



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Energía y Ambiente

**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN UNA EMPRESA SIDERÚRGICA Y PROPUESTA
PARA SU INCORPORACIÓN AL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL**

Inga. Maricela Rosaneth Vidal Ruiz
Asesorada por MSc. Luis Roberto Moscozo Barrios

Guatemala, febrero de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN UNA EMPRESA SIDERÚRGICA Y PROPUESTA
PARA SU INCORPORACIÓN AL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

INGA. MARICELA ROSANETH VIDAL RUIZ

ASESORADA POR EL MTRO. LUIS ROBERTO MOSCOZO BARRIOS

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRA EN ARTES EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, FEBRERO DE 2022.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque.
EXAMINADOR	Ing. Marvin Eduardo Mérida Cano
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN UNA EMPRESA SIDERÚRGICA Y PROPUESTA PARA SU INCORPORACIÓN AL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 27 de febrero de 2021.

Ing. Maricela Rosaneth Vidal Ruiz



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.0107.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN UNA EMPRESA SIDERÚRGICA Y PROPUESTA PARA SU INCORPORACIÓN AL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL**, presentado por: **Maricela Rosaneth Vidal Ruiz**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Energía y ambiente después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada



Decana

Guatemala, febrero de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, febrero de 2022

LNG.EEP.OI.107.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN UNA EMPRESA
SIDERÚRGICA Y PROPUESTA PARA SU INCORPORACIÓN AL PLAN
DE GESTIÓN AMBIENTAL”**

presentado por **Maricela Rosaneth Vidal Ruiz** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**





Guatemala, 27 de septiembre de 2021.

M.Sc. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente


M.Sc. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL** del trabajo de graduación titulado: **“ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN UNA EMPRESA SIDERÚRGICA Y PROPUESTA PARA SU INCORPORACIÓN AL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL”** de la estudiante **MARICELA ROSANETH VIDAL RUIZ** quien se identifica con número de carné 100010029, del programa de **Maestría en Energía y Ambiente**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,


M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador
Maestría en Energía y Ambiente
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC



Guatemala, 15 de julio de 2021.

Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12

Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor de trabajo de graduación de la estudiante Maricela Rosaneth Vidal Ruiz, Carné número 100010029, cuyo título es "**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN UNA EMPRESA SIDERURGICA Y PROPUESTA PARA SU INCORPORACIÓN AL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL**", para optar al grado académico de Maestro en Energía y Ambiente, he procedido a la revisión del mismo.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que la estudiante Vidal Ruiz, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,


Luis Roberto Moscozo Barrios
Ingeniero Civil
M.Sc. Ingeniería Sanitaria
Col. 11,396
Ing. Luis Roberto Moscozo Barrios
M.Sc. Ingeniería Sanitaria
Asesor

ACTO QUE DEDICO

Dios	Por su continua presencia en mi vida, por sus dádivas incomparables, como lo son, todas aquellas personas que puso él por amigos y compañeros en mí camino y por la gran bendición de los padres que me dio.
Mis padres	José Vidal Lemus y Gloria Ruiz de Vidal, por todo su amor, dedicación, apoyo y bendiciones.
Mi esposo	Byron Gerardo Chocooj Barrientos, por su amor, comprensión y apoyo en todo momento.
Mis hijos	Jimena María y Diego José Chocooj Vidal por inspirarme día a día.
Mis hermanos	José Fernando, Luis Adolfo y Angélica María de Vidal por todo su cariño y apoyo incondicional.
Mis sobrinos	Todo mi cariño. A Luis Adrián, tu luz irradiará siempre a quienes te amamos.
Mis suegros y cuñados	Mí segunda familia a quienes aprecio mucho.

Mis amigos

Quienes día a día, en épocas y momentos diferentes me acompañaron, me ayudaron y me apoyaron.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Alma mater del conocimiento superior que me ayudó en mi formación académica.

Facultad de Ingeniería

Por otorgarme los conocimientos necesarios para realizarme en el campo profesional.

**Escuela de Estudios de
Postgrado – FIUSAC**

A mis profesores en especial al ingeniero Juan Carlos Fuentes Montepeque e ingeniero Renato Ponciano Sandoval, por sus consejos, apoyo y orientación, por disponer de su tiempo y conocimiento; realizando acertadas observaciones a este trabajo de graduación, ¡muchas gracias!

Mi asesor

Ingeniero Roberto Moscozo Barrios, por compartir su conocimiento, experiencia y guiarme en el proceso de la presente tesis. ¡Gracias Ingeniero!

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	IX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XI
OBJETIVOS.....	XV
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XVII
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Concepto de la huella hídrica.....	3
2.2. La huella hídrica dentro del conceto general de su aplicación.....	4
2.3. La huella hídrica por colores.....	5
2.4. Apropiación humana del agua.....	5
2.5. Estrés hídrico local-.....	6
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	9
3.1. Metodologías aplicables para la cuantificación de la huella hídrica.....	9
3.1.1. <i>Water Footprint Assessment</i>	9
3.1.2. <i>Global Water Tool</i>	11
3.1.3. <i>Water Sustainability Tool</i>	12

3.1.4.	ISO 14046 <i>Water Footprint Standard</i>	14
3.2.	Variables requeridas por las diferentes metodologías para determinar la huella hídrica.....	15
3.2.1.	Determinación por medio de <i>Water Footprint Assessment</i>	15
3.2.1.1.	Objetivos de la evaluación de la huella hídrica, según el método <i>Water Footprint Assessment</i>	16
3.2.1.2.	Alcances de la contabilidad de la huella hídrica.....	18
3.2.1.3	Detalle de la recolección de datos y período.....	19
3.2.1.3.	Determinación de la huella de un producto.....	20
3.2.2.	Determinación por medio de <i>Global Water Tool</i>	23
3.2.3.	Determinación por medio del método <i>Water Sustainability Tool</i>	28
3.2.3.1.	Módulo No. 1. Evaluación del uso, el impacto y la fuente del agua.....	30
3.2.3.2.	Módulo No. 2 Evaluación de riesgo comercial.....	34
3.2.4.	Determinación por medio ISO 14046 <i>Water Footprint Standard</i>	35
3.2.4.1.	Metodología de trabajo.....	36
3.3.	Análisis comparativo de las metodologías para la industria siderúrgica.....	41
3.4.	Cuantificación de la huella hídrica e incorporación en el plan de gestión ambiental.....	46

3.4.1.	Determinación de la huella hídrica en una empresa siderúrgica.....	47
3.4.1.	Propuesta de integración de la huella hídrica al plan de gestión ambiental	61
3.4.2.1	Medidas de mitigación.....	66
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	67
4.1.	Metodologías aplicables para la cuantificación de la huella hídrica.....	67
4.2.	Variables requeridas dentro de cada metodología dentro del proceso de producción.....	68
4.3.	Análisis comparativo de las diferentes metodologías para el cálculo de huella hídrica.....	69
4.4.	Incorporación al plan de gestión ambiental la cuantificación de la huella hídrica.....	70
	CONCLUSIONES.....	73
	RECOMENDACIONES.....	75
	REFERENCIAS.....	77

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estrés Hidráulico	7
2.	Módulos analíticos Water Sustainability Tool	13
3.	El enfoque suma en cadena.....	21
4.	El acumulativo escalonado.....	22
5.	Página principal de la herramienta <i>Global Walter Tool</i>	24
6.	Huella hídrica en Guatemala.....	25
7.	Huella hídrica verde para Guatemala.....	26
8.	Huella hídrica azul para Guatemala	27
9.	Huella hídrica gris para Guatemala.....	27
10.	Ciclo de la huella hídrica	37
11.	Análisis de ciclo de vida	39
12.	Contador instalado en el proceso de laminado	53
13.	Ciclo hídrico para la determinación de la huella hídrica	54
14.	Determinación de la huella hídrica gris y agua virtual	54
15.	Ubicación del proceso de producción	56
16.	Producto terminado	57

TABLAS

I.	Descripción de variables	XVIII
II.	Descripción de los tipos de huella hídrica	5
III.	Tipos de huella hídrica, cuantificación y unidad de medida	10
IV.	Objetivos generales	16

V.	Objetivos de la evaluación de HH del proceso	17
VI.	Objetivos de la evaluación de la huella hídrica del consumidor o comunidad	17
VII.	Objetivos de evaluación de la huella hídrica en un área delimitada	17
VIII.	Objetivo de evaluación de la huella hídrica empresarial	18
IX.	Nivel de detalle en cuanto a tiempo y espacio	19
X.	Objetivos y alcances	38
XI.	Análisis de variables requeridas – Huella Hídri.....	42
XII.	Consumo mensual de agua	51
XIII.	Medidas de los tanques de almacenamiento de agua	52
XIV.	Evaluación de impacto ambiental de un proceso siderúrgico. Actividad hidrológica.....	63
XV.	Propuesta de integración de la huella hídrica al plan de gestión ambiental	64

GLOSARIO

ACV	Análisis de Ciclo de Vida. Es una metodología que identifica, cuantifica y caracteriza los diferentes impactos ambientales.
Consuntivo	Es cuando el agua, una vez usada, no se devuelve al medio donde se ha captado o no se devuelve de la misma manera que se ha extraído.
Degradación de agua	Cambio negativo en la calidad del agua.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
GEMI	<i>Global Environmental Management Initiative.</i>
Gestión ambiental	Conjunto de diligencias conducentes al manejo integral del sistema ambiental.
GWT	<i>Global Water Tool.</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization.</i>

ISO 14046	Proporciona los requisitos y la guía para el cálculo y la generación de informes de la huella hídrica.
Límites del sistema	Conjunto de criterios que especifican que unidades del proceso forman parte del sistema.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
Metodología	Conjunto de métodos que se siguen en una investigación, estudio.
Perfilado	Es un proceso de fabricación de deformación que se aplica a una lámina delgada de metal, con la cual se obtienen como producto terminado, tubos de forma cuadrada y redonda.
Recurso Hídrico	Hace referencia al recurso natural de agua como un elemento aprovechable.
UF	Unidad Funcional.
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development.</i>
WFA	<i>Water Footprint Assessment.</i>
WFN	<i>Water Footprint Network.</i>
WST	<i>Water Sustainability Tool</i>

RESUMEN

La evaluación de huella hídrica es una metodología que promueve y apoya el uso sostenible del recurso hídrico a través de información transparente y completa sobre el consumo y la contaminación del agua, en relación con la disponibilidad de esta. La metodología fue introducida en el 2011 en el Manual de Evaluación de Huella Hídrica. Hoekstra, Chapagain, Aldaya, y Mekonnen, (2011) .

Dentro del desarrollo del concepto de huella hídrica se han desarrollado diferentes métodos para su evaluación y su medición, para fines de esta investigación se analizarán los siguientes métodos: *Water Footprint Assessment*, *Global Water Tool*, *Water Sustainability Tool*, ISO (14046) *Water Footprint Standard*. Se determinó que la metodología ISO 14046 *Water Footprint Standard* es la que de mejor forma se acopla a la industria siderúrgica, ya que considera las etapas del ciclo de vida, así como los impactos ambientales potenciales relacionadas con el uso del agua.

De esta cuenta al desarrollar el método de medición de la huella hídrica, se obtuvo que para el área de perfilado el impacto es de alrededor de 2,900.00 ton/mes, equivalentes a un consumo mensual de 7.92 m³/mes, esta relación establece un valor de 0.0027 m³/ton equivalente a 2.70 litros de agua por tonelada de perfil producido. Cabe señalar que el abastecimiento de agua empleada para los procesos industriales siderúrgicos en su mayor parte proviene de fuentes subterráneas por medio de pozos mecánicos con altos consumos, lo cual mediante la implementación de planes de gestión ambiental y buenas prácticas ambientales de reducción y reutilización del agua por medio de

sistemas de circuitos cerrados eco eficientes, puede contribuir a reducir la huella hídrica de los diferentes procesos y hacer un uso racional y sostenible del agua.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

Fernández (2011) establece que la huella hídrica es un indicador medioambiental que define el volumen total de agua dulce utilizado para producir los bienes y servicios que habitualmente consumimos. Es una variable necesaria que nos dice la cantidad de agua que nos cuesta fabricar un producto. Así mismo Hoekstra, Chapagain, y Aldana (2009), establecen en su manual, que el indicador denominado huella hídrica trata de suplir esta deficiencia buscando evaluar el nivel de apropiación e impacto sobre los recursos hídricos que requiere la producción.

Su cálculo se establece de forma modular, es decir, sumando las necesidades de uso y consumo de agua de cada etapa desde el origen hasta el consumidor final.

De esta cuenta cada empresa debe conocer los diferentes métodos existentes y reconocidos para realizar una correcta determinación de la huella hídrica, esta deberá de conocer la aplicación de los diferentes instrumentos de análisis de huella hídrica considerando al momento de la selección de la herramienta adecuada: la disponibilidad y acceso a información de calidad requerida sobre usos, consumo y descargas de agua de las diferentes actividades involucradas; los requerimientos financieros, de personal técnico y de tiempo necesarios para la aplicación de las herramientas y los beneficios de adoptar una actitud proactiva en relación a posibles próximas exigencias del mercado en materia de incorporación del cálculo de la huella hídrica.

- Descripción del problema

Dado que el concepto de Huella Hídrica es incipiente en nuestro medio, es poco el conocimiento que muchas empresas tiene de los procedimientos para determinar la huella hídrica dentro de sus procesos industriales, ya que no se ha desarrollado un proceso de registro y de disponibilidad de información real que ayude a determinar el impacto ambiental que genera la extracción o uso del recurso hídrico, así mismo existe el desconocimiento de cómo integrarlo dentro de sus planes de gestión ambiental. De esta cuenta se toma como ejemplo de aplicación la industria siderúrgica guatemalteca.

- Formulación del problema

- Pregunta central

¿Cómo desarrollar la medición de la huella hídrica de un proceso industrial siderúrgico e incorporarlo dentro del plan de gestión ambiental?

- Preguntas auxiliares

- ¿Qué métodos reconocidos a nivel internacional existen para determinar la huella hídrica?
- ¿Qué elementos de información debe generar la industria para la implementación de un proceso para determinar la huella hídrica?
- ¿Cuál es la mejor metodología para determinar la huella hídrica en la industria siderúrgica?

- ¿Es posible incluir dentro de un plan de gestión ambiental la huella hídrica?
- Delimitación del problema

Dentro de la investigación se desarrollará una investigación documental, descriptiva e inferencial, la cual se enfoca en la medición de la huella hídrica de un proceso dentro de la industria siderúrgica y como esta se puede incorporar dentro de los planes de gestión ambiental de la empresa.

OBJETIVOS

General

Desarrollar una propuesta para la evaluación de la huella hídrica en una industria siderúrgica y su incorporación al plan de gestión ambiental.

Específicos

- Identificar metodologías aplicables para la industria siderúrgica para la cuantificación de la huella hídrica.
- Establecer las variables requeridas dentro de cada metodología dentro del proceso de producción.
- Desarrollar un análisis comparativo de las diferentes metodologías para el cálculo de huella hídrica.
- Incorporar al plan de gestión ambiental la cuantificación de la huella hídrica en la industria siderúrgica.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

- Características del estudio

La investigación desarrollada se enmarca en los procesos de mejora continua que deben desarrollar cada una de las empresas, que busquen mejorar sus procesos, tanto industriales como de gestión ambiental, por lo cual se desarrolló una investigación documental y de campo en una industria siderúrgica.

La investigación documental condensa la información referente a cuatro diferentes métodos para determinar la huella hídrica, cada método es analizado individualmente, con el fin de presentar la información necesaria para poder elegir el método que mejor se acopla en esta industria. Y luego desarrollar el método de huella hídrica seleccionado, en un proceso de fabricación específico en la empresa siderúrgica.

Dentro de la investigación de campo, a manera de ejemplo se tomó el proceso de perfilado, con el cual se obtiene como producto final tubos de forma cuadrada y redonda. De esta manera una vez determinado el método de huella hídrica y elegido uno de los procesos realizados en la empresa, se desarrolla el método.

Por lo tanto, el estudio es de tipo mixto, pues se llevó a cabo un análisis cualitativo al comparar los diferentes métodos de huella hídrica y un análisis cuantitativo al obtener mediciones de cantidad de agua utilizada específicamente en el proceso de perfilado.

- Unidad de análisis

Se tomó como unidad de análisis una industria siderúrgica ubicada en el municipio de Mixco, del departamento de Guatemala, que por razones de confidencialidad no se indica el nombre de la empresa, y se utilizó a manera de ejemplo específicamente el proceso de perfilado.

Tabla I. Descripción de variables

Objetivo específico	Indicadores	Actividad	Resultados esperados
Identificar metodologías aplicables para la industria siderúrgica para la cuantificación de la huella hídrica.	- <i>Water Footprint Assessment</i> , (Evaluación de Huella Hídrica). - <i>Global Water Tool</i> , (Herramienta Global del Agua) <i>Water Sustainability Tool</i> , (Herramienta de Sostenibilidad Hídrica). - ISO (14046) <i>Water Footprint Standard</i> , (Evaluación de Huella Hídrica Estándar, acorde a ISO 14046)	Revisión documental de cada uno de los métodos seleccionados.	Identificar las características propias de cada uno de los métodos para su aplicación en la determinación de la cuantificación de la huella hídrica en una industria siderúrgica.
Establecer las variables requeridas dentro de cada metodología dentro del proceso de producción.	Resultados cualitativos	Desarrollo de las cuatro metodologías de forma cualitativa. Mostrando objetivos, alcances y aspectos importantes de cada una.	Identificar las variables que requiere la metodología dentro del proceso de producción.

Continuación de la tabla I.

Objetivo específico	Indicadores	Actividad	Resultados esperados
Establecer las variables requeridas dentro de cada metodología dentro del proceso de producción.	Resultados cualitativos	Desarrollo de las cuatro metodologías de forma cualitativa. Mostrando objetivos, alcances y aspectos importantes de cada una.	Identificar las variables que requiere la metodología dentro del proceso de producción.
Desarrollar un análisis comparativo de las diferentes metodologías para el cálculo de huella hídrica.	<p>Análisis de las siguientes variables.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enfoque general del método. - Enfoque particular. - Huella directa y/o indirecta - Determina diferentes huellas. - Periodicidad - Escala - Compromiso empresarial. 	Cuadro comparativo entre las metodologías.	Identificación de las características propias de cada método a fin de determinar su aplicabilidad para determinar la huella hídrica en un proceso siderúrgico.
Incorporar al plan de gestión ambiental la cuantificación de la huella hídrica en la industria siderúrgica.	<ul style="list-style-type: none"> - Factor ambiental impactado. - Fuente generadora <p>Impacto ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> -Regulación ambiental - Medidas de control <p>Ubicación y frecuencia.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Costo - Responsable <p>-Indicador de desempeño</p>	Propuesta de integración de la huella hídrica al plan de gestión ambiental.	Establecer acciones específicas de seguimiento y vigilancia ambiental.

Fuente: elaboración propia.

- Fases de la investigación:

Para poder responder a la pregunta central y preguntas auxiliares de las siguientes fases:

- Revisión documental

La recolección de la información se llevó a cabo de forma documental, desarrollando una investigación de documentación digital, de las diferentes instituciones internacionales que han generado documentación relacionada a la medición de la huella hídrica.

- Investigación de campo

Para ello se realizaron visitas a la empresa siderúrgica, para conocer *in situ*, los procesos desarrollados dentro de esta, a fin de determinar cómo los diferentes métodos seleccionados de huella hídrica podrían ser aplicados.

Se realizaron recorridos de campo con personas responsables del área de planta y de gestión ambiental, con el fin de conocer el proceso y determinar el método que mejor se acopla.

- Análisis comparativo

Después de haber realizado las visitas de campo y conocer los diferentes métodos de huella hídrica, se realiza un análisis comparativo entre cuatro metodologías: *Water Footprint Assessment*, *Global Water Tool*, *Water Sustainability Tool* e *ISO Water Footprint Standard*, tomando como variables, el enfoque general particular de cada método, el alcance de interés, periodicidad que

sugiere cada método, si permite el método evaluar diferentes procesos o bien es a nivel macro, y si el método incorpora compromiso empresarial con el uso adecuado del agua.

- Determinación de la huella hídrica

Se cuantifica la huella hídrica mediante el método elegido, inicialmente se describe el proceso de perfilado, se presenta la metodología del método y se desarrolla. Se propone un modelo de evaluación de impacto ambiental para una empresa siderúrgica con enfoque de huella hídrica.

- Implementación en el plan de gestión ambiental

Una vez elegido el método apropiado se realiza una propuesta de integración de la huella hídrica al plan de gestión ambiental, tomando como factor ambiental impactado, la actividad hidráulica.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años el requerimiento de agua para los diferentes procesos productivos ha empezado a generar estrés dentro de las fuentes de agua, de esta cuenta también se ha empezado a desarrollar la conciencia social, de poder entender que impacto tiene la producción de un producto en específico. Como parte de las líneas de investigación de la maestría en Energía y Ambiente, se ha desarrollado una investigación que se encuentra en la línea específica de gestión y tratamiento de agua.

La gestión y tratamiento del agua se desarrolla sobre el concepto que el uso de agua dulce por actividades humanas frecuentemente lleva a disminuir la disponibilidad del recurso (en una zona determinada) o a contaminar cuerpos de agua que reciben descargas. En el primer caso, hablamos de usos consuntivos de agua, los cuales se refieren a los usos de agua dulce en donde no hay devolución del agua extraída a la cuenca de origen y por lo tanto deja de estar disponible para otros usos. El agua es consumida al ser evaporada, evapotranspirada, incorporada en productos o vertida al mar. ISO 14046, 2014; Hoekstra et al. (2011).

En el segundo caso, hablamos de usos que degradan la calidad del agua, referidos a la emisión de contaminantes al ambiente que producen contaminación en los cuerpos receptores. Ambos usos de agua se deben tener en cuenta a la hora de analizar la sostenibilidad del recurso hídrico.

El concepto de huella hídrica no se encuentra dentro del marco jurídico de Guatemala, sin embargo, se manifiesta interés en conocer estudios a nivel

nacional de las diferentes industrias, por el momento algunas empresas desde su unidad ambiental de manera voluntaria inician con programas y proyectos internos a determinar la huella hídrica de sus diferentes procesos industriales o unidades estructurales como edificios y de esta manera realizar una gestión integral del manejo del agua.

De esta cuenta se desarrolla una investigación documental que establece el marco referencial (Capítulo 1) que busca indicar casos análogos que se han desarrollado en Guatemala referente a la huella hídrica, seguidamente se establece el capítulo 2 o Marco teórico que busca conocer las diferentes definiciones que contribuyen a la comprensión del presente trabajo.

En el capítulo 3 se definen las metodologías existentes para determinar la huella hídrica dentro de una industria, considerando sus variables y lo que esta medición implicaría, en el capítulo 4 se presenta un análisis comparativo de las diferentes metodologías de huella hídrica, así como una propuesta de integración de la huella hídrica al plan de gestión ambiental.

En el capítulo 5 se podrá encontrar el desarrollo de la medición de la huella hídrica gris, en el que se podrá conocer las características del método empleado, el cual se realiza a manera de ejemplo en un proceso de siderurgia, específicamente perfilado

1. MARCO REFERENCIAL

En Guatemala se ha desarrollado investigación referente a la huella hídrica, dentro de este campo se han desarrollado investigaciones como la elaborada por el doctor Argueta Mayorga, donde en su tesis doctoral desarrolla la Metodología para determinar la sostenibilidad de lagos, basándose en indicadores de la economía ecológica, en sus conclusiones determina que de acuerdo con los valores obtenidos en el análisis de la huella hídrica aplicada a la cuenca que subtiende el lago de Atitlán, se deduce que actualmente hay sostenibilidad en dicho cuerpo hídrico, tomando en consideración que el 71 % del agua consumida en los cultivos proviene de la precipitación y que el 29 % proviene de agua superficial.

Asimismo, de acuerdo con los datos obtenidos para el funcionamiento del sector agrícola dentro de la cuenca del lago de Atitlán, se requieren 578.35 millones de metros cúbicos de agua por año (497.63 millones de metros cúbicos correspondientes a la huella hídrica verde y 80.72 millones de metros cúbicos reflejan la huella hídrica azul. Argueta (2019).

Así mismo Silva (2016), desarrolla la investigación sobre la Reutilización del Efluente Tratado del Proceso de Lavado de Prendas Textiles de Lona para Mitigar la Huella Ambiental en una Planta de Producción en Guatemala, al desarrollar la investigación determina que el efluente tratado será de 158 m³/día, para la reutilización el cual permite mitigar la huella ambiental del proceso de lavado de prendas textiles a un 24.99 % de reducción de la huella hídrica. Así mismo la cantidad de volumen de efluente a reutilizar para el proceso de reducción de la

huella hídrica ambiental debe ser entre 12.5 % a 25 % del caudal total tratado.
Silva (2016).

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Concepto de la huella hídrica

El concepto de la huella hídrica, bajo este nombre, es incorporado a partir del año 2002 por el doctor Hoekstra, y es difundido desde esa fecha por la organización Water Footprint Network (WFN). La gestión del vital líquido es algo que se viene realizando desde muchos años atrás, la ingeniería hidráulica se ha hecho cargo de mejorar dicha gestión. De esa cuenta, la huella hídrica nos da la posibilidad de utilizar metodologías para administrar el limitado y valioso recurso.

Hoekstra, Chapagain, Aldaya, y Mekonnen (2011) La huella hídrica no es considerada como una estadística tradicional de consumo de agua, que simplemente nos da un dato de utilización directa. Huella hídrica es el volumen de agua dulce usado para elaborar un producto, medido a lo largo de la cadena de suministro completa. Es un indicador multidimensional que muestra los volúmenes de consumo y contaminación; y esta geográfica y temporalmente especificado.

La evaluación de huella hídrica es una herramienta analítica que puede ayudar a comprender como las actividades y los productos se relacionan con la escasez y la contaminación del agua y con los impactos derivados de las mismas, así como que se puede hacer para asegurarse de que las actividades y productos no contribuyan a un uso insostenible del agua dulce. Como herramienta la evaluación de la huella hídrica aporta comprensión: nos dice lo que hay que hacer; más bien ayuda a entender que lo que se puede hacer.

2.2. La huella hídrica dentro del concepto general de su aplicación.

El requerimiento al recurso hídrico se ha incrementado, de esta cuenta la Organización de Naciones Unidas (ONU), ha establecido que, durante el siglo 21, muchas poblaciones se han visto afectadas por la accesibilidad al recurso hídrico, así como a agua de calidad. Según el Informe de 2008 de la OCDE, establece que la escasez de agua dulce ha empezado a desarrollar impactos en la sociedad. OCDE (2008).

El incremento de las zonas urbanas, nuevas zonas desarrolladas, así como el incremento en la población e industrias ha generado que las predicciones nos indican constantemente que la demanda de agua seguirá aumentando en la mayor parte del mundo. (Gleick, Cooley, Cohen, Morikawa, y Morrison, 2009).

Dentro de todo proceso productivo, el elemento vital para desarrollar actividades económicas es el agua, por lo cual es importante que cada industria sin importar el rubro al cual se dedique debe de conocer el impacto que desarrolla su actividad económica dentro de los sistemas hídricos de la región donde se encuentra establecida. La medición de la huella hídrica desarrolla un conocimiento global de toda la línea de producción y como esta línea de producción impacta en el recurso hídrico.

El concepto establecido por Arjen Hoekstra y P. Hung, sobre huella hídrica, en el cual establecen que es un indicador donde se determina como las actividades humanas impactan en el agua dulce. De la definición establecida por esos autores se establecen los conceptos de huella hídrica verde, azul y gris.

2.3. La huella hídrica por colores

La huella hídrica toma en cuenta la fuente de donde se origina el agua, y en base a esto, la cataloga en tres colores.

Tabla II. Descripción de los tipos de huella hídrica

Tipo de huella	Descripción
Huella hídrica azul	Hace referencia al consumo de aguas superficiales y aguas subterráneas (Agua azul), Esta típicamente es explotada generando traslado del agua hacia otra cuenca o al volumen de agua dulce utilizada y luego evaporada o incorporada al producto. Cuando se determina en la producción de cultivos se lleva a cabo la suma de la evaporación del agua con la que se riega, la evaporación en los canales de riego y almacenamientos artificiales. En productos y servicios se determina como la cantidad que no es devuelta al sistema de donde fue retirada.
Huella hídrica verde	Podemos referirnos a la huella hídrica verde como el agua retenida en el suelo como humedad proveniente de la precipitación (Agua verde), la cual generalmente se evapora y es utilizada en proceso de agricultura.
Huella hídrica gris	-Hace referencia al agua requerida para asimilar una cierta carga de contaminantes (Agua gris), en otras palabras, se asocia con la calidad de agua con la producción de un producto a lo largo de su cadena de suministro. Es un indicador de la contaminación por lo que en cuanto menos contaminación, mejor.

Fuente. elaboración propia.

2.4. Apropiación humana del agua

Para poder establecer como el concepto de huella hídrica se aplica a las diferentes circunstancias es necesario entender la idea de apropiación humana del agua. Dependiendo de la bibliografía que se consulte y se analice, la apropiación del agua también la podemos entender como el acaparamiento.

Según Franco, Kishimoto, Kay, Feodoroff, y Pracucci, (2013):

Son situaciones en las que las comunidades locales se ven privadas del agua de su ecosistema que necesitan para sobrevivir debido a que inversores externos derivan el uso de agua hacia una mercantilización (extracción del agua para monocultivos alimentarios intensivos, generación de hidroelectricidad, toma corporativa de recursos hídricos por ejemplo para embotellado, industria extractiva, industria de manufactura).

El agua pasa de ser un recurso abiertamente para todos a un bien cuyo acceso depende de la capacidad de pago. (p. 34)

Esta condición donde los diferentes interesados en el elemento agua para dar cumplimiento a sus beneficios generan que se realice un proceso de aprovechamiento, este impacto se evidencia en términos de incrementos de consumo y contaminación del agua debido a procesos productivos, reduciendo su disponibilidad ya que esta se ha evaporado, transferido a otra cuenca, incorporado en un producto o bien contaminado.

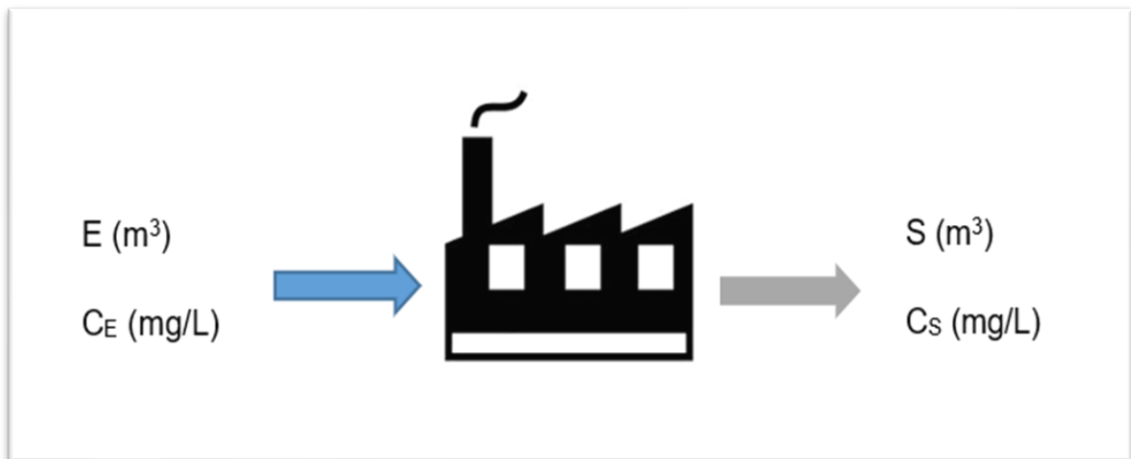
2.5. Estrés hídrico local

Según la norma ISO 14046, la huella hídrica evalúa la alteración de cuerpos de agua al extraer y/o descargar agua en volumen o calidad alterada, cuando se tiene la información de la contabilidad del agua, se calculan los impactos asociados a los usos consuntivos y degradativos, la evaluación es el resultado entre el análisis de la contabilidad del agua y los posibles efectos potenciales que produzcan al medio ambiente relacionados con el uso del agua.

Uno de los indicadores es la disponibilidad de agua, o también llamado estrés hídrico local, el cual fue desarrollado por Veolia, una compañía internacional francesa, quienes tienen actividades en tres ámbitos, gestión del agua, gestión de residuos y servicios energéticos.

El indicador de estrés hídrico, evalúa el impacto en el uso de agua, agrupando en un solo parámetro tres factores clave: consumo de agua, calidad del agua (extraída y descargada) y grado de escasez de agua en la zona donde es usada. Veolia (2011).

Figura 1. **Estrés Hidráulico**



Fuente: elaboración propia.

Donde E y S son los volúmenes de agua extraída y descargada, respectivamente y C_E y C_S es la calidad de agua extraída y descargada. (Veolia, 2011)

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Metodologías aplicables para la cuantificación de la huella hídrica

Dentro del desarrollo del concepto de huella hídrica se han desarrollado diferentes métodos para su evaluación y su medición, para fines de esta investigación se analizará los siguientes métodos:

- *Water Footprint Assessment*, (Evaluación de Huella Hídrica)
- *Global Water Tool*, (Herramienta Global del Agua)
- *Water Sustainability Tool*, (Herramienta de Sostenibilidad Hídrica)
- ISO (14046) *Water Footprint Standard*, (Evaluación de Huella Hídrica Estándar, acorde a ISO 140146)

3.1.1. *Water Footprint Assessment*

El método establecido por *Water Footprint Assessment* establece que: los estudios de huella hídrica pueden tener varios propósitos y ser aplicados en diferentes contextos. Cada propósito requiere su propio alcance de análisis y permitirá diferentes opciones al hacer suposiciones. Se puede evaluar la huella hídrica de diferentes entidades, por lo que es importante empezar a especificar en cuál de ellas se está interesado, nos podemos interesar por ejemplo en la huella hídrica de un producto, de un consumidor, de un grupo de consumidores, de un área geográficamente delimitada, de una empresa, entre otras. Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen, (2011)

A continuación, se describen algunos tipos de huella, como se cuantifica y cuál es la unidad de medida en la cual regularmente la presentan.

Tabla III. **Tipos de huella hídrica, cuantificación y unidad de medida**

Entidad	Como se determina	Unidad de medida de la huella hídrica
Huella hídrica de un producto	La sumatoria de todas las huellas hídricas de las etapas del proceso que fueron necesarios para el producto final.	Se expresa como el volumen de agua por unidad de producto. Ejemplos: <ul style="list-style-type: none"> • Volumen de agua por unidad de masa. • Volumen de agua por unidad de dinero. • Volumen de agua por pieza
Huella hídrica de un consumidor	La sumatoria de las huellas hídricas de todos los productos que usa o consume.	Se expresa como el volumen de agua por unidad de tiempo. Se expresa como el volumen de agua por unidad monetaria
Huella hídrica de una comunidad	La sumatoria de la huella hídrica de cada consumidor individual.	Puede expresarse en términos de volumen de agua por unidad de tiempo per cápita.
Huella hídrica del consumo nacional	La suma de las huellas hídricas de sus habitantes.	Puede expresarse en términos de volumen de agua por unidad de tiempo per cápita o litros de agua por persona por día.
Huella hídrica de una empresa	La suma de las huellas hídricas de todos los productos finales que fabrican.	Se expresa en unidades de volumen por unidad de producto o servicio.
Huella hídrica de un área delimitada. (Nación, provincia, municipio o administrativa)	Es igual a la suma de las huellas hídricas de todos los procesos que requieren agua en la zona,	Se expresa como el volumen de agua por unidad de tiempo. Se expresa como el volumen de agua por unidad monetaria cuando se divide entre los ingresos en el área.

Fuente: elaboración propia.

De esta cuenta el método *Water Footprint*

Assessment, para determinar el propósito de la estimación de la huella hídrica, facilita una lista de cotejo establecido por el manual, la cual no es extensa, y nos permite llegar a determinar el motivo del estudio, estos elementos nos direccionan hacia donde encaminarlo, si la meta es la sensibilización o bien realizar un estudio de estimación de huella hídrica específico de algunos productos en todo un país, o si es presentar políticas para disminuir la huella, se debe entonces realizar una investigación con mayor detalle con referencia al tiempo y espacio, dependiendo siempre del objetivo.

3.1.2. *Global Water Tool*

WBCSD *Global Water Tool* (GWT) es un módulo en línea gratuito que colabora con las empresas al comparar la utilización del agua, la descarga de aguas residuales y la información de las instalaciones con datos validados de cuencas hidrográficas, basados en casi 30 conjuntos de datos externos tales como disponibilidad del recurso hídrico, saneamiento, población, e información sobre biodiversidad, entre otras cosas.

Este proceso tiene como objetivo permitir a las empresas realizar una evaluación inicial de alto nivel de los riesgos relativos del agua con el fin de identificar los puntos críticos de riesgo, para poder identificar y priorizar medidas correctivas a seguir.

Esta evaluación inicial está destinada a ser seguida por evaluaciones locales posteriores más detalladas cuando sea apropiado.

El GWT también genera métricas claves del agua que describen el uso del agua, la intensidad de la producción y el riesgo, así como indicadores de informes de *Global Reporting Initiative (GRI)*, *Carbon Disclosure Project – Water (CDP)*, *Bloomberg* y *Dow Jones Sustainability Index (DJSI)*. Que ayudan a las empresas a informar a sus partes interesadas sobre el rendimiento y los riesgos del agua. También ofrece gráficos y mapas que pueden ayudar a las empresas a comunicarse con sus partes interesadas.

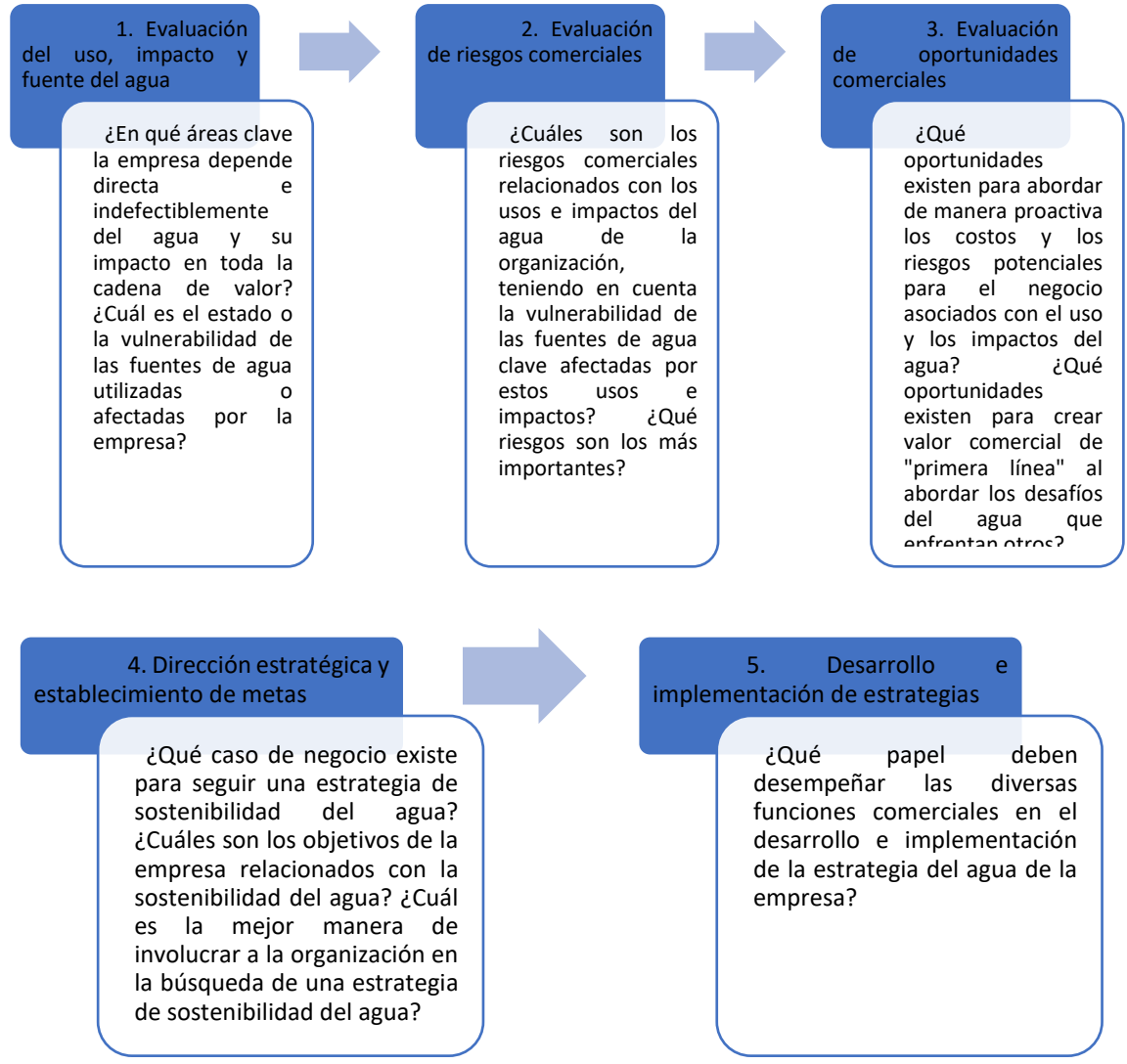
3.1.3. *Water Sustainability Tool*

El método de *Water Sustainability Tool*, pertenece a la herramienta de sostenibilidad del agua de GEMI contiene cinco etapas o módulos analíticos básicos. Éstas incluyen:

- Módulo 1: evaluación del uso, el impacto y la fuente del agua.
- Módulo 2: evaluación de riesgos comerciales.
- Módulo 3: evaluación de oportunidades comerciales.
- Módulo 4: dirección estratégica y proyección de metas.
- Módulo 5: desarrollo sostenible y aplicación de estrategias.

Cada uno de los cinco módulos analíticos incluye pasos específicos que pueden ayudar a responder las preguntas clave asociadas con cada módulo. Cada módulo se puede mejorar implementando recursos, lo que nos da una idea clara de cómo las empresas han abordado los pasos analíticos.

Figura 2. Módulos analíticos Water Sustainability Tool



Fuente: elaboración propia.

Los módulos están secuenciados para ayudar a los usuarios a evaluar el caso comercial y desarrollar una estrategia para abordar los desafíos del agua.

Los módulos también se pueden utilizar de forma iterativa. Esto significa que primero se puede de realizar una evaluación simple, para luego realizar una más detallada.

3.1.4. ISO 14046 *Water Footprint Standard*

Este método especifica los principios, requisitos y normas que se deben evaluar para posteriormente generar las huellas de agua. Siendo su principal meta determinar o identificar los impactos ambientales generados por el uso y manejo del agua dulce.

Entre *Water Footprint Standard* y *Water Footprint Assessment* la mayor diferencia es que WFA se focaliza en la contabilidad, mientras que WFE es un enfoque de Evaluación del ciclo de vida para la huella hídrica, su importancia radica en estimar el impacto, ya que esta se fundamenta en la norma ISO, de modo que no requiere específicamente que se determine como agua gris, azul o verde, si no que en cumplir con los objetivos particulares del proyecto. Antes de ISO 14046, no existían estándares internacionales que sirvieran de base para la utilización efectiva del agua.

Esta metodología en su conjunto al basarse en ISO 14046, considera trece principios que deberán ser cumplidos y respetados en todo el proceso. Estos principios fundamentales son:

- Perspectiva del ciclo de vida
- Enfoque ambiental

- Aproximación, Valor relativo y Unidad Funcional
- Enfoque iterativo
- Transparencia
- Pertinencia
- Exhaustividad
- Coherencia
- Precisión
- Evitar la doble contabilidad
- Prioridad de enfoque científico
- Prudencia
- Prioridad a requerimientos legales
- Verificación
- Evaluación a nivel del paisaje

3.2. Variables requeridas por las diferentes metodologías para determinar la huella hídrica

A continuación, se desarrollan los cuatro métodos de forma cualitativa, mostrando los aspectos más importantes de cada uno, sus objetivos y alcances, aportando así una visión general de las variables que cada método requiere.

3.2.1. Determinación por medio de *Water Footprint Assessment*

El método nos muestra que los propósitos de establecer la huella hídrica son diversos, puede ser una industria o bien una unidad y también el alcance que le darán, ya que les puede interesar el problema de la falta de agua dulce para elaborar sus productos o bien mejorar la imagen de la compañía, a continuación, a manera de ejemplo se determina la huella hídrica de un producto.

Cabe aclarar que lo establecido en el documento para desarrollar el método de *Water Footprint Assessment* se toma del *The Water Footprint Assessment Manual*. Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen, (2011).

3.2.1.1. **Objetivos de la evaluación de la huella hídrica, según el método *Water Footprint Assessment*.**

Es fundamental determinar el objetivo a evaluar, para tener una clara perspectiva de lo que se desea medir y definir los elementos que serán evaluados.

Tabla IV. **Objetivos generales**

Objetivos generales	
¿Cuál es el objetivo final? ¿Sensibilización, identificación de puntos críticos, formulación de políticas o establecimiento de objetivos cuantitativos?	Para el desarrollo de esta investigación, el análisis se desarrollará para el establecimiento de objetivos cuantitativos.
¿Hay un enfoque en una fase en particular? ¿Se centra en la contabilidad, en el análisis de sostenibilidad, evaluación o en la formulación de respuesta?	Para el desarrollo de esta investigación, el análisis se desarrollará para el foco de contabilidad.
¿Cuál es el alcance de interés? ¿Huella hídrica directa y/o indirecta?	Para el desarrollo de esta investigación, el análisis se desarrollará para la huella hídrica directa.
¿Huella hídrica verde, azul y / o gris?	Debido a los alcances de esta investigación, y en base a los conceptos definidos sobre huella hídrica, se desarrollará para que pueda ser evaluada la huella hídrica gris.
¿Cómo se maneja el tiempo? ¿Se centra en la evaluación para un año en particular, en el promedio o análisis de tendencias?	Debido a los alcances de esta investigación, se realizará la evaluación para un año en particular.

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Objetivos de la evaluación de HH del proceso**

Objetivos de la evaluación de la huella hídrica de proceso	
¿Qué proceso considerar?	Como alcance del estudio se desarrollará en base a un proceso específico identificado para un solo producto.
¿Un proceso específico o procesos alternativos y sustituibles (con el fin de comparar las huellas hídricas de alternativas técnicas)?	
¿Qué escala?	El alcance del estudio se desarrollará en una ubicación específica.
¿Un proceso específico en una ubicación específica o el mismo proceso en diferentes ubicaciones?	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Objetivos de la evaluación de la huella hídrica del consumidor o comunidad**

Objetivos de la evaluación del consumidor o de la comunidad	
¿Qué comunidad?	Este objeto no es aplicable al estudio al estudio desarrollado.
¿Un consumidor individual o los consumidores entro de un municipio o departamento?	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Objetivos de evaluación de la huella hídrica en un área delimitada**

Objetivo evaluación de la HH en un área geográficamente delimitada.	
¿Cuáles son los límites del área?	Este objeto no es aplicable al estudio al estudio desarrollado.
¿Una cuenca hidrográfica, un municipio, departamento, estado o nación?	
¿Cuál es el campo de interés?	
¿Examinar cómo la huella hídrica dentro del área se reduce mediante la importación de agua virtual y cómo la H.H. dentro de la zona se incrementa mediante la elaboración de productos para la exportación, o examinar dónde, dentro del área incumple los requisitos de flujo ambiental y estándares de calidad del agua ambiental?	Dentro del área de interés a evaluar se enfocará y se tomará en cuenta el agua virtual.

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Objetivo de evaluación de la huella hídrica empresarial**

Objetivo de evaluación de la huella hídrica empresarial	
¿Cuál es la escala de estudio? ¿Una unidad de la empresa, toda la empresa o un todo sector?	Se analiza únicamente la huella hídrica de un producto.
¿Cuál es el ámbito de interés? ¿Evaluar la huella hídrica operativa y/o la huella hídrica de la cadena de suministro?	Se analiza únicamente la parte operativa de la huella hídrica.
¿Cuál es el campo de interés? ¿Riesgo empresarial, transparencia de productos, informes medioambientales corporativos, etiquetado de productos, evaluación comparativa, negocios certificación, identificación de componentes críticos de la huella hídrica, formulación de objetivos cuantitativos de reducción?	En ese caso de interés se relaciona a introducir dentro informes medioambientales.

Fuente: elaboración propia.

Ahora que se tienen identificados los objetivos de la medición de la huella hídrica se deben de realizar los alcances de la contabilidad.

3.2.1.2. Alcances de la contabilidad de la huella hídrica

Como parte importante de la huella hídrica, un elemento principal es la medición (contabilidad), en este sentido es importante que, al momento de desarrollar el método, quien lo ejecute deberá de ser claro y explícito acerca de los límites del inventario.

Según indica el Manual de evaluación de la huella hídrica se debe de establecer los límites del inventario los cuales se refieren a qué incluir y qué excluir de las cuentas y esto debe elegirse como una función del objetivo de la contabilidad. Uno puede usar la siguiente lista de verificación al configurar la contabilidad de huella hídrica:

- ¿Considerar la huella hídrica azul, verde y / o gris?
- ¿Dónde truncar el análisis al retroceder a lo largo de la cadena de suministro?
- ¿Qué nivel de resolución temporal?
- ¿Qué período de datos?
- Para consumidores y empresas: considerar el agua directa y/o indirecta.
- Para las naciones: ¿considerar la huella hídrica dentro de la nación y/o la huella hídrica del consumo nacional; considerar agua interna y/o externa huella de consumo nacional? (Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen, 2011).

3.2.1.3 Detalle de la recolección de datos y período

Las huellas de agua se pueden evaluar en diferentes niveles de detalle en cuanto a tiempo y espacio.

Tabla IX. Nivel de detalle en cuanto a tiempo y espacio

Nivel	Resolución espacial	Resolución temporal	Fuentes de los datos necesarios sobre el uso del agua	Uso típico de la contabilidad
A	Media global	Anual	Literatura científica disponible sobre el consumo y la contaminación típicos del agua por producto o proceso	Concienciación; identificación aproximada de los componentes que más contribuyen a la huella hídrica total; desarrollo de proyecciones globales sobre el consumo de agua.
B	Nacional, regional o de la zona de captación	Anual o mensual	Igual que la anterior, pero usando datos específicos a nivel nacional, regional o de la zona de captación.	Identificación aproximada de la dispersión y la variabilidad espacial; la base de conocimiento para la identificación de puntos críticos y decisiones sobre la asignación del agua.

Continuación de la tabla IX.

C	Pequeña zona de captación o terreno específico	Mensual o diario	Datos empíricos o si se pudieran medir directamente, las mejores estimaciones sobre consumo y contaminación de agua especificadas por lugar geográfico y durante el año.	Base de conocimiento para llevar a cabo un análisis de sostenibilidad de la huella hídrica; formulación de una estrategia para reducir la huella hídrica y sus impactos locales asociados.
---	--	------------------	--	--

Para el caso de una industria y en específico para un producto, como el que está en estudio, el nivel de detalle, así como su periodo, es de nivel C, ya que se está analizando puntualmente un producto específico.

Fuente: elaboración propia.

3.2.1.3. Determinación de la huella de un producto

Según Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen, (2011)

La huella hídrica de un producto se define como el volumen total de agua dulce que se utiliza directa o indirectamente para producir el producto. Es estimado por el consumo de agua y la contaminación en todas las etapas de la producción. El procedimiento contable es similar a todo tipo de productos, ya sean productos derivados del sector agrícola, industrial o de servicios.

La huella hídrica de un producto se descompone en un componente verde, azul y gris. Una alternativa al termino huella hídrica de un producto es su contenido de agua virtual. (p. 75)

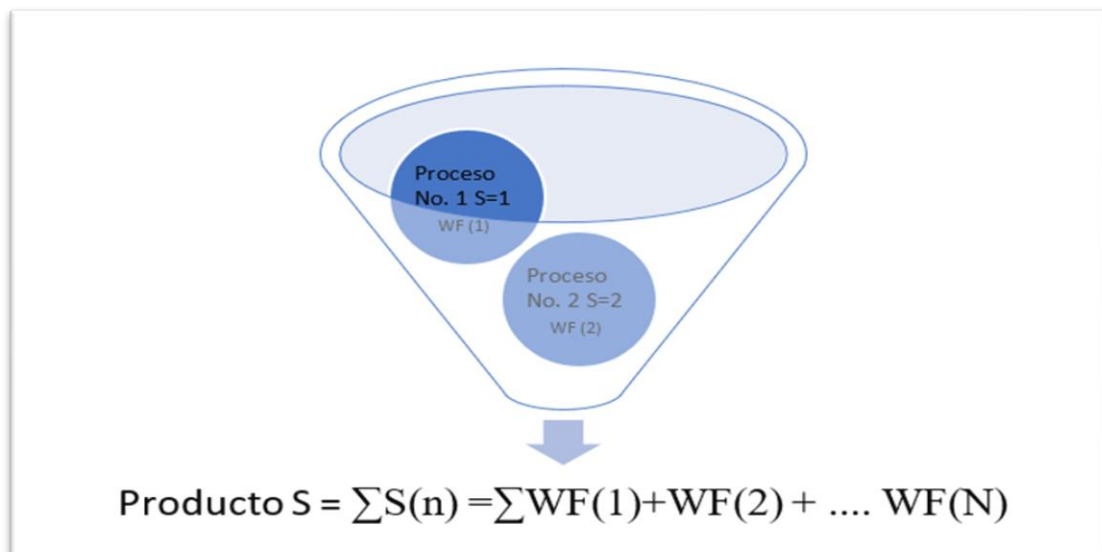
Se puede determinar la huella hídrica de un producto de la forma siguiente:

- El enfoque de suma en cadena. El enfoque de Suma en cadena es el enfoque más fácil de establecerse que el enfoque acumulativo escalonado

ya que este se aplica únicamente cuando producimos un solo producto de salida.

En este sencillo sistema de producción, la huella hídrica del producto P (volumen / masa) es igual a la suma de las huellas hídricas de proceso relevantes divididas por cantidad de producción de producto p. (Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen, 2011)

Figura. 3. El enfoque suma en cadena



Fuente: Hoekstra, (2011), *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*.

- El acumulativo escalonado

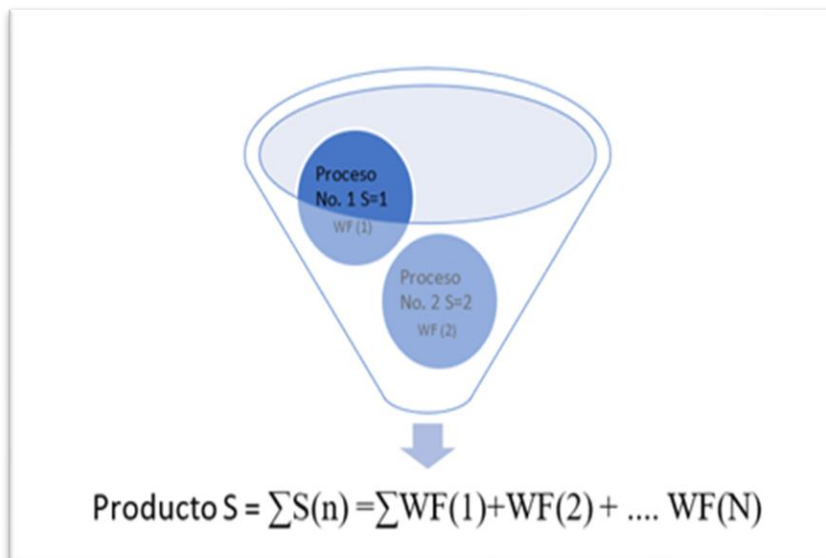
Basado en las huellas hídricas de los insumos que eran necesarios en el último paso de procesamiento para producir ese producto y la huella hídrica del proceso de ese paso de procesamiento. Suponga que tenemos varios productos de entrada al hacer un producto de salida. En este caso podemos obtener la

huella hídrica de la salida producto simplemente sumando las huellas hídricas de los productos de entrada y agregue la huella hídrica del proceso.

Supongamos otro caso en el que tenemos una entrada producto y una serie de productos de salida. En este caso, es necesario distribuir la huella hídrica del producto de entrada a sus productos separados. Esto puede ser hecho proporcionalmente al valor de los productos de salida. También se podría hacer proporcionalmente al peso de los productos, pero esto sería menos significativo. Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen (2011).

Nótese la diferencia, entre el enfoque en cadena y el escalonado, en cadena se suma el consumo propio del proceso en cambio en escalonado, es el consumo del producto que se adiciona.

Figura. 4. **El acumulativo escalonado**



Fuente: Hoekstra, (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard.*

3.2.2. Determinación por medio de *Global Water Tool*

La GWT es utilizada básicamente para evaluar los riesgos del uso del agua, identificando las áreas geográficas que poseen escasez de agua, es una herramienta que de manera global nos indica las aguas subterráneas, superficiales y las precipitaciones. Esto luego de ingresar la ubicación del área que nos interesa.

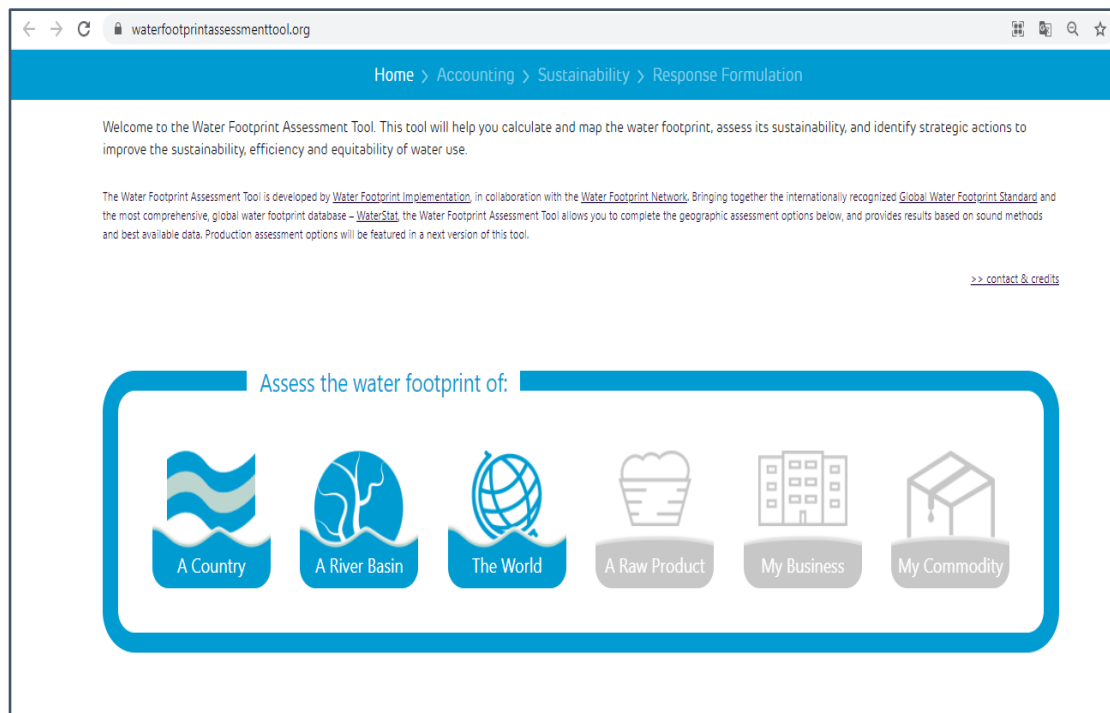
Presenta una parte que la despliega en Excel con informes que ayudan a informar sobre el rendimiento y los riesgos del agua. Y por otra parte mapas que ayudan a tomar decisiones sobre los riesgos relativos de agua en el proceso productivo.

Tal y como se describe en el apartado 3.1.2. La herramienta GWT, es un módulo en línea gratuito que permite a las empresas realizar una evaluación inicial de alto nivel de los riesgos relativos del agua, identificando los “puntos críticos” de riesgo y compararla con el agua a descargar. De tal forma que podemos identificar y priorizar las acciones a tomar en cuenta de manera inmediata.

En este caso, es importante visitar el siguiente link, para acceder a la herramienta: <https://www.waterfootprintassessmenttool.org/#>.

Al ingresar al portal se podrá observar la siguiente información página visitada en el mes de mayo de 2021.

Figura 5. **Página principal de la herramienta *Global Walter Tool***

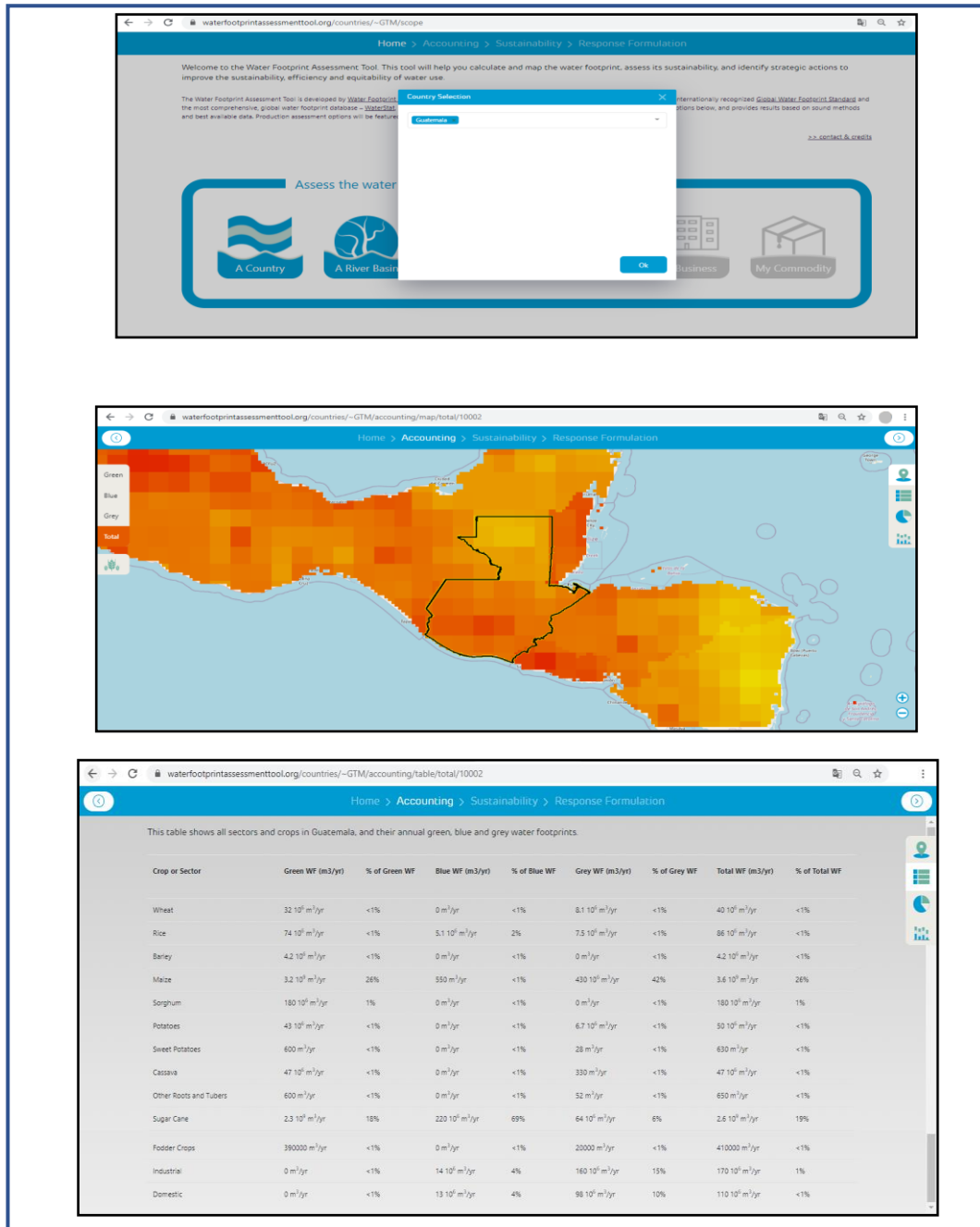


Fuente: Herramienta de evaluación de la huella hídrica. 2020, WFI, Países Bajos.
Página principal de la herramienta Global Walter Tool. Consultado el 10 de agosto 2021.
Recuperado de: /www.waterfootprintassessmenttool.org/#.

Como podemos observar el portal, mantiene habilitado 3 formas de poder visualizar la información contenida en el portal. La de un país en específico, una cuenca de río y el mundo.

Al seleccionar un país, nos dirigimos a Guatemala, el portal automáticamente genera el mapa de Guatemala, y por medio de colores identifica la huella hídrica.

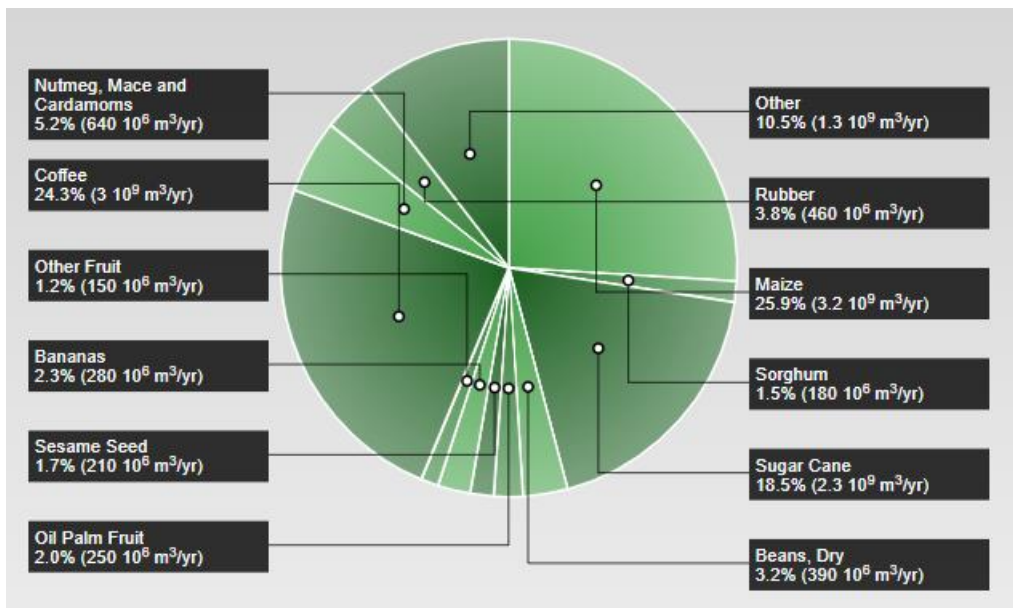
Figura 6. Huella hídrica en Guatemala



Fuente: Herramienta de evaluación de la huella hídrica. 2020, WFI, Países Bajos. *Huella hídrica verde para Guatemala*. Consultado el 10 de agosto 2021. Recuperado de: <http://www.waterfootprintassessmenttool.org/#>.

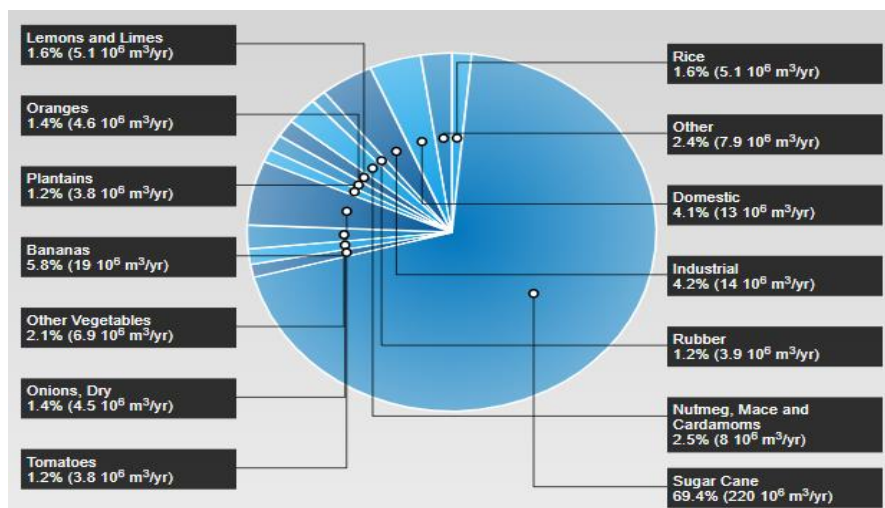
Si se dirigen al apartado de tabla, se observa que existe ya estimación de la huella hídrica, calculada para cada tipo de producto, en este caso el producto siderúrgico que se analiza se encuentra globalizado en Industrial.

Figura 7. **Huella hídrica verde para Guatemala**



Fuente: Herramienta de evaluación de la huella hídrica. 2020, WFI, Países Bajos.
Huella hídrica verde para Guatemala. Consultado el 10 de agosto 2021. Recuperado de:
<http://www.waterfootprintassessmenttool.org/#>.

Figura 8. **Huella hídrica azul para Guatemala**

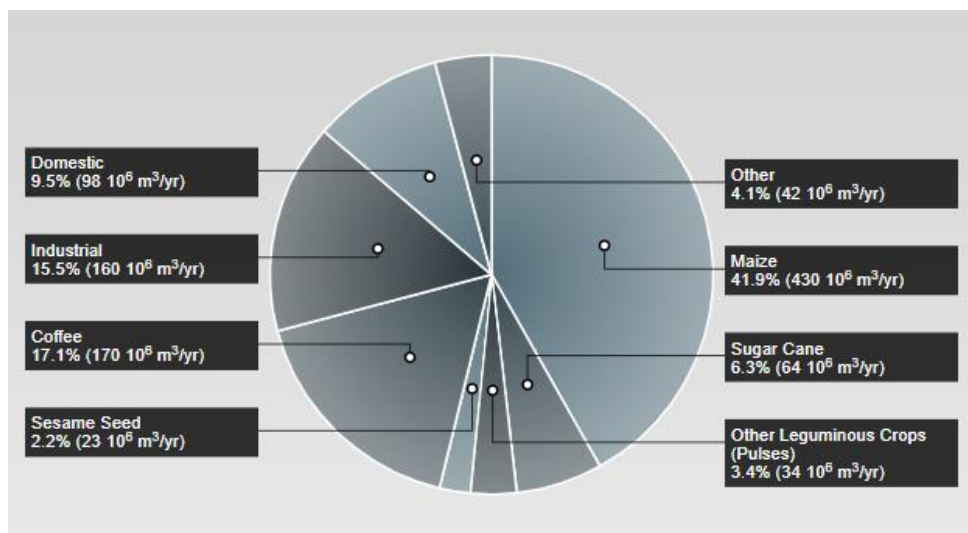


Fuente: Herramienta de evaluación de la huella hídrica. 2020, WFI, Países Bajos.

Huella hídrica azul para Guatemala. Recuperado de;

<http://www.waterfootprintassessmenttool.org/#>.

Figura 9. **Huella hídrica gris para Guatemala**



Fuente: Herramienta de evaluación de la huella hídrica. 2020, WFI, Países Bajos. *Huella*

hídrica gris para Guatemala. Consultado el 10 agosto 2021. Recuperado de:

<http://www.waterfootprintassessmenttool.org/#>.

El portal permite observar desde ya una medición de la huella hídrica de ciertos productos, pero no permite realizar una medición específica de un producto que se desee analizar particularmente.

Una desventaja de Global Water Tool es que no nos ayuda a identificar impactos, ya que no evalúa como la industria hace uso del agua; por lo que tampoco determina la calidad de los efluentes industriales.

3.2.3. Determinación por medio del método *Water Sustainability Tool*

El método de *Water Sustainability Tool*, se desarrolla como una herramienta de sostenibilidad de agua GEMI (*Global Environmental Management Initiative*). La cual es una organización sin fines de lucro de líderes de empresas dedicadas a fomentar el medio ambiente, excelencia en salud y seguridad en todo el mundo. Mediante los esfuerzos colaborativos de sus miembros, GEMI también promueve una ética empresarial mundo. Mediante los esfuerzos colaborativos de sus miembros, GEMI también promueve una ética empresarial para gestión ambiental, de salud y seguridad y desarrollo sostenible a través del ejemplo y liderazgo. Lo desarrollado a lo largo de este apartado se toma del documento *Connecting the drops toward creative water strategies* (GEMI, 2005).

Como se mencionó anteriormente, es una página interactiva, se puede ingresar de forma gratuita. Los cuestionarios, materiales y demás recursos, se pueden imprimir y utilizarlos sin costos por las empresas. Además, utiliza terminología que una persona no especializada en el tema, puede comprenderlo fácilmente.

Las empresas pueden realizar estas guías en menos de 24 horas, el único aspecto desfavorable es que muchas veces no se cuenta con información hídrica del sitio o proyecto que se estudia. Sin embargo, se puede encontrar información en instituciones de gobierno o universidades.

Water Sustainability Tool nos adentra en un contenido de interrogantes, que no son minuciosos ni exhaustivos pero que nos llevan poco a poco a comprender la problemática asociada al agua. Sin embargo, no proporciona datos cuantitativos que nos permita evaluar o comparar el uso del agua.

El método toma como principio 4 elementos que le llama señales:

- Señal No. 1 – Los costos totales del agua pueden incrementarse de formas inesperadas.
- Señal No. 2 – Los riesgos de interrupción del negocio son crecientes. Las asignaciones actuales de agua no están aseguradas en el futuro.
- Señal No. 3 – Las expectativas del cliente relacionan al uso del agua y sus impactos han evolucionado.
- Señal No. 4 – Las licencias de las empresas para operar y la capacidad de expansión se encuentran relacionados con el agua.

Como se observó en el apartado 3.1.3., el método planteado por *Water Sustainability Tool*, se desarrolla bajo módulos, cabe establecer que la herramienta como tal no se emplea para determinar la huella hídrica como se ha definido, más bien desarrolla un concepto paralelo donde se toma el agua con un valor importante en la cadena de suministros. De tal forma que para obtener una información de mayor valor e interés se podría realizar, una medición de una forma cuántica a través de otros métodos.

Debido a los alcances de esta investigación, únicamente se analizarán módulos 1 y 2 que son los que suman información a los objetivos de la investigación, pero se sugiere al lector consultar los demás módulos.

3.2.3.1. Módulo No. 1. Evaluación del uso, el impacto y la fuente del agua

Comprender cómo un producto, una instalación o una empresa está conectado al agua, a través de sus usos directos e indirectos usos y a través de impactos al agua en actividades y productos comerciales: es la clave del primer paso para determinar cómo una organización debe responder a los riesgos y oportunidades del agua de manera sostenible.

Al momento de analizar este módulo las organizaciones responden a las siguientes preguntas:

- ¿En qué áreas clave opera el negocio directamente y depende e impacta indirectamente el agua en toda la cadena de valor?
- ¿Cuál es el estado o la vulnerabilidad de las fuentes de agua, utilizadas por el negocio?

Usos e impactos del agua identificados en este módulo se utilizará para completar la evaluación de riesgos y priorización en el Módulo 2. De esta manera, los Módulos 1 y 2 hacen posible que cada empresa complete una evaluación del estado actual.

Solo después de construir una comprensión de sus usos e impactos actuales del agua y riesgos, se puede comenzar a desarrollar estrategias para lograr sus objetivos comerciales.

Se desarrolla en tres pasos, estos son:

- Paso No. 1. Identificar y caracterizar el uso del agua.

Para desarrollar este paso debemos de realizar la siguiente pregunta. ¿De qué manera la organización de forma directa o indirecta usa el agua, en cada etapa del proceso?

Por lo cual, al identificar y tratar de dar respuesta a esta pregunta a las diferentes ramas de la organización, los usuarios deben comenzar a desarrollar una comprensión de los claves usos del agua en la empresa, de materia prima o etapas de producción, a través del uso del cliente y final disposición. El agua se emplea en diferentes elementos dentro de la empresa, tales como paisajismo de instalaciones, calentamiento de procesos, refrigeración, limpieza de piezas durante la producción, y transporte de materiales.

Explorando estos usos del agua desde una variedad de enfoques ayudarán al usuario a completar una imagen completa del agua en la empresa.

Ahora bien, para desarrollar la caracterización de agua, se deberá de recopilar información sobre los usos clave del agua, esto con el fin de identificar oportunidades y riesgos. La caracterización de cada uso de agua debe de incluir la calidad del agua utilizada, el propósito del agua, la fuente de agua. Así mismo identificar fluctuaciones en el uso del agua.

- Paso No. 2. Identificar y caracterizar los impactos del agua.

Para el paso no. 2 debemos de realizar la siguiente pregunta: ¿De qué manera impacta la organización en las aguas superficiales y/o subterráneas en las actividades dentro del proceso?

Puede ser útil pensar en los impactos del agua en dos arenas principales. Primero, los impactos del agua pueden estar asociados con vertidos. Por ejemplo, el agua liberada de una planta de tratamiento de aguas residuales de la instalación, aguas pluviales escurridas de la propiedad de la empresa y agua de refrigeración que regresó al drenaje pluvial más cercano. Los usos del agua identificados en el paso 1 tendrán asociados descargas de agua si el agua no está completamente consumida por el uso.

En segundo lugar, los impactos del agua pueden resultar de actividades comerciales que no se relacionan con el uso del agua, pero involucran otros materiales potencialmente impactando la calidad de las fuentes de agua. “La deposición de aire puede afectar la calidad de aguas superficiales, lixiviación de materiales y los productos químicos pueden afectar la calidad del agua subterránea acuíferos. Los derrames o los tanques con fugas pueden impactar en la superficie y la calidad de las aguas subterráneas” GEMI, G. E. 2005, p 18).

- Paso No. 3. Identificar accesos a fuentes de agua.

Al igual que el paso No. 1 y 2 el paso 3, inicia con las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las fuentes de agua primarias conectadas a los usos de la empresa?
- ¿Hasta qué punto están las fuentes de agua bajo estrés?

- ¿En qué medida afecta la empresa a esta fuente de agua?

Para cada uso e impacto del agua identificado en los Pasos 1 y 2, es importante identificar la principal fuente (s) de agua dependiente.

Las empresas deben explorar las vulnerabilidades asociadas con fuentes que la empresa emplea directa e indirectamente. Los usuarios de herramientas deben considerar información como la descripción general de la fuente, el tamaño de la fuente, la tasa de la fuente de reabastecimiento, la calidad de la fuente y toda la información que identifique la fuente.

GEMI (2005) el método *Water Sustainability Tool* suministra para cada uno de los tres pasos los materiales y recursos necesarios para su desarrollo. Los materiales nos presentan listas que nos ayudan en la verificación de:

- Áreas y actividades de la empresa relacionadas con uso del agua.
- Impactos directos o indirectos de las actividades de la industria sobre la calidad y disponibilidad del agua en cada etapa de la cadena de valor, tomando en cuenta los impactos positivos como los negativos.
- Impactos en relación a la utilización, producción, almacenamiento, y transporte de materias primas a los procesos de producción, distribución y transporte de los productos.
- Uso por parte del consumidor de los productos o servicios y a la disposición final de los mismos.
- Evaluar el estado de las fuentes de agua.

En algunos casos, es una caracterización cualitativa, donde se clasifica como bajo, moderado y significativo, en otros se deberá disponer de información específica sobre los volúmenes, esto se deberá indicar en los formularios con el

mayor detalle posible, para los requerimientos de la industria, definiendo los usos primordiales y caracterizándolos.

3.2.3.2. Módulo No. 2 Evaluación de riesgo comercial

Sobre la base de las áreas identificadas de uso e impacto del agua, el módulo 2 ayuda a los usuarios de herramientas a identificar, caracterizar y priorizar los posibles riesgos comerciales correspondientes.

El riesgo empresarial a menudo se presenta limitándose a la actividad económica. Estos pueden resultar de aumentos de costos, retrasos en el proceso y la producción, límites a la expansión de la capacidad, disminución de la demanda para productos y servicios, y cambio de cliente.

El módulo 2 ayuda a las organizaciones a responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los riesgos comerciales vinculados a los usos e impactos del agua de la organización, teniendo en cuenta la vulnerabilidad de las fuentes de agua claves afectadas por estos usos e impactos?
- ¿Qué riesgos son más importantes? Los riesgos priorizados del Módulo 2 destacan el enfoque de áreas a considerar en el Módulo 3.

Para el desarrollo de este módulo el usuario deberá realizar los siguientes pasos:

- Paso No. 1: evaluar cualitativamente el agua en cada una de sus actividades, estimando así el riesgo de su uso.

- Paso No. 2: dimensionar riesgos y sus impactos sobre el agua.
- Paso No. 3: priorizar los peligros potenciales relacionados con el agua.

GEMI (2005) como se mencionó anteriormente el método suministra en el documento para cada uno de los pasos, los materiales y recursos necesarios para su desarrollo, esto lo hace por medio de interrogantes que estiman entre otros:

- La sensibilidad de la empresa a cambios externos sobre la disponibilidad de agua. Se deberán tener datos como precios, cantidad y calidad del agua.
- La probabilidad de cambios sobre la disponibilidad de agua. Se deberá contar entre otros datos como incrementos en costos directos e indirectos del uso del agua, futuras restricciones en la disponibilidad del agua y cambios en la calidad de la misma.
- La probabilidad de cambio en las condiciones de impactos sobre el agua, como la calidad y cambio de uso de agua, como las preocupaciones de la comunidad, clientes, empleados, preocupación en relación con la salud pública del tipo de políticas y de los ecosistemas.

3.2.4. Determinación por medio ISO 14046 Water Footprint Standard

Según indica el manual para evaluación de huella hídrica según norma ISO 14046, el análisis de huella hídrica clasifica las materias primas, energías y emisiones relacionadas con los recursos hídricos para el sistema definido. De acuerdo con la norma, debe incluir tanto aspectos cualitativos como cuantitativos y asimismo la base de datos utilizada debe ser transparente. (CONSUDE, 2016).

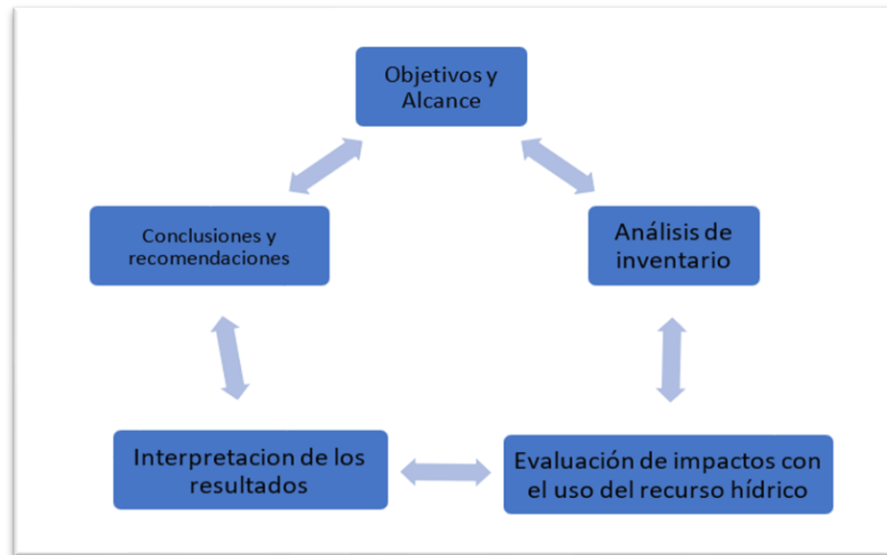
Por otro lado, el manual nos indica la importancia de verlo no solamente en términos de cuantificación de huella hídrica sino también como lo consumido y contaminado. Hace ver la importancia de realizar una evaluación de impactos ambientales relacionados directamente con el recurso hídrico.

3.2.4.1. Metodología de trabajo

El proceso metodológico establecido por la norma se desarrolla desde objetivos y alcances, seguido de un análisis de inventario, para concluir con la evaluación de impactos ambientales de las diferentes formas de uso del agua.

El proceso es iterativo, es decir se revisa cada etapa y se toma la decisión, si se continua o se lleva a cabo alguna modificación o se agrega información, tal y como se puede apreciar en la ilustración 8, sobre el ciclo de vida de la huella hídrica según la norma ISO.

Figura 10. **Ciclo de la huella hídrica**



Fuente: CONSUDE (2016). *Manual de aplicación para la evaluación de huella hídrica acorde a la norma ISO 14046.*

El proceso es muy similar al establecido por el método de *Water Footprint Assessment*, únicamente implementa el apartado de evaluación de impactos con el uso de recurso hídrico.

Acorde a la norma ISO 14046, la huella hídrica evalúa la alteración de cuerpos de agua al extraer y/o descargar agua en volumen o calidad alterada.

Una vez organizada la información en las planillas de inventario de usos de agua, se procede a calcular los indicadores de impacto asociados a los usos consuntivos y degradativos del agua (agua descargada al entorno en un volumen y/o calidad menor a la cual fue tomada). Se calculan dos tipos de indicadores, denominados de punto medio y punto final. Como resultado del inventario de entradas y salidas y del análisis del proceso de producción o del servicio en

estudio. Se valúan los posibles impactos del uso del agua, y este lo que se toma como indicador de punto final.

Tabla X. **Objetivos y alcances**

Objetivos y alcance del estudio	
¿Cuáles son las razones para llevar a cabo el estudio?	Como parte de las buenas prácticas de manufactura de una empresa, se encuentra el conocer como sus procesos productivos pueden llegar a afectar el medio que lo rodea, en este sentido, es importante entender el impacto que posee el consumo de recursos no renovables como lo es el agua. Así de esta cuenta al conocer la cantidad empleada para un proceso productivo, este análisis puede ser incluido dentro del plan de gestión ambiental requerido por el MARN para realizar acciones de mitigación.
¿Cuál es la aplicación deseada de los resultados?	A partir de los resultados se procederá a: - Implementar acciones que permitan reducir los impactos generados por los usos de agua. - Incorporar el análisis de las mediciones dentro del plan de gestión ambiental de la empresa.
¿Hacia quiénes están dirigidos los resultados?	Los resultados del estudio están dirigidos hacia los tomadores de decisión de la empresa.
¿Cuál es el objetivo general?	Evaluar la huella hídrica de la planta de producción de una línea, durante un año para identificar los puntos críticos en el uso de agua y poder implementar acciones de reducción de huella hídrica.

Fuente: elaboración propia.

- **Unidad funcional UF**

Se define como unidad funcional, el total en toneladas de material siderúrgico producido en un año de operación.

- **Dimensión temporal y geográfica**

El período temporal de evaluación del estudio comprende desde el inicio de la toma y recopilación de datos, en la línea de producción seleccionada.

- Límites del sistema

Se ha tomado en cuenta una sola línea de producción de la planta. El enfoque ACV usado fue Desde la cuna a la puerta. Por lo que no se consideran temas como la construcción de la planta de producción o el transporte de la materia prima.

Figura 11. **Análisis de ciclo de vida**



Fuente: CONSUDE (2016). *Manual de aplicación para la evaluación de huella hídrica acorde a la norma ISO 14046.*

- Reglas de asignación

Se analizará únicamente una línea de producción, por ello no se analizan las reglas de asignación en los cálculos directos.

- Criterio de corte

Se entiende como criterio de corte aquellos insumos que, si bien forma parte del proceso de producción, no representan un porcentaje considerable en toda la línea de producción.

- Datos de inventario

Entre los datos que se muestran es la producción mensual por toneladas al mes, el consumo mensual de agua en la línea de producción definida, si se utilizan químicos en el proceso se deben de estimar y considerar si son mayores al 2 %, en conclusión, toda las entradas y salidas más relevantes. Los resultados finales se deben de presentar de forma anual.

Para obtener estos datos se deben de solicitar todos los datos importantes para el análisis, a la persona encargada de la línea de producción, quien la puede entregar por medio de entrevistas personales, conversaciones telefónicas o correos electrónicos.

- Datos y supuestos

Todos los datos serán recogidos y proporcionados por los actores dentro del proceso de producción.

- Evaluación de impactos relacionados con el recurso hídrico.

Inicialmente se deben definir las variables ambientales que afectan de manera directa al recurso hídrico y valorar así cada uno de los impactos.

Una vez que se describen las actividades operacionales, se definen los principales criterios y características de evaluación para determinar la significancia ambiental basados en: Carácter, importancia, magnitud o cantidad, frecuencia, extensión, duración y reversibilidad.

En base a lo encontrado en esta fase se deberá de incluir las acciones para mitigar o corregir el impacto, dentro del plan de gestión ambiental.

3.3. Análisis comparativo de las metodologías para la industria siderúrgica

Durante el desarrollo de la investigación se han determinado los requerimientos específicos necesarios para la implementación de los diferentes métodos para determinar la huella hídrica, así mismo se ha determinado que para una industria siderúrgica deberemos de analizar principalmente la huella hídrica gris. De esta cuenta en cumplimiento de los objetivos de la investigación planteada se desarrolla un análisis comparativo de las diferentes metodologías para el cálculo de la huella hídrica.

Como parte de esta comparación, se valorará como parte del criterio del autor, la facilidad de implementación en un proceso, tomando en cuenta la cantidad de información requerida, así mismo estableciendo consideraciones para poderlo integrar al plan de gestión ambiental de una empresa.

Tabla XI. **Análisis de variables requeridas – Huella Hídrica**

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS DIFERENTES METODOLOGÍAS				
ANÁLISIS DE VARIABLES REQUERIDAS	WATER FOOTPRINT ASSESSMENT	GLOBAL WATER TOOL	WATER SUSTAINABILITY TOOL	ISO WATER FOOTPRINT STANDARD
¿Cuál es el enfoque general del método?	Establecimiento de objetivos cuantitativos.	Presentación de información concentrada en un portal web, analizando información macro por país.	Comprender como una empresa está conectada con el agua.	Desarrollar una medición cuantitativa.
¿Cuál es el enfoque particular?	Establecimiento de un foco de contabilidad	Establecer parámetros a nivel macro según la industria, sin ingresar a datos específicos de un producto o cadena de suministro.	Analizar áreas del negocio y como está depende directa o indirectamente de la cadena de valor.	Desarrollar contabilidad del recurso agua.
¿Cuál es el alcance de interés? Huella directa y/o indirecta	Establecimiento de un foco de contabilidad	Establecer parámetros a nivel macro según la industria, sin ingresar a datos específicos de un producto o cadena de suministro.	Analizar áreas del negocio y como está depende directa o indirectamente de la cadena de valor.	Desarrollar contabilidad del recurso agua.
¿Cuál es el alcance de interés? Huella directa y/o indirecta	Establecimiento de un foco de contabilidad	Establecer parámetros a nivel macro según la industria, sin ingresar a datos específicos de un producto o cadena de suministro.	Analizar áreas del negocio y como está depende directa o indirectamente de la cadena de valor.	Desarrollar contabilidad del recurso agua.

Continuación de la tabla XI.

ANÁLISIS DE VARIABLES REQUERIDAS	WATER FOOTPRINT ASSESSMENT	GLOBAL WATER TOOL	WATER SUSTAINABILITY TOOL	ISO WATER FOOTPRINT STANDARD
¿Cuál es el alcance de interés? Huella directa y/o indirecta	Establecimiento de un foco de contabilidad	Establecer parámetros a nivel macro según la industria, sin ingresar a datos específicos de un producto o cadena de suministro.	Analizar áreas del negocio y como está depende directa o indirectamente de la cadena de valor.	Desarrollar contabilidad del recurso agua.
¿Permite determinar las diferentes huellas, pero en específico la huella gris?	El método permite determinar la huella directa, en específico para un producto.	Permite la visualización de la huella hídrica, directa de los productos a nivel de país.	Analiza la relación directa del agua con la empresa, se podría analizar la huella directa.	El método emplea el criterio del <i>Water Foot Assessment</i> .
¿Con respecto a la periodicidad, que sugiere el método?	El método permite determinar las diferentes huellas hídricas, así mismo permite determinar la huella gris.	No desarrolla el procedimiento de medición, si logra demostrar la huella hídrica azul, verde y gris, pero desde un concepto macro.	El método se enfoca más en como el suministro de agua puede afectar la cadena de valor y afectar a la empresa.	La metodología permite determinar las diferentes huellas hídricas, así como la huella hídrica gris.

Continuación de la tabla XI.

ANÁLISIS DE VARIABLES REQUERIDAS	WATER FOOTPRINT ASSESSMENT	GLOBAL WATER TOOL	WATER SUSTAINABILITY TOOL	ISO WATER FOOTPRINT STANDARD
¿Con respecto a la periodicidad, que sugiere el método?	El método recomienda desarrollar análisis de valores promedio de un año particular. (Para un producto)	El portal proporciona valores anuales, de cada una de las huellas, según productos producidos por un país.	No establece un periodo mínimo de análisis de los datos, pero si desarrolla el concepto de medición a largo plazo.	El método establece que la periodicidad es definida por el investigador. Tomando como referencia un año.
¿El método permite evaluar diferentes procesos específicos?	El método establece que se podrá determinar la huella hídrica tanto de productos específicos como de análisis comparativos.	No, el método se basa en reflejar información macro, sin ingresar a líneas específicas.	El método busca como el suministro de agua puede afectar tanto a una empresa en conjunto como a una línea de producción.	La metodología establece criterios tanto para procesos globales como específicos.
¿Con respecto a la escala, es posible generar diferentes magnitudes en el estudio?	El método permite desarrollar el análisis desde un concepto de comunidad hasta, una escala de una línea de producción.	No, se presenta únicamente información resumida por sector de productos.	La metodología se enfoca básicamente en desarrollar el análisis a la escala que el investigador defina sus alcances.	El método permite analizar diferentes magnitudes, para el análisis de la huella hídrica.

Continuación de la tabla XI.

ANÁLISIS DE VARIABLES REQUERIDAS	WATER FOOTPRINT ASSESSMENT	GLOBAL WATER TOOL	WATER SUSTAINABILITY TOOL	ISO WATER FOOTPRINT STANDARD
¿El método permite relacionar la diferencia entre una empresa o un sector?	Debido a la practicidad del método este se puede aplicar en diferentes escalas, ya que ofrece la diferencia entre estos.	No, el método presenta, información de sectores productivos.	Ya que el método se desarrolla desde un concepto empresarial, el método si permite desarrollar diferentes escalas de análisis.	Efectivamente el método desarrolla el concepto del análisis de un sector o una industria por medio de su escala.
¿En el campo de interés empresarial, el método permite desarrollar una investigación que incorpore al compromiso empresarial con el uso del agua?	Se establece en el método que la empresa puede desarrollar el análisis, tanto para transparencias en sus productos, como para objetos de reducción.	El método únicamente proporciona valores macro según la industria, esto podría ser considerado, pero no refleja la realidad de una empresa en específico.	El concepto empresaria es la premisa de la metodología, tanto para entender el impacto dentro del proceso productivo, como el impacto de la empresa con los recursos.	El método a cambio del Water Footprint Assessment integra el concepto de Evaluación de impactos con el uso de recurso hídrico, esto para poder analizar como la cadena de valor afecta a su entorno.

Fuente: elaboración propia.

Del proceso de comparación desarrollado sobre las diferentes metodologías analizadas para el cálculo de la huella hídrica, se demuestra que los métodos *Global Water Tool* y *Water Sustainability Tool*, si bien son metodologías que abordan el uso de agua dentro de proceso, no se acopla a cabalidad para poder determinar la huella hídrica de una industria siderúrgica.

El proceso metodológico de *Water Footprint Assesment e Iso Water Footprint Standard*, son las metodologías aconsejables para llevar a cabo el desarrollo de una investigación, ya que ambas al analizar las variables requeridas, proporcionan la información necesaria para desarrollar la medición de la huella hídrica, para una industria siderúrgica. Sin embargo, la ISO *Water Footprint Standard*, identifica el impacto potencial sin diferenciar el tipo de agua sino la que entra y lo que sale del sistema.

3.4. Cuantificación de la huella hídrica e incorporación en el plan de gestión ambiental

De los diferentes métodos analizados, y el análisis desarrollado entre cada uno de ellos, se desarrolla una propuesta de evaluación de la huella hídrica en una industria siderúrgica. Tomando en cuenta que la industria posee diferentes productos, la propuesta buscará desarrollar el análisis de un producto, este desarrollo se podrá llevar a cabo en cualquier línea de manufactura dentro del sector siderúrgico.

Para desarrollar esta propuesta se empleará el método establecido por la Norma ISO 14046. Y basados en lo establecido en este documento analizaremos específicamente la huella gris.

Con base en las metodologías analizadas, se considera ambientalmente viable incorporar el concepto de Huella Hídrica al desarrollo del Plan de Gestión Ambiental, como indicador medioambiental de planificación, toma de decisiones y cumplimiento de legislación ambiental de la industria siderúrgica.

3.4.1. Determinación de la huella hídrica en una empresa siderúrgica

Del desarrollo de la investigación documental y de campo en la industria en la cual se realizan procesos de fabricación de productos derivados del acero. En esta empresa se desarrollan diferentes líneas de producción, de esta cuenta se analiza la línea de producción específica sobre la producción de perfiles laminados de acero, un proceso donde se fabrican una variedad de productos destinados a la herrería y construcción. De esta cuenta se desarrolla el procedimiento por medio del método ISO (14046) *Water Footprint Standard*.

El perfilado es un proceso de fabricación de deformación plástica que se aplica a una lámina delgada de metal, con la cual se obtienen en este caso en específico, como producto terminado, tubos de forma cuadrada y redonda. Los principales pasos se describen a continuación:

- Paso 1. Se coloca la tira de lámina a desenrollar, la cual está en forma de bobina, luego pasa al acumulador en forma de rehilete para poder soldar las tiras entre sí.
- Paso 2. Se enhebra la tira de lámina de un acumulador para la primera torre de formación las cuales están formados de rodillos horizontales y verticales.
- Paso 3. Se incorpora agua, de manera constante a través de un chorro, esta agua viene de un tanque donde fue previamente mezclada con un lubricante llamado *Renoform*, esto para enfriar los rodos y proteger el producto final de corrosión
- Paso 4. Inicia la formación de tubo, se suelda con una bobina por inducción
- Paso 5. Pasa al túnel de enfriamiento para que no se deforme el tubo.

- Paso 6. Ingresa a las torres de rectificación de donde sale con la medida exacta.
- Paso 7. Ingresa por la denominada cabeza turca que es donde se determina si el tubo será redondo o cuadrado. Y en este paso se aplica un lubricante (*Rustfree*) mediante un aspersor, el cual sirve para que evitar la corrosión en el producto final.
- Paso 8. Ingresa el carro de corte de tubo aquí ya se tiene programada la medida exacta que es de 6 metros.
- Paso 9. Pasa al acelerador donde lo coloca en la mesa de botado, en donde es flejado, etiquetado y transportado a la bodega de producto terminado.

La metodología ISO (14046) *Water Footprint Standard*. Incluye cuatro fases:

- Fase 1. Objetivos y alcances del estudio
- Fase 2. Cuantificación del inventario
- Fase 3. Evaluación del impacto
- Fase 4. Conclusiones y recomendaciones.
 - Fase 1. Objetivos y alcances del estudio
 - Objetivos del estudio
 - ✓ General
Determinar la huella hídrica del proceso de perfilado.
 - ✓ Específicos
Determinar la cantidad de agua empleada por tonelada producida.

- Alcances del estudio

Con los resultados obtenidos de las mediciones y datos recabados se podrá determinar el impacto en consumo de agua potable que genera el proceso productivo, tanto para determinar el consumo potable como determinar la cantidad de agua que se descarta y debe ser tratada.

A partir de los resultados se procederá a:

- ✓ Implementar acciones que permitan reducir los impactos generados por los usos de agua.
- ✓ Incorporar el análisis de las mediciones dentro del plan de gestión ambiental de la empresa.

- Dirección de resultados

Los resultados de la medición se enfocarán hacia directivos y tomadores de decisión, los cuales podrán evaluar si el consumo puede mejorarse para reducir el impacto de consumo de agua potable, como también determinar el impacto que tiene la generación de agua que debe ser tratada. La información será analizada por el siguiente personal:

- ✓ Gerente de producción
- ✓ Jefe de planta
- ✓ Jefe de enderezado
- ✓ Jefe de mecánicos
- ✓ Jefe de taller de utillaje

- Unidad funcional

Se tomo como medida de la Huella Hídrica (HH) al volumen de agua (m^3) utilizado para producir una tonelada de perfilado. De esa manera la HH quedó expresada en m^3 de agua/toneladas de producto terminado y su equivalente en litros de agua/toneladas de productos terminado.

De los valores obtenidos, y con variantes de producción según demanda el proceso de laminación se alcanza las 2,900.00 toneladas de producto terminado por mes.

- Dimensión temporal y geográfica

Se establece que los valores que se logran inferir se estiman por un año de producción, este proceso se estima únicamente la línea de producción de perfilado. Debido a la información existente (consumos de agua), se tomó como periodo de estudio el año 2020. Geográficamente ubicada en el municipio de Mixco, departamento de Guatemala.

- Límites del sistema

Se ha considerado las áreas de producción de una sola línea, de la planta. El enfoque ACV usado fue desde la cuna a la puerta. De esta cuenta se excluye las etapas de transporte de insumos importados y la infraestructura para la construcción de la planta de producción. Por lo cual se analiza únicamente el consumo desarrollado en la transformación de la materia prima al producto final dentro de la planta de producción. Así mismo algunos valores

se han estimado para fines de la presentación. No se ha considerado el insumo de lubricante ya que no supera el 2 % de la producción total.

- Reglas de asignación

Se analizará únicamente la línea de perfilado, dejando fuera el análisis de la asignación de cálculos directos.

- Criterios de corte

No se analizan todos los valores que representen menos del 2 % de toda la línea de producción.

- Fase 2. Cuantificación del Inventario

Los datos registrados por medio de los diferentes medios se analiza la línea de producción llegando a tener una producción mensual de 2,900.00 ton/mes. En la siguiente tabla se muestra el detalle del consumo mensual durante el año 2020.

Tabla XII. **Consumo mensual de agua**

Mes	Consumo	Unidad
Enero	9350	Litros
Febrero	8789	Litros
Marzo	4985	Litros
Abril	0	Litros
Mayo	6553	Litros
Junio	8546	Litros

Continuación de la tabla XII.

Julio	9875	Litros
Agosto	9587	Litros
Septiembre	9655	Litros
Octubre	9725	Litros
Noviembre	9098	Litros
Diciembre	8877	Litros
Total	95040	Litros

Fuente: elaboración propia.

Debido a la pandemia no se trabajó durante quince días del mes marzo y ningún día durante el mes de abril. La información recolectada fue proporcionada por el encargado de planta. Se tiene un valor de consumo de agua promedio de 7.92 m³ de agua potable / mes, el cual se utiliza para proceso de refrigeración. Como se explicó en el proceso de perfilado se realiza en el paso 3.

El agua se almacena en dos tanques donde se aplica una vez al mes el refrigerante necesario según lo determina la temperatura; el promedio mensual que aplican es de 38 galones de lubricante llamado *Reniform Sym 930*.

Las medidas de los tanques son las siguientes:

Tabla XIII. **Medidas de los tanques de almacenamiento de agua**

Tanque	Alto	Ancho	Largo	Volumen
Tanque 1	1.5 metro	0.95 metro	1 metro	1.42 m ³
Tanque 2	1.5 metro	3.3 metro	1.42 metro	7.029 m ³

Fuente: elaboración propia.

El consumo de agua de esta línea de producción se estima a través de datos obtenidos de un contador de agua instalado exclusivamente en los tanques para esta línea de producción. El contador es marca Genebre.

Figura 12. **Contador instalado en el proceso de laminado**



Fuente: elaboración propia.

- Datos y supuestos

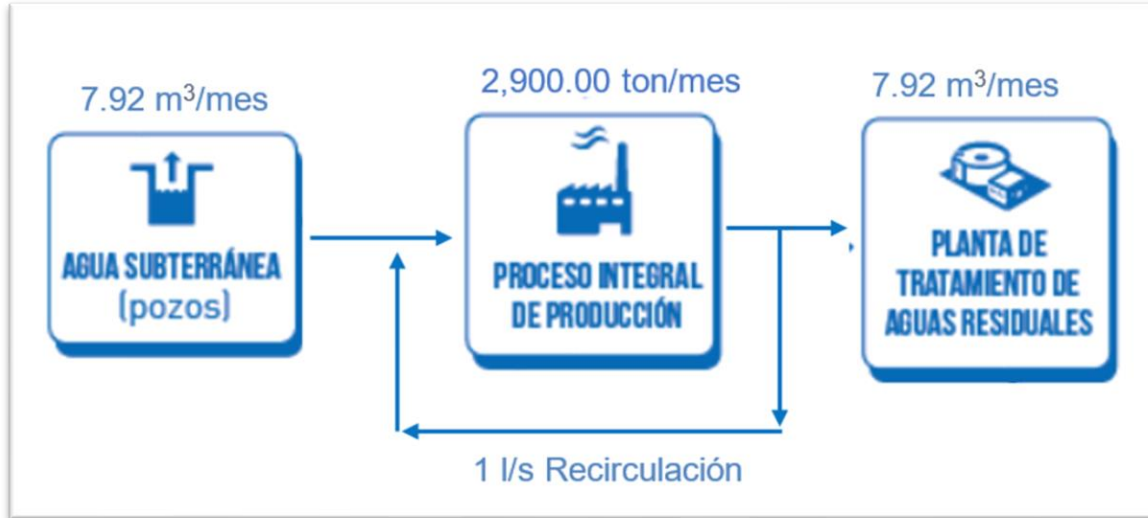
Datos obtenidos por investigación documental obteniendo 2,900.00 ton/mes. Y Consumo estimado promedio de 7.92 m³ de agua potable / mes.

Se analizan todos los valores que representen más del 2 % de toda la línea de producción.

- Resultados

Del proceso de recopilación de información desarrollada, se obtienen los resultados que determinan la huella hídrica gris, del proceso de perfilado.

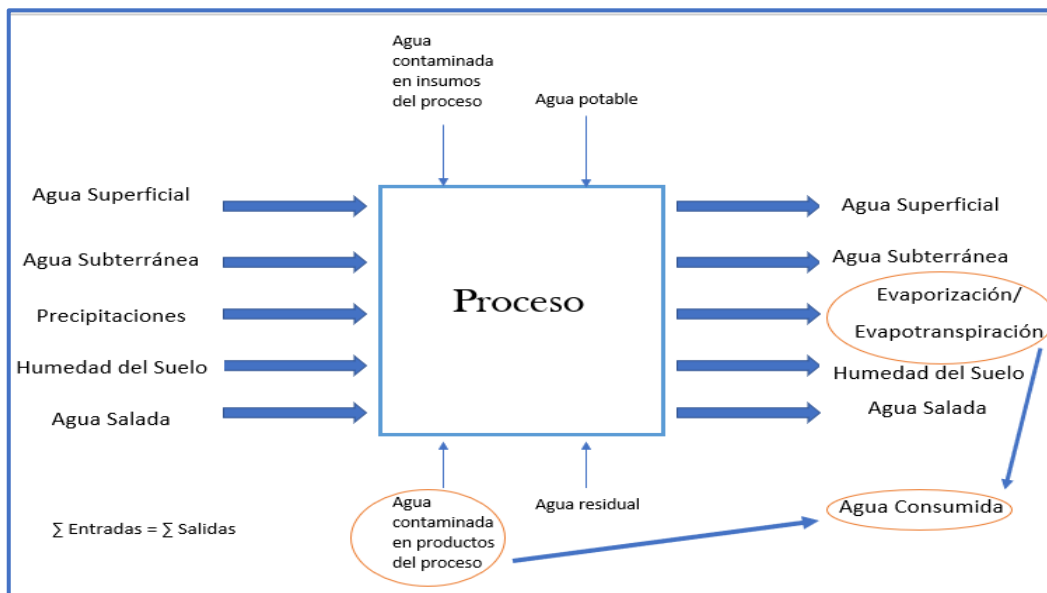
Figura 13. **Ciclo hídrico para la determinación de la huella hídrica**



Fuente: elaboración propia.

Se establece que la huella hídrica gris para el proceso y agua virtual se establece como:

Figura 14. **Determinación de la huella hídrica gris y agua virtual**



Fuente: elaboración propia.

Se tiene los siguientes elementos que ingresan dentro de un proceso:

- Externos naturales: agua superficial, agua subterránea, precipitaciones, humedad del suelo y agua salada. Para el caso desarrollado la fuente de agua se establece como agua subterránea ya que el proceso es por medio de pozo mecánico.
- Externos antrópicos: agua contaminada en insumo del, agua potable. Para el caso analizado esta agua hace referencia al proceso de recirculación de agua del proceso de enfriamiento.
- Salidas del proceso: agua superficial, agua subterránea, precipitaciones, humedad del suelo y agua salada, evaporización o evapotranspiración. Para el caso desarrollado es importante resaltar que se desprecia la evaporación del proceso ya que es menor al 2 %.

Así mismo el agua definida como contenida en productos del proceso en el caso analizado es de valor 0 ya que el producto terminado no consume agua.

Para determinar la huella hídrica se tiene.

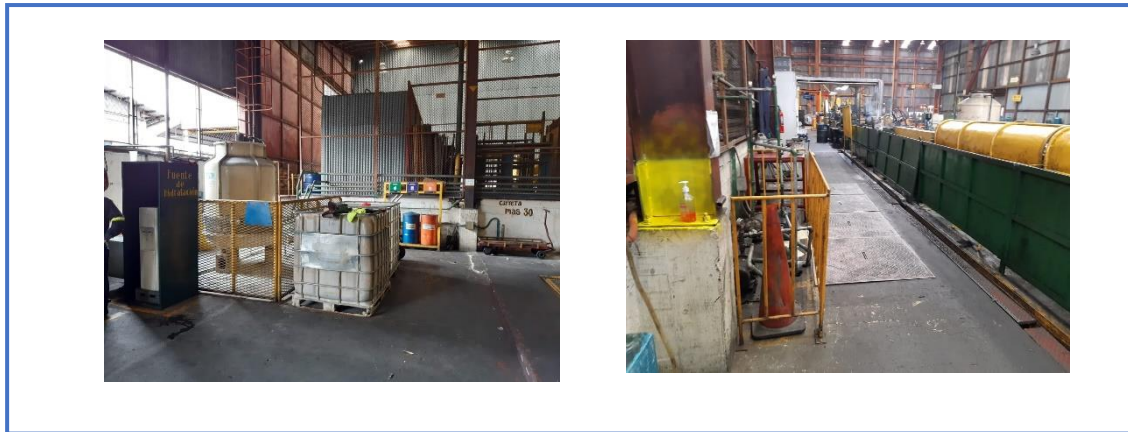
Huella hídrica gris (agua residual) = Externo naturales + externos antrópicos – salidas del proceso – agua contenida en el proceso.

Agua virtual = Externo naturales + externos antrópicos – salidas del proceso + agua contenida en el proceso.

De esta cuenta se tiene que el valor establecido en el área de perfilado el impacto en huella hídrica gris (agua residual) es de alrededor de 2,900.00 ton/mes, equivalentes a un consumo mensual de 7.92 m³/mes, esta relación establece un valor de 0.0027 m³/ton equivalente a 2.70 litros de agua por tonelada de perfil producido. Debido a que el agua de ingreso es igual al agua de salida, se debe a que el proceso no incorpora agua al producto.

Cabe resaltar que del proceso de agua residual se contiene en totes los cuales tienen una capacidad de 1000 litros y son dispuestos de forma mensual a la empresa Eco reprocesos, quienes poseen normativas internacionales y cumplen con los requerimientos del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. En la ilustración 13 podemos ver como almacenan los totes para su entrega.

Figura 15. **Ubicación del proceso de producción**



Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Producto terminado**



Fuente: elaboración propia.

- Fase 3. Evaluación de impactos con el uso del recurso hídrico.

La evaluación de impacto ambiental (EIA), tiene como objetivo principal, identificar, predecir e interpretar impactos ambientales que una industria o proyecto realicen al medio ambiente, los cuales pueden ser positivos o negativos. De tal manera que se debe documentar como prevenir o disminuir los impactos negativos que puedan causar alteraciones al medio ambiente y a la salud.

En la actualidad, se cuenta con diferentes metodologías de Evaluación de Impacto Ambiental siendo los métodos más utilizados: Mel Enel, Battelle Columbus, Delphi y Leopold. La decisión de cual emplear estará en función de las condiciones y necesidades de la empresa y la normativa ambiental aplicable. Para el presente caso se consideró adecuado utilizar el Método de Leopold, el cual se basa en matrices de interacción recíproca de los impactos producidos por las actividades industriales y las condiciones ambientales existentes, mediante relaciones causa-efecto.

Una vez que se describen las actividades operacionales de la planta industrial siderúrgica, se definen principales los criterios y características de evaluación para determinar la significancia ambiental basados en:

- Carácter
- Importancia
- Magnitud o cantidad
- Frecuencia
- Extensión
- Duración
- Reversibilidad

Guatemala no cuenta con una ley general de aguas, que regule los aspectos de su aprovechamiento. Con lo que cuenta para regularizar, es el Reglamento de las Descargas y reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, es decir que solamente se regula el descarte de estas.

Dentro del proceso de perfilado, como se mencionó anteriormente se utiliza un lubricante sintético denominado *Reniform Syn 930SG*, su carácter soluble permite graduar la concentración en función de la operación, el cual evita el sobrecalentamiento, mejora el acabado de las piezas fabricadas y colabora en la lubricación propia de la máquina.

- Medidas de mitigación para el uso de *Reniform Syn*.

Ojos: lavar con agua en abundancia durante 15 minutos como mínimo, en caso de irritación ocular, buscar atención médica.

Piel: remover el producto del área contaminada con agua y jabón en abundancia, quitarse la ropa contaminada para evitar la exposición prolongada, si los síntomas persisten buscar atención médica.

Inhalación: llevar a la persona afectada al aire fresco. En caso de irritación del sistema respiratorio o se siente indispuesto, buscar atención de médica.

Ingestión: dar de beber agua o leche, como mínimo dos vasos, no inducir al vomito sin supervisión médica, no debe administrarse oralmente ningún medicamento o preparado en caso de inconsciencia.

- Indicaciones en caso de fuga o derrame accidental del químico.

Personales: mantenga al personal no implicado fuera del área del derrame, alertar al personal de emergencia, evitar contacto directo con el producto. Mantenerse en la dirección opuesta al viento y a distancia de la fuente.

Precauciones relativas al ambiente: impedir que el producto llegue a alcantarillas u otros cuerpos de agua, o espacios subterráneos como bodegas. De ser posible contener el producto con tierra seca, arena u otros materiales similares, colocar en contenedores apropiados, etiquetados para seguridad subsiguiente.

- Precauciones especiales

Manejo: para el manejo de este material deberá usarse gafas de protección y guantes resistentes al aceite (nitrilo) y otras ropas de protección.

Transporte: siempre se debe transportar en recipientes cerrados que estén verticales y seguros. Asegurarse que las personas que transportan el producto conocen que hacer en caso de un accidente o derrame.

Almacenamiento: proteger la calidad del producto almacenándolo en interiores y alejado de temperaturas extremas, cerrar el envase cuando no esté en uso.

Residuos: en relación con la calidad del agua de manera absoluta se debe prohibir verter residuos líquidos o sólidos.

- Fase 4. Conclusiones y Recomendaciones

- Se deben de colocar medidores en cada uno de los procesos realizados en la empresa, así como en el área de oficinas para tener un dato cada vez más real de la huella hídrica de cada proceso y producto.

- La mayor importancia para reducir los impactos por uso de agua debe dirigirse a la mejora de la calidad del agua residual. Siendo la principal estrategia incrementar la eficiencia de la PTAR, para reducir el impacto hídrico de la empresa. Por lo que la industria siderúrgica debería considerar realizar la implementación de un

sistema de gestión de residuos, derivando así la certeza de un eficiente tratamiento de los residuos industriales.

- Solicitar a los proveedores en este caso específico, de materia prima como el lubricante, una ficha técnica más detallada de buenas prácticas y recomendaciones para la manipulación y disposición del producto en cuanto a seguridad, higiene y medioambiente, e incluir lugar de origen de dicho producto.
- Cumplir con las normas internas de la empresa, regulaciones nacionales e internacionales relacionadas con el recurso hídrico, y así evitar impactos adversos irremediables al entorno ambiental.
- La empresa debe formular un cronograma anual de actividades ambientales con el fin de darle cumplimiento a las acciones y metas propuestas y establecer un cronograma de capacitación a todo el personal con el fin de permitir una formación y sensibilización hacia la importancia del mejoramiento del desempeño ambiental de la empresa.

3.4.1. Propuesta de integración de la huella hídrica al plan de gestión ambiental

El régimen legal en Guatemala resulta inadecuado, ha regulado ciertos aspectos del uso, aprovechamiento y protección de las aguas, sin embargo, no incorpora al sistema jurídico nacional, como lo dispone la Constitución de la República, por consiguiente, no contamos con una ley de aguas que establezca los mecanismos necesarios para su protección.

Como parte de lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), toda industria deberá de poseer un Estudio de Impacto Ambiental, el cual deberá de ser realizado al principio de sus operaciones y/o bien actualizado durante su operación y contar con su respectiva licencia ambiental.

El ministerio establece que el Plan de Gestión Ambiental deberá de exponer las prácticas a implementar para prevenir, controlar o disminuir impactos ambientales negativos y maximizar los impactos positivos significativos que se originen con la actividad. Dentro de los alcances se establece que este deberá de indicar las variables ambientales afectas, de esta cuenta podemos identificar plenamente en nuestro caso, el uso del recurso hídrico, por medio de la huella hídrica.

Al poder valorar y cuantificar la cantidad de agua empleada para el desarrollo de la actividad, podremos establecer acciones correctivas o bien incrementar los impactos positivos para disminuir los impactos negativos por el proceso de emplear cierta cantidad de agua.

El Plan de Gestión Ambiental, debe de establecer objetivos y acciones específicas de seguimiento y vigilancia ambiental, el método sugerido es el de la norma ISO 14046, el cual se ha desarrollado su forma de evaluación y nos arroja valores de magnitud de consumo de agua, el cual al ser analizado con su entorno el gestor ambiental podrá desarrollar las acciones de mitigación para mejor el entorno, esta norma también exige respetar las leyes ambientales nacionales.

En el siguiente cuadro se propone un modelo de Evaluación de Impacto Ambiental para las actividades productivas de una empresa siderúrgica, con enfoque de Huella Hídrica.

Tabla XIV. **Evaluación de impacto ambiental de un proceso siderúrgico. Actividad hidrológica**

Evaluación de impacto ambiental de un Planta Industrial Siderúrgica en Operación									
Valoración de los principales impactos ambientales	Caracterización de los Impactos Ambientales Potenciales. Etapa Operación. Actividad Hidrológica.								
	Carácter		Importancia	Magnitud	Frecuencia	Extensión	Duración	Reversibilidad	Significancia ambiental (1-3)
Hidrología									
Disminución de caudales	-	X	A	A	A	M	A	M	3
Vertido de aguas residuales industriales	-	X	A	A	A	M	A	B	2
Vertido de aguas residuales ordinarias	-	X	M	M	M	M	M	B	1
Aumento de la temperatura del agua	-	X	M	M	M	B	B	B	1

Fuente: elaboración propia.

A = alta magnitud B = baja magnitud M = mediana magnitud.

1 = Poco importante 2 = medianamente importante 3 = muy importante

Tabla XV. **Propuesta de integración de la huella hídrica al plan de gestión ambiental**

Fuente generadora	Factor ambiental impactado	Impacto ambiental	Regulación ambiental	Medidas de control ambiental
Volumen de agua utilizada durante el proceso industrial	Agua subterránea y/o superficial	Disminución de la oferta hídrica, afectando la disponibilidad de agua para otras actividades	Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	Instalación de equipos energéticamente eficientes implementación de procesos de producción más limpia y buenas prácticas ambientales. Implementación de circuito cerrado, para recircular el agua en el proceso.
Agua empleada para los procesos, servicios e instalaciones	Agua subterránea y/o superficial	Alteración de la calidad química del agua	Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	Instalación de sistemas de tratamiento y reúso de aguas residuales industriales y ordinarias.

Continuación de la tabla XV.

Volumen de agua utilizada durante el proceso industrial	Puntos de entrada y salida de agua Diariamente	Gerente General y Regente Ambiental	Reducción del 25 % del agua industrial empleada	Medición y aforo de caudales de agua de proceso
Agua empleada para los procesos, servicios e instalaciones	Puntos de entrada y salida de agua diariamente	Gerente General y Regente Ambiental	Cumplir con los valores de descarga y reúso establecidos en el acuerdo Gubernativo No. 236-2006	Análisis de los resultados de los Estudios Técnicos de Aguas Residuales
Agua empleada para los procesos, servicios e instalaciones	Puntos de entrada y salida de agua diariamente	Gerente General y Regente Ambiental	Cumplir con los valores de descarga y reúso Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	Análisis de los resultados de los Estudios Técnicos de Aguas Residuales

Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó el agua residual se contiene en totes y son dispuestos de forma mensual a la empresa Eco reprocesos, quienes poseen normativas internacionales y cumplen con los requerimientos del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

De esta manera se cumple con el artículo 47. Contratación de Servicios. Del Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales de la disposición de lodos, donde indica que las empresas que presten los servicios de extracción, manejo o disposición final de lodos deberán cumplir con lo estipulado en dicho reglamento, y el ente generador queda exento de responsabilidad.

3.4.2.1 Medidas de mitigación

- Reemplazar o actualizar los equipos de tal manera que sean energéticamente eficientes.
- Mantenimiento periódico de los equipos
- No debe permitirse el contacto humano directo con los lodos.
- El transporte de los lodos debe realizarse en recipientes y vehículos acondicionados para evitar fugas y derrames.
- Los recintos para su almacenamiento transitorio deben ser autorizados para el efecto por el Marn.
- Solicitar semestralmente a la empresa encargada de los lodos, las certificaciones donde conste que cuentan con las autorizaciones necesarias para ejercer.
- Realizar muestras como mínimo dos veces al año de las aguas residuales, para que cumplan con los parámetros y llevar un registro de estos análisis y conservarlos durante un plazo de cinco años posteriores, para presentarlos al MARN, si así lo requieren.
- Prohibir el uso de cualquier tipo de aguas ajenas, con el propósito de diluir las aguas residuales. No se puede recuperar la calidad del agua diluyendo.
- Se prohíbe terminantemente efectuar la disposición de lodos al alcantarillado.
- Se prohíbe la disposición de lodos como abono.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Metodologías aplicables para la cuantificación de la huella hídrica

La administración del agua es un tema nuevo y dinámico, principalmente las pequeñas y medianas empresas, sin embargo, hay varias herramientas para apoyar y motivar las actuaciones de empresas y entidades. Las autoridades gubernamentales, empresas y sociedad civil deben tomar medidas inmediatas para gestionar correctamente este recurso.

En el presente trabajo se presentaron cuatro herramientas e iniciativas conocidas en el mercado internacional para el análisis de huella hídrica empresarial: Water Footprint Assessment (WFN), Global Water Tool (WBCSD), Water Sustainability Tool (GEMI) y Water Footprint Standard (ISO 14046).

Entre los beneficios que las empresas logran al medir la huella hídrica están: concientizar la importancia de la ética empresarial, disminuir los costos operacionales y contar con información adecuada para la toma de decisiones relevantes en la administración del agua empresarial, para acceder a mercados que exigen normas internacionales de ambiente, calidad, y seguridad, para mejorar la imagen de la empresa y productos o servicios ofrecidos, para asegurar la eficacia y eficiencia de los procesos.

La forma y metodología para determinar la huella hídrica, puede variar según el tipo de industria, ya que esta debe de acoplarse a los procesos establecidos dentro del proceso de producción, por lo cual el previo análisis de

las condiciones de la empresa debe ser consideradas, a fin de poder determinar que metodología se acopla a la industria en cuestión.

4.2. Variables requeridas dentro de cada metodología dentro del proceso de producción

Para poder identificar las variables requeridas por cada método se desarrollaron los cuatro métodos de forma cualitativa, identificando así los aspectos más importantes de cada uno de ellos como lo son: el objetivo y alcance que cada empresa le darán, el tiempo o periodo que tenemos para obtener un dato específico.

Si se necesita evaluar la huella hídrica directa y/o indirecta, determinar los datos de inventario que cada una requiere, si se requiere identificar la huella de un producto o proceso o bien de la industria en general, si se requiere identificar los impactos ambientales que producen, es decir si se desea ver en términos cuánticos si no también ver lo consumido y contaminado, o bien únicamente comprender la problemática asociada al uso del agua.

El proceso de medición o inventario hídrico debe de reflejar a fidelidad el proceso empleado dentro de la producción, así mismo es necesario delimitar que ingresos y egresos de las diferentes huellas se van a despreciar, para volver el proceso más simple y de fácil implementación.

Dependiendo de la bibliografía que se consulte o bien las condiciones que el consultor establezca, se puede despreciar del inventario todo aquel ingreso o egreso que represente un valor igual o menor al 2 % de toda la huella. Esto hace referencia a que se pueden omitir valores tales como la evaporación, inyección de líquidos refrigerantes o similares que, si bien tienen una influencia en el

proceso, su impacto hídrico dentro de la producción no afectaría de gran manera el resultado final obtenido.

4.3. Análisis comparativo de las diferentes metodologías para el cálculo de huella hídrica

Entre las principales características, ventajas y desventajas de la herramienta *Water Footprint Assessment* están que organiza la huella hídrica en tres colores según la fuente de agua y contaminación generada, los resultados de la fase 2 ya pueden dar una interpretación directa sobre las fuentes de agua utilizadas y la contaminación gracias a la clasificación de colores. Entre sus desventajas es que no es certificable.

La ISO (14046), no evalúa eficiencia de uso del recurso. Entre sus ventajas es que es certificable en su fase 1 y 2, la fase 3 puede dar insumos para analizar impactos relacionados al agua y la metodología de medición es más ágil.

Como se puede observar, ambas ofrecen funcionalidades importantes dependiendo del objetivo del cálculo de la huella hídrica de cada empresa, ambas en su fase de evaluación proporcionan una lista de cotejo que permite determinar el motivo del estudio, *Water footprint Assessment* se enfoca en la gestión del agua y *Water Footprint Standard* acorde ISO (14046) a los impactos sobre el agua.

La Global Water Tool, es utilizada para cuantificar y evaluar los riesgos derivados del uso del agua mediante la identificación de áreas geográficas con escasez de agua y la presión que se ejerce sobre sus fuentes, cabe recalcar que es a nivel global, se puede utilizar como primera opción para mejorar la gestión del agua de una manera más eficiente y sostenible.

Water Sustainability Tool, nos da una evaluación amplia y general, por lo que puede ser utilizada para una evaluación general sobre cuestiones clave, pero no nos da una información cuántica, solo nos introduce a través de sus cuestionarios en una concientización del uso del agua, ayudando a las empresas a construir una estrategia respecto al agua, de acuerdo a sus propias necesidades y circunstancias. No se recomienda por lo tanto para empresas que quieren realizar una evaluación profunda sobre los usos e impactos del agua.

Al igual que GWT, su objetivo principal es identificar y mitigar riesgos que ocurren a causa de cuestiones externas a la empresa como escases de agua, precio, costos, entre otros., no por mitigar los que produce la empresa a las fuentes de agua dulce.

4.4. Incorporación al plan de gestión ambiental la cuantificación de la huella hídrica

Guatemala no cuenta con una ley general de aguas, que regule los aspectos de su aprovechamiento. Con lo que cuenta para regularizar, es el Reglamento de las Descargas y reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, es decir que solamente se regula el descarte de las mismas, por lo que cada empresa debe de incorporar la huella hídrica como un indicador medioambiental, para poder como uno de sus objetivos primordiales disminuir su consumo y mejorar la calidad de sus efluentes.

El presente documento realiza la propuesta que la medición de la huella hídrica es un elemento que puede sumarse al plan de gestión ambiental. Debemos de recordar que el plan de gestión ambiental hace referencia a todas aquellas practicas correctas que disminuyen el impacto ambiental de las diferentes actividades productivas de la industria.

Por lo cual al conocer el impacto hídrico del proceso de producción se podrán realizar acciones correctivas que puedan disminuir el consumo de agua dulce. Por lo tanto, se lograría generar una producción ecológicamente más responsable.

CONCLUSIONES

1. Dentro del proceso de investigación se determinó que existen diferentes métodos para determinar la huella hídrica, encontrándose que el método que se deriva de la norma ISO 14046, es el que mejor se acopla para una industria siderúrgica, ya que aparte de poder dar como resultado un valor numérico de la huella hídrica gris, también requiere la evaluación de los impactos relacionados a los recursos hídricos. De esta cuenta se deberá de incorporar en el plan de gestión ambiental, a fin de disminuir los impactos negativos que genera la huella hídrica gris en el entorno.
2. Se identifican 4 métodos aplicables, para poder evaluar la huella hídrica dentro de la industria siderúrgica, siendo estos: *Water Footprint Assessment, Global Water Tool, Water Sustainability Tool, ISO (14046) Water Footprint standard.*
3. El desarrollo de los diferentes métodos para evaluar la huella hídrica gris establece las variables requeridas, las cuales establecen determinar la aplicabilidad del método, siendo estas: identificación de los procesos a evaluar, magnitud del estudio, relación entre empresa o sector, compromiso empresarial.
4. Del análisis comparativo de los métodos para determinar la huella hídrica, los enfoques y metodologías de *Water Footprint Assessment* e *ISO 14046 Water Footprint Estándar* son aplicables a los procesos y productos. Se determinó que la metodología *ISO 14046 Water Footprint Standard* es la que de mejor forma se acopla a la industria siderúrgica, ya que considera

las etapas del ciclo de vida, así como los impactos ambientales potenciales relacionadas con el uso del agua.

5. La incorporación de la huella hídrica dentro del plan de gestión ambiental se desarrolla al conocer el valor numérico de la huella hídrica dentro del proceso industrial y desarrollar las prácticas a implementar para prevenir, controlar o disminuir impactos ambientales negativos y maximizar los impactos positivos significativos que se originen con la actividad.

RECOMENDACIONES

1. Se deberá de desarrollar un proceso de medición de huella hídrica considerando a todos los actores que forman parte del mismo, ya que ellos son quienes generan la información de campo y alimentan el inventario de medición.
2. El consultor que presente los resultados de la medición se deberá enfocar en desarrollar los aspectos que generen una sensibilización en el personal de tal forma que se logre la reducción de la huella hídrica.
3. Dentro del plan de gestión ambiental, los responsables deberán de integrar las mediciones de huella hídrica y así lograr las acciones correctivas necesarias para mejorar el entorno que se ve afecto por la actividad.
4. Proponer al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales como ente encargado de la rectoría de la gestión ambiental, que los compromisos ambientales estipulados en las Resoluciones Finales de Aprobación de los Instrumentos Ambientales asociados al uso y aprovechamiento de los recursos hídricos incorporen el concepto de huella hídrica, como indicador medioambiental de una efectiva gestión del agua orientada a reducir y optimizar su consumo, y a mejorar su calidad, a fin de contribuir a la sostenibilidad de los recursos hídricos.

REFERENCIAS

1. Aldaya, M., Garrido, A., Llamas, M., Varela-ortega, C., Novo, P., y Rodríguez casado, R. (2010). *Water footprint and virtual water trade in Spain*. The Netherlands: Springer Nature Switzerland AG.
2. Allan, J. (1993). *Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible*. En: London: Natural Resources Institute, Overseas Development Administration.
3. Argueta Mayorga, D. (2019). *Metodología para determinar la sostenibilidad del Lago de Atitlán, basándose en la Huella Hídrica*. (Tesis de doctorado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.2
4. Broussain Kyling, J. (2011). *Análisis y aplicación de una metodología para el cálculo de la huella hídrica a nivel predial de la producción lechera en Chile*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Chile, Chile. Recuperado en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104174/Analisis-y-aplicacion-de-una-metodologia-para-el-calculo.pdf>.
5. Cardona, C., y Ochoa, B. (20131). La huella hídrica, un indicador de impacto en el uso del agua. *Revista Tecno Gestión*, 20-25.
6. CONSUDE, (2016). *Manual de aplicación para la evaluación de huella hídrica acorde a la norma ISO 14046*. Chile: Autor.

7. Córdova, P. A. (2011). *Propuesta de mejoramiento de eficiencia del proceso de laminación de perfiles a través de la disminución de la pérdida metálica para la industria metalmeccánica*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0605_MI.pdf.
8. Fernández, A. M. (2011). *Huella hídrica. Análisis de la potencialidad de aplicación de la herramienta en la realidad empresarial argentina*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Lujan. Argentina. Recuperado de: <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/462>.
9. Ferrer, M, y Viegas M. (2014). CONAMA. *Huella hídrica: La nueva norma internacional ISO 14046:2014 y su implementación*. Congreso llevado a cabo en la Ciudad de León, España.
10. Franco, J., Nishimoto, S., Kay, S., Feodoroff, T., y Pracucci, G. (marzo, 2013). *The Global Politics of Water Grabbing*, *Hird World Quarterly* 34(9), 34-36.
11. García, P., y Fernández, V. (2010). *Avances tecnológicos en el diseño de líneas de perfilado de chapa*. *Deformación Metálica*. (1) 12-21.
12. GEMI, G. E. (2005). *Connecting the Drops Toward Creative Water Strategies*. Washington DC.: Global Environmental Management Initiative.
13. Gleick, P., Cooley, H., Cohen, M., Morikawa, M., y Morrison, J. (2009). *The World's Water 2008-2009: the biennial report on freshwater resources*. Washington, D.C., EE. UU: Island Press.

14. Hoekstra, A., y Hung, P. (2002). *Virtual water trade: a quantification of virtual water flows*, Delft, Países Bajos, UNES-CO-IHE Institute for Water Education.
15. Hoekstra, A., Chapagain, A., y Aldana, M. (2009). *Water Footprint Manual State of the Art*. Holland: Earthscan.
16. Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldana, M., y Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. Washington D.C, Estados Unidos: Earthscan.
17. Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldana, M., y Mekonnen, M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Londres, Reino Unido: Earthscan.
18. IICA, (2017). *Guía Metodológica para la Evaluación de la Huella Hídrica en una Cuenca Hidrográfica*. San José, Costa Rica: Autor.
19. Silva Linares, D. (septiembre, 2016). *Reutilización del efluente tratado del proceso de lavado de prendas textiles de lona para mitigar la huella ambiental en una planta de producción en Guatemala*. Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado, 50-54. Recuperado en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5601/>.
20. Veolia Water (2011). *The Water Impact Index and the First Carbon-Water Analysis of a Major Metropolitan Water Cycle*. Francia: Autor.

21. Wacker Nagel, M., y Rees, W. (1996). *Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth*. Estados Unidos: New Society Publishers.