los ecosistemas de agua dulce. ReCiPe hace uso del Modelo de Relación de Causa-efecto para apoyar las Negociaciones Ambientales, conocido como CARMEN por sus siglas en inglés, para el cálculo de los factores de caracterización (Goedkoop et al., 2013). Estos se encuentran disponibles para descargar en un documento Excel en la página oficial de la metodología, y se pueden consultar en la referencia Goedkoop, Heijungs, De Schryver, Struijs, y van Zelm (2014). Los factores están dados en $\text{kg P}_{\text{equivalente}}/\text{kg P}_{\text{total}}$ para impactos de punto medio (factor de destino), y en $\text{especies.año}/\text{kg P}_{\text{total}}$ para impactos de punto final (factor de daño), según se elija enfocar el estudio. El impacto potencial se calcula mediante la ecuación 2.

$$\text{Impacto}_{\text{eutrofización agua dulce}} = m_{\text{Ptotal}} * CF_{\text{eutrofización, Ptotal}} \quad (2)$$

Donde:

Impacto_{eutrofización agua dulce}: magnitud de impacto ($\text{kg P}_{\text{equivalente}}$ por UF para punto medio o especies.año por UF para punto final)

m_{Ptotal} : cantidad de fósforo total emitido por las aguas residuales de la Planta Empacadora ($\text{kg P}_{\text{total}}$ por UF)

$CF_{\text{eutrofización, Ptotal}}$: factor de caracterización para impactos por eutrofización en agua dulce (en $\text{kg P}_{\text{eq.}}/\text{kg P}_{\text{total}}$ para punto medio o $\text{especies.año}/\text{kg P}_{\text{total}}$ para punto final)

Para obtener la cantidad de fósforo total emitida por las aguas residuales del proceso de empaque de banano, se requiere hacer un relacionamiento con los resultados de DBO reportados. Orozco (2005) destaca que la relación de DBO/P es 100/1, por lo que la cantidad de fósforo total emitida se debe calcular según la ecuación 3.

$$m_{\text{Ptotal}} = DBO * \frac{1}{100} * \frac{1}{1000} * WU_{\text{degradativo}} \quad (3)$$

Donde:

m_{Ptotal} : masa de fósforo total liberada al cuerpo receptor (kg por UF)

DBO: demanda biológica de oxígeno (kg/m^3)

$WU_{\text{degradativo}}$: uso de agua degradativo en el proceso de empaque (m^3 por UF)

Aplicando las ecuaciones 2 y 3 se podrá obtener el impacto potencial por eutrofización de agua dulce de las actividades de la Planta Empacadora, cuyas unidades serán en kg $P_{equivalente}$ potencialmente liberados según la UF o especies.año afectadas según la UF para evaluaciones de punto medio y final respectivamente.

En lo que respecta a la categoría de punto final, para que el resultado sea comparable a los resultados de daño al ecosistema, se realiza la conversión de especies.año a $PDF.m^2.año$ mediante el factor de conversión de 7.89×10^{-10} especies/ m^3 y empleando una profundidad de 3 m (Boulay, Bayart, et al., 2015).

Ejemplo de aplicación 1: El volumen de agua residual de una Planta Empacadora, que es vertido a un cuerpo receptor es de $15600 m^3/año$. Al indexarlo con los datos de producción, resultó en un uso de agua degradativo respecto al flujo de referencia de $0,022 m^3/$ “caja de banano empacada para exportación de $18,14 kg$ ”; y respecto a la unidad funcional de $300 m^3$ vertido al producir “ 15000 cajas de banano empacadas para exportación de $18,14 kg$ ” en el año de estudio. Además, se conoce por los reportes operacionales que el DBO de este vertido es de $100 mgO_2/l$. ¿Cuál será el impacto potencial por eutrofización en el punto medio y final?

1. Mediante la ecuación 3 se obtiene la masa total de fósforo emitida al cuerpo receptor:

$$m_{P_{total}} = 100 * \frac{1}{100} * \frac{1}{1000} * 300 = 0,3 kgP_{total}$$

2. En la referencia Goedkoop et al. (2014) se encuentran los factores de caracterización de eutrofización para agua dulce, los cuales están dados como:

$$CF(medio) = 1 kg P_{eq}/kgP_{total}$$

$$CF(final) = 4,44 * 10^{-8} especies. año/kgP_{total}$$

3. Aplicando la ecuación 2 se obtiene la magnitud del impacto:

$$Impacto_{eutrof.(medio)} = 1 * 0,3 = \mathbf{0,300 kgP_{eq} por UF}$$

$$\begin{aligned} Impacto_{eutrof.(final)} &= 4,44 * 10^{-8} * 0,3 \\ &= \mathbf{1,332 * 10^{-8} especies. año por UF} \end{aligned}$$

4. Si se aplica la conversión para el impacto de punto final quedará como:

$$\begin{aligned} \text{Impacto}_{\text{eutrof.}(final)} &= \\ 1,332 * 10^{-8} \text{ especies. año} * \frac{1 \text{ m}^3}{7,89 * 10^{-10} \text{ especies}} * \frac{1}{3m} \\ &= \mathbf{5,627 PDF.m^2. año por UF} \end{aligned}$$

A.2.4.2.2. Disponibilidad del recurso: Escasez

Para evaluar el impacto ambiental potencial en la escasez del recurso, se emplea el índice de estrés hídrico (WSI) propuesto por Pfister et al. (2009). Se toma el uso de agua consuntiva y se multiplica por el respectivo WSI ubicado por medio de Google Earth para la región en estudio (ETHzürich, 2015), según se muestra en la ecuación 4.

$$\text{Impacto}_{\text{escasez}} = WU_{\text{consuntivo}} * WSI_i \quad (4)$$

Donde:

Impacto_{escasez}: impacto en la escasez del recurso (m^3_{eq} por UF)

WU_{consuntivo}: Uso de agua consuntivo resultante del desarrollo del inventario ($\text{m}^3_{\text{consuntivo}}$ por UF)

WSI_i: índice de estrés hídrico ($\text{m}^3_{\text{eq}} / \text{m}^3_{\text{consuntivo}}$)

Los resultados del impacto estarán dados en metros cúbicos equivalentes de agua por unidad funcional (m^3_{eq} por UF).

Ejemplo de aplicación 2: Se encuentra que el uso consuntivo en una Planta Empacadora ubicada en Siquirres, Costa Rica, es de 10 m^3 por UF.

1. En la referencia ETHzürich (2015) se encuentra que el WSI para dicha región es de $0,0103 \text{ m}^3_{\text{eq}} / \text{m}^3_{\text{consuntivo}}$.
2. Aplicando la ecuación 4 se obtiene el impacto por escasez:

$$\text{Impacto}_{\text{escasez}} = 10 * 0,0103 = \mathbf{0,103 m^3 eq por UF}$$

A.2.4.2.3. Disponibilidad del recurso: Salud humana

La forma más factible de cuantificar el efecto que ocasiona la falta de agua a la salud humana, según Pfister et al. (2009), es evaluarlo con respecto a la privación del recurso para la producción de alimentos. El método contempla la falta de agua dulce para las necesidades humanas, la vulnerabilidad de la población y la estimación de los daños a la salud por la falta de agua.

Para evaluar el impacto en la salud humana ($\Delta HH_{malnut,i}$) se debe aplicar únicamente la ecuación 8. El impacto será el producto del factor de caracterización ($CF_{malnut,i}$) por el volumen de agua total consumido por la Planta Empacadora según la unidad funcional ($WU_{consuntivo,i}$ por UF), y se reporta en “años de vida ajustados por discapacidad por unidad funcional” o DALY por UF según sus siglas en inglés (Disability Adjusted Life Years) (Pfister et al., 2009).

Las ecuaciones 9, 10, 11 y 12 se muestran para entender el resultado del factor de caracterización. Sin embargo, este ya ha sido calculado y se encuentra disponible en la capa de Google Earth (ETHzürich, 2015).

$$Impacto_{salud\ humana} = \Delta HH_{malnut,i} = CF_{malnut,i} * WU_{consuntivo,i} \quad (8)$$

$$CF_{malnut,i} = WDF_i * EF_i * DF_{malnut} \quad (9)$$

$$WDF_i = WSI_i * WU_{\%,agricult,i} \quad (10)$$

$$EF_i = \frac{HDF_{malnut,i}}{WR_{malnut}} \quad (11)$$

$$HDF_{malnut} = \begin{cases} 1 & \text{si } HDI < 0,30 \\ 2,03HDI^2 - 4,09HDI + 2,04 & \text{si } 0,30 \leq HDI \leq 0,88 \\ 0 & \text{si } HDI > 0,88 \end{cases} \quad (12)$$

Donde:

Impacto_{Salud humana} o $\Delta HH_{malnut, i}$: daño en la salud humana (DALY por UF)

$WU_{consuntivo,i}$: consumo de agua en el lugar i ($m^3_{consuntivo}$ por UF)

$CF_{malnut,i}$: daño esperado específico por metro cúbico de agua consumida ($DALY/m^3_{consuntivo}$)

WDF_i : factor de privación de agua ($m^3_{privados}/m^3_{consuntivo}$)

WSI_i : índice de estrés hídrico (adimensional).

WU_%, agricult,i: fracción del uso de agua en agricultura (adimensional)

EF_i: factor de efecto, cuantifica el número anual de personas malnutridas por cantidad de agua privada (cápita*año/m³ privados).

WR_{malnut,i}: requerimientos de agua per cápita para prevenir la malnutrición. Es una constante independiente del lugar (1350m³/(año*cápita)).

HDI: índice de desarrollo humano

HDF_{malnut,i}: factor de desarrollo humano, relaciona el HDI a la vulnerabilidad de malnutrición.

DF_{malnut}: factor de daño, indica el daño causado por malnutrición y es una constante independiente del lugar (1,8*10⁻² DALY/(año*cápita)).

Ejemplo de aplicación 3: Se encuentra que el uso consuntivo en una Planta Empacadora ubicada en Siquirres, Costa Rica, es de 10 m³/UF.

3. En la referencia ETHzürich (2015) se encuentra que el CF_{malnut} para dicha región es de 1,6*10⁻⁹ DALY/m³ consuntivo.
4. Aplicando la ecuación 8 se obtiene el impacto en la salud humana:

$$\text{Impacto}_{\text{salud humana}} = 10 * 1,6 * 10^{-9} = \mathbf{1,6 * 10^{-8} \text{ DALY por UF}}$$

A.2.4.2.4. Disponibilidad del recurso: Calidad del ecosistema

Para el cálculo del daño en el ecosistema, se utilizan los valores de Productividad Primaria Neta (NPP_{agua-lim}) afectada por escasez de agua. Estos valores se utilizan por una correlación significativa encontrada entre la biodiversidad de especies de plantas vasculares (VPBD) y los valores de NPP (Pfister et al., 2009). A partir de estos valores de NPP_{agua-lim} y las precipitaciones por cuenca por país, se calcularon los factores de caracterización para el daño al ecosistema (CF_{EQ}) según la ecuación 13, y están disponibles en la capa de Google Earth (ETHzürich, 2015).

El impacto en el ecosistema (ΔEQ) se obtiene a partir de la ecuación 14, como el producto del factor de caracterización por el consumo de agua total en la Planta Empacadora (WU_{consuntivo} por UF). Y se reporta en PDF.m².año por UF, donde PDF es la

“fracción potencialmente desaparecida de especies” por sus siglas en inglés (Potentially Disappeared Fraction) (Pfister et al., 2009).

$$CF_{EQ,j} = \frac{\sum_{i=1}^n NPP_{agua-lim,i}}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (13)$$

$$Impacto_{Ecosistema} = \Delta EQ = CF_{EQ} * WU_{consuntivo} \quad (14)$$

Donde:

Impacto Ecosistema o ΔEQ : efectos del consumo de agua dulce en la calidad de los ecosistemas terrestres (PDF.m².año por UF)

CF_{EQ} : factor de daño en el ecosistema (PDF.m².año/m³_{consuntivo})

$WU_{consuntivo,i}$: consumo de agua en el lugar i (m³_{consuntivo} por UF)

P_i : precipitación anual promedio (m/año)

$NPP_{agua-lim}$: fracción resultante de producción primaria neta que está limitada por la disponibilidad de agua, representa la vulnerabilidad de escasez de agua del ecosistema, y se usa como un aproximado a los PDF.

Ejemplo de aplicación 4: Se encuentra que el uso consuntivo en una Planta Empacadora ubicada en Siquirres, Costa Rica, es de 10 m³/UF.

5. En la referencia ETHzürich (2015) se encuentra que el CF_{EQ} para dicha región es de 0,0604 PDF.m².año/m³_{consuntivo}.
6. Aplicando la ecuación 14 se obtiene el impacto en la calidad del ecosistema:

$$Impacto_{Ecosistema} = 10 * 0,0604 = \mathbf{0,604 PDF.m^2.año por UF}$$

A.2.4.2.5. Disponibilidad del recurso: Recursos

El concepto de tecnología de reserva (backup-technology) se refiere a la inversión, en términos de energía extra, que se requiere para hacer que el recurso esté disponible en el futuro (Pfister et al., 2009). Este concepto es utilizado para valorar el agotamiento de los recursos abióticos. Pfister et al. (2009) utiliza como tecnología de referencia, la disponible para desalinizar el agua de mar y convertirla en agua potable. De esta forma, utiliza la

energía necesaria para este proceso, como un indicador para comparar el uso de fuentes de agua dulce y el uso de otros tipos de recursos, como el agua de mar.

El factor de caracterización (CF_R) de este impacto es la multiplicación de la cantidad de energía requerida para la desalinización del agua ($E_{desalinización}$), por la fracción de agua dulce consumida que contribuye al agotamiento del recurso ($F_{reducción}$), según las ecuaciones 15 y 16. El valor de CF_R está dado en megajoules por metro cúbico (MJ/m^3), y está disponible en la capa de Google Earth (ETHzürich, 2015).

Para el cálculo del daño a los recursos (ΔR), se debe aplicar la ecuación 17, y este se debe reportar en Mega-julios (MJ).

$$CF_R = E_{desalinización} * F_{reducción} \quad (15)$$

$$F_{reducción} = \begin{cases} \frac{WTA-1}{WTA} & \text{si } WTA > 1 \\ 0 & \text{si } WTA \leq 1 \end{cases} \quad (16)$$

$$Impacto_{Recursos} = \Delta R = CF_R * WU_{consuntivo} \quad (17)$$

Donde:

Impacto Recursos o ΔR : daño a los recursos de agua (MJ por UF)

$WU_{consuntivo}$: consumo de agua ($m^3_{consuntivo}$ por UF)

CF_R : factor de caracterización ($MJ/m^3_{consuntivo}$)

$E_{desalinización}$: energía requerida para la desalinización del agua, es tomada como constante con un valor de $11 MJ/m^3_{consuntivo}$

$F_{reducción,i}$: es la fracción de agua dulce consumida que contribuye al agotamiento del recurso. Se deriva de la razón de WTA (razón de las extracciones totales anuales de agua dulce entre la disponibilidad hidrológica).

Ejemplo de aplicación 5: Se encuentra que el uso consuntivo en una Planta Empacadora ubicada en Siquirres, Costa Rica, es de $10 m^3/UF$.

7. En la referencia ETHzürich (2015) se encuentra que el CF_R para dicha región es de $0 MJ/m^3_{consuntivo}$.
8. Aplicando la ecuación 17 se obtiene el impacto en los recursos:

$$Impacto_{Recursos} = 10 * 0 = \mathbf{0 MJ por UF}$$

A.2.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La norma ISO 14046 establece que en esta sección se deben identificar y describir aquellos aspectos significativos hallados al interpretar los resultados obtenidos del estudio (ISO 2014). A su vez, indica que se debe considerar en el análisis, los aspectos geográficos y temporales, las limitaciones, la evaluación cualitativa o cuantitativa de incertidumbre, así como las limitaciones específicas del caso. La interpretación de los resultados debe llevar a las conclusiones de la evaluación de huella de agua de la Planta Empacadora estudiada (ISO 2014). En la Figura A.2.7 se muestra un resumen gráfico de esta etapa.

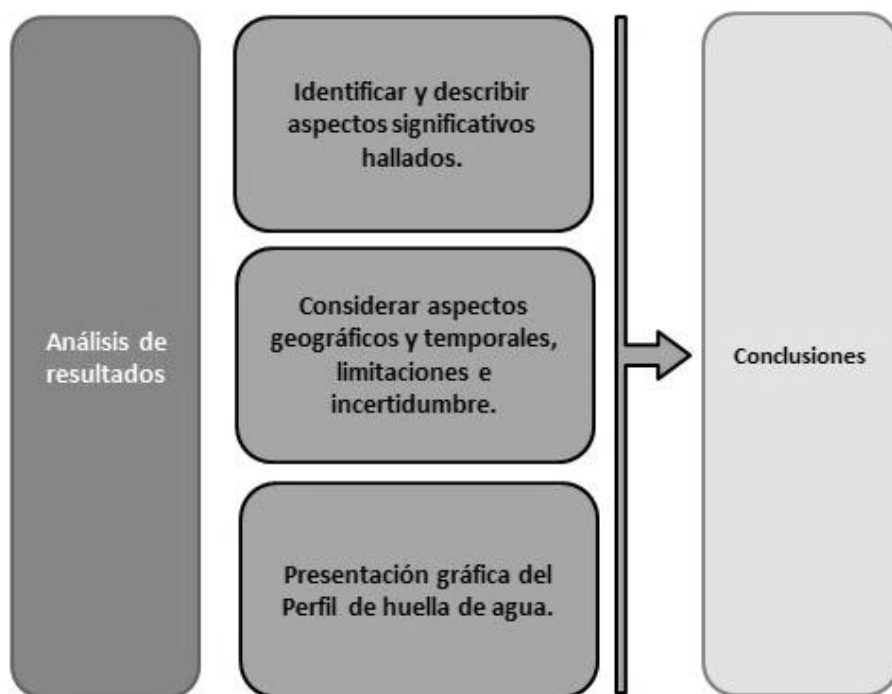


Figura A.2. 7 Descripción gráfica de la etapa de análisis de resultados

Al implementar esta metodología se tendrá como resultado un perfil de huella de agua por eutrofización y por escasez de la Planta Empacadora, el cual estará compuesto por los valores obtenidos de cada indicador de categoría de impacto evaluado. Para una mejor visualización y comprensión de los resultados, estos se pueden presentar de varias formas: (i) mediante una gráfica de barras con los indicadores indexados y clasificados según las categorías de impacto, (ii) mediante una gráfica de barras con los datos clasificados según las categorías de daño, o bien (iii) realizar una ponderación de todos los impactos respecto al total de estos en el caso de estudio.

El método de presentación más recomendado es el segundo mencionado, ya que permite comparar el tamaño de los diferentes impactos y hacer comparaciones con otros productos siempre y cuando las condiciones de los estudios de huella sean las mismas (benchmarking). La última forma de presentación descrita es una evaluación subjetiva, esta permite conocer el porcentaje de aporte de cada impacto evaluado, respecto al total de los mismos. Cabe resaltar que esta ponderación no se debe utilizar para comparaciones entre productos.

En el Cuadro A.2.1 proporciona una breve explicación, con el fin de entender cada valor obtenido de los indicadores de impacto evaluados en esta metodología. Sin embargo, es importante destacar que estos resultados son impactos ambientales potenciales, no necesariamente están ocurriendo en dichas magnitudes. Es por esta razón que las conclusiones de un estudio de huella de agua se centran principalmente en la identificación de los puntos críticos del proceso, es decir, aquellos que generan los mayores impactos ambientales por el uso del recurso.

Los resultados del estudio de huella de agua permitirán hacer conciencia sobre los efectos, en relación al recurso hídrico, que podría estar generando la Planta Empacadora como consecuencia de sus actividades. Adicionalmente, contribuirá a la identificación de puntos de mejora en el manejo del recurso y podría ser utilizado para comprobación ante terceros de la adecuada gestión del mismo.

Cuadro A.2. 1 Resumen de los indicadores de impacto y su interpretación

Categoría de impacto (alcance)	Indicador de impacto*	Interpretación
Eutrofización (medio)	kg P equivalente	Esta hace referencia a la fracción de fósforo del total emitido según el tipo de compartimiento de la naturaleza al que ha sido liberado, que potencialmente puede causar la eutrofización del cuerpo receptor del agua residual (Goedkoop et al., 2013).
Eutrofización (final)	PDF.m ² .año	A partir del monitoreo de varias fuentes de agua, y del estudio de la desaparición de especies según diferentes concentraciones de fósforo, los desarrolladores de la metodología ReCiPe obtuvieron el factor de caracterización para los impactos de punto final (Goedkoop et al., 2013). Por esta razón, el resultado en este enfoque de impacto da una magnitud de la fracción potencial de especies afectadas en el ecosistema de la región, como consecuencia de la liberación de aguas residuales con altos contenidos de componentes orgánicos hacia los cuerpos de agua.
Escasez (medio)	m ³ equivalentes de agua	Los impactos por escasez contemplan en su cálculo el WSI específico para la región que se analiza. Este índice permite entender la severidad de la escasez, ya que clasifica la condición de la cuenca en baja, moderada, severa y extrema para un WSI menor a 0,1, entre 0,1 y 0,5, entre 0,5 y 0,9 y mayor a 0,9 respectivamente (Jeswani y Azapagic, 2011). Northey, Haque, Lovel, y Cooksey (2014) aclaran que un alto WSI está dado cuando la demanda del recurso está excediendo el abastecimiento sostenible. Por el contrario, estos autores mencionan que un WSI bajo puede referirse a una situación en la que la demanda de agua en la región es baja, o bien, que hay una gran capacidad de un abastecimiento sostenible. El resultado de esta categoría de impacto de punto medio se expresa en metros cúbicos equivalentes del recurso. Estos deben ser entendidos en la práctica como una representación de “la cantidad equivalente de agua de la cual otros usuarios competidores son privados como consecuencia del uso del agua” (Boulay, Bulle, Bayart, Deschênes, y Margni, 2011, p. 8951).
Salud humana (final)	DALY	Según afirman Chen, Jacobsen, Deshmukh y Cantor (2015) “los DALYs pretenden cuantificar, a nivel de población, los años totales de vida perdidos por muerte prematura, y los años de vida vividos con salud subóptima debido a cualquier condición que reduce el funcionamiento parcial o total por un corto período de tiempo o un largo período” (p.10). Cuando se menciona el concepto de “discapacidad” en la unidad de medida, se refiere precisamente a esta condición que reduce el funcionamiento. Puede ser entendida como cualquier enfermedad que afecte el estado de salud físico o mental de la persona (Chen et al., 2015). En el caso del presente estudio, esta “discapacidad” hace referencia a la malnutrición ocasionada en la población, por la privación de agua para la producción de alimentos (Pfister et al., 2009). Alvis y Valenzuela (2010) aclaran que una unidad de DALY debe entenderse como la pérdida de un año de completa salud. Es decir, el valor del impacto será la cantidad de años de completa salud posiblemente perdidos por la malnutrición ocasionada por la privación de agua para la producción de alimentos, debido al consumo del recurso en las actividades de la Planta Empacadora. Son preferibles los resultados cercanos a cero. Pero cabe destacar que este es tan sólo un indicador de una relación de causa-efecto para evaluar un posible impacto en la salud humana, lo que no implica necesariamente que la población realmente esté experimentando tal afección (Grosse, Lollar, Campbell, & Chamie, 2009).

Continuación del Cuadro A.2.1

Categoría de impacto (alcance)	Indicador de impacto*	Interpretación
Calidad del ecosistema (final)	PDF.m ² .año	Este debe ser comprendido como la fracción potencialmente desaparecida de especies terrestres, como efecto de las actividades de la Planta Empacadora. Esta potencial desaparición de especies es ocasionada por la privación de agua al ecosistema debido al uso del recurso para las actividades productivas. Los valores preferibles deben ser cercanos a cero.
Recursos (final)	MJ	El resultado de este indicador se expresará en la cantidad de energía extra (MJ/Unidad Funcional) potencialmente necesaria para desalinizar, una cantidad equivalente a la consumida, de agua de mar. Esta relación se utiliza para evaluar las implicaciones del uso de otras fuentes del recurso debido al agotamiento del mismo, como el caso del agua de mar utilizada como fuente de agua potable. Pfister et al. (2009) propone este indicador para cuantificar los impactos ambientales para las futuras generaciones, que serán las afectadas por la escasez del recurso.

*Todos los indicadores de impacto están calculados respecto a la unidad funcional

A.2.6. REPORTE FINAL DE LA HUELLA DE AGUA

Para el reporte de la huella de agua se recomienda que el informe contenga como estructura básica: aspectos generales (empresa, planta empackadora, descripción del proceso y usos directos del agua, fecha de reporte), objetivo y alcance, inventario, evaluación de impactos, resultados y discusión, y las conclusiones (Figura A.2.8).

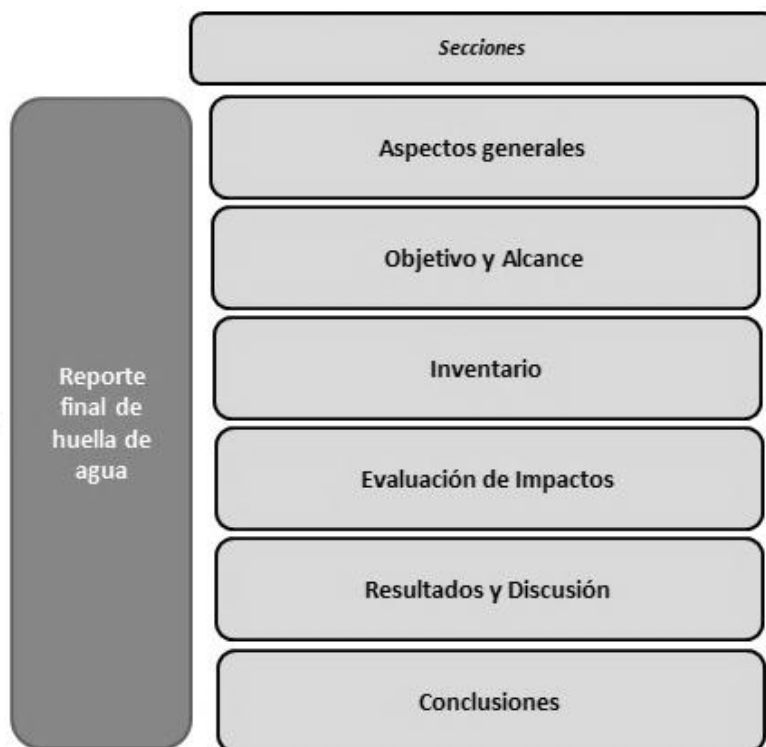


Figura A.2. 8 Descripción gráfica de las secciones recomendadas para elaboración de un informe de la huella de agua

Según la ISO 14046 (ISO, 2014), la información debe ser reportada con claridad y transparencia, independientemente de la audiencia prevista, y la forma y formato de reporte deben estar definidas en el alcance. Además, en esta norma se indica que el informe debe incluir con detalle cada dato, suposición, método, resultados, interpretaciones y limitaciones de manera que el lector comprenda a cabalidad la evaluación que se ha realizado.

Es importante que haya una descripción del proceso, identificando y detallando las etapas donde se utiliza el agua (ISO, 2006). Se debe reportar y explicar toda iniciativa existente para mejorar el desempeño ambiental relacionado al recurso hídrico (ISO, 2014).

A.2.7. RECOMENDACIONES

A pesar de que el racimo de banano es cubierto por la bolsa plástica en el campo, existe una leve posibilidad de que el agua de lavado de los racimos contenga trazas de agroquímicos. Además, podrían ocurrir emisiones de la sustancia rociada a las coronas de las manos de banano, al agua de las pilas. Si estas condiciones son significativas en el caso específico de la Planta Empacadora de banano en estudio, se recomienda obtener la huella de agua por Toxicidad Humana y Ecotoxicidad. Estas se evalúan mediante la metodología USEtox (Huijbregts, 2010) (sección A.2.8).

En la sección del inventario es recomendable agregar un apartado que incluya datos económicos relacionados al consumo del agua (costos del servicio o costos de bombeo). Esta información permitirá el cálculo de un indicador de desempeño económico, que relacione los costos con el consumo de agua e impactos ambientales potenciales. A partir de estos indicadores, se podrán observar, interpretar y comprender los efectos económicos relacionados con la gestión del recurso hídrico en la Planta Empacadora.

La metodología desarrollada se limita a la cuantificación huella de agua por eutrofización y escasez de las Plantas Empacadoras, producto del uso directo del recurso, y sólo contempla esta etapa en el ciclo de vida del banano. El ampliar el estudio a todo el ciclo de vida de este producto en la empresa e incluir la huella de agua indirecta de los procesos (en especial el factor energía), dará un panorama más completo sobre los impactos de este producto en relación al recurso hídrico. Esta es una tarea que queda pendiente para futuros trabajos.

La empresa que desee hacer una publicación oficial de huella de agua, requiere que el estudio realizado por la misma, se someta a un proceso de verificación por parte de un ente autorizado. Si este es el objetivo por el cual se desarrolla el estudio, se recomienda hacer un análisis más detallado de los impactos, incluir el uso indirecto del recurso, verificar la trazabilidad de toda la información que se incluya, y reportar los datos de forma anual respecto a la unidad funcional. Además, se deben contemplar otros aspectos importantes que establece la ISO 14046, como el llevar a cabo un análisis de sensibilidad. Este se realiza durante el desarrollo del inventario, y su fin es limitar los datos contemplados a los usos de agua más significativos para la huella (ISO, 2014a).

Esta metodología constituye únicamente una propuesta inicial para facilitar el acceso del sector bananero, a este complejo indicador. Es recomendable acudir a la norma ISO 14046 y a la ISO 14044 para el desarrollo de un estudio verificable.

Este trabajo realizado pretende ser de apoyo para mejorar la gestión del agua en las Plantas Empacadoras de banano en Costa Rica. Por lo tanto, se espera que posterior al estudio y como consecuencia del mismo, se logren proponer, diseñar e implementar medidas que contribuyan a las buenas prácticas en el empleo del recurso. Los reportes de huella de agua llevados a cabo con orden, claridad y transparencia, serán de gran utilidad para comprobar ante terceros el manejo responsable del agua en la empresa.

A.2.8. MATERIAL IMPORTANTE PARA CONSULTA

Adjunto en el Cuadro A.2.2 se encuentran otras metodologías disponibles en la literatura para el cálculo de impactos para su consulta.

Cuadro A.2. 2 Metodologías adicionales disponibles para el cálculo de impactos por el uso del agua.

Bibliografía	Categoría de Impacto (alcance)
Frischknecht, R., Steiner, R., Braunschweig, A., Egli, N. y Hildesheimer, G. (2006). Swiss ecological scarcity method: the new version 2006. Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), Switzerland	Escasez (medio)
Milà i Canals, L., Chenoweth, J., Chapagain, A., Orr, S., Antón, A., Clift, R. (2009). Assessing freshwater use impacts in LCA: part I—inventory modelling and characterisation factors for the main impact pathways. <i>Int J Life Cycle Assess</i> 14(1):28–42. doi: 10.1007/s11367-008-0030-z	Impacto en el ecosistema de agua dulce (medio) Agotamiento de los recursos de agua dulce (medio)
Motoshita, M., Itsubo, N. e Inaba, A. (2009). Damage assessment of water scarcity for agricultural use. Proceedings of 9th international conference on EcoBalance. D1-1410. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)	Salud humana (final)
Motoshita, M., Itsubo, N. e Inaba, A. (2011). Development of impact factors on damage to health by infectious diseases caused by domestic water scarcity. <i>Int J Life Cycle Assess</i> 16(1):65–73. doi: 10.1021/es1039634	Salud humana (final)
Hanafiah, M., Xenopoulos, M., Pfister, S., Leuven, R.S., Huijbregts, M. (2011). Characterization factors for water consumption and greenhouse gas emissions based on freshwater fish species extinction. <i>Environ Sci Technol</i> 45(12):5272–5278. doi: 10.1021/es1039634	Calidad del ecosistema (final)
van Zelm, R., Schipper, A.M., Rombouts, M., Snepvangers, J. y Huijbregts, M.A.J. (2011). Implementing groundwater extraction in life cycle impact assessment: characterization factors based on plant species richness for the Netherlands. <i>Environ Sci Technol</i> 45 (2):629–635. doi: 10.1021/es102383v	Calidad del ecosistema (final)
Bösch, M., Hellweg S., Huijbregts M. y Frischknecht R (2007). Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to the ecoinvent database. <i>Int J Life Cycle Assess</i> 12(3):181–190. doi: 10.1007/s11367-006-0282-4	Recursos (final)
Henderson, A. D., Hauschild, M. Z., Van De Meent, D., Huijbregts, M. a J., Larsen, H. F., Margni, M., ... Jolliet, O. (2011). USEtox fate and ecotoxicity factors for comparative assessment of toxic emissions in life cycle analysis: Sensitivity to key chemical properties. <i>Int J Life Cycle Assess</i> 16, 701–709. doi:10.1007/s11367-011-0294-6	Ecotoxicidad (medio) Toxicidad Humana (medio)