

**LA HUELLA HÍDRICA COMO INDICADOR DE  
SOSTENIBILIDAD EN LA GESTIÓN INTEGRAL DEL  
RECURSO HÍDRICO**

**AUTORA:**

**LAURA VILLEGAS MEJÍA**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Ambiental**

**Director:**

**Diego Arévalo Uribe**



**ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
ENVIGADO  
2013**

*“Para mi familia, quienes siempre creen en mí y me apoyan en cualquier proyecto que decida emprender, son mi inspiración y mi ejemplo, su fortaleza me guía todos los días de mi vida”*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco inmensamente a mis maestros, personas maravillosas que han contribuido a mi desarrollo personal y profesional, desde el colegio tuve la oportunidad de encontrarme con docentes de alta calidad intelectual y humana, gracias a todos por su dedicación y valiosa labor.

A mi director de trabajo de grado, el señor Diego Arévalo Uribe, que gracias a su paciencia, amabilidad, conocimiento y apoyo he logrado culminar exitosamente este trabajo y por medio de él he tenido la oportunidad de conocer otros profesionales con quienes continúo mi desarrollo profesional.

A mi querida profesora de la Escuela de Ingeniería de Antioquia, María del Pilar Arroyave que más que una gran docente, la considero un gran apoyo en mi paso por la universidad, gracias por ayudarme y asesorarme siempre que lo necesité.

Especialmente a mi mamá, no puedo pensar en un mayor apoyo y una mejor amiga y es difícil expresar toda la gratitud y amor que te tengo, gracias por ser mi ejemplo a seguir, tu fortaleza y buena energía me han guiado durante todos estos años, gracias a ti he superado todas las dificultades y obstáculos que se me han presentado.

A mi papá, gracias por apoyarme y ser una pieza fundamental de esta y todas las etapas que he culminado, tu presencia y ejemplo me enriquecen todos los días.

A mi hermana, que siempre lo ha dado todo por mí, apoyándome y animándome cada día y en todas las experiencias y proyectos que he decidido emprender.

Finalmente a mis amigos y amigas de la infancia y a las personas valiosas que conocí en la universidad, la huella que han dejado en mi vida es indeleble y muy significativa.

# CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. PRELIMINARES.....	19
1.1 Planteamiento del problema .....	19
1.2 Objetivos del proyecto .....	19
1.2.1 Objetivo General.....	19
1.2.2 Objetivos Específicos .....	20
1.3 Marco de referencia.....	20
1.3.1 Marco teórico.....	20
1.3.2 Marco Contextual .....	22
1.4 Hipótesis.....	24
2. METODOLOGÍA.....	25
2.1 Descripción de los indicadores utilizados actualmente en el diagnóstico del recurso hídrico tanto a nivel regional como empresarial.....	25
2.1.1 Revisión bibliográfica de los indicadores asociados a la gestión del agua en política pública en Colombia. ....	25
2.1.2 Revisión bibliográfica de los indicadores utilizados en los informes de sostenibilidad empresariales asociados a la gestión del agua. ....	26
2.2 Análisis del concepto de huella hídrica, sus componentes y aplicaciones. ....	26
2.2.1 Identificación de las diferentes metodologías existentes en la determinación de la huella hídrica (WFN e ISO 14046). ....	26
2.2.2 Definición del concepto de huella hídrica y sus componentes. ....	26
2.2.3 Identificación de las aplicaciones de la huella hídrica. ....	27
2.2.4 Análisis de las limitaciones de cálculo de la huella hídrica.....	27

2.3	Evaluación del potencial de la huella hídrica como indicador DE SOSTENIBILIDAD .....	27
2.3.1	Identificación de coincidencias y diferencias entre la huella hídrica y los indicadores analizados en términos de política pública y aplicación corporativa. ....	27
2.3.2	Identificación de ventajas y desventajas frente a la potencial inclusión de la huella hídrica como un indicador en la política pública nacional de Colombia y en la estrategia corporativa de sostenibilidad. ....	27
2.3.3	La Huella Hídrica como indicador de sostenibilidad en la gestión integral del recurso hídrico en Colombia .....	28
3.	ANÁLISIS DE LA APLICABILIDAD DE LA HUELLA HÍDRICA COMO INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD EN LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO.....	29
3.1	indicadores actualmente usados en estudios referentes a la gestión integral del recurso hídrico en Colombia .....	29
3.1.1	Indicadores que caracterizan el régimen Natural.....	30
3.1.2	Indicadores de intervención antrópica .....	33
3.2	Indicadores propuestos en LAS EVALUACIONES regionales del Agua (ERA)..	44
3.2.1	Indicadores de intervención antrópica .....	45
3.2.2	Indicadores de amenaza y vulnerabilidad .....	48
3.3	Indicadores asociados a la gestión del agua en los informes de sostenibilidad empresariales .....	55
3.3.1	<i>Global Compact</i> : Pacto Mundial de las Naciones Unidas .....	56
3.3.2	<i>Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)</i> : directivas para empresas multinacionales .....	57
3.3.3	<i>AccountAbility (AA 1000)</i> : Estándar de aseguramiento.....	60
3.3.4	International Standards Organization (ISO) .....	62
3.3.5	<i>Dow Jones Sustainability Index (DJSI)</i> .....	65
3.3.6	Global Reporting Initiative (GRI) .....	69
3.3.7	Otros indicadores de sostenibilidad corporativa referentes al recurso hídrico	71

3.4	Análisis de Huella Hídrica, componentes y aplicaciones.....	71
3.4.1	Metodologías para la determinación de la huella hídrica .....	71
3.4.2	Contabilización de Huella Hídrica y sus componentes.....	73
3.4.3	Aplicaciones de la huella hídrica.....	77
3.4.4	Limitaciones del cálculo y la aplicabilidad de la huella hídrica .....	79
3.5	Evaluación del potencial de la Huella Hídrica como Indicador de sostenibilidad	80
3.5.1	Identificación de coincidencias y diferencias entre la huella hídrica y los indicadores tradicionales .....	80
3.5.2	Inclusión de la Huella hídrica como indicador complementario en política pública en Colombia. ....	96
3.5.3	Inclusión de la Huella Hídrica como indicador en la estrategia corporativa de sostenibilidad.....	99
3.5.4	La huella hídrica como indicador de sostenibilidad en la gestión integral del recurso hídrico en Colombia .....	101
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	107
4.1	Describir los indicadores utilizados actualmente en el diagnóstico del recurso hídrico a nivel de política pública y a nivel corporativo. ....	107
4.2	Analizar el concepto de huella hídrica, sus componentes y aplicaciones.....	109
4.3	Evaluar el potencial de la huella hídrica en sus diferentes aplicaciones y como indicador en política pública y empresarial para el caso de Colombia. ....	112
5.	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES .....	115
	BIBLIOGRAFÍA.....	118

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Calificación de los rangos de valores del IRH (IDEAM, 2010).....	31
Tabla 2. Categorías del Índice de Aridez (IA) (IDEAM, 2011) .....	33
Tabla 3. Categorías de calificación del IACAL (IDEAM, 2010).....	36
Tabla 4. Calificaciones del Índice de calidad del agua (ICA) (IDEAM, 2010).....	37
Tabla 5. Ponderación de variables en el ICA (IDEAM, 2010).....	39
Tabla 6. Categorización y rangos del IUA según el concepto de Naciones Unidas (IDEAM, 2010).....	42
Tabla 7. Matriz de relación entre el IUA y el IRH para obtener la categoría del IVH (IDEAM, 2010).....	43
Tabla 8. Tabla utilizada en campo para la anotación de la presencia y puntuación de los macroinvertebrados acuáticos (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2008).....	47
Tabla 9. Valoración de la calidad del agua por el índice de macroinvertebrados (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2008).....	47
Tabla 10. Relaciones para categorizar el índice morfométrico (IDEAM, 2011).....	49
Tabla 11. Categorías del índice morfométrico (IDEAM, 2011).....	49
Tabla 12. Clasificación del índice de variabilidad (IDEAM, 2011).....	50
Tabla 13. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET) (IDEAM, 2011).....	51
Tabla 14. Relaciones entre la Huella hídrica y los indicadores ya evaluados en Colombia en el ENA .....	81
Tabla 15. Relaciones entre la Huella hídrica y los indicadores futuros propuestos para Colombia en las ERA.....	81
Tabla 16. Huella Hídrica azul e IUA .....	82
Tabla 17. Huella hídrica azul e IVH.....	83

Tabla 18. Huella hídrica verde e IA.....	84
Tabla 19. Huella hídrica gris e IACAL.....	85
Tabla 20. Huella hídrica gris e ICA.....	87
Tabla 21. Huella Hídrica azul e IEAS.....	88
Tabla 22. Huella hídrica azul e IREAS.....	90
Tabla 23. Huella hídrica azul e IOASH.....	91
Tabla 24. Huella hídrica azul e IASAP.....	93
Tabla 25. Huella hídrica azul e IIUA.....	94
Tabla 26. Huella hídrica e IPD.....	95
Tabla 27. Tipos de riesgos hídricos (WWF, 2013).....	104



## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema de los componentes de la huella hídrica (Hoekstra et al., 2011). .....	21
Figura 2. Indicadores hídricos utilizados en el ENA 2010 (IDEAM, 2010) .....	29
Figura 3. Curva de duración de caudales medios diarios (IDEAM, 2010) .....	31
Figura 4. Diagrama metodológico del procesamiento de información secundaria (Parte 1) (IDEAM, 2010) .....	34
Figura 5. Diagrama metodológico del procesamiento de información secundaria (Parte 2) (IDEAM, 2010) .....	36
Figura 6. Metodología para análisis integral del estado y dinámica del agua en Colombia por áreas hidrográficas (IDEAM, 2010) .....	44
Figura 7. Identificación de macroinvertebrados acuáticos (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2008) .....	46
Figura 8. Ilustración gráfica de las tres dimensiones de la sostenibilidad empresarial junto con los pasos propuestos por AccountAbility (2004) y los estándares que determinan sus directrices (AcconutAbility, 2004) .....	56
Figura 9. Tasas de conexión a plantas de tratamiento de aguas residuales en los países miembros de OECD (OECD, 2008) .....	58
Figura 10. Extracción de agua en los países de OECD (OECD, 2008) .....	59
Figura 11. Extracción bruta de agua per cápita, en porcentaje del total de recursos disponibles y en porcentaje del total de recursos internos para los países miembros de la OECD en 2006 (OECD, 2008) .....	60
Figura 12. Desarrollo de la Metodología de Evaluación de Huella Hídrica (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011) .....	73
Figura 13. La Huella Hídrica azul y verde en relación con el balance hídrico en una cuenca (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011). .....	74
Figura 14. Huella hídrica de Proceso como bloque básico de las dos perspectivas de la huella hídrica (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011). .....	78
Figura 15. Distribución poblacional de Colombia por área hidrográfica (WWF-Colombia, 2012) .....	102

Figura 16. Disponibilidad hídrica en Colombia por área hidrográfica (WWF-Colombia, 2012) ..... 102

## LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1. Índice de retención y regulación hídrica (IRH) .....	30
Fórmula 2. Índice de Aridez (IA) .....	32
Fórmula 3. Subíndice de calidad sólidos suspendidos totales. ....	37
Fórmula 4. Subíndice de calidad conductividad eléctrica.....	38
Fórmula 5. Subíndice de calidad para $4 \leq \text{pH} \leq 7$ .....	38
Fórmula 6. Subíndice de calidad para $8.1 < \text{pH} < 11$ .....	38
Fórmula 7. Índice de Calidad del Agua (ICA) .....	39
Fórmula 8. Índice de uso de Agua (IUA).....	40
Fórmula 9. Demanda hídrica sectorial (Dh) .....	40
Fórmula 10. Consumo humano doméstico (Ch).....	40
Fórmula 11. Oferta hídrica superficial (Oh).....	41
Fórmula 12. Índice de variabilidad .....	50
Fórmula 13. Índice de extracción de agua subterránea .....	51
Fórmula 14. Índice de recarga con respecto a extracción total (IREAS).....	52
Fórmula 15. Índice de oferta renovable de aguas subterráneas con respecto a número de habitantes (IOASH) .....	53
Fórmula 16. Índice de agua subterránea para abastecimiento público con respecto al número de habitantes (IASAP).....	53
Fórmula 17. Índice de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de aguas subterráneas (IVIAS) .....	54
Fórmula 18. Índice integral de uso de agua.....	55
Fórmula 19. Huella hídrica azul de un proceso .....	75
Fórmula 20. Huella hídrica verde de un proceso .....	76
Fórmula 21. Huella hídrica gris de un proceso .....	76
Fórmula 22. Carga crítica en la huella hídrica gris .....	77

## LISTA DE ABREVIATURAS

ACV: análisis de ciclo de vida

CAR: corporación autónoma regional

CERES: *coalition for environmentally responsible economies*

CSA: *corporate sustainability assessment*

DANE: departamento administrativo nacional de estadística

DBO: demanda bioquímica de oxígeno

DEG: sociedad alemana de inversiones y Desarrollo

DJSI: *Dow Jones sustainability index*

DQO: demanda química de oxígeno

ENA: estudio nacional del agua

ERA: evaluaciones regionales del agua

ETP: evapotranspiración potencial

ETR: evapotranspiración real

GIRH: gestión integral del recurso hídrico

GRI: *global reporting initiative*

IA: índice de aridez

IACAL: índice de alteración potencial a la calidad del agua

IASAP: índice de agua subterránea para abastecimiento público con respecto al número de habitantes

ICA: índice de calidad del agua

IDEAM: instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia

IEAS: índice de extracción de agua subterránea

IIUA: índice integral de uso del agua

IOASH: índice de oferta renovable de aguas subterráneas con respecto a número de habitantes

IPD: índice de presión demográfica

IREAS: índice de recarga con respecto a extracción total

IRH: índice de regulación hídrica

ISO: *international standards organization*

IUA: índice de uso del agua

IVET: índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales en fuentes abastecedoras

IVH: índice de vulnerabilidad hídrica al desabastecimiento

NT: nitrógeno total

OECD: organization for economic co-operation and development

PENIA: plan estratégico de investigación ambiental

PNGIRH: política nacional de gestión integral del recurso hídrico

PSOD: porcentaje de saturación de oxígeno disuelto

PT: fósforo total

RSE: responsabilidad social empresarial

SIAC: sistema de información ambiental de Colombia

SIRH: sistema de información del recurso hídrico

SST: sólidos suspendidos totales

UNEP: *united nations environment program*

WFN: water footprint network

WWF: *world wildlife fund*

## RESUMEN

En Colombia, la gestión integral del recurso hídrico (GIRH) a nivel de política pública se ha llevado a cabo por medio del Estudio Nacional del Agua (ENA), en el cual se evalúan seis indicadores que caracterizan el recurso y permiten llevar a cabo un seguimiento de las políticas y acciones tomadas dentro de la gestión del agua. Adicionalmente se han propuesto las Evaluaciones Regionales del Agua (ERA) que incluyen los seis indicadores del ENA, más nueve índices adicionales que ofrecen información sobre aguas subterráneas, calidad, presión demográfica, amenaza y vulnerabilidad del recurso hídrico a una escala menor de la empleada en el ENA.

En el ámbito empresarial, consumidores, inversionistas y autoridades requieren cada vez más información sobre los procesos, materia prima y prácticas laborales y ambientales con el fin de evaluar el desempeño y responsabilidad social de las empresas. La adopción de la responsabilidad social empresarial (RSE) se ha transformado en un asunto que trasciende la imagen o las regulaciones legales, se ha convertido en punto de referencia para inversionistas que consideran criterios de sostenibilidad y como una ventaja competitiva para la misma compañía.

La huella hídrica es un indicador que evalúa el consumo real de agua en la totalidad de la cadena de suministro involucrada en una actividad humana, indicando consumos directos e indirectos y disgregándolos en agua azul, verde y gris. Esta información brinda un mayor nivel de detalle en cuanto a la dinámica y estado del recurso hídrico en las regiones y permite evidenciar geográficamente afectaciones o sobreexplotaciones del recurso y amenazas a los ecosistemas.

En este trabajo se propone la inclusión de la huella hídrica, en sus tres componentes separadamente, como indicador de sostenibilidad en la gestión integral del recurso hídrico tanto en política pública como en sostenibilidad corporativa. Para este fin, se realiza una recopilación de los indicadores usados tradicionalmente en la evaluación del agua en Colombia, en el ENA y ERA, adicionalmente se realiza una revisión bibliográfica de indicadores y estándares de sostenibilidad empresarial a nivel mundial en relación con la gestión del agua, para así establecer relaciones específicas de complementariedad entre los tres componentes de la huella hídrica, agua azul, verde y gris, y los indicadores tradicionales usados en política pública y corporativa respecto a la gestión del agua en Colombia.

Finalmente se logra alinear la estrategia de GIRH pública y corporativa, con la huella hídrica como fundamento, por medio del relacionamiento entre gobiernos, inversionistas, comunidades y sector privado en general para que juntos trabajen por convertirse en mejores gestores del agua generando beneficios colectivos.

Palabras clave: Huella hídrica, Estudio Nacional del Agua, Evaluaciones Regionales del Agua, Indicador, Informes de Sostenibilidad, Gestión Integral del Recurso Hídrico.

## **ABSTRACT**

In Colombia, the Integrated Water Resources Management (IWRM) in public policy has been carried out through the National Water Assessment, which evaluates six indicators that characterize the resource and allow the permanent tracking of the measurements related to its management. Furthermore the Regional Water Assessments include nine additional indicators that provide information about ground water, quality, demographic pressures and vulnerability of water resources in a more specific scale than the one used in the national assessment.

Regarding the private sector, every day consumers, investors and authorities need more information about processes, raw materials and performance of the companies in order to evaluate them in terms of sustainability and social responsibility. Nowadays the implementation of corporate responsibility measures goes beyond image or regulatory frameworks, it has become the reference for investors that consider sustainability criteria in their financial choices, and a competitive advantage for the company itself.

The water footprint is an indicator that evaluates the real water consumption along the supply chain involved in a productive activity, it indicates direct and indirect uses of water and separates them into blue, green and grey water. This information gives a better detail regarding the dynamic and current state of freshwater resources and allows the geographic identification of impacts, over exploitation and threats to the ecosystems.

In this paper is proposed the inclusion of the water footprint, and its three components, as sustainability indicators in the IWRM in public and corporate policy. To achieve this goal, it is done a collection of traditional indicators used in water related studies in Colombia and in sustainability reports in the private sector, therefore there are established complementarities of blue, green and grey water footprint and traditional indicators related to water management in Colombia.

Finally, based on the water footprint and through the public-private partnership, the public water management strategy is integrated with the corporate strategy in a way that all stakeholders can work together to become better water stewards and generate collective benefits.

Key words: Colombia, Water footprint, National Water Assessment, Regional Water Assessment, Indicator, Sustainability report, Integrated Water Resources Management.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia la gestión del recurso hídrico se ha llevado a cabo por medio de iniciativas como la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) formulada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010), y ha sido apoyada por el Estudio Nacional del Agua, realizado en 1998, 2000, 2004, 2008 y 2010, en el cual se evalúa la dinámica y situación actual del recurso hídrico, teniendo en cuenta la oferta superficial y subterránea, uso y demanda, calidad y las modificaciones al régimen hidrológico debidas al cambio climático. La información obtenida sobre el recurso hídrico en el territorio Colombiano ha sido útil en la toma de decisiones y en la planificación tanto en instituciones públicas como privadas (IDEAM, 2010).

La PNGIRH nace con el fin de establecer unas líneas de acción en cuanto al manejo del agua en el país, promover su uso eficiente, resolver posibles conflictos que se generen alrededor del recurso hídrico, además de conservarlo y valorarlo como un recurso que representa riqueza para los colombianos. La herramienta que asiste la política es el “Plan Hídrico Nacional”, el cual enuncia los planes, programas y proyectos que contribuyen a alcanzar los objetivos y metas de la política para la GIRH (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

En el ámbito empresarial, consumidores, inversionistas y autoridades requieren cada vez más información sobre los procesos, materia prima y prácticas laborales y ambientales con el fin de evaluar el desempeño y responsabilidad social de las empresas. La adopción de la responsabilidad social empresarial (RSE) se ha transformado en un asunto que trasciende la imagen o las regulaciones legales, se ha convertido en punto de referencia para inversionistas que consideran criterios de sostenibilidad y para otras empresas que deseen adoptar prácticas más sostenibles.

La gestión integral de los recursos y la realización de informes de sostenibilidad han dejado de ser voluntarios para convertirse en elementos que representan una ventaja competitiva para las empresas ya que gracias a ellos pueden mitigar riesgos, proteger sus marcas corporativas y mejorar su imagen nacional e internacional. En muchos casos la RSE se ha justificado en obligaciones morales, sostenibilidad, mantenimiento de la licencia para operar y temas reputacionales haciendo que las empresas enfrenten en cierto nivel las necesidades de su entorno más cercano, sin embargo estos enfoques no están direccionados hacia el alcance de los objetivos organizacionales, sino que se componen como un asunto desarticulado e independiente de la estrategia corporativa.

En el contexto competitivo del mercado en Colombia, se hace necesario emprender la gestión integral de los recursos naturales desde una perspectiva que le permita a las compañías asegurar el desempeño económico a largo plazo, evitando acciones de corto plazo social o ambientalmente dañinas (Porter & Kramer, 2006)



A diferencia de la dirección que ha tomado la RSE en el país, las acciones a realizar no deben suplir necesidades del entorno de manera general y aisladas del objetivo principal de la empresa, deben al contrario tener en cuenta los intereses económicos y regulatorios de cada negocio, es decir, deben estar encaminadas hacia la generación de valor económico a largo plazo. En este sentido, es fundamental que los negocios evalúen la gestión y uso que le dan al recurso hídrico, ya que este se ha convertido en un factor de importancia estratégica para casi cualquier actividad productiva y social.

La huella hídrica es un indicador que relaciona el impacto generado por las actividades productivas sobre el recurso hídrico con el consumo real y no solo con la extracción. Asimismo, plantea una clara relación entre la apropiación del recurso hídrico y las cadenas productivas y de distribución involucradas en el sector productivo presente en una región. A partir de este concepto se identifica una relación importante entre los impactos humanos sobre el recurso hídrico y el consumo de bienes y servicios en la misma unidad de análisis. Esta información brinda un mayor nivel de detalle en cuanto a la dinámica y estado del agua en las regiones y permite evidenciar geográficamente afectaciones o sobreexplotaciones del recurso, las cuales muchas veces pueden ubicarse en cuencas diferentes a la cuenca donde se ubica la actividad económica.

En este trabajo se propone la inclusión de la huella hídrica, en sus tres componentes separadamente, como indicador de sostenibilidad en la gestión integral del recurso hídrico tanto en política pública como en sostenibilidad corporativa. Para este fin, se realiza una recopilación de los indicadores usados tradicionalmente en la evaluación del agua en Colombia, en el Estudio Nacional del Agua (ENA), y en las propuestas, más no implementadas, Evaluaciones Regionales del Agua (ERA), adicionalmente se realiza una revisión bibliográfica de indicadores y estándares de sostenibilidad empresarial a nivel mundial en relación con la gestión del agua, para así establecer relaciones específicas de complementariedad entre los tres componentes de la huella hídrica, agua azul, verde y gris, y los indicadores tradicionales usados en política pública y corporativa respecto a la gestión del agua en Colombia.

Es importante resaltar que la propuesta formulada no pretende convertir a la huella hídrica en un fin, sino que pretende proponerla como una herramienta que trascienda el hecho de hacer un uso eficiente del agua en las operaciones y actividades de una empresa u organización, y que contribuya activamente en los procesos de toma de decisiones y en la gestión responsable y sostenible del recurso hídrico. Esto brindará información útil en la formulación de respuestas que se extiendan más allá de las fronteras organizacionales y propongan acercamientos holísticos que aseguren un abastecimiento adecuado y a largo plazo, mientras se satisfacen las necesidades de desarrollo de las regiones.

La falta de información y de relaciones entre los actores públicos y privados, es decir gestores y usuarios del recurso hídrico, causan una carencia de regulaciones y estrategias que permitan hacer un uso eficiente y responsable del agua en las cuencas colombianas.

De esta manera este trabajo logra alinear diferentes sectores y sus intereses, proponiendo la huella hídrica como la base de una estrategia que apela al relacionamiento entre gobiernos, inversionistas, comunidades y sector privado en general para que juntos trabajen por convertirse en mejores gestores del agua con el fin de generar beneficios para poblaciones, ecosistemas y para la empresa misma.

# **1. PRELIMINARES**

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En Colombia, estudios como el ENA (2010) han proporcionado información valiosa sobre las cuencas en estado crítico debido a las altas presiones por el uso del recurso hídrico, deficiencias en la retención-regulación hídrica, vulnerabilidad al desabastecimiento y las probabilidades de alteración potencial de la calidad del agua por altas cargas contaminantes en las diferentes zonas del país (IDEAM, 2010). Esta información ha sido útil en las funciones de planificación regional y nacional.

En dicho estudio se utilizaron seis indicadores para la evaluación del estado del agua en Colombia, Índice de aridez, Índice de retención y regulación hídrica, Índice de uso del agua, Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento, Índice de calidad del agua y el Índice de alteración potencial de la calidad, aplicados a 41 zonas y 309 subzonas hidrográficas. Estos índices proveen información respecto a la capacidad de la cuenca de retener agua, las cantidades de agua utilizadas, grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta de agua y la calidad de la misma.

La huella hídrica es un indicador que relaciona el agua con el consumo real y no solo con la extracción. Asimismo, plantea una clara relación entre las cadenas productivas y de distribución y los sectores productivos presente en una región. A partir de este concepto se identifica una relación importante entre los impactos humanos en el recurso hídrico y el consumo de bienes y servicios en la misma unidad de análisis. La huella hídrica permite evaluar la producción y las cadenas de distribución de manera global, con el fin de identificar los puntos críticos de impacto al recurso y los verdaderos sectores responsables del consumo y contaminación de las aguas. Esta información brinda un mayor nivel de detalle en cuanto a la dinámica y estado del recurso hídrico en las regiones, es por esto que en este proyecto se pretende proponer la huella hídrica, y sus componentes de agua azul, verde y gris, como indicadores complementarios a los anteriormente utilizados en estudios para la GIRH en Colombia y en los informes de sostenibilidad en las empresas.

## **1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1 Objetivo General**

Analizar la aplicación de la huella hídrica como indicador en la política pública de gestión integral del recurso hídrico y a nivel corporativo en Colombia.

## **1.2.2 Objetivos Específicos**

Describir los indicadores utilizados actualmente en el diagnóstico del recurso hídrico a nivel de política pública y a nivel corporativo.

Analizar el concepto de huella hídrica, sus componentes y aplicaciones.

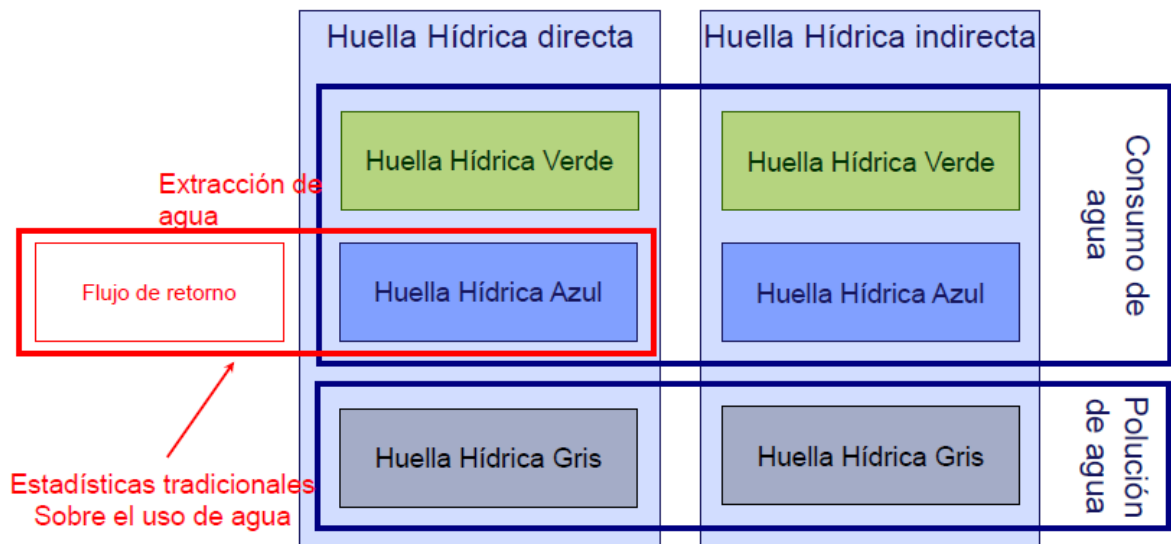
Evaluar el potencial de la huella hídrica en sus diferentes aplicaciones y como indicador en política pública y empresarial para el caso de Colombia.

## **1.3 MARCO DE REFERENCIA**

### **1.3.1 Marco teórico**

La huella hídrica es un indicador que permite conocer el consumo directo e indirecto de agua de un consumidor o productor. La huella hídrica de un producto es el volumen total de agua necesario en la producción de dicho bien, medida a lo largo de toda la cadena de suministro. Este indicador permite conocer el consumo de agua por fuente y el impacto de la contaminación definido por un contaminante crítico en un periodo de tiempo y área geográfica determinada. La huella hídrica está compuesta por las huellas azul, verde y gris (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011).

La huella azul se refiere al consumo de agua de fuentes superficiales o subterráneas a lo largo de la cadena de suministro de un producto o servicio. El consumo de este tipo de fuentes de agua implica una pérdida del recurso hídrico disponible en un área determinada, esta pérdida se puede dar por evaporación, transvase hacia otra cuenca o cuando es incorporada a un producto. La huella verde se refiere al consumo del agua proveniente de la lluvia que queda almacenada en el suelo y no se pierde por escorrentía superficial. La huella gris está relacionada con la contaminación y se define como el volumen de agua que es necesaria para asimilar la carga contaminante vertida en las condiciones ambientales de un lugar determinado (Hoekstra et al., 2011). En la Figura 1 se muestra un esquema de los componentes de la huella hídrica:



**Figura 1.** Esquema de los componentes de la huella hídrica (Hoekstra et al., 2011).

Según el *Water Footprint Assessment Manual* formulado por Hoekstra et al. (2011), la huella hídrica da una mejor y más amplia perspectiva de la relación entre consumidor o productor y el uso que dan de las fuentes de agua, además la huella hídrica proporciona una información, espacial y temporalmente, más detallada sobre la apropiación humana del recurso hídrico, además de dar la base para cuantificar y evaluar los impactos económicos, ambientales y sociales en la región.

La evaluación de huella hídrica contiene las etapas de I) Definición de objetivos y alcance II) Cuantificación de la huella hídrica de un producto, proceso, consumidor o área geográfica, III) Evaluación de la sostenibilidad ambiental, social y económica de dicha huella y IV) Formulación de estrategias de respuesta. El objetivo de este análisis es determinar cómo las actividades humanas se relacionan con la escasez y contaminación del agua para determinar cómo los productos y procesos pueden ser más sostenibles desde el punto de vista del agua (Hoekstra et al., 2011).

La huella hídrica puede ser aplicada a un proceso o parte de un proceso, en un producto final, un consumidor o grupo de consumidores, un productor o todo un sector productivo, además puede ser aplicada a un área geográfica, un municipio, región, nación o a una cuenca hidrográfica. Por otro lado, la evaluación de huella hídrica puede ser emprendido por diversas razones; una nación, por ejemplo, puede estar interesada en conocer su dependencia de recursos hídricos extranjeros o determinar la sostenibilidad del uso del agua en las zonas de su territorio donde se producen productos de exportación que requieran un uso intensivo de agua. Una autoridad ambiental puede estar interesada en conocer si en algún momento o lugar de su territorio no se cumplen los requerimientos de calidad o caudales mínimos. Por otro lado, una empresa, por medio de la huella hídrica, puede conocer su dependencia de escasos recursos hídricos en su cadena de suministro

y cómo puede contribuir a disminuir los impactos en el recurso a lo largo de la misma (Hoekstra et al., 2011).

## **1.3.2 Marco Contextual**

### **1.3.2.1 Marco Legal**

En Colombia se cuenta con una serie de decretos, resoluciones y leyes en materia del recurso hídrico que son pertinentes en la formulación de este proyecto. A continuación se hace un recuento de ellas.

La normatividad en materia del recurso hídrico comienza a conocerse en el país con el decreto 2811 de 1974, con la cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. En él se determina el dominio de las aguas superficiales y sus cauces, se regula el aprovechamiento de las aguas no marítimas en todos sus estados y formas, los modos de adquirir derecho al uso de las aguas, las concesiones y todas las disposiciones relacionadas con el uso, transporte, apropiación y administración de las aguas en el territorio colombiano (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2012).

Las disposiciones en cuanto a las aguas marinas son reglamentadas por la Ley 10 de 1978 y el Decreto 1875 de 1979, donde se dictan normas sobre mar territorial, zona económica exclusiva, plataforma continental, la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2012).

Después de la creación del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en 1993 se reordena el sector público relacionado con la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, incluida la gestión del agua, y en 1997 se publica la ley 373, la cual establece que todo plan regional o municipal debe tener en cuenta un programa para el uso eficiente y ahorro del agua donde se determinan las acciones a tomar por parte de las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico dentro del marco de la gestión del agua. Además se describen los componentes de dicho plan (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2012).

En el 2002, se modifica parte del Decreto 2811 de 1974 (en los aspectos relacionados con las cuencas hidrográficas) mediante el decreto 1729 de 2002. En él se determinan los aspectos a tener en cuenta en el ordenamiento de las cuencas hidrográficas y el procedimiento para realizar el Plan de ordenación (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2012).

El Decreto 3100 de 2003 reglamenta las tasas retributivas que deben ser pagadas por la utilización directa del agua como receptor de vertimientos puntuales. Estas tasas varían y

serán cobradas principalmente en las cuencas que se identifiquen como prioritarias por sus características de calidad (Criterios para la definición de cuencas prioritarias son definidos en la Resolución 104 de 2003), basándose en los planes de ordenamiento de cuencas antes mencionados. En este decreto se establece la tarifa mínima y el ajuste regional, además de los mecanismos de recaudo, fiscalización y control, y el procedimiento de reclamación (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2012).

El Decreto 155 de 2004 también trata el tema de las tasas retributivas, en este caso por el uso de las aguas, incluyendo las aguas estuarinas, subterráneas, superficiales y acuíferos litorales, no se incluyen en este decreto las aguas marinas. Para el cálculo de las tasa retributivas se hace necesario el cálculo de diversos índices, entre ellos el índice de escasez. La metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales es posteriormente definida por la Resolución 865 de 2004, y la metodología para el cálculo del índice de escasez de aguas subterráneas es definida por la Resolución 872 de 2006 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2012).

Una herramienta que puede resultar útil dentro del análisis de huella hídrica en las regiones colombianas es el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico. Este registro contiene el inventario de las personas naturales o jurídicas que usan y aprovechan el recurso hídrico en las cuencas priorizadas de acuerdo al decreto 1729 de 2002. El registro además hace parte del Sistema de información del recurso hídrico (SIRH), el cual a su vez hace parte del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), que brinda información sobre la demanda del recurso hídrico con el fin de dar las bases en la toma de decisiones políticas, de regulación, gestión, planificación e investigación. El Registro de Usuarios del Recurso Hídrico fue creado mediante el Decreto 1324 de 2007 y el SIRH por medio del Decreto 1323 de 2007.

### **1.3.2.2 Marco Político**

Como se ha mencionado anteriormente, en Colombia la GIRH se lleva a cabo con base en la PNGIRH formulada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010) y en el Plan de Desarrollo Nacional (2010 – 2014) “Prosperidad para todos” se dictan disposiciones adicionales.

La PNGIRH tiene el objetivo de plantear unas bases para el manejo del agua en todo el territorio colombiano, pretende además resolver los conflictos que se generan actualmente alrededor del recurso y que se haga un uso eficiente del agua, teniendo en cuenta la preservación de dicho recurso símbolo de la riqueza natural de nuestro país (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, 2010).

Esta política surge a partir del Plan de Desarrollo Nacional (2006-2010) “Estado comunitario: desarrollo para todos” el cual incluye dentro de sus líneas de acción la GIRH”. La política tiene como objeto las aguas superficiales, subterráneas y marinas y plantea los objetivos y estrategias para lograr un uso y aprovechamiento eficiente del

agua y la prevención y control de la contaminación hídrica, dentro de un campo de acción social, económico y ambiental de la gestión. La política pretende ser útil en las actividades de planeación, administración, seguimiento y monitoreo del recurso hídrico a nivel nacional. Teniendo en cuenta que está enmarcada en la Política Nacional de Biodiversidad, sus principios también están relacionados con la conservación, el conocimiento y la utilización sostenible de los recursos naturales, especialmente el recurso hídrico (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, 2010).

#### **1.4 HIPÓTESIS**

La huella hídrica es un indicador de sostenibilidad complementario, útil y pertinente para ser evaluado a la par de los indicadores ya formulados en la GIRH en Colombia tanto en política pública como en la gestión empresarial.



## **2. METODOLOGÍA**

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo siguiendo las siguientes fases.

### **2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS INDICADORES UTILIZADOS ACTUALMENTE EN EL DIAGNÓSTICO DEL RECURSO HÍDRICO TANTO A NIVEL REGIONAL COMO EMPRESARIAL.**

#### **2.1.1 Revisión bibliográfica de los indicadores asociados a la gestión del agua en política pública en Colombia.**

En la fase inicial se realizó una revisión bibliográfica de los indicadores relacionados con el recurso hídrico a nivel territorial en Colombia. Para alcanzar este objetivo se identificaron los indicadores evaluados en el ENA (2010) realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y se describió el concepto, metodología de cálculo, información requerida y aplicabilidad de cada uno. Esto con el fin de tener la base teórica para identificar la complementariedad del indicador de huella hídrica en la caracterización y evaluación del estado del agua en Colombia.

El ENA más reciente fue realizado en el año 2010 y en él se muestra una evaluación completa de la situación y dinámica del recurso hídrico en Colombia, teniendo en cuenta la oferta superficial y subterránea, uso y demanda, condiciones de calidad, y las afectaciones al régimen hidrológico debidas al cambio climático. En este estudio se utilizaron seis indicadores (Figura 2), aplicados a cinco áreas hidrográficas, 41 zonas y 309 subzonas hidrográficas, para caracterizar el recurso y permitir un seguimiento de las políticas y acciones tomadas dentro de la gestión del agua. Es por esto que es el estudio más relevante en cuanto al recurso hídrico en las regiones colombianas y la base de referencia para estudiar los indicadores utilizados actualmente.

Por otro lado, se analizaron los indicadores propuestos en las ERA, planteadas, y aun no implementadas, como una herramienta para la generación de información a nivel subregional que brinde un mayor nivel de detalle y permita formular estrategias regionales acordes con las características de cada zona. Adicionalmente, las ERA pretenden ser coherentes con las metodologías y resultados obtenidos en los ENA y en la PNGIRH. En estas evaluaciones se propone el análisis de los seis indicadores del ENA y nueve índices adicionales que permiten profundizar en el tema de aguas subterráneas, calidad, presión demográfica, amenaza y vulnerabilidad del recurso hídrico causadas por la variabilidad climática (IDEAM, 2011).

### **2.1.2 Revisión bibliográfica de los indicadores utilizados en los informes de sostenibilidad empresariales asociados a la gestión del agua.**

De la misma manera se realizó un recorrido por los estándares de sostenibilidad empresarial más utilizados en el mundo y en Colombia, con el fin de conocer los indicadores usados por las empresas en la evaluación del uso que le dan al agua en sus actividades productivas, y así identificar posibles vacíos de conocimiento y justificar la huella hídrica como un indicador valioso dentro del diagnóstico de sostenibilidad de una compañía y cómo esta puede brindar información valiosa respecto al impacto que se genera sobre el recurso a lo largo de toda la cadena de valor, y que así los negocios formulen estrategias que reduzcan los riesgos asociados al agua, riesgos que amenazan la capacidad del negocio de generar valor económico en el largo plazo.

## **2.2 ANÁLISIS DEL CONCEPTO DE HUELLA HÍDRICA, SUS COMPONENTES Y APLICACIONES.**

### **2.2.1 Identificación de las diferentes metodologías existentes en la determinación de la huella hídrica (WFN e ISO 14046).**

Las dos metodologías principales propuestas para la realización de la Evaluación de Huella Hídrica se basan en los dos enfoques principales de la aplicación de este indicador, la aplicación territorial y la aplicación corporativa, dentro de las cuales se encuentran unidades de análisis más específicas como la huella hídrica de áreas geográficas delimitadas, de un producto, empresa, consumidor, sector productivo o grupo de consumidores.

Las dos metodologías explicadas en esta fase fueron formuladas basándose en estos dos acercamientos. La ISO 14046 se enfoca en el cálculo y análisis de la Huella Hídrica Corporativa, mientras que la metodología de *Water Footprint Network* presenta una metodología apta para el cálculo de la huella hídrica de un proceso, producto, grupo de consumidores, de un área geográfica, de una nación, de una cuenca hidrográfica u otras unidades administrativas, y de una empresa.

La ISO 14046 se menciona, sin embargo, esta metodología no se ha publicado oficialmente, por lo tanto sale del alcance de este trabajo. Para conocer la metodología propuesta por *The Water Footprint Network* se realizó la revisión bibliográfica del *Water Footprint Assessment Manual* (Hoekstra et al., 2011).

### **2.2.2 Definición del concepto de huella hídrica y sus componentes.**

Teniendo en cuenta el alcance de este trabajo, el cual tiene en cuenta la metodología propuesta por *The Water Footprint Network*, en esta fase se definió el concepto de huella hídrica en sus tres componentes, azul, verde y gris, la metodología de cálculo y la información requerida para cada uno de estos procesos, en base a las definiciones del *Water Footprint Assessment Manual*.

### **2.2.3 Identificación de las aplicaciones de la huella hídrica.**

La huella hídrica de un proceso es la base de las dos perspectivas principales del análisis de huella hídrica: la perspectiva territorial y la perspectiva corporativa. En esta fase se provee una ilustración con ejemplos del concepto de huella hídrica aplicado en las diferentes unidades de análisis, haciendo énfasis en la aplicación territorial, sectorial y corporativa.

A partir de esta fase se puede distinguir la utilidad del indicador de huella hídrica en la GIRH en Colombia. El insumo principal para esta fase es el *Water Footprint Assessment Manual*.

### **2.2.4 Análisis de las limitaciones de cálculo de la huella hídrica**

A continuación se identificaron las limitaciones del indicador de huella hídrica en términos de aplicabilidad, alcance, cálculo e información requerida para su análisis. Este análisis es útil en la identificación de vacíos para determinar la complementariedad de este indicador con los indicadores tradicionales en la GIRH en Colombia.

## **2.3 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LA HUELLA HÍDRICA COMO INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD**

### **2.3.1 Identificación de coincidencias y diferencias entre la huella hídrica y los indicadores analizados en términos de política pública y aplicación corporativa.**

A partir de la revisión bibliográfica sobre indicadores tradicionales usados en Colombia en política pública (Fase 2.1.1), es decir indicadores evaluados en el ENA y ERA, se identificaron las posibles relaciones de complementariedad con los tres componentes de la huella hídrica teniendo en cuenta las variables involucradas y la información requerida para su cálculo, aplicación, unidades, concepto, entre otros criterios.

De la misma manera, y en base a la información recolectada en la fase 2.1.2, se identificaron las debilidades de los indicadores usados en sostenibilidad corporativa y cómo estos vacíos pueden ser complementados con un indicador integral como lo es la huella hídrica.

### **2.3.2 Identificación de ventajas y desventajas frente a la potencial inclusión de la huella hídrica como un indicador en la política pública nacional de Colombia y en la estrategia corporativa de sostenibilidad.**

En esta etapa, y con base en los elementos identificados en la fase anterior, se resaltan las relaciones de complementariedad más relevantes entre los indicadores tradicionales utilizados en la GIRH desde el sector público en Colombia. De todas las posibles relaciones de complementariedad identificadas en la fase anterior se resaltan las siguientes:

- Huella hídrica azul - Índice de Uso del Agua (IUA), Índice de extracción de agua subterránea (IEAS) e Índice Integral de Uso del agua (IIUA)
- Huella hídrica verde e Índice de Aridez (IA).
- Huella hídrica gris e índices de calidad (IACAL & ICA)
- Huella hídrica azul e Índice de Oferta renovable de Aguas subterráneas con respecto a número de habitantes (IOASH)
- Huella Hídrica e Índice de Presión Demográfica (IPD)

Adicionalmente, con base en los estándares de sostenibilidad empresarial expuestos en la fase 2.1.2, se realizó el análisis de la relevancia y pertinencia de la inclusión de la huella hídrica como indicador de sostenibilidad en el sector privado en Colombia.

### **2.3.3 La Huella Hídrica como indicador de sostenibilidad en la gestión integral del recurso hídrico en Colombia**

En la fase final se unifican los dos enfoques de la inclusión de la huella hídrica como indicador de sostenibilidad, en política pública y en gestión corporativa.

Se propone y justifica la inclusión en política pública y corporativa por medio del análisis y la propuesta de una GIRH desde la perspectiva de cuenca y del relacionamiento efectivo entre actores de la misma, haciendo énfasis en la importancia de evaluar la huella hídrica no como un fin, sino como una herramienta en la toma de decisiones y en la formulación de estrategias de respuesta que contribuyan en la seguridad hídrica de las regiones colombianas.

### 3. ANÁLISIS DE LA APLICABILIDAD DE LA HUELLA HÍDRICA COMO INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD EN LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO.

#### 3.1 INDICADORES ACTUALMENTE USADOS EN ESTUDIOS REFERENTES A LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO EN COLOMBIA

Desde el año 1998, en Colombia se ha realizado periódicamente el ENA a cargo del IDEAM y del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el fin de generar información referente al recurso hídrico y que esta sea útil en procesos de planeación y toma de decisiones en instituciones y sectores económicos (IDEAM, 2010)

El ENA más reciente fue realizado en el año 2010 y en él se muestra una evaluación completa de la situación y dinámica del recurso hídrico en Colombia, teniendo en cuenta la oferta superficial y subterránea, uso y demanda, condiciones de calidad, y las afectaciones al régimen hidrológico debidas al cambio climático. En este estudio se utilizaron seis indicadores (Figura 2), aplicados a cinco áreas hidrográficas, 41 zonas y 309 subzonas hidrográficas, para caracterizar el recurso y permitir un seguimiento de las políticas y acciones tomadas dentro de la gestión del agua. A continuación se describen estos indicadores, según IDEAM (2010).

Los indicadores son utilizados en el estudio y en la gestión del recurso hídrico como herramienta de seguimiento y de evaluación del estado y la dinámica del mismo en cantidad y en calidad. Según IDEAM (2010) “La consolidación de un sistema pertinente y coherente de indicadores del recurso hídrico se enmarca en las necesidades de la PNGIRH, del Plan Hídrico Nacional y del SIRH”.



Figura 2. Indicadores hídricos utilizados en el ENA 2010 (IDEAM, 2010)

### 3.1.1 Indicadores que caracterizan el régimen natural

Para evaluar el régimen natural se debe considerar la aridez y la capacidad del sistema de retener y regular los caudales. Para esto se usa el Índice de aridez (IA) y el Índice de retención y regulación hídrica (IRH) respectivamente (IDEAM, 2010).

#### 3.1.1.1 Índice de retención y regulación Hídrica (IRH)

Este índice está relacionado con los procesos del agua en el suelo y la influencia de la vegetación. El IRH representa la capacidad de la cuenca para mantener un determinado régimen de caudales, relacionando el suelo y la vegetación con los fenómenos climáticos y la morfología de la cuenca, es decir, este índice evalúa la capacidad de regulación del sistema como conjunto (IDEAM, 2010).

El análisis del IRH se realizó, en el ENA (2010), por medio de la evaluación de la curva de duración de caudales medios diarios, la cual permite identificar las condiciones de regulación de la cuenca y los valores característicos de los caudales medios y firmes, además se puede observar en dicha curva la tendencia del régimen hidrológico y la situación de retención y regulación de humedad en la cuenca (IDEAM, 2010).

La estimación del índice se realiza mediante la relación entre el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio y el correspondiente al área total bajo la curva de duración de caudales diarios. Se calcula según la Fórmula 1, según IDEAM (2010):

$$IRH = \frac{V_p}{V_t}$$

#### Fórmula 1. Índice de retención y regulación hídrica (IRH)

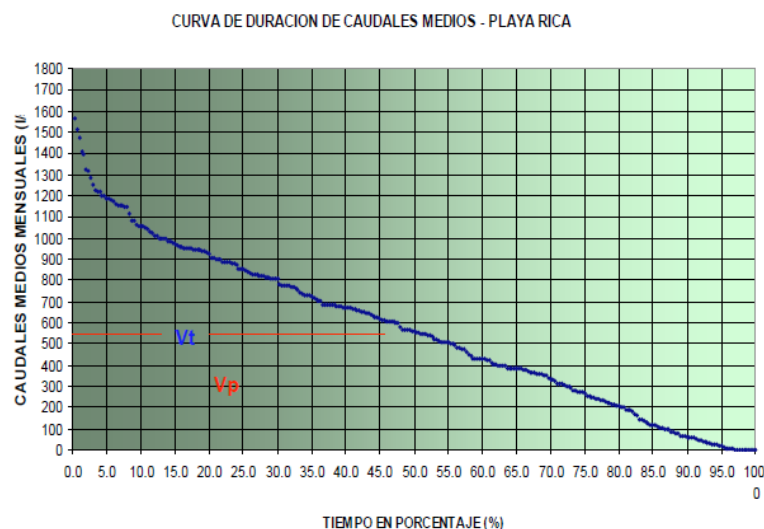
Donde:

**IRH:** Índice de retención y regulación hídrica.

**V<sub>p</sub>:** Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio en la curva de duración de caudales diarios

**V<sub>t</sub>:** Volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios.

En la Figura 3 se pueden ver estos valores dentro de la curva de duración de caudales medios diarios.



**Figura 3.** Curva de duración de caudales medios diarios (IDEAM, 2010)

Este índice se mueve en el rango de 0 a 1, los valores más bajos representan una menor regulación. Con el fin de facilitar la comparación e interpretación del Índice de retención y regulación hídrica, se le asigna una calificación a cada rango de valores, en la Tabla 1 se muestran estas calificaciones

Rango de valores del Indicador	Calificación	Descripción
>0.85	MUY ALTA	Muy alta retención y regulación de humedad
0.75 – 0.85	ALTA	Alta retención y regulación de humedad
0.65 – 0.75	MODERADA	Media retención y regulación de humedad media
0.50 – 0.65	BAJA	Baja retención y regulación de humedad
<0.50	MUY BAJA	Muy baja retención y regulación de e humedad

**Tabla 1.** Calificación de los rangos de valores del IRH (IDEAM, 2010).

A partir del cálculo del IRH se generan isolíneas, las cuales serán más precisas en cuanto se tenga un mayor número de estaciones hidrológicas. La información requerida es la correspondiente a los caudales medios diarios de series históricas mayores a 15 años y su actualización se realiza cada 4 años (IDEAM, 2010).

### 3.1.1.2 Índice de Aridez (IA)

Este índice ilustra las características cualitativas del clima de una región al indicar la suficiencia o insuficiencia de la precipitación, necesaria para el sostenimiento de los ecosistemas (IDEAM, 2011).

Según IDEAM (2010) el IA es un indicador más del régimen natural, es una característica del clima que indica los lugares con excedentes o déficit de agua a partir del balance hídrico superficial, por consiguiente la evapotranspiración potencial es una variable importante dentro de la estimación del índice.

A partir del IA se generan mapas de isolíneas que caracterizan las regiones de Colombia (41 cuencas y 327 subcuencas) en cuanto a su déficit o excedente de agua en promedios mensuales multianuales. La información requerida son las series históricas de las estaciones hidrometeorológicas de más de 15 años, y se actualiza cada 5 años o antes si ocurre un evento extremo como el fenómeno cálido del Pacífico (El Niño) (IDEAM, 2011).

En el ENA (2010) se utilizan las ecuaciones de Turc y Budyko para calcular la evapotranspiración real (ETR), y la ecuación de Penman – Montieth para estimar la evapotranspiración potencial (ETP). Para su cálculo son necesario datos de precipitación, temperatura y caudal y las variables necesarias para el cálculo de la ETP. El IA se calcula con la Fórmula 2:

$$I_a = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

**Fórmula 2. Índice de Aridez (IA)**

Dónde:

$I_a$ : índice de aridez (adimensional)

ETP: evapotranspiración potencial (mm)

ETR: evapotranspiración real (mm)

Es importante mencionar que el Índice de aridez expresa la dinámica superficial del suelo a partir de la ETR y ETP, no representa la dinámica subsuperficial (IDEAM, 2010). En la Tabla 2 se muestran las categorías de calificación del Índice de Aridez.



**Tabla 2.** Categorías del Índice de Aridez (IA) (IDEAM, 2011)

RANGO DE VALORES ÍNDICE DE ARIDEZ	CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
< 0.15		Altos excedentes de agua
0.15 – 0.19		Excedentes de agua
0.20 - 0.29		Entre moderado y excedentes de agua
0.30 - 0.39		Moderado
0.40 – 0.49		Entre moderado y deficitario de agua
0.50 – 0.59		Deficitario de agua
> 0.60		Altamente deficitario de agua

### 3.1.2 Indicadores de intervención antrópica

#### 3.1.2.1 Índice de alteración potencial de la calidad de agua (IACAL)

Las afectaciones a la calidad del agua se pueden convertir en una amenaza al aumentar la carga contaminante vertida por las diversas industrias o el sector doméstico, lo cual puede llegar a ocasionar la pérdida de capacidad natural de autodepuración del sistema hídrico. Un evento de este tipo limita los usos que se le pueden dar al recurso, al mismo tiempo que se pierden los beneficios ambientales brindados por el mismo (IDEAM, 2010).

En el ENA (2010) se usa este indicador como indicativo de la presión por contaminación en una región. La presión ambiental es la contribución potencial a las alteraciones del medio ambiente por parte de cualquier actividad humana, es decir, es la capacidad de generar un impacto ambiental. Tanto la población y el consumo como la industria, la agricultura y otras actividades productivas ejercen una presión por contaminación sobre su entorno.

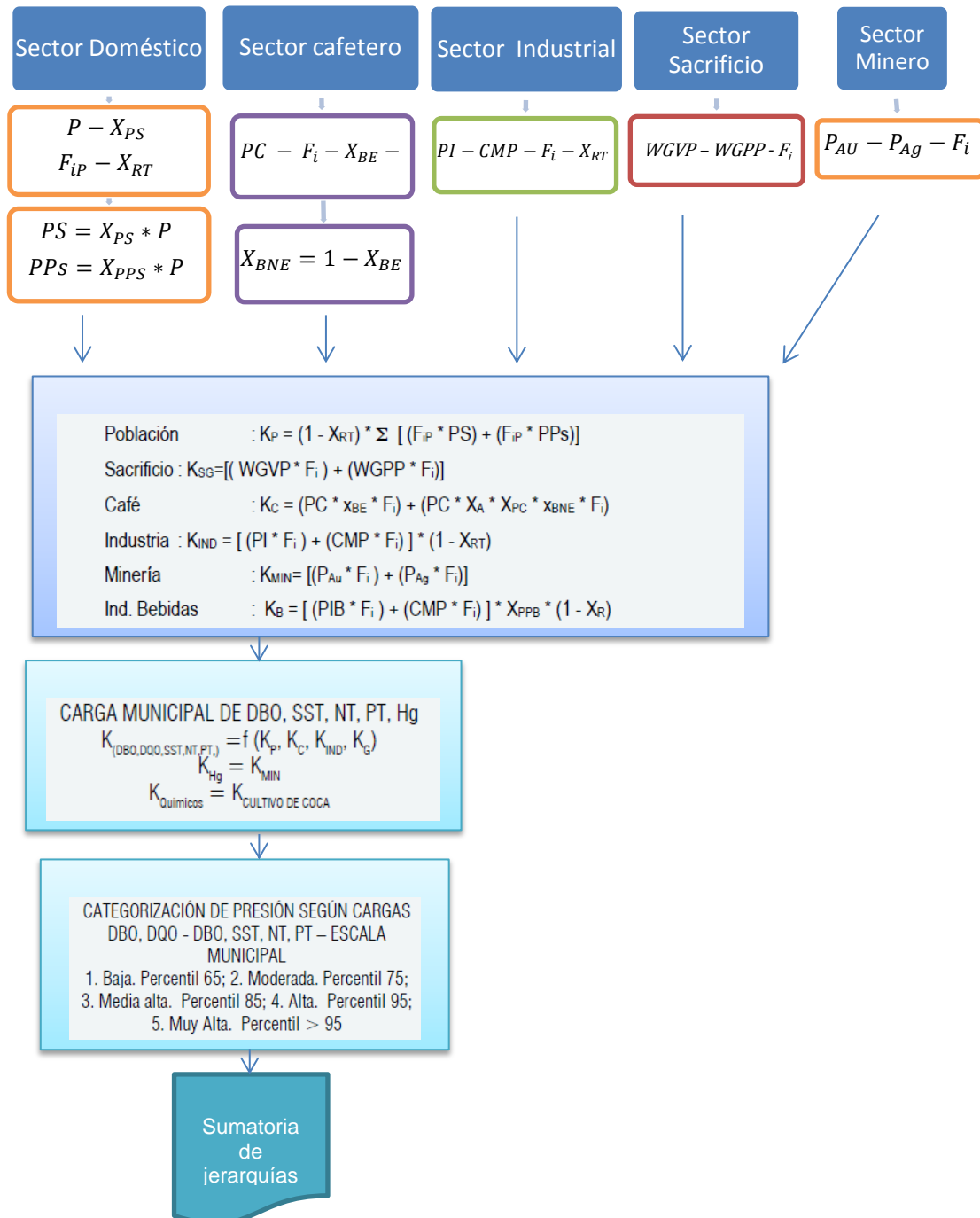
En la estimación de este indicador se incluyen las variables de demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) en las aguas residuales de 43 actividades productivas (IDEAM, 2010). En el ENA (2010) fue aplicado a escala municipal en centros urbanos para las 309 subzonas hidrográficas.

Los datos sobre los parámetros contaminantes se actualizan anualmente y la oferta hídrica cada cuatro años. Es importante resaltar que es índice excluye parámetros como patógenos, plaguicidas, microcontaminantes orgánicos tóxicos o persistentes, cancerígenos o disruptores del sistema endocrino y metales pesados (IDEAM, 2010).

Según IDEAM (2010) “el IACAL en las fuentes hídricas superficiales es calculado a partir de información secundaria como el promedio de las jerarquías asignadas a las cargas contaminantes ejercidas para 1099 municipios por el sector doméstico y para 186 municipios el sector industrial”. La metodología para el cálculo de las cargas contaminantes, según IDEAM (2010) se ilustra en la Figura 4 y Figura 5.

“Una vez obtenido el valor para la sumatoria de las cargas municipales estimadas en toneladas/año, se calcula para cada variable la distribución de frecuencias a nivel nacional correspondientes a los percentiles 65, 75, 85 y 95 respectivamente, y a cada rango se le asigna una categoría de presión de uno (1) a cinco (5) para obtener una escala cualitativa de presión: baja (1), moderada (2), media (3), alta (4) y muy alta (5), como se indica en la Tabla 3” (IDEAM, 2010).

**Figura 4.** Diagrama metodológico del procesamiento de información secundaria (Parte 1) (IDEAM, 2010)



Definición de las variables en la **Figura 4**, según IDEAM (2010):

P: Población municipal (número de personas).

$X_{PS}$ : Fracción de la población conectada al alcantarillado.

PS: Población conectada al alcantarillado (Nro. Personas).

$PP_s$ : Población conectada a pozo séptico (Nro. Personas)

$F_{iP}$ : Factor de emisión de  $DBO_5$  por persona, según si está conectada al alcantarillado o a pozo séptico (18,1 y 6,9 kg/persona-año, respectivamente)

$X_{RT}$ : Fracción de remoción de materia orgánica, sólidos y nutrientes dependiendo del tipo de tratamiento de agua residual municipal.

PC: Producción municipal de café como número de sacos de 60 kg de café pergamino seco.

$X_{BE}$ : Fracción de beneficio ecológico nacional de café.

$X_{BNE}$ : Fracción de beneficio no ecológico nacional de café.

PI: Producción industrial como volumen (cantidad) de producción para 43 actividades económicas de interés.

CMP: Consumo de materias primas para una industria determinada.

$X_{RT}$ : Fracción de remoción de vertimientos según tecnología prototipo de cada subsector.

$F_i$ : Factor de emisión para una unidad productiva específica en kg  $DBO_5$ , DQO, SST, NT y PT/ton producto final o materia prima consumida.

WGVP: Tonelada de animal (vacuno) en pie.

WGPP: Tonelada de animal (porcino) en pie.

$K_P$ : Carga de  $DBO_5$  proveniente de la población en ton/año.

$K_C$ : Carga de  $DBO_5$  proveniente del beneficio del café en ton/año.

$K_{IND}$ : Carga de  $DBO_5$  proveniente de la industria (actividades de interés) en ton/año.

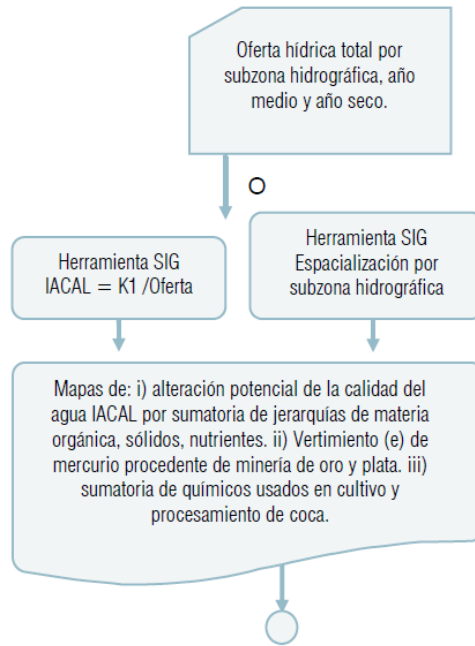
$K_{SG}$ : Carga de  $DBO_5$  proveniente del sacrificio de ganado en ton/año.

$K_{MIN}$ : Carga de mercurio vertida al agua proveniente del beneficio del oro y de la plata en ton/año.

K: Carga municipal de  $DBO_5$  en ton/año.

$K_{químicos}$ : Carga de químicos usados en la transformación de coca en toneladas y miles de litros /año.

**Figura 5.** Diagrama metodológico del procesamiento de información secundaria (Parte 2) (IDEAM, 2010)



**Tabla 3.** Categorías de calificación del IACAL (IDEAM, 2010)

IACAL	
PROMEDIO CATEGORÍA (NT+PT+SST+DBO+(DQO-DBO)/5)	
Categoría	Valor
Baja	1
Moderada	2
Media Alta	3
Alta	4
Muy Alta	5

### 3.1.2.2 Índice de calidad del agua (ICA).

El índice de calidad de agua permite determinar las condiciones fisicoquímicas de una fuente de agua y por lo tanto la situación de contaminación en un periodo de tiempo determinado con el fin de establecer los posibles usos del recurso (IDEAM, 2010).

En el ENA (2010) se evalúan los parámetros de: DQO como evaluador de materia orgánica, SST, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (PSOD), conductividad eléctrica para determinar la mineralización, y el pH del agua para establecer la acidez o alcalinidad de la misma.

Así, por ejemplo, un PSOD menor al 70% indica presencia de asentamientos humanos, descarga de aguas residuales domésticas e industriales, caudales bajos, entre otros fenómenos. El pH por su parte puede ser resultado tanto de procesos naturales como de fenómenos antrópicos. La conductividad eléctrica indica la mineralización y presencia de sales. Valores altos de esta variable pueden indicar asentamientos humanos, tratamiento químico de aguas, actividad agrícola o actividad volcánica (IDEAM, 2010).

El ICA permite resumir estos parámetros, medidos en campo y en laboratorio, en una calificación de calidad de cero (0) a uno (1), en la Tabla 4 se presentan los descriptores del índice según IDEAM (2010).

**Tabla 4.** Calificaciones del Índice de calidad del agua (ICA) (IDEAM, 2010).

Descriptores	Ámbito numérico	Color
Muy malo	0 – 0.25	rojo
Malo	0.26 – 0.50	naranja
Regular	0.51 – 0.70	amarillo
Aceptable	0.71 – 0.90	verde
Bueno	0.91 – 1.00	azul

A continuación se muestran las expresiones matemáticas para el cálculo de los subíndices de calidad de SST (Fórmula 3), conductividad eléctrica (Fórmula 4) y pH (Fórmula 5 y Fórmula 6), respectivamente, según IDEAM (2010):

$$I_{SST} = 1 - (-0.02 + 0.003 * SST_{mg/L})$$

#### Fórmula 3. Subíndice de calidad sólidos suspendidos totales.

Si  $SST \leq 4.5$ , entonces  $I_{SST} = 1$

Si  $SST \geq 320$ , entonces  $I_{SST} = 0$

$$I_{Cond} = 1 - 10^{(-3.26 + 1.34 \log_{10} Conductividad)}$$

**Fórmula 4. Subíndice de calidad conductividad eléctrica.**

Cuando  $I_{Cond} < 0$ , entonces  $I_{Cond} = 0$

Si  $pH < 4$ , entonces  $I_{pH} = 0.10$

Si  $4 \leq pH \leq 7$ , entonces:

$$I_{pH} = 0.02628419 * e^{(pH * 0.520025)}$$

**Fórmula 5. Subíndice de calidad para  $4 \leq pH \leq 7$**

Si  $7.1 < pH < 8.0$  entonces  $I_{pH} = 1$

Si  $8.1 < pH < 11$  entonces:

$$I_{pH} = 1 * e^{((pH-8)-0.5187742)}$$

**Fórmula 6. Subíndice de calidad para  $8.1 < pH < 11$**

Si  $pH > 11.1$  entonces  $I_{pH} = 0.10$

En el ENA (2010) el ICA es calculado como la sumatoria aritmética equiponderada de los cinco parámetros físico-químicos básicos mencionados anteriormente, los cuales son medidos en la Red de Referencia de Agua Superficial del IDEAM. A cada parámetro se le asigna una relevancia que puede variar según el tipo de análisis de calidad de agua que se quiera realizar (IDEAM, 2010). En la Tabla 5 se pueden ver los valores de relevancia de cada variable, utilizados en el cálculo del ICA para el ENA (2010).

**Tabla 5.** Ponderación de variables en el ICA (IDEAM, 2010).

Variable	Expresada como	Peso de importancia
Oxígeno disuelto, OD	% saturación	0,20
Sólidos en suspensión	mg/l	0,20
Demanda química de oxígeno, DQO.	mg/l	0,20
Conductividad eléctrica, C.E.	μS/cm	0,20
pH total	Unidades de pH	0,20

La red de referencia de Agua Superficial del IDEAM es la fuente de información primaria para realizar el cálculo de este índice. Dicha red consta de 154 estaciones en 90 corrientes ubicadas principalmente en la zona andina, en las cuales se hacen análisis anuales. Para tener una mejor representación de la situación general de calidad del agua se calcula el ICA promedio y el ICA valor mínimo a partir de los cinco parámetros: PSOD, DQO, conductividad eléctrica, SST y pH (IDEAM, 2010).

El procedimiento de cálculo de ICAFQ consta de una suma lineal ponderada de los subíndices de las cinco variables como lo muestra la Fórmula 7:

$$ICAFQ = \sum W_i I_i$$

#### **Fórmula 7. Índice de Calidad del Agua (ICA)**

Donde  $W$  es el peso en importancia otorgado a cada variable (Tabla 5),  $I_i$  es el subíndice de calidad de cada parámetro, acorde con las curvas funcionales o ecuaciones expresadas anteriormente en este numeral. El IDEAM calcula este índice para cada fecha de monitoreo, lo actualiza cada año y se espacializa en mapas de puntos (estaciones) con el valor promedio y el valor mínimo (peor del año) (IDEAM, 2010).

#### **3.1.2.3 Índice de uso del agua (IUA)**

Este índice permite conocer la cantidad de agua utilizada por diversos sectores en un periodo de tiempo y una región determinados con respecto a la oferta total de agua superficial. IDEAM (2010) afirma que en el cálculo del IUA se debería considerar tanto la oferta superficial como la subterránea, sin embargo, concluye que debido a la falta de información sobre agua subterránea, se considera únicamente la oferta superficial.

En los ENA anteriores al año 2010, este índice se ha llamado Índice de escasez y en cada estudio se ha calculado con diferentes precisiones en los factores de reducción, además se ha aplicado a unidades de análisis indistintas, lo cual ha creado confusión en la aplicación en diversas regiones. En el contexto internacional, se le conoce como *Relative Water Stress Index* (Unesco, sf), índice de presión o índice de explotación de agua o *Water Exploitation Index* (European Environment Agency y Naciones Unidas, sf).

El Índice de uso del agua se calcula por medio de la Fórmula 8, según IDEAM (2010):

$$IUA = \frac{Dh}{Oh} * 100$$

#### **Fórmula 8. Índice de uso de Agua (IUA)**

Donde,

Dh: Demanda hídrica sectorial

Oh: oferta hídrica superficial disponible (esta última resulta de la cuantificación de la oferta hídrica natural sustrayendo la oferta correspondiente al caudal ambiental).

La variable Dh se calcula como la sumatoria de los volúmenes de agua extraídos para usos sectoriales en un periodo determinado según la Fórmula 9:

$$Dh = Ch + Csp + Csm + Css + Cea + Ce + Ca + Aenc$$

#### **Fórmula 9. Demanda hídrica sectorial (Dh)**

Donde,

Dh: demanda hídrica

Ch: consumo humano o doméstico

$$Ch = P * I + pt$$

#### **Fórmula 10. Consumo humano doméstico (Ch).**

Donde,

P: Población

I: Intensidad del consumo



pt: pérdidas técnicas

Csp: consumo del sector agrícola

Csm: consumo del sector industrial

Css: consumo del sector servicios

Ce: consumo del sector energía

Ca: consumo del sector acuícola

Aenc: agua extraída no consumida

La oferta hídrica superficial se calcula según la Fórmula 11, según IDEAM (2010):

$$Oh = Oh_{Total} - O_{Qamb}$$

#### **Fórmula 11. Oferta hídrica superficial (Oh)**

Donde,

$Oh_{total}$  : volumen total de agua superficial en una unidad de análisis espacial y temporal determinada

$O_{Qamb}$  : volumen de agua correspondiente al caudal ambiental en la misma unidad de análisis espacial y de tiempo de la oferta total.

La oferta hídrica disponible se calcula a partir de condiciones hidrológicas de año medio y seco gracias a las series de caudales medios mensuales y anuales. Las condiciones secas se construyen a partir de los caudales mínimos de las series de caudales medios mensuales. La información requerida para su cálculo incluye series históricas de caudales diarios y mensuales de más de 15 años y la información de demanda por parte de los diversos sectores y usos. Este indicador es actualizado cada cuatro años (IDEAM, 2010).

El IUA expresa la presión ejercida por la demanda sobre la oferta hídrica y se categoriza en cinco rangos. En la Tabla 6 se registran los rangos y categorías según el concepto de Naciones Unidas y utilizado en los ENA 1998 y 2010.

**Tabla 6.** Categorización y rangos del IUA según el concepto de Naciones Unidas (IDEAM, 2010).

Rango (Dh/Oh)*100 IUA	Categoría IUA	Significado
>50	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20.01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10.01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1 - 10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Según IDEAM (2010), cuando la relación de la demanda sobre la oferta, en condiciones hidrológicas de año medio, sobrepasa el 20%, se deben iniciar acciones de conservación y ordenamiento de la cuenca afectada para prevenir emergencias en el abastecimiento y hacer un uso sostenible del recurso. Las zonas afectadas por una alta presión aumentan en condiciones de año seco o fenómenos extremos como el fenómeno del niño.

#### 3.1.2.4 Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (IVH)

El IDEAM (2010) lo define como “Grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas –como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno cálido del Pacífico (El Niño) – podría generar riesgos de desabastecimiento”.

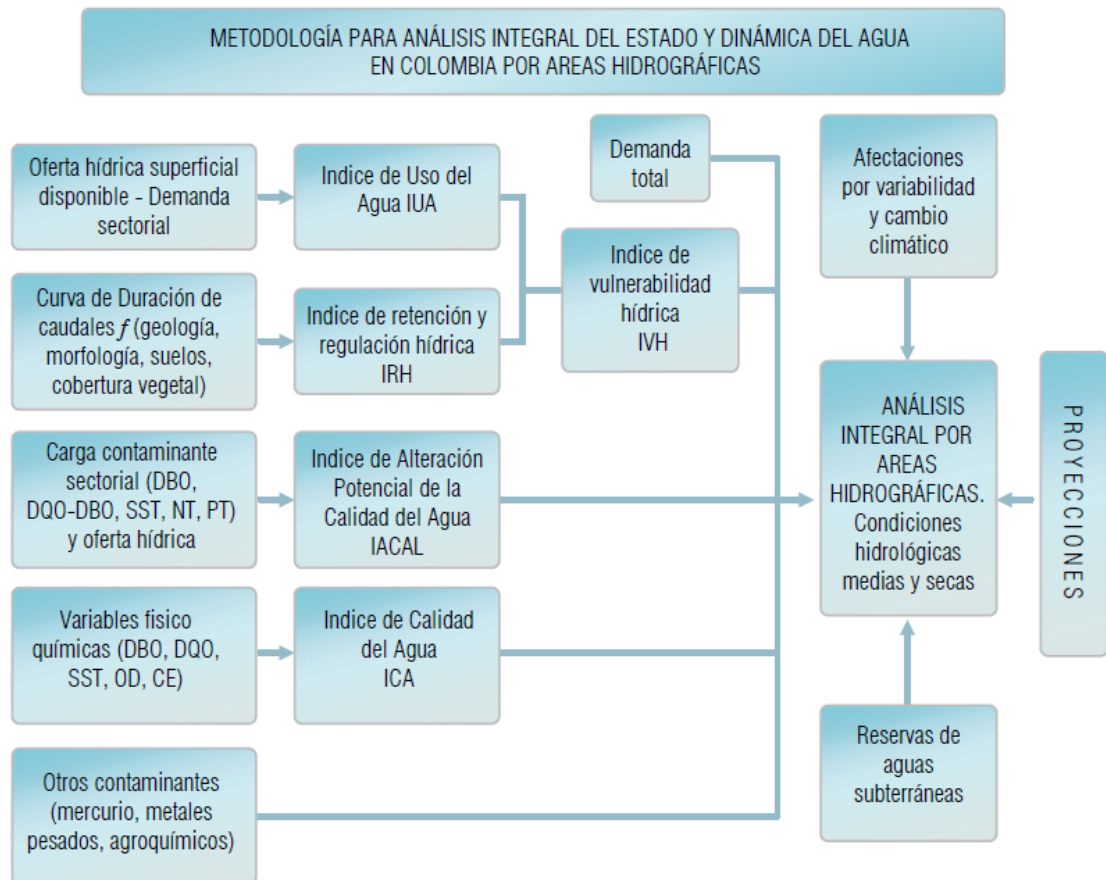
El IVH resulta a partir de una matriz que relaciona el IUA y el IRH tal como se muestra en la Tabla 7, según IDEAM (2010).

El IVH, al estar relacionado con el IUA y el IRH, es aplicable a las 309 subzonas hidrográficas objeto de estudio del ENA y se calcula principalmente para las fuentes hídricas que abastece los acueductos municipales. Se calcula anualmente para condiciones medias y secas, y se actualiza cada cuatro años (IDEAM, 2010).

**Tabla 7.** Matriz de relación entre el IUA y el IRH para obtener la categoría del IVH (IDEAM, 2010).

Categorías Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH)		
Índice de uso de agua	Índice de regulación	Categoría Vulnerabilidad
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy bajo	Muy alto
Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy bajo	Muy alto

Los índices IUA, IRH, IVH, IACAL e ICA mencionados anteriormente se calculan con el fin de realizar un análisis integral del estado y dinámica del agua en condiciones hidrológicas medias y secas. También se involucra en el análisis las afectaciones por variabilidad y cambio climático, las condiciones de la demanda, las presiones sobre la calidad y la presencia de aguas subterráneas (IDEAM, 2010). En la Figura 6 se muestra la metodología usada en el análisis por áreas hidrográficas en el ENA (2010).



**Figura 6.** Metodología para análisis integral del estado y dinámica del agua en Colombia por áreas hidrográficas (IDEAM, 2010)

### 3.2 INDICADORES PROPUESTOS EN LAS EVALUACIONES REGIONALES DEL AGUA (ERA)

El IDEAM en el año 2011 identificó la necesidad de realizar evaluaciones de las fuentes hídricas en unidades espaciales y temporales que brindaran un mayor detalle y resolución que las utilizadas por los ENA, manteniendo la coherencia con los procesos de GIRH a nivel nacional. Es por esto que el IDEAM, a través de la subdirección de hidrología, en el marco del Plan Estratégico de Investigación Ambiental (PENIA), en su función de caracterizar los recursos naturales abióticos en la nación, desarrolló la propuesta de realizar las ERA coherentes con las metodologías y resultados obtenidos en los ENA y en la PNGIRH (IDEAM, 2011).

El ENA (2010) ofreció una sólida base metodológica y de caracterización del recurso hídrico y permitió obtener pronósticos y estadísticas referentes al recurso a nivel nacional, orientando la formulación de la PNGIRH (2010) en temas tales como objetivos específicos de oferta, demanda, calidad de agua y riesgo asociado con la disponibilidad del recurso (IDEAM, 2011).

Según IDEAM (2011), la realización de las ERA y su aplicación en el ámbito regional permitirá a las autoridades ambientales tener más conocimiento sobre la demanda, disponibilidad, comportamiento y estado del agua, además de proveer información sobre presiones ejercidas sobre el recurso y escenarios futuros que permitan llevar a cabo una mejor GIRH. La actualización de las ERA será útil no solo en el mejoramiento de políticas regionales sino también servirá de base para los ENA.

En cuanto a los indicadores regionales propuestos para las ERA, se mantienen los seis indicadores del ENA (2010) mencionados anteriormente, y nueve índices adicionales que permiten profundizar en el tema de aguas subterráneas, calidad, presión demográfica, amenaza y vulnerabilidad del recurso hídrico causadas por la variabilidad climática. Los quince indicadores se aplicarán en las unidades de análisis determinadas por las corporaciones (IDEAM, 2011). A continuación se explican los indicadores propuestos a nivel regional en las ERA, además de los seis indicadores ya explicados anteriormente:

### **3.2.1 Indicadores de intervención antrópica**

- **Indicadores de Agua Superficial**

#### **3.2.2.1 Índice de macroinvertebrados acuáticos**

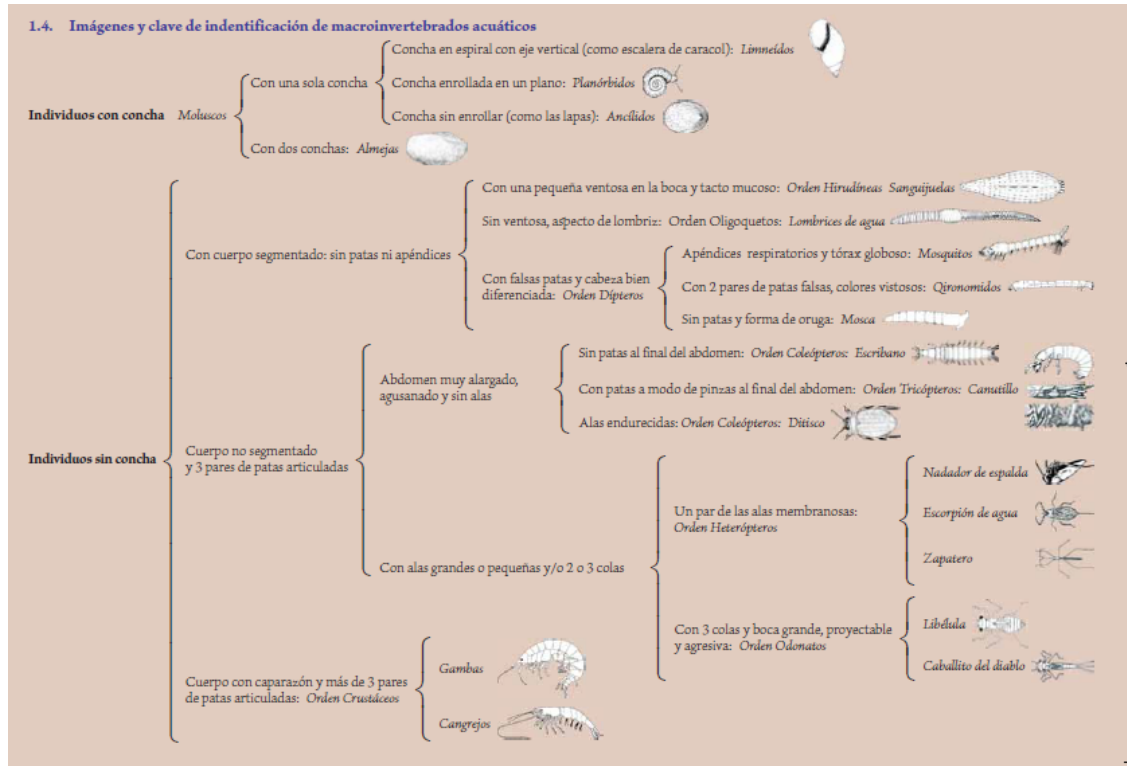
Los macroinvertebrados acuático han sido utilizados como indicadores de calidad del agua ya que tienen una gran diversidad de especies, por lo tanto un amplio rango de tolerancia a la contaminación, escasa movilidad que hace que no huyan ante fenómenos de contaminación, el muestreo es sencillo y la duración de sus vidas es de aproximadamente un año, por lo que brinda información sobre sucesos ocurrido en un río en ese periodo de tiempo (IDEAM, 2011).

Estos organismos son generalmente visibles al ojo humano (no menores a 0,5 mm y normalmente mayores a 3 mm). Entre ellos están incluidos los artrópodos como arácnidos, crustáceos e insectos, también los oligoquetos, hirudíneos y moluscos (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2008).

Gracias al conocimiento de las condiciones necesarias para la vida de las diferentes especies de macroinvertebrados, se pueden generar relaciones entre la presencia o ausencia de estos organismos y la calidad del agua del sitio muestreado (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2008).

Para realizar el cálculo del Índice de macroinvertebrados acuáticos se usa la Tabla 8 para la identificación y calificación de los individuos macroinvertebrados encontrados.

Se escribe la puntuación en la casilla correspondiente al número de muestreo y orden del individuo encontrado (no se debe tener en cuenta el número de individuos encontrados). Posteriormente se suman las puntuaciones de cada orden encontrado y se le da una valoración de la calidad del agua por el Índice de macroinvertebrados siguiendo la Tabla 9. En la Figura 7 se puede observar la clasificación de macroinvertebrados (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2008).



**Figura 7.** Identificación de macroinvertebrados acuáticos (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2008).

**Tabla 8.** Tabla utilizada en campo para la anotación de la presencia y puntuación de los macroinvertebrados acuáticos (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2008).

INDIVIDUOS	TAXONES	PUNTUACIÓN	PRESENCIA (anotar la puntuación de cada orden encontrado)														
			M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	M.13	M.14	M.15
Efimeras	Efemerópteros	8															
Perlas	Plecópteros	10															
Canutillos	Tricópteros	8															
Libélulas	Odonatos	8															
Cabalillos del diablo																	
Escribanos	Coleópteros	4															
Ditiscos																	
Moscas																	
Mosquitos	Dípteros	2															
Quironómidos																	
Escorpiones de agua																	
Nadadores de espalda	Heterópteros	5															
Zapateros																	
Sanguijuelas	Hirudíneos	4															
Lombrices de agua	Oligoquetos	2															
Gambas																	
Cangrejos	Crustáceos	5															
Limneidos																	
Planórbidos																	
Ancilidos	Moluscos	5															
Almejas																	
PUNTUACIÓN FINAL																	

**Tabla 9.** Valoración de la calidad del agua por el índice de macroinvertebrados (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2008).

Puntuación final	Calidad del agua
Mayor de 50	Muy buena
31-50	Buena
16-30	Moderada
6-15	Deficiente
Menor de 6	Mala

## 3.2.2 Indicadores de amenaza y vulnerabilidad

### 3.2.3.1 Índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales en fuentes abastecedoras (IVET)

Relaciona las características morfométricas de la cuenca, las cuales indican la torrencialidad de la misma, y las condiciones hidrológicas. Es decir, se expresa la vulnerabilidad en función del **Índice morfométrico de torrencialidad** y el **Índice de variabilidad**, los cuales al relacionarse muestran la vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IDEAM, 2011).

El índice morfométrico de torrencialidad, según IDEAM (2011), resulta de relacionar las variables de forma tales como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales brindan información sobre el modo en que se comporta la escorrentía, la infiltración, velocidad y arrastre de sedimentos y su capacidad de salir de la cuenca posteriormente a un evento de lluvias y así conocer la susceptibilidad de la cuenca frente a eventos torrenciales.

En la Tabla 10 se pueden ver las relaciones entre estas variables, donde se establecen cinco categorías. Las categorías del índice morfométrico en función de los parámetros pendiente media de la cuenca, densidad de drenaje y coeficiente de forma se muestran en la Tabla 11.

Un índice morfométrico alto indica que la cuenca reacciona violentamente ante lluvias intensas y de corta duración, este tipo de reacción se ve representada en avenidas torrenciales frecuentes (IDEAM, 2011). Una categoría alta por su parte representa cuencas con respuesta hidrológica rápida y que permite procesos torrenciales que ocurren en épocas lluviosas. Categorías medias representan respuestas moderadas-rápidas con avenidas torrenciales en las épocas de mayor precipitación en el año (IDEAM, 2011).



**Tabla 10.** Relaciones para categorizar el índice morfométrico (IDEAM, 2011)

Índice Morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (Km <sup>2</sup> )	Categorías				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (Km/Km <sup>2</sup> )	1:10.000	<15	<1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	2,51 – 3,00	> 3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 – 1,80	1,81 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 – 1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
			Baja	Moderada	Moderada	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	>75
	1:100.000	>50	<15	16 – 30	30 – 45	46 – 65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad			<1,625	1,376 - 1,500	1,251- 1,375	1,126 – 1,250	1,00 – 1,125
			Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval-redonda a oval-oblonga	Casi redonda a oval-redonda		

**Tabla 11.** Categorías del índice morfométrico (IDEAM, 2011).

		Pendiente media de la cuenca					
		1	2	3	4	5	
Densidad de drenaje	1	111	121	131	141	151	1
		112	122	132	142	152	2
		113	123	133	143	153	3
		114	124	134	144	154	4
		115	125	135	145	155	5
	2	211	221	231	241	251	1
		212	222	232	242	252	2
		213	223	233	243	253	3
		214	224	234	244	254	4
		215	225	235	245	255	5
	3	311	321	331	341	351	1
		312	322	332	342	352	2
		313	323	333	343	353	3
		314	324	334	344	354	4
		315	325	335	345	355	5
	4	411	421	431	441	451	1
		412	422	432	442	452	2
		413	423	433	443	453	3
		414	424	434	444	454	4
		415	425	435	445	455	5
	5	511	521	531	541	551	1
		512	522	532	542	552	2
		513	523	533	543	553	3
		514	524	534	544	554	4
		515	525	535	545	555	5

Muy Alta     
  Baja     
  Muy Baja  
 Alta     
  Moderada

El Índice de Variabilidad por su parte permite conocer el comportamiento de los caudales en la cuenca. Al tener mayor variabilidad entre los valores mínimos y máximos, la cuenca será más torrencial. Un ejemplo de cuenca con baja variabilidad y que no presenta eventos torrenciales es la correspondiente a ríos de llanura, donde hay poca pendiente y los cauces generalmente tienen la capacidad de transportar los caudales, los cuales son muy constantes. Por otro lado, las cuencas pequeñas con altas pendientes tendrán una mayor variabilidad de caudales (IDEAM, 2011).

El Índice de variabilidad es calculado mediante la Fórmula 12, según IDEAM (2011).

$$\text{Índice de variabilidad} = \frac{\log Q_i - \log Q_f}{\log X_i - \log X_f}$$

### Fórmula 12. Índice de variabilidad

Donde,

Qi y Qf: dos caudales tomados de la curva de duración de caudales

Xi y Xf: porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Qi y Qf respectivamente.

En la Tabla 12 se puede ver la clasificación de este índice, según IDEAM (2011)

**Tabla 12.** Clasificación del índice de variabilidad (IDEAM, 2011).

Índice de variabilidad	Vulnerabilidad
< 10°	Muy baja
10.1° - 37°	Baja
37.1° - 47°	Media
47.1°-55°	Alta
> 55°	Muy alta

Una vez calculado el Índice morfométrico y el Índice de variabilidad, se procede a la estimación del IVET, la Tabla 13 se muestra su clasificación a partir de los rangos de los índices morfométrico y de variabilidad (IDEAM, 2011).

**Tabla 13.** Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET) (IDEAM, 2011).

Índice de Variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

La información requerida para su cálculo son mapas de curvas de nivel o para una mejor resolución, los modelos digitales del terreno. Además es necesaria información climatológica de caudales diarios y de precipitación diaria, temperatura y evaporación mensuales para cuando no se tiene información sobre caudales. Con el fin de obtener información sobre las pérdidas por infiltración y escorrentía en la cuenca se usa cartografía con información geológica, geomorfológica, de cobertura del suelo y usos del suelo (IDEAM, 2011).

- **Indicadores de Agua Subterránea**

### 3.2.3.2 Índice de extracción de agua subterránea (IEAS)

Según IDEAM (2011) el IEAS se define como “extracción del agua subterránea en relación con la recarga media del acuífero o sistema acuífero”. La recarga indica la adición de agua al reservorio subterráneo proveniente de la precipitación, cuerpos de agua superficial, pérdidas de irrigación y filtraciones de sistemas de distribución y de abastecimiento de aguas urbanas y residuales. Los métodos usados para el cálculo de aguas subterráneas se extraen de publicaciones de la *International Association of Hydrogeologist* (IDEAM, 2011).

Se calcula siguiendo la Fórmula 13, según la *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO):

$$IEAS = \frac{E}{O_{rg}}$$

**Fórmula 13.** Índice de extracción de agua subterránea

Donde,

E: extracción de aguas subterráneas, tiene en cuenta el aprovechamiento por medio de pozos, aljibes, manantiales y otras formas de captación pública, agrícola, industrial u otros.

O<sub>rg</sub>:Oferta renovable de aguas subterráneas (recarga)

Se presenta dificultad a la hora de calcular la recarga debido a falta de información y de conocimiento sobre los sistemas acuíferos y dificultad para delinear las zonas de recarga (IDEAM, 2011).

La extracción total se puede calcular a partir de información proveniente de registros de concesión o expedientes de trámites relacionados con el recurso, inventario, Registro de Usuarios del Recurso Hídrico o consumos promedio por habitante/día en el caso de extracción para uso doméstico. La recarga depende de las condiciones hidrogeológicas y climáticas de la región, ésta variable es calculada a partir de balances hídricos, simulación numérica de la infiltración vertical, la aplicación la ley de Darcy para calcular rata recarga/descarga, mediciones de campo con pozos de observación, la aplicación de modelos hidráulicos de flujo de aguas subterráneas, entre otros. En la utilización de estos métodos son necesarias las series de precipitación y caudales de agua superficial, mapas del suelo e hidrogeológicos que representan la textura, la porosidad de roca, datos sobre la conductividad hidráulica del acuífero, nivel de las aguas subterráneas y dirección del flujo (IDEAM, 2011).

### 3.2.3.3 Índice de recarga con respecto a extracción total (IREAS)

Este indicador es el inverso del anterior y permite evaluar la intensidad de uso de la oferta renovable de aguas subterráneas (recarga). Se actualiza anualmente (IDEAM, 2011).

$$IREAS = \frac{Recarga}{Extracción\ Total}$$

**Fórmula 14. Índice de recarga con respecto a extracción total (IREAS)**

### 3.2.3.4 Índice de oferta renovable de aguas subterráneas con respecto a número de habitantes (IOASH)

Proporciona información sobre la disponibilidad de la oferta renovable de agua subterránea per cápita en una unidad de análisis (Fórmula 15) (IDEAM, 2011).

$$IOASH = \frac{\text{Recarga}}{\# \text{ habitantes}}$$

#### Fórmula 15. Índice de oferta renovable de aguas subterráneas con respecto a número de habitantes (IOASH)

La mayor dificultad que presenta el cálculo de este indicador es la disponibilidad de datos confiables respecto a los recursos de agua subterránea disponible en el área evaluada. La principal fuente de información sobre la población es el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (IDEAM, 2011).

### 3.2.3.5 Índice de agua subterránea para abastecimiento público con respecto al número de habitantes (IASAP)

Expresa el uso del agua subterránea para fines de abastecimiento público per cápita. Se actualiza anualmente (Fórmula 16) (IDEAM, 2011).

$$IASAP = \frac{\text{Agua subterránea para abastecimiento público}}{\# \text{ habitantes}}$$

#### Fórmula 16. Índice de agua subterránea para abastecimiento público con respecto al número de habitantes (IASAP)

### 3.2.3.7 Índice de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de aguas subterráneas (IVIAS)

Este indicador permite conocer la vulnerabilidad del sistema hídrico a ser contaminado en función de sus características intrínsecas (Fórmula 17) (IDEAM, 2011).

$$IVIAS = \frac{\sum \text{Áreas con diferente Clase de Vulnerabilidad}}{\text{Área Total}} * 100\%$$

#### Fórmula 17. Índice de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de aguas subterráneas (IVIAS)

La vulnerabilidad es una propiedad intrínseca del acuífero que depende de la sensibilidad del sistema a los impactos naturales y humanos. Las categorías de calificación propuestas en este índice por IDEAM (2011) se basan en las propiedades del suelo, litología y espesor de la zona no saturada. Las categorías son: **Acuíferos de alta vulnerabilidad, moderadamente vulnerables y Acuíferos de baja e insignificante vulnerabilidad.**

Para su cálculo se hace necesaria información sobre recarga neta, la capacidad del suelo de atenuación (en particular contenido de minerales de arcilla y materia orgánica, capacidad de intercambio iónico, textura y grosor), litología zona no saturada, el espesor y la conductividad hidráulica vertical, zona saturada litología (la consolidación y la estratificación) y la conductividad hidráulica, y tiempo de residencia de las aguas subterráneas (años). Esta información es proporcionada por el Servicio Geológico de Colombia, IDEAM, Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, las CAR, empresas de abastecimiento de agua y las redes de monitoreo de las aguas subterráneas nacionales (IDEAM, 2011).

### 3.2.3.8 Índice de presión demográfica (IPD)

Este índice relaciona el recurso hídrico con la población. Integra cinco indicadores: Indicador de distribución de la población, Indicador de la población habitante en zonas secas, Indicador de consumo doméstico (de consumo en actividades antrópicas), Indicador de crecimiento de la población y el Índice de presión o estrés hídrico. El valor del indicador se calcula como la sumatoria normalizada de los anteriores cinco indicadores. La información necesaria la provee el DANE, el Sisben, los registros de usuarios de los acueductos municipales y la Superintendencia de Servicios Públicos (IDEAM, 2011).

### 3.2.3.9 Índice Integral de Uso del Agua (IIUA)

Este índice expresa la presión ejercida por el uso del recurso hídrico respecto a la oferta disponible de aguas superficiales y la oferta renovable de aguas subterráneas o recarga, estas variables ya fueron explicadas anteriormente (IDEAM, 2011).

Se calcula según la Fórmula 18:

$$IIUA = \frac{D}{O_{rg} + O_d}$$

**Fórmula 18. Índice integral de uso de agua**

Donde,

D: demanda total sectorial

$O_{rg}$  = Oferta renovable de aguas subterráneas (recarga)

$O_d$  = Oferta agua superficial disponible

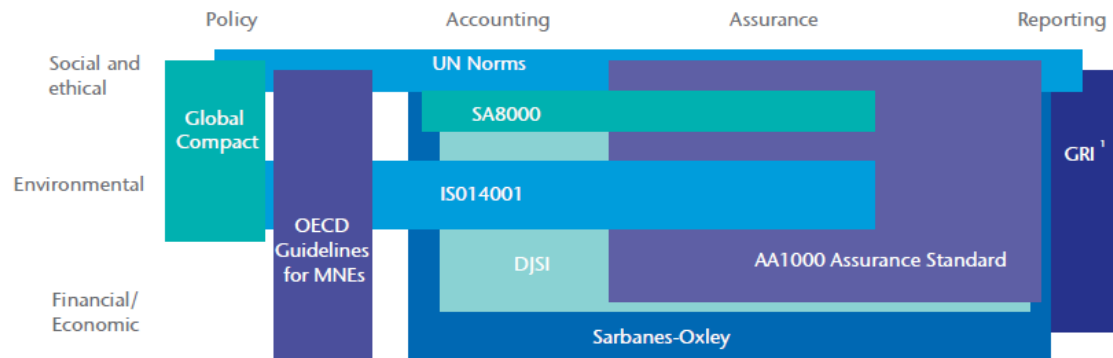
### **3.3 INDICADORES ASOCIADOS A LA GESTIÓN DEL AGUA EN LOS INFORMES DE SOSTENIBILIDAD EMPRESARIALES**

Existen una gran cantidad de guías y estándares creados con el objetivo de que las empresas puedan emprender el camino a la sostenibilidad, identificándola como una oportunidad para los negocios de ampliar su mercado, competitividad y tener un mayor valor agregado. Estas guías o estrategias explican cómo traducir el concepto de sostenibilidad en acciones prácticas y efectivas

En el informe “*Strategic challenges for business in the use of corporate responsibility codes, standards and frameworks*” realizado por AccountAbility (2004) para el *World Business Council for Sustainable Development Accountability and Reporting Working Group*, se exponen los cuatro pasos con los cuales una organización puede gestionar las tres dimensiones de su sostenibilidad empresarial: social y ética, medioambiental y económica. Estos pasos son, según AccountAbility (2004):

- 1. Formulación de políticas:** la primera etapa es el establecimiento de políticas que puedan permitir formular los objetivos y el enfoque de la organización respecto a la sostenibilidad, es también un mecanismo de comunicación interna y externa.
- 2. Contabilización:** en esta etapa se definen los indicadores medibles que posteriormente serán útiles en la evaluación del desempeño referente a la sostenibilidad de la organización.
- 3. Aseguramiento:** es importante para la organización asegurar que sus políticas se cumplen y están consiguiendo sus objetivos en materia del desempeño en sostenibilidad.
- 4. Comunicación:** mediante los reportes de sostenibilidad se informa a los actores internos y externos a la organización respecto a su desempeño en sostenibilidad.

En la Figura 8 se muestran gráficamente estos pasos. Además de los estándares mostrados en la Figura 8, existe la ISO 26000 que incluye todos los aspectos del diagrama por lo menos parcialmente (Gómez & Scade, 2012).



**Figura 8.** Ilustración gráfica de las tres dimensiones de la sostenibilidad empresarial junto con los pasos propuestos por AccountAbility (2004) y los estándares que determinan sus directrices (AcconutAbility, 2004).

Un estándar, marco de referencia o código es una iniciativa que busca influenciar el comportamiento de una organización con el fin de mejorar su desempeño sostenible. Están incluidos estándares que se pueden auditar, directrices, códigos de conducta, mecanismos de inversión, ya sean voluntarios o exigidos por la ley (AcconutAbility, 2004).

En este trabajo se tratarán algunos de los estándares referentes a la dimensión medioambiental ya que la gestión integral del recurso hídrico se encuentra incluida en ella.

### 3.3.1 *Global Compact: Pacto Mundial de las Naciones Unidas*

Es una iniciativa internacional voluntaria fundada en 1999 mediante la cual las organizaciones que hacen parte del pacto están comprometidas a cumplir los diez principios por medio de sus operaciones y actividades. Los diez principios incluyen temas de derechos humanos, normas laborales, medio ambiente y anticorrupción con el fin de dirigir la formulación de las políticas organizacionales. Los principios referentes a la sostenibilidad ambiental son, según AcconutAbility (2004):

1. Apoyar el enfoque preventivo frente a los retos medioambientales.
2. Promover una mayor responsabilidad ambiental.
3. Alentar el desarrollo y la difusión de tecnologías inocuas para el medio ambiente.

Las organizaciones que se adhieren al pacto deben publicar un informe de progreso anual en el cual se reportan los avances referentes a los diez principios, además de los resultados obtenidos y los objetivos a corto y largo plazo propuestos (AcconutAbility, 2004).



Este estándar dirige la formulación de políticas organizacionales en las dimensiones social y medioambiental. Respecto a la gestión del recurso hídrico, el *Global Compact* ha creado "*The CEO Water Mandate*", una iniciativa que pretende asistir a las organizaciones en el desarrollo e implementación de políticas y prácticas que permitan llevar a cabo una gestión sostenible del agua. En su formulación se hace énfasis en la transparencia y confiabilidad de la información comunicada por medio de los informes y se recomienda usar como indicadores de desempeño los propuestos por el *Global Reporting Initiative* (GRI) (The CEO Water Mandate, 2011), que serán expuestos más adelante.

### **3.3.2 Organization for Economic Co-operation and Development (OECD): directivas para empresas multinacionales**

Este estándar trata el paso de gestión de la formulación de políticas en las dimensión social y ética, medioambiental y económica (Gómez & Scade, 2012).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD por sus siglas en inglés) es una organización internacional, fundada en 1960 y compuesta por 34 países, que promueve políticas que mejoren las condiciones sociales y económicas de las personas alrededor del mundo (OECD, s.f).

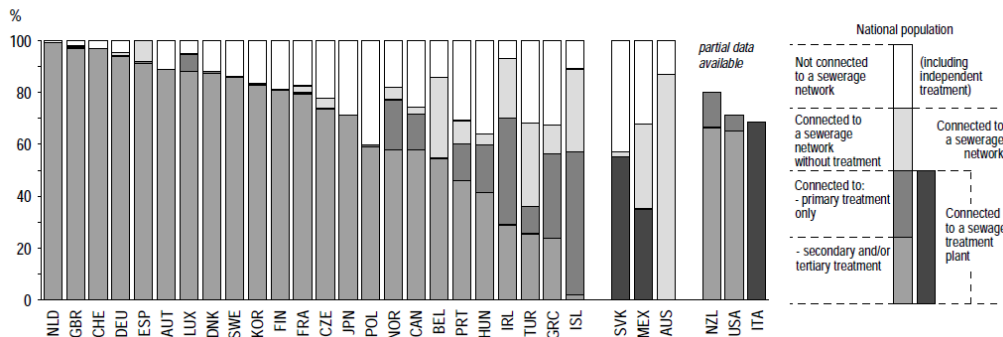
Esta organización crea directrices en la formulación de políticas organizacionales en las dimensiones social y ética, medioambiental y económica. Es similar a un código de conducta corporativo y es una referencia internacional respecto a las normas organizacionales. Los gobiernos que hacen parte se comprometen a promover el cumplimiento de dicho código por parte de las empresas en su territorio o empresas nacionales operando en el extranjero (AcconutAbility, 2004).

El OECD trata diversas dimensiones de la sostenibilidad, entre ellas la esfera ambiental, en la que se profundiza en elementos como biodiversidad, cambio climático, consumo e innovación, ambiente y desarrollo, ambiente y comercio, herramientas de evaluación ambiental, recurso hídrico, entre otros. Respecto al recurso hídrico, el secretario general del OECD Ángel Gurría afirma que "Las políticas referentes al agua alrededor del mundo poseen una necesidad urgente por ser reformuladas. El trabajo de OECD identifica las áreas en las que los gobiernos deben enfocar sus esfuerzos de reforma" (OECD, 2012). Para identificar los puntos donde los gobiernos y organizaciones deben centrarse en la formulación de políticas de sostenibilidad, la OECD propone diversos indicadores ambientales en temas como emisiones atmosféricas, calidad del aire, generación de desechos, recursos forestales, recursos energéticos, biodiversidad y recurso hídrico. Los indicadores propuestos por (OECD, 2008) referentes al recurso hídrico son:

## 1. Indicadores de calidad del agua

- Porcentaje de la población conectada a una planta de tratamiento de aguas residuales o Tasa de conexión a sistemas de tratamiento de aguas residuales:** es un indicador de calidad del agua. La cantidad de tratamientos secundarios y terciarios indican el esfuerzo que debe hacerse para disminuir las cargas contaminantes, sin embargo, al interpretar este indicador se deberían tener en cuenta factores como la tasa nacional óptima de conexión a plantas de tratamiento y condiciones propias del país tales como la población en áreas remotas, etc. Además se sugiere que se interprete en conjunto con otros de los indicadores de OECD como el gasto público destinado al tratamiento de aguas residuales y la calidad del agua en los ríos (OECD, 2008). La Figura 9 muestra algunos de los resultados obtenidos para este indicador en base a datos de OECD en 2006 para los países miembros.

### CURRENT STATE – WASTE WATER TREATMENT CONNECTION RATES

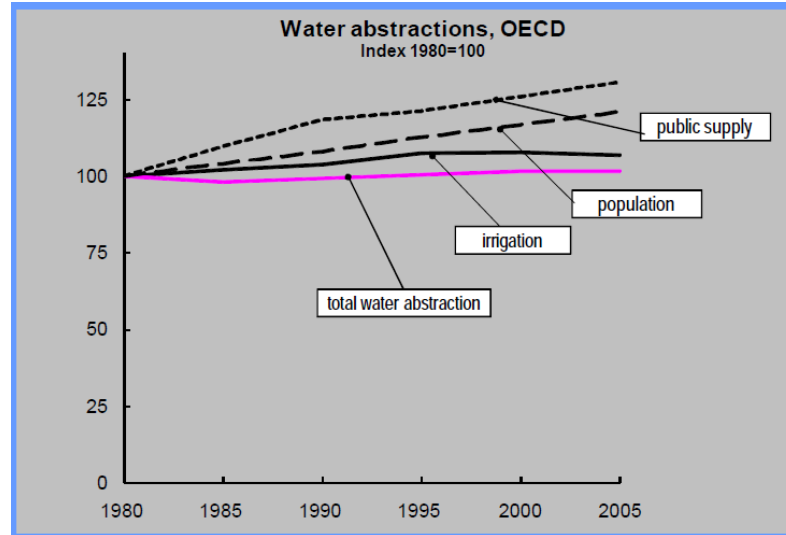


**Figura 9.** Tasas de conexión a plantas de tratamiento de aguas residuales en los países miembros de OECD (OECD, 2008)

- Eutrofización:** causada por las descargas de nitrógeno y fosforo en las aguas proveniente de fertilizantes en la agricultura y la ganadería se convierte en un indicador de la calidad del agua complementándola con la medición de DBO y concentraciones de Nitrógeno y Fósforo.
- Contaminación tóxica:** se determina a partir de las descargas de metales pesados y compuestos orgánicos provenientes principalmente de los pesticidas.
- Acidificación:** A partir de la medición de pH se determinan los valores críticos que indican el nivel de acidificación de las aguas.

## 2. Indicadores de intensidad de uso del agua

- Extracción bruta de agua per cápita



**Figura 10.** Extracción de agua en los países de OECD (OECD, 2008)

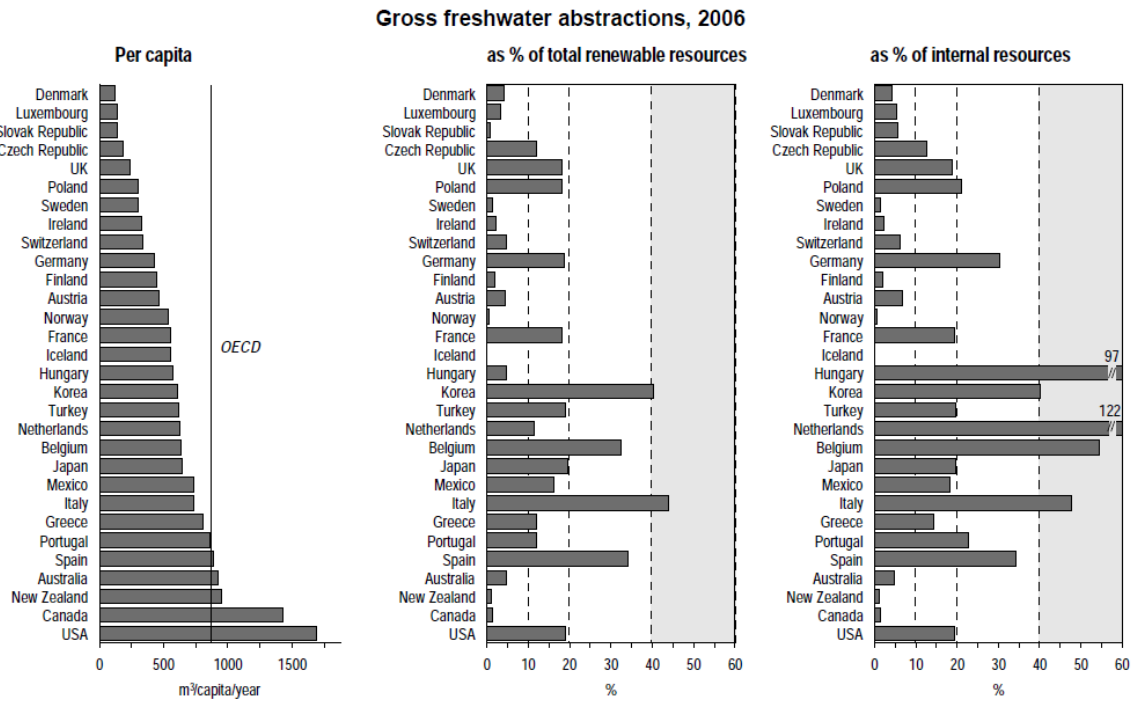
Este indicador se ha utilizado para identificar las alzas en la extracción de agua en los países miembros de OECD. Se puede ver en la Figura 10 que durante los años setenta se incrementó enormemente la extracción debido a la demanda creciente por parte de la agricultura y el sector energético, sin embargo, a partir de los años ochenta, los países han venido disminuyendo la extracción gracias a tecnologías de irrigación más eficientes, el declive de las industrias con uso intensivo de agua como la minería, el incremento de prácticas de producción limpia y la disminución de fugas en las redes de conducción. Por otro lado puede identificarse un incremento en el consumo de agua de alcantarillado (OECD, 2008).

Este indicador es también expresado por la OECD como **Porcentaje extraído del total de recursos de agua dulce disponibles** y **Porcentaje extraído del total de recursos internos disponibles (precipitación-evapotranspiración)**. Con estos dos últimos se puede determinar el estrés hídrico de una región así, según OECD (2008):

Porcentaje extraído del total de recursos de agua dulce disponibles o Porcentaje extraído del total de recursos internos disponibles:

- <10%: Estrés hídrico bajo
- 10-20%: Estrés hídrico moderado
- 20-40%: Estrés hídrico medio-alto
- >40%: Alto

Los resultados obtenidos por OECD en 2006 referentes a este indicador se muestran en la Figura 11. Es importante mencionar que al calcular este indicador a nivel nacional existen grandes variaciones a nivel territorial (OECD, 2012)



**Figura 11.** Extracción bruta de agua per cápita, en porcentaje del total de recursos disponibles y en porcentaje del total de recursos internos para los países miembros de la OECD en 2006 (OECD, 2008).

La OECD recomienda complementar el análisis de este indicador con indicadores como **Frecuencia, duración y extensión de las épocas de sequía** y **Precio del agua** (OECD, 2008).

### 3.3.3 AccountAbility (AA 1000): Estándar de aseguramiento

Este estándar dirige los pasos de gestión de la Contabilización, aseguramiento y comunicación en relación con las dimensiones social y ética, medioambiental y económica.

La serie AA1000 son estándares basados en principios que ayudan a las organizaciones en su rendición de cuentas, responsabilidad y sostenibilidad. Estos aspectos son reunidos en el término *Accountability*, el cual es muy conocido en el medio del aseguramiento del desempeño en sostenibilidad. En otras palabras *Accountability* es el reconocimiento, asunción de responsabilidad y transparencia en cuanto a los impactos generados por las políticas, decisiones, acciones, productos y desempeño de una organización (AccountAbility, 2008). Estos estándares dirigen temas como la gobernabilidad, modelo de negocio y estrategia organizacional, adicionalmente proporcionan una guía operacional de aseguramiento de la sostenibilidad y de las relaciones con los grupos de interés, de hecho fueron formulados en base a investigaciones sobre los grupos de interés de diversas organizaciones para asegurar que se diseñaran para todas las partes impactadas, no sólo las que obtienen un beneficio económico de la organización. Las guías del *AccountAbility* son actualmente utilizadas por empresas multinacionales, pequeñas y medianas empresas, gobiernos y sociedades civiles (AccountAbility, 2012).

Los principios *AccountAbility* para el desarrollo sostenible fueron formulados por primera vez en la Norma Marco de *Accountability* publicada en 1999. En el 2003 los principios fueron revisados y modificados resultando en el Compromiso con la Inclusividad en el cual los principios propuestos fueron Relevancia, Exhaustividad y Capacidad de Respuesta.

La norma vigente en la actualidad, la AA1000APS (2008), tiene como principio básico la Inclusividad y los principios de Relevancia y Capacidad de Respuesta. La Exhaustividad no está incluida como principio, sin embargo, se considera fundamental en el aseguramiento de la sostenibilidad ya que proporciona una referencia sobre el grado de cumplimiento de los tres principios (AccountAbility, 2008).

Los tres principios de AccountAbility AA1000 son:

**El Principio básico de Inclusividad:** es básico pues provee la base para alcanzar los demás principios. La organización debe ser inclusiva ya que por medio de la participación de sus grupos de interés, sobre los que tiene impacto y los que tienen impacto sobre ella, en la formulación y alcance de estrategias que mejoren la sostenibilidad de la organización. Además de la participación de sus grupos de interés, es importante la responsabilidad hacia ellos.

**El Principio de Relevancia:** la organización deberá identificar los temas relevantes, es decir los temas que influyen en las decisiones y desempeño de la empresa y de sus grupos de interés, con el fin de tomar buenas decisiones. En el proceso de determinación de la relevancia se tiene que asegurar una información exhaustiva, equilibrada, correcta, de fuentes correctas y de un periodo de tiempo pertinente (corto, medio o largo plazo).

**El principio de la capacidad de respuesta:** La organización deberá responder a los asuntos de los grupos de interés que afecten su desempeño en materia de sostenibilidad, la capacidad de respuesta consta de decisiones, acciones y desempeño y comunicación con los grupos de interés.

Los principios de *AccountAbility* permiten participar a los grupos de interés en la identificación, entendimiento y respuesta en temas referentes a la sostenibilidad. Adicionalmente obligan a las organizaciones a informar y dar respuesta a los grupos de interés acerca de las decisiones, acciones y desempeño. La norma *AccountAbility* AA1000 indica las acciones, promovidas por los principios, que debe llevar a cabo una organización responsable para establecer, evaluar y comunicar su *accountability*. Estas acciones, según *AccountAbility* (2008) deben estar orientadas a:

- Establecer una estrategia basada en un entendimiento exhaustivo y equilibrado y que responda a los temas relevantes y a los asuntos y preocupaciones de los grupos de interés;
- Establecer objetivos y normas para poder gestionar y evaluar su estrategia y el desempeño relacionado, y
- Divulgar información transparente sobre su estrategia, objetivos, normas y desempeño a aquellos que basan sus acciones y decisiones en esta información.

El alcance de estos estándares es el de formular los principios de *AccountAbility*1000 para cumplir los objetivos mencionados anteriormente, además de mejorar la gestión y entendimiento de su desempeño en sostenibilidad. Las normas indican el significado, interrelación y aplicación de dichos principios, sin embargo, no se proponen indicadores específicos de medición dentro de las organizaciones.

Las series de estándares AA1000 son, según *AccountAbility* (2012):

**Norma de Principios de *AccountAbility* AA1000APS (2008):** provee un marco de referencia para que una organización identifique, priorice y responda ante los desafíos de sostenibilidad

**Norma de Aseguramiento de Sostenibilidad AA1000AS (2008):** provee una metodología para evaluar el modo y el nivel de adhesión de una organización a los principios *AccountAbility*

**Norma de Compromiso de los grupos de interés AA1000SES:** provee un marco normativo para ayudar a las organizaciones a asegurarse del compromiso y cumplimiento de sus grupos de interés.

### **3.3.4 International Standards Organization (ISO)**

La Organización Internacional de Normalización (ISO) está compuesta por organismos nacionales de normalización a nivel mundial (ISO, 2004). En materia de sostenibilidad ISO ha desarrollado los estándares ISO 26000 e ISO 14001, siendo esta última certificable y auditable, mientras la ISO 26000 no lo es. Estos estándares son guías de actuación para las empresas.

### **3.3.4.1 ISO 26000**

Es una guía de responsabilidad social por lo tanto incluye consideraciones sociales y ambientales que deben influir en la toma de decisiones y rendición de cuentas de los impactos y actividades de la organización. A diferencia de la ISO 14001 este estándar no es un sistema de gestión, no es certificable o auditable y no está diseñada para ser de uso reglamentario (Meneses, 2013).

Las materias fundamentales tratadas por la ISO 26000 son:

- Gobernanza
- Derechos humanos
- Prácticas laborales
- Medio ambiente
- Prácticas justas de operación
- Asuntos de consumidores
- Participación activa y desarrollo de la comunidad

Cada una de las siete materias deben ser abordadas por una organización interesada en desarrollar una estrategia de sostenibilidad, y cada una de las materias tiene asociadas una serie de acciones específicas o asuntos para implementar (Meneses, 2013).

Respecto al medio ambiente, la ISO 26000 trata los siguientes asuntos, según ISO (2010):

#### **Asunto 1: Prevención de la contaminación**

Una organización puede mejorar su desempeño ambiental mediante la prevención de la contaminación. Este asunto incluye temas como emisiones al aire, vertidos al agua, gestión de residuos, uso y disposición de productos químicos, tóxicos y peligrosos y otras formas de contaminación. Además se proponen acciones dentro de las que se destacan para el alcance de este trabajo las siguientes, según ISO (2010):

- Identificación de las fuentes de contaminación y residuos relacionadas con sus actividades
- Medir, registrar e informar acerca de sus fuentes de contaminación significativas y reducir la contaminación, el consumo de agua, la generación de residuos y el consumo de energía
- Implementar medidas orientadas a la prevención de la contaminación

#### **Asunto 2: Uso sostenible de los recursos**

Se propone lograr mediante la eficiencia energética, conservación del agua, uso y acceso al agua, eficiencia en el uso de materiales y minimización de la exigencia de recursos de un producto, las acciones que se destacan son, según ISO (2010).

- Identificación de las fuentes de energía, agua y otros recursos utilizados
- Medir, registrar e informar sobre los usos significativos de energía, agua y otros recursos
- Implementar medidas que mejoren la eficiencia y reduzcan el consumo de agua, energía y otros recursos
- Reutilizar el agua lo máximo posible
- Gestionar el recurso hídrico para asegurar un acceso justo para todos los usuarios de la cuenca hidrográfica

### **Asunto 3: Mitigación del cambio climático y adaptación al mismo**

Para lograrlo se proponen acciones relacionadas con la medición, reducción y compensación de las emisiones, y el entendimiento y preparación para el cambio climático (ISO, 2010).

### **Asunto 4: Protección del medio ambiente, la biodiversidad y restauración de los hábitats naturales**

Los aspectos claves en este asunto son la valoración, protección y restauración de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas (alimento, agua, combustible, control de inundaciones, suelo, recreación, absorción de contaminación, etc.), uso de la tierra y de los recursos naturales de manera sostenible y fomento de un desarrollo urbano y rural ambientalmente sólido (ISO, 2010).

En general el estándar ISO 26000 propone la medición registro de información referente a la contaminación generada por las actividades de la empresa, consumo de agua, implementación de medidas que aumenten la eficiencia en el uso del recurso hídrico, medidas de prevención de la contaminación del mismo, aseguramiento del acceso justo al agua para todos los usuarios de la cuenca hidrográfica en la que están presentes y la protección y restauración de los ecosistemas estratégicos con fuentes de agua. Sin embargo, no se presentan indicadores específicos para llevar a cabo las mediciones y que sean base para la implementación de las medidas mencionadas anteriormente (ISO, 2010).

#### **3.3.4.2 ISO 14001**

Esta norma internacional contiene los requisitos para un sistema de gestión ambiental que le permita a una organización desarrollar e implementar una política ambiental y unos objetivos acordes con los requerimientos legales y la información sobre los aspectos ambientales significativos.

Un sistema de gestión ambiental permite desarrollar la política ambiental, establecer objetivos y procesos para alcanzar los compromisos de la política, tomar las acciones necesarias para mejorar su rendimiento y demostrar la conformidad del sistema con los requisitos de esta norma internacional (ISO, 2004).



Esta norma no propone indicadores, sin embargo, es enfática en el tema de seguimiento y medición. “La organización debe establecer, implementar y mantener los procedimientos para hacer el seguimiento y medición regular de las características fundamentales de sus operaciones que puedan tener un impacto significativo en el medio ambiente, esto con el fin de hacer seguimiento al desempeño establecido en los objetivos y metas ambientales de la organización” (ISO, 2004).

Referente al tema de huella hídrica, está en proceso de formulación la ISO 14046, la cual proveerá una metodología para el cálculo de la Huella Hídrica Corporativa, sobre esta se hablará en el numeral 3.4.1.1.

### **3.3.5 Dow Jones Sustainability Index (DJSI)**

Los pasos de gestión abarcados por este índice son los de Contabilización, aseguramiento y comunicación en las dimensiones social y ética, medioambiental y económica (Gómez & Scade, 2012).

Los Índices propuestos por *S&P Dow Jones* se dividen en: Índices de Equidad, Índices temáticos y Estratégicos, Índices de Evaluación alternativa por clases, Índices de Ingreso Modificado e Índices de portafolio Total. El Índice de Sostenibilidad *Dow Jones*, de interés en este trabajo, se encuentra dentro de la clasificación de Índices Temáticos y Estratégicos (S&P Dow Jones Indices, 2013).

La familia de indicadores DJSI fueron propuestos por primera vez en 1999 en colaboración con los índices de *RobecoSAM* y los Índices *S&P Dow Jones*. Estos indicadores reportan el desempeño de las compañías líderes en el mundo en temas económicos, ambientales y sociales, y conforman una plataforma que sirve de punto de referencia para inversionistas interesados en incluir compañías sostenibles dentro de sus portafolios y para las organizaciones que se interesan por primera vez en mejorar su sostenibilidad por medio de prácticas sostenibles (RobecoSAM, s.f).

Estas compañías son asesoradas por *RobecoSAM* por medio de la Evaluación de Sostenibilidad Corporativa (*Corporate Sustainability Assessment, CSA*), una metodología de gestión dirigida a que las organizaciones evalúen sus oportunidades y riesgos en materia económica, ambiental y social para que, por medio de la calidad, innovación y productividad, alcanzar una ventaja competitiva que genere valor a largo plazo (RobecoSAM AG, 2013).

Los Índices *Dow Jones* se enfocan en identificar y publicar los líderes con los mejores resultados de sostenibilidad en cada sector. En la metodología no se excluye ningún sector, las compañías son comparadas en la misma industria, se les otorga un puntaje de cero a cien y únicamente el 10% de las industrias con el mejor puntaje en cada sector son incluidas en el Índice Mundial de Sostenibilidad *Dow Jones*. Actualmente los índices *Dow Jones* conforman una de las más grandes bases de datos en sostenibilidad corporativa siendo útiles como referencia para inversionistas y organizaciones alrededor del mundo (RobecoSAM AG, 2013).

Todos los indicadores de sostenibilidad expuestos a continuación son determinados a partir de la CSA que realiza RobecoSAM. Esta es una herramienta útil en la identificación de las compañías mejor preparadas y con una más adecuada capacidad de respuesta ante oportunidades y riesgos relacionados con las tendencias mundiales en sostenibilidad. Esta evaluación consiste de un análisis anual del desempeño en sostenibilidad de más de 2000 compañías en el mundo. La metodología se basa en un cuestionario que se encuentra en el sitio web de *RobecoSAM* que debe ser justificado con documentación rigurosa de la empresa (RobecoSAM, s.f).

El cuestionario está compuesto por aproximadamente 100 preguntas referentes a temas económicos, ambientales y sociales, con énfasis en elementos específicos de las industrias que tienen influencia en la capacidad de la compañía de generar valor a largo plazo. Dentro de la dimensión ambiental del cuestionario, en relación con el recurso hídrico, se pide proporcionar únicamente información del **Uso Total de Agua** en las operaciones de la empresa en los años anteriores al reporte, además se debe indicar el porcentaje de cobertura de la información reportada y el objetivo de consumo para el año siguiente (RobecoSAM, 2011).

A continuación se explican los indicadores *Dow Jones* de sostenibilidad, los cuales se basan en la CSA de RobecoSAM.

#### **3.3.4.3 Índice Mundial de Sostenibilidad Dow Jones**

Se calculó por primera vez en 1999 e identifica los líderes corporativos a través de la CSA dentro de cada uno de los 57 grupos industriales. Las organizaciones son evaluadas en temas de estrategias de cambio climático, consumo de energía, desarrollo de recursos humanos, gestión del conocimiento, relación con los grupos de interés y gobernabilidad corporativa, se elige el 10% con los mejores resultados a partir de las 2500 compañías más grandes registradas en el Índice Global *Dow Jones* de Mercado Bursátil (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.4 Índice Mundial de Sostenibilidad Dow Jones Extendido**

Similar al índice anterior, este índice indica el 20% de las compañías que obtienen los mejores resultados en la CSA según *RobecoSAM* en términos económicos, ambientales y sociales. Este índice fue calculado por primera vez en 2010 (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.5 Índice de Sostenibilidad Dow Jones World 80**

Este indicador hace un seguimiento al desempeño de las compañías registradas en el índice Mundial de Sostenibilidad *Dow Jones* y compara a las mejores 80 empresas según su calificación en sostenibilidad. Fue calculado inicialmente en 2008 (D&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.6 Índice de Sostenibilidad Dow Jones World ex U.S. 80**

Este indicador sigue los mismos principios que el Índice de Sostenibilidad *Dow Jones World 80*, es decir, muestra las 80 mejores compañías registradas en el Índice mundial de Sostenibilidad *Dow Jones*, sin embargo, excluye las compañías estadounidenses. Se calculó inicialmente en 2008 (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.7 Índice de Sostenibilidad Dow Jones de Norte América**

El índice representa el 20%, de las 600 compañías más grandes en Norteamérica registradas en el Índice Global Dow Jones de Mercado Bursátil, con los mejores resultados en la CSA en cada uno de los 57 grupos industriales. Fue calculado por primera vez en 2005 (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.8 Índice de Sostenibilidad Dow Jones de Estados Unidos**

El índice representa el 20%, de las 600 compañías más grandes en Estados Unidos registradas en el Índice de Sostenibilidad Dow Jones de Norte América, con los mejores resultados en la CSA en cada uno de los 57 grupos industriales. Fue calculado por primera vez en 2005 (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.9 Índice de Sostenibilidad Dow Jones North America 40**

Este indicador hace un seguimiento al desempeño de las compañías registradas en el índice de Sostenibilidad Dow Jones de Norte América y compara a las mejores 40 empresas según su calificación en sostenibilidad. Fue calculado inicialmente en 2008 (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.10 Índice de Sostenibilidad Dow Jones United States 40**

Este indicador hace un seguimiento al desempeño de las compañías más grandes de Estados Unidos registradas en el índice de Sostenibilidad Dow Jones de Norte América y compara a las mejores 40 empresas según su calificación en sostenibilidad. Fue calculado inicialmente en 2008 (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.11 Índice de Sostenibilidad Dow Jones de Europa**

Este índice se compone de las compañías europeas líderes en sostenibilidad según la CSA de *RobecoSAM*. Representa al 20% de las 600 más grandes compañías europeas registradas en el Índice Global Dow Jones de Mercado Bursátil, con los mejores resultados en términos económicos, ambientales y sociales. Fue calculado inicialmente en 2010 (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.12 Índice de Sostenibilidad Dow Jones de la Eurozona**

Sigue los mismos principios que los índices anteriores, este índice identifica las compañías líderes en sostenibilidad en la eurozona a partir de las empresas registradas en el Índice de Sostenibilidad Dow Jones de Europa (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.13 Índice de Sostenibilidad Dow Jones Europe 40**

Este indicador hace un seguimiento al desempeño de las compañías más grandes de Europa registradas en el índice de Sostenibilidad Dow Jones de Europa y compara a las mejores 40 empresas según su calificación en sostenibilidad. Fue calculado inicialmente en 2010 (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.14 Índice de Sostenibilidad Dow Jones Eurozone 40**

Este indicador hace un seguimiento al desempeño de las compañías más grandes de Eurozona registradas en el índice de Sostenibilidad Dow Jones de la Eurozona y compara a las mejores 40 empresas según su calificación en sostenibilidad. Fue calculado inicialmente en 2010 (S&P Dow Jones Indices, 2013)

#### **3.3.4.15 Índice de Sostenibilidad Dow Jones de la zona Nórdica**

Este índice se compone de las compañías nórdicas líderes en sostenibilidad según la CSA de *RobecoSAM*. Representa al 30% de las más grandes compañías nórdicas registradas en el Índice Global Dow Jones de Mercado Bursátil, con los mejores resultados en términos económicos, ambientales y sociales. Fue calculado inicialmente en 2010 (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.16 Índice de Sostenibilidad Dow Jones de Asia y el Pacífico**

Este índice se compone de las compañías asiáticas líderes en sostenibilidad según la CSA de *RobecoSAM*. Representa al 20% de las 600 más grandes compañías en la zona desarrollada de Asia registradas en el Índice Global Dow Jones de Mercado Bursátil, con los mejores resultados en términos económicos, ambientales y sociales. Fue calculado inicialmente en 2009 (S&P Dow Jones Indices, 2013)

#### **3.3.4.17 Índice de Sostenibilidad Dow Jones Asia Pacific 40**

Este indicador hace un seguimiento al desempeño de las compañías más grandes de Asia registradas en el índice de Sostenibilidad Dow Jones de Asia y el Pacífico y compara a las mejores 40 empresas según su calificación en sostenibilidad. Fue calculado inicialmente en 2010 (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.18 Índice de Sostenibilidad de Mercados Emergentes**

Está compuesto por las compañías líderes en sostenibilidad en mercados emergentes según la CSA de *RobecoSAM*. El índice pretende mostrar el 10% de las 800 más grandes empresas en 20 mercados emergentes con los mejores resultados en los criterios de sostenibilidad mencionados anteriormente. Fue calculado por primera vez en 2013 (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.19 Índice de Sostenibilidad Dow Jones Japan 40**

Este indicador hace un seguimiento al desempeño de las compañías más grandes de Japón registradas en el Índice de Sostenibilidad Dow Jones de Asia y el Pacífico y compara a las mejores 40 empresas según su calificación en sostenibilidad. Fue calculado inicialmente en 2009 (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.20 Índice de Sostenibilidad Dow Jones de Corea**

Está compuesto por las compañías líderes en sostenibilidad en Corea del Sur según la CSA de *RobecoSAM*. El índice pretende mostrar el 30% de las 200 más grandes empresas registradas en el Índice Global Dow Jones de Mercado Bursátil con los mejores resultados en los criterios de sostenibilidad mencionados anteriormente. Fue calculado por primera vez en 2009 (S&P Dow Jones Indices, 2013).

#### **3.3.4.21 Índice de Sostenibilidad Dow Jones Korea 20**

Este indicador hace un seguimiento al desempeño de las compañías más grandes de Corea registradas en el Índice de Sostenibilidad Dow Jones de Corea y compara a las mejores 20 empresas según su calificación en sostenibilidad. Fue calculado inicialmente en 2009 (S&P Dow Jones Indices, 2013).

### **3.3.6 Global Reporting Initiative (GRI)**

El estándar más utilizado a nivel mundial para la realización de los informes de sostenibilidad empresarial es el propuesto por el GRI, organización sin ánimo de lucro creada en el año 1997 por la *Coalition for Environmentally Responsible Economies* (CERES) en conjunto con *United Nations Environment Program* (UNEP), con el fin de generar un marco de referencia para la generación de memorias de sostenibilidad y que la información sobre el desempeño económico, ambiental y social de las organizaciones sea comparable (Global Reporting Initiative, 2006).

Los informes de sostenibilidad, o memorias de sostenibilidad, están compuestos por la medición, divulgación y rendición de cuentas ante grupos de interés internos y externos a la organización con respecto al desarrollo sostenible, exponiendo la información relacionada al impacto económico, social y ambiental de la misma. Estos informes son útiles para los siguientes fines, según Global Reporting Initiative (2006):

- Estudio comparativo y valoración del desempeño en materia de sostenibilidad con respecto a leyes, normas, códigos, pautas de desempeño e iniciativas voluntarias
- Demostración de cómo una organización influye en, y es influida por, las expectativas creadas en materia de desarrollo sostenible
- Comparación del desempeño de una organización y entre distintas organizaciones a lo largo del tiempo

Es importante resaltar que la guía desarrollada por el GRI pretende ser aplicable a empresas de cualquier tamaño, sector o localización teniendo en cuenta consideraciones prácticas propias de diversas organizaciones. Sin embargo, la guía debe complementarse con los siguientes documentos también realizados por el GRI:

**Protocolos de Indicadores:** donde se brinda asesoramiento en la recopilación de información relacionada con los indicadores de desempeño propuestos en la guía.

**Suplementos sectoriales:** ofrecen información detallada de la aplicación de la guía en sectores específicos incluyendo indicadores de desempeño para el sector.

**Protocolos técnicos:** Proporcionan información adicional respecto a la elaboración del informe.

### **3.3.1.1 Indicadores referentes a la gestión del recurso hídrico según el GRI**

La Global Reporting Initiative (2006) se refiere a la dimensión ambiental de la sostenibilidad como los impactos que una organización tiene sobre los sistemas naturales vivos e inertes, incluidos los ecosistemas, el suelo, el agua y el aire. Los indicadores propuestos pretenden mostrar el desempeño en relación con los flujos de entrada (materiales, energía y agua) y de salida (emisiones, vertidos, residuos). Adicionalmente cubren el desempeño relacionado con la biodiversidad, cumplimiento legal ambiental y otra información como gastos ambientales e impactos de sus productos y servicios (Global Reporting Initiative, 2006).

Los aspectos ambientales sugeridos por el GRI y que deben ser considerados en el informe de gestión en la dimensión ambiental son: Materiales, Energía, Agua, Biodiversidad, Emisiones, vertidos y residuos, Productos y servicios, Cumplimiento normativo, Transporte y demás aspectos generales. Si la organización requiere de indicadores adicionales a los propuestos por GRI para manifestar los resultados obtenidos en relación con los objetivos formulados por la organización (Global Reporting Initiative, 2006).

Los indicadores referentes al recurso hídrico según el Global Reporting Initiative (2006) son:

- **Captación total de agua por fuentes**
- **Fuentes de agua que han sido afectadas significativamente por la captación de agua**
- **Porcentaje y volumen total de agua reciclada y reutilizada**

### 3.3.7 Otros indicadores de sostenibilidad corporativa referentes al recurso hídrico

Es importante resaltar que los estándares y normas mencionadas anteriormente son los más relevantes y usados a nivel mundial, sin embargo, existen infinidad de metodologías e indicadores que las mismas empresas formulan para controlar su desempeño en sostenibilidad. Otros indicadores referentes al recurso hídrico y los impactos de su uso y contaminación usados por las compañías son, según Lafontaine (2012):

#### Índices de estrés hídrico:

- **Water Deprivation:** es un indicador de estrés hídrico que expresa el impacto del consumo de agua sobre la disponibilidad del recurso. Es la relación entre el agua extraída y la disponibilidad de la misma, y tiene incluida la variabilidad de precipitaciones y capacidad de almacenamiento.
- **Veolia's Water Impact Index:** Expresa el cambio potencial en la disponibilidad de agua causada por el consumo y la degradación de la misma.

**Indicador de salud humana:** Indica el impacto sobre la salud humana de la escasez de agua para la agricultura, no para propósitos domésticos.

**Indicador de la calidad de los ecosistemas:** estima la pérdida de biodiversidad a causa de la disminución de la disponibilidad de agua en las diversas regiones.

**Eutrofización de agua dulce:** es una estimación de la pérdida de biodiversidad en el agua dulce a causa de la eutrofización debida a las emisiones de fósforo al aire, agua y suelo.

## 3.4 ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA, COMPONENTES Y APLICACIONES

### 3.4.1 Metodologías para la determinación de la huella hídrica

La Evaluación de huella hídrica incluye principalmente dos acercamientos: Corporativo y Territorial, dentro de las cuales se encuentran unidades de análisis más específicas como la huella hídrica de áreas geográficas delimitadas, de un producto, empresa, consumidor, sector productivo o grupo de consumidores. Las dos metodologías explicadas a continuación fueron formuladas basándose en estos dos acercamientos. La ISO 14046 se enfoca en el cálculo y análisis de la huella hídrica Corporativa, mientras que la metodología de *Water Footprint Network* presenta una metodología apta para el cálculo de la huella hídrica de un proceso, producto, grupo de consumidores, de un área geográfica, de una nación, de una cuenca hidrográfica u otras unidades administrativas y de una empresa.

### **3.4.1.1 ISO 14046**

Esta metodología será aplicable en el cálculo de huella hídrica corporativa y, aunque no está disponible actualmente pues se encuentra en proceso de formulación, existen algunos conceptos ya aceptados. Según Lafontaine (2012) esta metodología estará basada en el análisis de ciclo de vida (ACV), además incluirá un análisis de impactos y podrán surgir varios indicadores que considerarán la cantidad y calidad.

Tener un acercamiento a la evaluación de huella hídrica desde el ACV puede ofrecer beneficios importantes en la formulación de estrategias de respuesta a nivel corporativo. El ACV cuantifica los posibles impactos generados por actividades humanas, teniendo en cuenta diversos aspectos ambientales, entre ellos el recurso hídrico, y usa indicadores de impacto. La evaluación de huella hídrica por su parte, usa indicadores cuantitativos (volumen de agua) y está diseñada para apoyar la GIRH y analizar espacial y territorialmente la sostenibilidad ambiental, eficiencia y equidad en la distribución del recurso. Sin embargo esta última se contextualiza y permite conocer el impacto únicamente al compararla con la disponibilidad de agua en la región, o con la huella hídrica de otros productos o procesos, para así determinar la escasez hídrica a la que puede estar expuesta una región (Boulay, Hoekstra, & Vionnet, 2013).

De esta manera el ACV complementa la evaluación de huella hídrica al proveer indicadores de impacto que consideran aspectos ambientales adicionales al uso de agua, en áreas como salud humana, impactos sobre los ecosistemas y agotamiento de recursos naturales. Especialmente en la aplicación corporativa, el enfoque hacia la sostenibilidad del producto, ofrecido por el ACV, complementa el enfoque hacia la GIRH, ofrecido por la huella hídrica, permitiendo la contextualización de estos indicadores en un territorio con condiciones específicas. Adicionalmente el ACV ha permitido el enriquecimiento de bases de datos que pueden ser útiles en la recolección de información para la evaluación de huella hídrica, es por esto que un acercamiento desde el ACV facilita la formulación de estrategias de respuesta más efectivas (Boulay, Hoekstra, & Vionnet, 2013).

### **3.4.1.2 Water Footprint Network (WFN)**

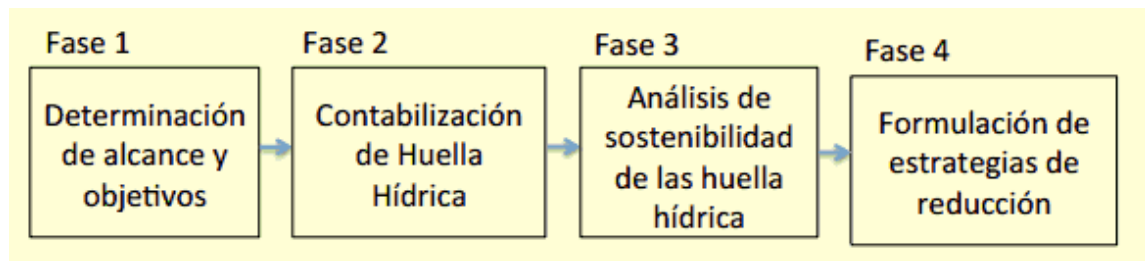
La metodología más usada en cuanto al cálculo y análisis del indicador de huella hídrica es la de *Water Footprint Network*, organización sin ánimo de lucro creada en 2008 bajo la ley alemana. Su objetivo principal es ser una red internacional de aprendizaje y creación de conocimiento referente a temas de sostenibilidad, equidad y eficiencia en el uso del agua (Water Footprint Network, 2013).

La Evaluación de huella hídrica propuesta por el *Water Footprint Network* es una herramienta analítica útil para entender como las actividades y productos se relacionan con la escasez de agua, la contaminación y los impactos ambientales, además de las acciones que se deberían tomar para evitar un uso no sostenible del recurso hídrico (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011).



Las etapas de la evaluación se muestran en la Figura 12, según Hoekstra et al. (2011)

1. Determinación de objetivos y alcance del estudio
2. Contabilización de la huella hídrica por unidad de estudio
3. Análisis de sostenibilidad de la huella hídrica
4. Formulación de estrategias de respuesta y reducción frente a los resultados de huella hídrica



**Figura 12. Desarrollo de la Metodología de Evaluación de Huella Hídrica (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011).**

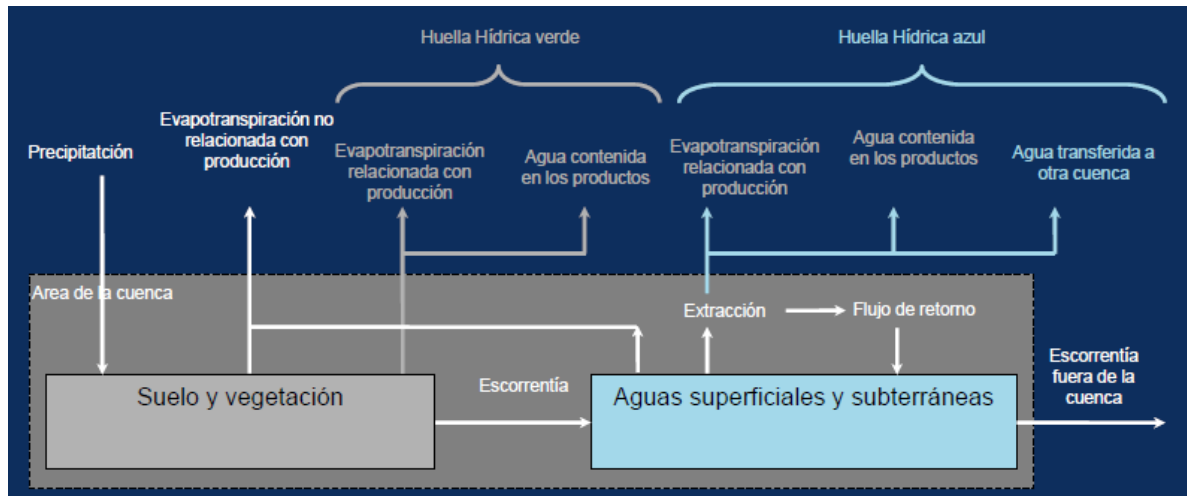
En la fase de contabilización se recolectan datos de campo y se realizan cálculos, el nivel de detalle de esta fase depende de las metas y el objetivo del análisis. La tercera etapa, Evaluación de la sostenibilidad, es donde la huella hídrica es evaluada desde la perspectiva ambiental, social y económica. En la etapa final se formulan estrategias y políticas. No es obligatorio llevar a cabo todas las fases, el punto al que se llegue en el análisis dependerá de los objetivos fijados en la fase inicial (Hoekstra et al., 2011).

### **3.4.2 Contabilización de Huella Hídrica y sus componentes**

La huella hídrica expresa la apropiación humana del agua en términos de volumen. El análisis se basa en el concepto de cuenca hidrográfica, es decir el área geográfica con sus ríos y afluentes donde toda el agua de escorrentía es dirigida a la misma salida de la cuenca. La disponibilidad total anual de agua en una cuenca es el volumen de precipitación y tanto el agua de escorrentía como el agua de evapotranspiración pueden ser usadas por el hombre. Históricamente el agua de escorrentía ha sido usada tanto para consumo como para desechar desperdicios, sin embargo, el recurso tiene limitaciones de extracción y una capacidad máxima de asimilación de contaminantes (Hoekstra et al., 2011).

La huella hídrica azul expresa el volumen de agua dulce extraído del total del agua de escorrentía. La huella hídrica gris se define como la cantidad de agua necesaria para asimilar los contaminantes, cuantificada como el volumen de agua necesaria para asimilarlos manteniendo los estándares de calidad de agua acordados. La huella hídrica verde se refiere al uso del agua almacenada en suelo y vegetación principalmente por la agricultura y las plantaciones forestales (Figura 13), es importante resaltar que la fuente de agua verde es el agua contenida en el suelo, agua que no llegará a los acuíferos subterráneos, sino que permanecerá en el suelo para el aprovechamiento por parte de las plantas.

La ventaja de este indicador radica en el hecho de que las diferentes formas de contaminación son transformadas a términos comunes: volumen de agua (Hoekstra et al., 2011).



**Figura 13. La Huella Hídrica azul y verde en relación con el balance hídrico en una cuenca (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011).**

La Figura 13 muestra gráficamente la relación entre los flujos de salida de agua de una cuenca y la huella hídrica verde y azul. Es importante resaltar que la huella hídrica está relacionada únicamente con las actividades productivas y económicas humanas, por lo tanto la evapotranspiración no productiva, es decir la evapotranspiración proveniente de la vegetación que no genera ingresos o beneficios económicos para el hombre o que no fue plantada específicamente con este objetivo, no hace parte de la cuantificación de huella hídrica.

### 3.4.2.1 Huella hídrica azul

Este es un indicador de consumo de agua “azul” o agua dulce superficial o subterránea, el uso de agua “azul” puede darse por una de las siguientes causas, según Hoekstra et al. (2011):

1. Agua evaporada
2. Agua incorporada en un producto
3. El agua que no regresa a la misma cuenca hidrográfica, es decir, es depositada en otra cuenca o al mar
4. El agua que no retorna en el mismo periodo de tiempo, por ejemplo es extraída en un periodo seco y regresa en periodo de lluvias

En general, el agua evaporada es la cantidad más significativa. El agua es un recurso renovable el cual, gracias al ciclo hidrológico, está en constante circulación, sin embargo, su disponibilidad no es ilimitada, la cantidad de agua subterránea y superficial en un determinado periodo de tiempo está limitada a cierta cantidad.

La huella hídrica azul mide la cantidad de agua consumida de la cantidad total disponible en un cierto periodo de tiempo. El agua subterránea y superficial no consumida por el hombre, permanece disponible para la sostenibilidad del ecosistema que depende del recurso (Hoekstra et al., 2011).

La huella hídrica azul de una actividad dentro de un proceso es calculada siguiendo la Fórmula 19, según Hoekstra et al. (2011):

$$HH_{proc,azul} = \frac{EvaporaciónAguaAzul + IncorporaciónAguaAzul + FlujoRetornoPerdido}{[Volumen/tiempo]}$$

### **Fórmula 19. Huella hídrica azul de un proceso**

El último término indica la parte del flujo de retorno que no está disponible para su uso en la misma cuenca en el mismo periodo de extracción, a causa de que es depositada en otra cuenca o en el mar o porque es devuelta en un periodo de tiempo diferente (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011).

La Fórmula 19 es la base para calcular la huella hídrica azul para cualquier unidad de estudio: producto, individuo, región, país, etc.

Dentro del análisis de huella hídrica azul se puede distinguir entre diferentes fuentes de agua azul: agua superficial, agua subterránea (renovable) y agua fósil, esta última es el agua que ha quedado encapsulada en acuíferos subterráneos debido a cambios en la geología del entorno. En la práctica es difícil diferenciar entre la huella hídrica azul clara (agua azul superficial), huella hídrica azul oscura (agua subterránea renovable) y huella hídrica negra (agua fósil) debido a la falta de información.

En procesos industriales y agrarios es importante el uso de bases de datos estandarizadas y estadísticas respecto al uso de agua en diferentes productos, cultivos, etc. además de la ayuda de modelos que representen el balance hídrico relacionando variables climáticas, del suelo, características de los cultivos e irrigación (Hoekstra et al., 2011).

#### **3.4.2.2 Huella hídrica verde**

Este indicador se refiere al uso humano de agua verde. El agua “verde” es el agua de la precipitación que no se convierte en escorrentía superficial ni en recarga de las aguas subterráneas, sino que se almacena en el suelo, o se deposita temporalmente en la superficie del suelo o en la vegetación, esta agua posteriormente se evapora o es transpirada por las plantas. Este tipo de agua puede ser usada por los cultivos, sin embargo, no toda el agua verde tiene este propósito ya que siempre ocurre evaporación y no todas las áreas son aptas para cultivar (Hoekstra et al., 2011).

La huella hídrica verde es el volumen de agua lluvia consumida durante el proceso productivo de productos agrícolas y forestales especialmente y se calcula mediante la Fórmula 20, según Hoekstra et al. (2011):

$$HH_{proc,verde} = EvaporaciónAguaVerde + AguaVerdeIncorporada(Biomasa)$$

#### **Fórmula 20. Huella hídrica verde de un proceso**

Se expresa en unidades de Volumen/tiempo, además la huella hídrica verde es aplicable únicamente a actividades agrícolas, pecuarias y forestales.

La razón por la que se diferencia entre huella hídrica azul y verde es porque los impactos hidrológicos, sociales y ambientales, además del costo del uso de agua superficial y subterránea difieren en gran medida respecto a los impactos y costo del uso de aguas lluvias almacenadas en el suelo (Hoekstra et al., 2011). Es importante resaltar que el agua verde es agua almacenada en el suelo y no aporta en la alimentación de acuíferos superficiales o subterráneos.

El consumo de agua verde se calcula a partir de fórmulas empíricas o con la ayuda de modelos capaces de estimar la evapotranspiración a partir de datos climáticos, del suelo y características de los cultivos (Hoekstra et al., 2011).

#### **3.4.2.3 Huella hídrica gris**

La huella hídrica gris indica el nivel de contaminación de las aguas asociado a un proceso o actividad. Se define como el volumen de agua requerida para asimilar la carga contaminante con base en las concentraciones naturales del medio y los estándares establecidos sobre calidad del agua en dicho medio. La contaminación del recurso hídrico se expresa en este caso en términos de volumen de agua requerida para asimilar la carga contaminante hasta que ésta no cause efectos adversos en el medio. Se calcula según la Fórmula 21, según Hoekstra et al. (2011):

$$HH_{proc,gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}}$$

#### **Fórmula 21. Huella hídrica gris de un proceso**

Dónde:

L: carga contaminante [masa/tiempo]

$C_{max}$ : concentración máxima aceptable del contaminante [masa/volumen]

$C_{nat}$ : concentración natural del contaminante presente en el cuerpo de agua [masa/volumen]

Los estándares establecidos sobre calidad del agua en un acuífero generalmente se formulan en la legislación nacional o local, sin embargo, no existen para la totalidad de las sustancias y lugares, por lo tanto es necesario mencionar qué estándares se usaron en el cálculo de la huella hídrica gris (Hoekstra et al., 2011).

Una huella hídrica mayor a cero no indica que los estándares de calidad de agua se hayan violado, indica que parte de la capacidad de asimilación ha sido utilizada. Por otro lado, cuando la huella hídrica gris es igual a la cantidad de agua que fluye por un cuerpo de agua, la concentración del contaminante será igual a la concentración estándar.

Cuando la carga descargada por un proceso o actividad tiene un alto contenido de compuestos químicos, es posible que su huella hídrica supere la cantidad de agua que fluye por el cuerpo de agua o el flujo de agua subterránea, es decir, la contaminación supera la capacidad de asimilación del cuerpo de agua receptor. Es importante resaltar que la huella hídrica gris no indica la cantidad de agua contaminada, sino que es un indicador de la severidad de la contaminación en el recurso hídrico, expresada en términos de volumen de agua necesario para asimilar la carga contaminante descargada (Hoekstra et al., 2011).

A partir de lo dicho anteriormente, se concluye que la capacidad de asimilación de un cuerpo de agua está limitada por la diferencia entre la concentración máxima permitida y la concentración natural del contaminante. La carga crítica se refiere a la situación donde la capacidad de asimilación del contaminante ha sido completamente consumida. En el punto de la carga crítica, la huella hídrica gris es igual a la cantidad de agua disponible en el acuífero. La carga crítica puede ser calculada según la Fórmula 22:

$$L_{crit} = R * (C_{max} - C_{nat}) \quad \left[ \frac{\text{masa}}{\text{tiempo}} \right]$$

**Fórmula 22. Carga crítica en la huella hídrica gris**

El concepto de carga crítica expresa la máxima cantidad de un contaminante que puede ser vertida en un cuerpo de agua para que éste tenga y siga teniendo los estándares de calidad de agua requeridos para dicho contaminante (Hoekstra et al., 2011).

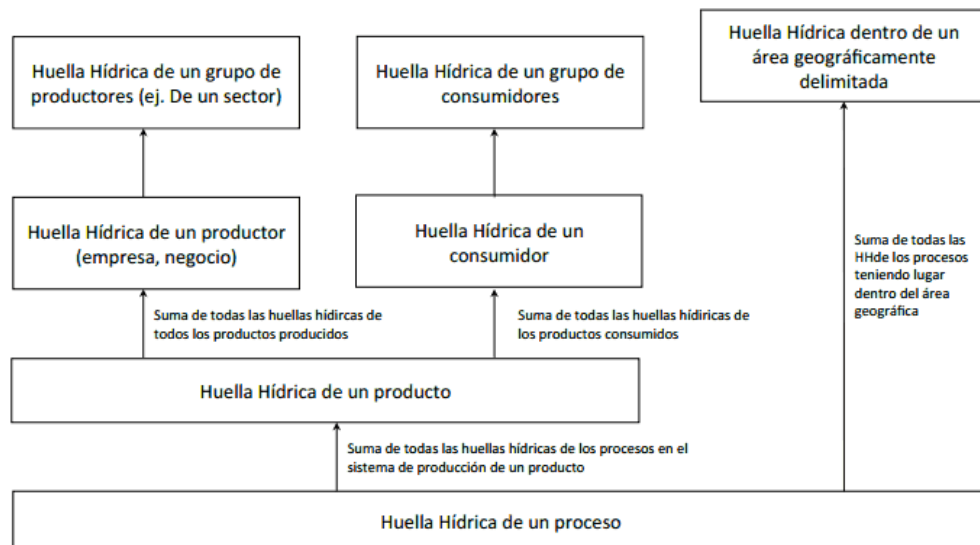
### 3.4.3 Aplicaciones de la huella hídrica

Como se puede ver en la Figura 14, la huella hídrica de un proceso es la base de las dos perspectivas principales del análisis de huella hídrica: la perspectiva territorial y la perspectiva corporativa. Cuando se calcula la huella hídrica de una zona geográfica se tienen en cuenta todas las actividades que tienen lugar dentro de dicha zona; así que si se habla por ejemplo de la huella hídrica de la cuenca del río Porce en el sector industrial, se deberán tener en cuenta únicamente las actividades de las cadenas de suministro que se encuentren dentro del área de la cuenca.

Por otro lado si se habla de la huella hídrica corporativa, que incluye la huella hídrica de un producto, empresa, consumidor, sector productivo o grupo de consumidores, se tendrán en cuenta la totalidad de las actividades que componen la cadena de suministro de los productos consumidos o producidos sin delimitación de área geográfica; así que al hablar de huella hídrica del sector industrial en la cuenca de río Porce, se considerarán en el cálculo las huellas hídricas de las actividades que hacen parte de toda la cadena de suministro de cada una de las industrias ubicadas en la cuenca.

La huella hídrica de un producto es la suma de las huellas hídricas de cada actividad de su proceso productivo, considerando toda la cadena de producción y suministro. La huella hídrica de un consumidor es la suma de las huellas hídricas de todos los productos que el individuo consume. La huella hídrica de una comunidad es la suma de las huellas hídricas de sus miembros. La huella hídrica del consumo nacional es la suma de las huellas hídricas de sus habitantes. La huella hídrica de una empresa es la suma de las huellas hídricas de sus productos o servicios finales. Por último la huella hídrica de una área geográfica es la suma de la huella hídrica de todas las actividades y procesos que se llevan a cabo en dicha área (Hoekstra et al., 2011). Es precisamente el enfoque territorial de la huella hídrica el que se quiere resaltar en este trabajo.

En cada una de las unidades de análisis se puede hablar de huella hídrica directa e indirecta. La huella hídrica total de un consumidor es la suma de su huella hídrica directa e indirecta. Para el ejemplo de la carne, la huella hídrica directa del consumidor es la cantidad de agua utilizada o contaminada en el proceso de preparación y cocción de la carne. La huella hídrica indirecta de este consumidor dependerá de la huella hídrica directa del proveedor que vende la carne, quien prepara la carne antes de venderla, el ganado de donde proviene el animal y los alimentos cultivados para la alimentación de dicho ganado (Hoekstra et al., 2011).



**Figura 14.** Huella hídrica de Proceso como bloque básico de las dos perspectivas de la huella hídrica (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011).

La huella hídrica puede expresarse en unidades de volumen por unidad de tiempo o volumen de agua por unidad de producto. Cuando se habla de un proceso se usa generalmente volumen de agua por unidad de tiempo, sin embargo, también puede ser expresada en volumen por unidad de producto. La huella hídrica de un producto siempre se expresa en esta última unidad. Por otro lado, la huella hídrica de un consumidor o productor o en una zona geográfica se expresa siempre en volumen de agua por unidad de tiempo (Hoekstra et al., 2011).

#### **3.4.4 Limitaciones del cálculo y la aplicabilidad de la huella hídrica**

La huella hídrica permite identificar los puntos críticos donde las operaciones o los productos de una compañía no son sostenibles para el ecosistema, por lo tanto es la base para la formulación de acciones de reducción y mitigación de los impactos asociados al recurso hídrico. Sin embargo, no resulta ser un indicador que brinde integralidad si no se complementa con otros indicadores relacionados con las condiciones sociales, económicas y políticas de la unidad de análisis. La huella hídrica aborda asuntos relacionados con la escasez hídrica y la calidad del agua, sin embargo, su alcance no contiene temas relacionados con eventos de inundación, infraestructura para el abastecimiento de agua potable en comunidades, institucionalidad en la cuenca u otros aspectos ambientales diferentes a la escasez. Se evidencia, entonces, la necesidad de considerar adicionalmente otros indicadores- ambientales, sociales, institucionales, culturales, políticos y económicos- que den una visión integral de todos los aspectos involucrados en la gestión integral del recurso hídrico para que se pueda llevar a cabo adecuadamente el proceso de toma de decisiones tanto a nivel empresarial como a nivel gubernamental.

Una apropiada gestión del recurso hídrico se debe emprender desde una visión holística de la cuenca y sus interacciones internas, teniendo en cuenta a los diferentes actores relacionados con el recurso hídrico con los cuales se comparte la responsabilidad del uso sostenible del agua, para lograr la cooperación entre las partes es necesario conocer las características de la región más allá de su disponibilidad y demanda hídrica, es necesario relacionar el aprovechamiento del agua con temas como el cambio climático, fragmentación y deterioro de ecosistemas abastecedores, cambios en el uso del suelo, pobreza, entre otros y el análisis de huella hídrica no brinda este nivel de profundidad.

Un elemento que se hace evidente en el análisis de huella hídrica es su enfoque hacia el agua dulce. Colombia posee ecosistemas marinos de gran importancia en el desarrollo económico y social de las regiones y el indicador de huella hídrica no contiene una propuesta de evaluación del aprovechamiento y contaminación del agua en este tipo de ecosistemas.

Por otro lado, la falta de información y de líneas base respecto a oferta, demanda, calidad y riesgos asociados al recurso hídrico, transformaciones de origen antrópico y sus efectos en la calidad, las amenazas y las vulnerabilidades en ecosistemas, las potencialidades y restricciones de sistemas hídricos para el abastecimiento de las poblaciones y el aprovechamiento por parte de los diferentes sectores productivos del país, es el aspecto que, en Colombia, limita en mayor medida el desarrollo de análisis de huella hídrica a

nivel empresarial y territorial. El carácter global de la huella hídrica y la necesidad de extender la evaluación a lo largo de la cadena de suministro requiere la disponibilidad de datos de múltiples sectores y actividades, lo cual, además de limitar la capacidad de las instituciones de conocer en detalle sus impactos en fuentes hídricas y ecosistemas, causa una carencia de regulaciones y estrategias que permitan hacer un uso eficiente y responsable del agua en las cuencas colombianas.

Un aspecto que debe resaltarse es que a diferencia de otros recursos, el agua tiene un carácter variable espacial y temporalmente, dependiendo de las condiciones hidrológicas y ambientales, las empresas deben adaptar sus operaciones a períodos de sequía o inundación. A la huella hídrica le falta detalle respecto a la variabilidad en el uso del recurso en diferentes operaciones a lo largo del tiempo; existen variaciones en la producción, precipitación, entre otros, que le dan incertidumbre al análisis. La calidad y disponibilidad de la información es otra fuente de incertidumbre, por lo cual los resultados deben ser interpretados cuidadosamente. De hecho *The Water Footprint Network* (2011) resalta la importancia de tener indicadores que muestren la magnitud de la incertidumbre en el análisis de huella hídrica.

Por otro lado, el concepto de huella hídrica se trató principalmente en el mundo académico desde 2002 y fue involucrado en el mundo empresarial, gubernamental y social en 2007, por lo tanto los antecedentes y la experiencia que se tiene es limitada, pocas empresas en el mundo han decidido emprender este análisis con el fin de evaluar sus riesgos hídricos y en muchos casos la información no es comunicada en su totalidad, limitando aún más la disponibilidad de datos y experiencias.

### **3.5 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LA HUELLA HÍDRICA COMO INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD**

#### **3.5.1 Identificación de coincidencias y diferencias entre la huella hídrica y los indicadores tradicionales**

Como se ha dicho anteriormente, el concepto de huella hídrica tiene en cuenta el consumo directo e indirecto de agua, considerando el consumo como el agua evaporada e incorporada en el proceso o producto. Es esta concepción de consumo lo que hace a la huella hídrica un indicador que ofrece complementariedad a los indicadores tradicionales que caracterizan el estado de los recursos hídricos y su relación con las actividades antrópicas, los cuales consideran el consumo como la extracción de agua superficial o subterránea (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, 2013)

Tradicionalmente se han formulado indicadores para facilitar la gestión integral del recurso hídrico desde la perspectiva de la demanda del mismo por las diferentes actividades humanas, es decir, cuantificando la extracción y el uso sin tener en cuenta el flujo que retorna a las fuentes hídricas en el mismo periodo de tiempo y el agua reciclada o reciclada en el mismo u otro proceso.



El valor agregado que ofrece el indicador de huella hídrica consiste en el hecho de que cuantifica el uso del agua teniendo en cuenta el consumo real, es decir, la pérdida de volumen disponible, además de discriminar este consumo según su origen, ya sea agua verde o agua azul. Es esta la principal diferencia entre la huella hídrica y los indicadores tradicionales utilizados en la gestión integral del recurso hídrico en Colombia.

A continuación se enuncian las relaciones principales identificadas entre los tres componentes de la huella hídrica y los indicadores tradicionales usados en el ENA (2010) (Tabla 14) y los propuestos en las ERA (Tabla 15).

**Tabla 14. Relaciones entre la Huella hídrica y los indicadores ya evaluados en Colombia en el ENA**

Huella Hídrica	Indicadores ya evaluados en Colombia
Azul	IUA
	IVH
Verde	IA
Gris	IACAL
	ICA

**Tabla 15. Relaciones entre la Huella hídrica y los indicadores futuros propuestos para Colombia en las ERA**

Huella Hídrica	Indicadores futuros propuestos para Colombia
Azul	IEAS
	IREAS
	IOASH
	IASAP
	IIUA
Huella Hídrica	IPD

### 3.5.1.1 Huella hídrica azul e Índice de uso del agua (IUA)

Tabla 16. Huella Hídrica azul e IUA

	Huella Hídrica azul	IUA
<b>Definición</b>	Consumo de agua superficial o subterránea para satisfacer la demanda originada en un proceso. Requiere de intervención humana	Cantidad de agua superficial utilizada por diversos sectores en un periodo de tiempo y una región determinados con respecto a la oferta total de agua superficial
<b>Variables</b>	Evaporación, incorporación y transvase de agua azul, cantidad producida	Demanda hídrica sectorial, oferta hídrica superficial, caudales ambientales
<b>Información requerida</b>	Agua extraída (% acueducto, lluvia, subterránea y superficial) y vertida, cantidad producida, Consumos por fuente. En hidroeléctricas: evaporación	Caudales medios mensuales y anuales de más de 15 años; Demanda por sectores
<b>Ecuación</b>	$\begin{aligned} & \text{Evaporación Agua Azul} \\ & + \text{Incorporación Agua Azul} \\ & + \text{Flujo Retorno Perdido} \end{aligned}$	$\frac{\text{Demanda sectorial}}{\text{Oferta}} * 100$
<b>Aplicación</b>	Se calcula para un territorio, una persona, un grupo de personas, un producto, un productor o una empresa	Se calcula para regiones teniendo en cuenta todos los sectores
<b>Unidad</b>	Volumen/tiempo, Volumen/masa, Volumen/unidad productiva, Volumen/habitante	%
<b>Otras</b>	Expresa la presión de la demanda, es decir el impacto sobre la oferta de agua	
	El resultado se compara con la oferta total de agua azul para determinar la sostenibilidad de la huella hídrica azul	El resultado es un número mayor pues no considera el flujo que retorna a las fuentes hídricas, agua recirculada o reciclada
	Dependiendo de la unidad de análisis, pueden evidenciarse cambios significativos de un año a otro. Por ejemplo en productos agrícolas debido a los cambios en el origen de las importaciones de agua virtual	El indicador no muestra variaciones significativas de un año a otro debido a las tendencias de extracción poco variables. Tres años son una frecuencia mínima recomendable para detectar cambios significativos
	La estimación de extracción de agua por sectores es la principal limitación para su cálculo	
	Puede dar una indicación de la creciente competencia entre los diferentes usos del agua en una situación de creciente escasez de agua	

### 3.5.1.2 Huella hídrica azul e Índice de vulnerabilidad hídrica al desabastecimiento (IVH)

Tabla 17. Huella hídrica azul e IVH

	Huella Hídrica azul	IVH
<b>Definición</b>	Consumo de agua superficial o subterránea para satisfacer la demanda originada en un proceso. Requiere de intervención humana	Grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas –como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno cálido del Pacífico (El Niño) – podría generar riesgos de desabastecimiento
<b>Variables</b>	Evaporación, incorporación y flujo de retorno de agua azul, cantidad producida	IUA, IRH
<b>Información requerida</b>	Agua extraída (% acueducto, lluvia, subterránea y superficial) y vertida, cantidad producida, Consumos por fuente. En hidroeléctricas: evaporación	Caudales medios mensuales y anuales de más de 15 años; Demanda por sectores
<b>Ecuación</b>	$\text{Evaporación Agua Azul} + \text{Incorporación Agua Azul} + \text{Flujo Retorno Perdido}$	Resulta a partir de una matriz que relaciona el Índice de uso del agua (IUA) y el Índice de regulación hídrica (IRH)
<b>Aplicación</b>	Se calcula para un territorio, una persona, un grupo de personas, un producto, un productor o una empresa	Se calcula para un territorio. Presenta contradicciones en la escala de aplicación del mismo y la escala para la que eventualmente se dispondría de información para su “estimación” (IDEAM & MDGIF, 2010)
<b>Unidad</b>	Volumen/tiempo, Volumen/masa, Volumen/unidad productiva, Volumen/habitante	Bajo, Muy bajo, Medio, Alto, Muy alto
<b>Otras</b>	Tiene en cuenta únicamente aspectos de consumo de agua superficial y subterránea	Supone que el abastecimiento de agua no solo depende de la relación oferta-demanda, sino también de la capacidad de regulación del área. Tiene en cuenta las diferencias en régimen hidroclimático y de cobertura vegetal y suelos (IDEAM & MDGIF, 2010)
	El resultado se compara con la oferta total de agua azul para determinar la sostenibilidad de la huella hídrica azul	El resultado representa la probabilidad de experimentar un evento de desabastecimiento

Continuación Tabla 17

	Huella Hídrica Azul	IVH
Otras	Es un indicador nuevo y la información en muchos casos representa un limitante en el cálculo	El establecimiento de patrones de relación atmosfera-vegetación-suelo es una tarea aún no culminada y aun se debaten los niveles de regulación que puede ofrecer el sistema vegetación suelo y la escala a la que estos pueden tener efectos positivos o negativos

### 3.5.1.3 Huella hídrica verde e Índice de Aridez (IA)

Tabla 18. Huella hídrica verde e IA

	Huella Hídrica Verde	IA
Definición	Uso humano del agua almacenada superficial y subsuperficialmente en el suelo	Ilustra las características cualitativas del clima de una región al indicar la suficiencia o insuficiencia de la precipitación, necesaria para el sostenimiento de los ecosistemas
VARIABLES	Evaporación agua verde y agua verde incorporada	Evapotranspiración real y potencial
Información requerida	Evapotranspiración de cada cultivo en el clima de la región, precipitación, información del crecimiento y suelo. Fecha de plantación, fecha de cosecha, Kc, profundidad de raíz (m), profundidad de inundación (m), entre otra información sobre el cultivo. Mapas de cobertura vegetal  Datos climáticos, del suelo y características de los cultivos	Precipitación, temperatura y evaporación
Ecuación	$\text{Evaporación Agua Verde} + \text{Agua Verde Incorporada (Biomasa)}$	$\frac{ETP - ETR}{ETP}$
Aplicación	Se calcula para un territorio, una persona, un grupo de personas, un producto, un productor o una empresa	Se calcula para un territorio
Unidad	Volumen/tiempo, Volumen/masa, Volumen/unidad productiva, Volumen/habitante	Adimensional

Continuación Tabla 18

	Huella Hídrica Verde	IA
Otras	Se calcula por medio de software especializados	Se utilizan las ecuaciones de Turc y Budyko para calcular la evapotranspiración real (ETR), y la ecuación de Penman – Montith para estimar la evapotranspiración potencial (ETP).
	Expresa el uso humano, no característica del clima. A partir del análisis de HH se identifica la presión que se está haciendo en el ecosistema por lo tanto el excedente o déficit	Característica del clima que indica los lugares con excedentes o déficit de agua a partir del balance hídrico superficial

### 3.5.1.4 Huella hídrica gris e Índice de alteración a la calidad del agua (IACAL)

Tabla 19. Huella hídrica gris e IACAL

	Huella Hídrica gris	IACAL
<b>Definición</b>	Volumen de agua teórico necesario para la asimilación de un contaminante específico de forma tal que no altere la calidad del agua en el cuerpo receptor. No se refiere a generar un nuevo consumo, sino a reducir el volumen de contaminante (Hoekstra et al., 2011)	Evidencia la alteración potencial de la calidad del agua a partir de la presión de la carga contaminante (materia orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes) que ejercen diferentes actividades sectoriales sobre las condiciones de calidad hídrica (SIAC, s.f)
<b>VARIABLES</b>	Carga contaminante [masa/tiempo] Concentración máxima aceptable del contaminante [masa/volumen] Concentración natural del contaminante presente en el cuerpo de agua [masa/volumen]	Oferta Hídrica, demografía, producción por sectores, Demanda Química de Oxígeno–DQO Demanda Bioquímica de Oxígeno–DBO Sólidos Suspendidos Totales–SST Nitrógeno Total-NT Fósforo Total-PT
<b>Información requerida</b>	Contribuciones de cada una de las concentraciones de los contaminantes DBO5, SST, Grasas y Aceites, Cromo y Mercurio y cantidad producida en la unidad de análisis	22 variables relacionadas con los 5 sectores: doméstico, cafetero, industrial, sacrificio y minero (ver 3.1.2.1)

Continuación Tabla 19.

	Huella Hídrica gris	IACAL
<b>Ecuación</b>	$\frac{L}{C_{max} - C_{nat}}$	Es calculado a partir de información secundaria como el promedio de las jerarquías asignadas a las cargas contaminantes ejercidas para 1099 municipios por el sector doméstico y para 186 municipios el sector industrial (ver 3.1.2.1)
<b>Aplicación</b>	Se calcula para un territorio, una persona, un grupo de personas, un producto, un productor o una empresa	Escala municipal en centros urbanos para las 309 subzonas hidrográficas y 43 actividades productivas
<b>Unidad</b>	Volumen/tiempo, Volumen/masa, Volumen/unidad productiva, Volumen/habitante	Bajo, Moderado, Medio Alto, Alto, Muy Alto
<b>Otras</b>	El resultado se compara con la oferta total actual de la cuenca, para determinar el caudal disponible para asimilar la contaminación generada por los sectores.	El resultado es cualitativo
	No indica la cantidad de agua contaminada, sino que es un indicador de la severidad de la contaminación en el recurso hídrico, expresada en términos de volumen de agua necesario para asimilar la carga contaminante descargada	Indica la severidad del impacto potencial de los diferentes sectores sobre el recurso hídrico
	Se puede estimar para cualquier contaminante de referencia, siempre y cuando se cuente con estándares de concentraciones legales y concentración natural del contaminante.	Excluye parámetros como patógenos, plaguicidas, microcontaminantes orgánicos tóxicos o persistentes, cancerígenos o disruptores del sistema endocrino y metales pesados
	Depende de la legislación que se utilice, por lo tanto no es comparable en unidades de análisis con estándares diferentes	Si es comparable en las diferentes unidades de análisis

### 3.5.1.5 Huella hídrica gris e Índice de calidad del agua (ICA)

Tabla 20. Huella hídrica gris e ICA

	Huella Hídrica gris	ICA
<b>Definición</b>	Volumen de agua teórico necesario para lograr la dilución de un contaminante específico de forma tal que no altere la calidad del agua en el cuerpo receptor. No se refiere a generar un nuevo consumo, sino a reducir el volumen de contaminante (Arévalo, 2012)	Permite determinar las condiciones fisicoquímicas de una fuente de agua y por lo tanto la situación de contaminación en un periodo de tiempo determinado con el fin de establecer los posibles usos del recurso
<b>VARIABLES</b>	Carga contaminante [masa/tiempo] Concentración máxima aceptable del contaminante [masa/volumen] Concentración natural del contaminante presente en el cuerpo de agua [masa/volumen]	Subíndices para las cinco variables ( $I_i$ ) y porcentaje de participación de cada uno de los parámetros ( $W_i$ ) (Ver 3.1.2.2)
<b>Información requerida</b>	Contribuciones de cada una de las concentraciones de los contaminantes DBO5, SST, Grasas y Aceites, Cromo y Mercurio y cantidad producida en la unidad de análisis	DQO, SST, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (PSOD), conductividad eléctrica y pH
<b>Ecuación</b>	$\frac{L}{C_{max} - C_{nat}}$	$ICAFQ = \sum W_i I_i$
<b>Aplicación</b>	Se calcula para un territorio, una persona, un grupo de personas, un producto, un productor o una empresa	Escala municipal en centros urbanos para las 309 subzonas hidrográficas y 43 actividades productivas
<b>Unidad</b>	Volumen/tiempo, Volumen/masa, Volumen/unidad productiva, Volumen/habitante	Adimensional de 0 a 1
<b>Otras</b>	El resultado se compara con la oferta total actual de la cuenca, para determinar el caudal disponible para asimilar la contaminación generada por los sectores.	El resultado corresponde a un descriptor cualitativo (Muy malo, malo, regular, aceptable, bueno)

Continuación Tabla 20

	Huella Hídrica gris	ICA
<b>Otras</b>	No indica la cantidad de agua contaminada, sino que es un indicador de la severidad de la contaminación en el recurso hídrico, expresada en términos de volumen de agua necesario para asimilar la carga contaminante descargada	Permite resumir los parámetros, medidos en campo y en laboratorio, en una calificación de calidad de cero (0) a uno (1)
	Se puede estimar para cualquier contaminante de referencia, siempre y cuando se cuente con estándares de concentraciones legales y concentración natural del contaminante.	Sólo tiene en cuenta DQO, SST, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (PSOD), conductividad eléctrica y pH
	Depende de la legislación que se utilice, por lo tanto no es comparable en unidades de análisis con estándares diferentes	Si es comparable en las diferentes unidades de análisis

### 3.5.1.6 Huella hídrica azul e Índice extracción de agua subterránea (IEAS)

Tabla 21. Huella Hídrica azul e IEAS

	Huella Hídrica azul	IEAS
<b>Definición</b>	Consumo de agua superficial o subterránea para satisfacer la demanda originada en un proceso. Requiere de intervención humana	Extracción del agua subterránea en relación con la recarga media del acuífero
<b>Variables</b>	Evaporación, incorporación y flujo de retorno de agua azul, cantidad producida	Extracción de agua subterránea por sectores, Recarga, Balances hidrológicos, infiltración
<b>Información requerida</b>	Agua extraída (% acueducto, lluvia, subterránea y superficial) y vertida, cantidad producida, Consumos por fuente. En hidroeléctricas: evaporación	Registro de concesión, expedientes de trámites, inventario de aguas subterráneas, Registro de Usuarios del recurso Hídrico, consumo promedio por habitante/día; series de precipitación y caudales de agua superficial, mapas del suelo e hidrogeológicos que representan la textura, la porosidad de roca, datos sobre la conductividad hidráulica del acuífero, nivel de las aguas subterráneas y dirección del flujo.



Continuación Tabla 21

	Huella Hídrica azul	IEAS
<b>Ecuación</b>	$\begin{aligned} & \text{Evaporación Agua Azul} \\ & + \text{Incorporación Agua Azul} \\ & + \text{Flujo Retorno Perdido} \end{aligned}$	$IEAS = \frac{E}{O_{rg}}$
<b>Aplicación</b>	Se calcula para un territorio, una persona, un grupo de personas, un producto, un productor o una empresa	Es usado con aplicación territorial
<b>Unidad</b>	Volumen/tiempo, Volumen/unidad Volumen/habitante	Volumen/masa, productiva,
<b>Otras</b>	<p>Expresa la presión de la demanda, es decir el impacto sobre la oferta de agua (superficial y subterránea).</p> <p>El resultado se compara con la oferta total de agua azul para determinar la sostenibilidad de la huella hídrica azul</p>	<p>Expresa la presión de la extracción de agua, es decir el impacto sobre la oferta de agua subterránea únicamente</p> <p>Su objetivo es mostrar en qué grado se están explotando los recursos hídricos disponibles para atender las demanda de agua del país o región. Se trata de una medida importante de la vulnerabilidad de un país a la escasez de agua (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2008)</p>
	La estimación de extracción de agua por sectores es la principal limitación para su cálculo	Se ve limitado por la falta de información de oferta de aguas subterráneas en el país, además de las cantidades extraídas por las diferentes actividades
	Puede dar una indicación de la creciente competencia entre los diferentes usos del agua en una situación de creciente escasez de agua	

### 3.5.1.7 Huella hídrica azul e Índice de Recarga con respecto a extracción Total (IREAS).

Tabla 22. Huella hídrica azul e IREAS

	Huella Hídrica azul	IREAS
<b>Definición</b>	Consumo de agua superficial o subterránea para satisfacer la demanda originada en un proceso. Requiere de intervención humana	Permite evaluar la intensidad de uso de la oferta renovable de aguas subterráneas (recarga)
<b>Variables</b>	Evaporación, incorporación y flujo de retorno de agua azul, cantidad producida	Extracción de agua subterránea por sectores, Recarga, Balances hidrológicos, infiltración
<b>Información requerida</b>	Agua extraída (% acueducto, lluvia, subterránea y superficial) y vertida, cantidad producida, Consumos por fuente. En hidroeléctricas: evaporación	Registro de concesión, expedientes de trámites, inventario de aguas subterráneas, Registro de Usuarios del recurso Hídrico, consumo promedio por habitante/día; series de precipitación y caudales de agua superficial, mapas del suelo e hidrogeológicos que representan la textura, la porosidad de roca, datos sobre la conductividad hidráulica del acuífero, nivel de las aguas subterráneas y dirección del flujo.
<b>Ecuación</b>	$\begin{aligned} & \text{Evaporación Agua Azul} \\ & + \text{Incorporación Agua Azul} \\ & + \text{Flujo Retorno Perdido} \end{aligned}$	$\frac{\text{Recarga}}{\text{Extracción Total}}$
<b>Aplicación</b>	Se calcula para un territorio, una persona, un grupo de personas, un producto, un productor o una empresa	Es usado con aplicación territorial y se tiene un resultado total, no discriminado por sectores u otra unidad de análisis
<b>Unidad</b>	Volumen/tiempo, Volumen/masa, Volumen/unidad productiva, Volumen/habitante	Adimensional mayor a 1
<b>Otras</b>	<p>Expresa la presión de la demanda, es decir el impacto sobre la oferta de agua (superficial y subterránea).</p> <p>El resultado se compara con la oferta total de agua azul para determinar la sostenibilidad de la huella hídrica azul</p>	Indica la intensidad de uso de la oferta renovable de aguas subterráneas únicamente y es el inverso del IEAS

Continuación Tabla 22

	Huella hídrica azul	IREAS
Otras	Dependiendo de la unidad de análisis, pueden evidenciarse cambios significativos de un año a otro. Por ejemplo en productos agrícolas debido a los cambios en el origen de las importaciones de agua virtual	Se actualiza anualmente
	La estimación de extracción de agua por sectores es la principal limitación para su cálculo	Se ve limitado por la falta de información de oferta de aguas subterráneas en el país, además de las cantidades extraídas por las diferentes actividades
	Puede dar una indicación de la creciente competencia entre los diferentes usos del agua en una situación de creciente escasez de agua	

### 3.5.1.8 Huella hídrica azul e Índice de Oferta renovable de Aguas subterráneas con respecto a número de habitantes (IOASH)

Tabla 23. Huella hídrica azul e IOASH

	Huella Hídrica azul	IOASH
<b>Definición</b>	Consumo de agua superficial o subterránea para satisfacer la demanda originada en un proceso. Requiere de intervención humana	Disponibilidad de la oferta renovable de agua subterránea per cápita en una unidad de análisis
<b>Variables</b>	Evaporación, incorporación y flujo de retorno de agua azul, cantidad producida	Demografía, Recarga
<b>Información requerida</b>	Agua extraída (% acueducto, lluvia, subterránea y superficial) y vertida, cantidad producida, Consumos por fuente. En hidroeléctricas: evaporación	DANE, balances hidrológicos, infiltración; series de precipitación y caudales de agua superficial, mapas del suelo e hidrogeológicos que representan la textura, la porosidad de roca, datos sobre la conductividad hidráulica del acuífero, nivel de las aguas subterráneas y dirección del flujo.
<b>Ecuación</b>	$  \begin{aligned}  &Evaporación\text{AguaAzul} \\  &+ Incorporación\text{AguaAzul} \\  &+ Flujo\text{Retorno}\text{Perdido}  \end{aligned}  $	$  \frac{\text{Recarga}}{\# \text{ habitantes}}  $

Continuación Tabla 23

	Huella hídrica azul	IOASH
<b>Aplicación</b>	Se calcula para un territorio, una persona, un grupo de personas, un producto, un productor o una empresa	Territorial
<b>Unidad</b>	Volumen/tiempo, Volumen/masa, Volumen/unidad productiva, Volumen/habitante	Volumen/habitante
<b>Otras</b>	Expresa la presión de la demanda, es decir el impacto sobre la oferta de agua (superficial y subterránea).  El resultado se compara con la oferta total de agua azul para determinar la sostenibilidad de la huella hídrica azul	Expresa la disponibilidad per cápita de agua subterránea únicamente
	La estimación de extracción de agua por sectores es la principal limitación para su cálculo	La mayor dificultad que presenta el cálculo de este indicador es la disponibilidad de datos confiables respecto a los recursos de agua subterránea disponible en el área evaluada
	Puede dar una indicación de la creciente competencia entre los diferentes usos del agua en una situación de creciente escasez de agua	Relaciona la población en un territorio y los recursos hídricos subterráneos disponibles, por lo tanto da una indicación de la potencial amenaza de sobreexplotación del recurso. Al complementarse con la huella hídrica se pueden formular estrategias de consumo más responsables dirigidas a específicamente a individuos.

Debes editar las tablas anteriores para que tengan el título de Continuación solo cuando se cambia la página.

### 3.5.1.9 Huella hídrica azul e Índice de agua subterránea para abastecimiento público con respecto al número de habitantes (IASAP)

Tabla 24. Huella hídrica azul e IASAP

	Huella Hídrica azul	IASAP
<b>Definición</b>	Consumo de agua superficial o subterránea para satisfacer la demanda originada en un proceso. Requiere de intervención humana	Expresa el uso del agua subterránea para fines de abastecimiento público per cápita
<b>Variabes</b>	Evaporación, incorporación y flujo de retorno de agua azul, cantidad producida	Agua subterránea destinada al abastecimiento público, demografía.
<b>Información requerida</b>	Agua extraída (% acueducto, lluvia, subterránea y superficial) y vertida, cantidad producida, Consumos por fuente. En hidroeléctricas: evaporación	DANE, Registro de concesión, expedientes de trámites, inventario de aguas subterráneas, Registro de Usuarios del recurso Hídrico, consumo promedio por habitante/día
<b>Ecuación</b>	$\text{Evaporación Agua Azul} + \text{Incorporación Agua Azul} + \text{Flujo Retorno Perdido}$	$\frac{\text{Agua subterránea para abastecimiento público}}{\# \text{ habitantes}}$
<b>Aplicación</b>	Se calcula para un territorio, una persona, un grupo de personas, un producto, un productor o una empresa	Territorial
<b>Unidad</b>	Volumen/tiempo, Volumen/masa, Volumen/unidad productiva, Volumen/habitante	Volumen/habitante
<b>Otras</b>	Expresa la presión de la demanda, es decir el impacto sobre la oferta de agua  El resultado se compara con la oferta total de agua azul para determinar la sostenibilidad de la huella hídrica azul	Indica la magnitud y alcance del sistema de abastecimiento público de agua subterránea en una región
	La estimación de extracción de agua por sectores es la principal limitación para su cálculo	El inventario de aguas subterráneas y la información sobre extracción es su principal limitante

### 3.5.1.10 Huella hídrica azul e Índice Integral de Uso del Agua (IIUA)

Tabla 25. Huella hídrica azul e IIUA

	Huella Hídrica azul	IIUA
<b>Definición</b>	Consumo de agua superficial o subterránea para satisfacer la demanda originada en un proceso. Requiere de intervención humana	Cantidad de agua utilizada por diversos sectores en un periodo de tiempo y una región determinados con respecto a la oferta total de agua superficial y subterránea (recarga)
<b>Variables</b>	Evaporación, incorporación y flujo de retorno de agua azul, cantidad producida	Demanda total sectorial, recarga, Oferta agua superficial disponible, caudales ambientales; clima, hidrología
<b>Información requerida</b>	Agua extraída (% acueducto, lluvia, subterránea y superficial) y vertida, cantidad producida, Consumos por fuente. En hidroeléctricas: evaporación	Balances hidrológicos, simulación numérica de la infiltración vertical, la aplicación la ley de Darcy para calcular rata recarga/descarga, mediciones de campo con pozos de observación, la aplicación de modelos hidráulicos de flujo de aguas subterráneas
<b>Ecuación</b>	$\text{Evaporación Agua Azul} + \text{Incorporación Agua Azul} + \text{Flujo Retorno Perdido}$	$\frac{\text{Demanda total sectorial}}{\text{Oferta renovable de aguas subterráneas} + \text{Oferta agua superficial}}$
<b>Aplicación</b>	Se calcula para un territorio, una persona, un grupo de personas, un producto, un productor o una empresa	Se calcula para regiones teniendo en cuenta todos los sectores
<b>Unidad</b>	Volumen/tiempo, Volumen/masa, Volumen/unidad productiva, Volumen/habitante	%
<b>Otras</b>	Expresa la presión de la demanda, es decir el impacto sobre la oferta de agua superficial y subterránea	
	El resultado se compara con la oferta total de agua azul para determinar la sostenibilidad de la huella hídrica azul	El resultado es un número mayor pues no considera el flujo que retorna a las fuentes hídricas, agua recirculada o reciclada, es decir el concepto que utiliza como demanda no equivale al concepto de consumo real utilizado por el indicador de huella hídrica

Continuación Tabla 25

	Huella hídrica azul	IIUA
Otras	La estimación de extracción de agua por sectores y los inventarios de aguas subterráneas son las principales limitaciones para su cálculo	
	Puede dar una indicación de la creciente competencia entre los diferentes usos del agua en una situación de creciente escasez de agua	

### 3.5.1.11 Huella hídrica e índice de presión demográfica (IPD)

Tabla 26. Huella hídrica e IPD

	Huella Hídrica	IPD
<b>Definición</b>	Es un indicador que permite conocer el consumo directo e indirecto de agua de un consumidor o productor teniendo en cuenta el consumo de agua proveniente de fuentes superficiales, subterráneas, del agua almacenada en el suelo y el volumen de agua teórico necesario para lograr la dilución de un contaminante específico de forma tal que no altere la calidad del agua en el cuerpo receptor. Requiere de intervención humana	Mide el grado de presión de la población sobre el recurso hídrico. Integra cinco indicadores: Indicador de distribución de la población, Indicador de la población habitante en zonas secas, Indicador de consumo doméstico (de consumo en actividades antrópicas), Indicador de crecimiento de la población, Índice de presión o estrés hídrico (IDEAM, 2011)
<b>VARIABLES</b>	Evaporación, incorporación y flujo de retorno de agua azul, cantidad producida, evaporación agua verde y agua verde incorporada, Carga contaminante, concentración máxima aceptable del contaminante y concentración natural del mismo	Sociodemográficas y socioeconómicas: Indicador de distribución de la población, Indicador de población habitante en zonas secas, Indicador de consumo doméstico, Indicador de crecimiento
<b>Información requerida</b>	Datos de consumos por sectores, información sobre cultivos y suelos, estándares de contaminación y contribución de cada uno de los contaminantes, datos de producción y población.	DANE para el índice de calidad de vida, índice de desarrollo humano; El Sisben, sobre el acceso a agua corriente, drenaje, viviendas con acceso a acueducto y disposición de aguas servidas; Registros de usuarios de los acueductos municipales

Continuación Tabla 26

	Huella hídrica	IPD
<b>Ecuación</b>	Diferente para huella azul, verde y gris	Sumatoria del valor normalizado de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicador de Distribución de la Población</li> <li>• Indicador de la población habitante en zonas secas</li> <li>• Indicador de consumo doméstico (de consumo en actividades antrópicas)</li> <li>• Indicador de crecimiento de la población</li> <li>• Índice de presión o estrés hídrico</li> </ul>
<b>Aplicación</b>	Se calcula para un territorio, una persona, un grupo de personas, un producto, un productor o una empresa	Relaciona el consumo y disponibilidad del recurso hídrico con la población, por lo tanto su aplicación es territorial
<b>Unidad</b>	Volumen/tiempo, Volumen/masa, Volumen/unidad productiva, Volumen/habitante	Adimensional
<b>Otras</b>	Tiene en cuenta únicamente consumo de agua en actividades productivas en todos los sectores	Tiene en cuenta únicamente consumo en sector doméstico
	Expresa la presión de la demanda, es decir el impacto sobre la oferta de agua superficial, subterránea, almacenada en el suelo y el impacto por contaminación	Expresa la presión que ejercen las actividades domésticas sobre el recurso hídrico, tiene en cuenta la distribución de la población y la población que habita en zonas secas como factor de presión sobre el recurso. El crecimiento de la población para evaluar el comportamiento futuro de la demanda y el índice de estrés hídrico como indicador de la disponibilidad de agua

### 3.5.2 Inclusión de la Huella hídrica como indicador complementario en política pública en Colombia.

A partir de la identificación de coincidencias y diferencias entre la huella hídrica y los indicadores usados tradicionalmente en el ENA y los propuestos para las ERA (3.5.1), se logró determinar los casos más relevantes en los que podría ser pertinente incluir el indicador de huella hídrica con el fin de contribuir en los estudios relacionados con el recurso hídrico y en los análisis de sostenibilidad de las regiones colombianas. A continuación se justifican estos casos.



### **3.5.2.1 Huella hídrica azul - Índice de Uso del Agua (IUA), Índice de extracción de agua subterránea (IEAS) e Índice Integral de Uso del agua (IIUA).**

Al realizar el análisis del concepto y aplicabilidad del IUA se evidencia la necesidad de disponer de un indicador complementario que tenga en cuenta el consumo de agua, en primer lugar, como consumo real, es decir como el agua evaporada, incorporada en el proceso o producto o transferida entre cuencas (pérdida de volumen disponible), no únicamente como extracción; y en segundo lugar, que ofrezca una información más integral considerando fuentes de agua superficial y subterránea, estos elementos complementarios son tenidos en cuenta por la huella hídrica.

El IUA, al calcularse en base a la extracción total de aguas superficiales, su resultado no representa fielmente la realidad de la presión antrópica sobre la oferta, ya que no considera el agua recirculada o retornada a la cuenca en el mismo periodo de tiempo, es por esta razón que puede complementarse con la huella hídrica azul, la cual ofrece un resultado más ajustado a la realidad de los procesos en la cuenca. Sin embargo, es fundamental la actualización de la información referente a consumos de agua para poder tener un proceso de cálculo más fácil y acertado.

Por otro lado, el IEAS y el IIUA, indicadores propuestos en las ERA, ofrecen la inclusión de las aguas subterráneas y aguas superficiales y subterráneas respectivamente, sin embargo, presentan la misma limitación que el IUA al considerar el consumo como extracción total y no como consumo real. De esta forma, al evaluar los tres indicadores tradicionales complementados con la huella hídrica azul se obtendrá una información integral que considera consumos reales directos e indirectos más ajustados a la realidad de la presión ejercida sobre los recursos hídricos y que permite tener una mejor idea de la vulnerabilidad de un país, o región, a la escasez de agua.

Adicionalmente, la huella hídrica, en sus tres componentes, se define con una aplicabilidad más amplia que los indicadores tradicionales, lo cual la convierte en un indicador capaz de ser aplicada tanto en un territorio como en el sector privado, en comunidades y usuarios individuales, logrando la generación de datos compatibles entre los diferentes sectores que permitan la formulación de respuestas colectivas intersectoriales con las cuales se pueda trabajar de manera integral por el mejor manejo de los recursos hídricos y la sostenibilidad de las regiones en Colombia. De la misma manera, el acercamiento propuesto por la huella hídrica, permite identificar “*Hot Spots*” de consumo o contaminación del agua en las cadenas de suministro de productos y servicios con el fin de atribuir responsabilidades y convertirlas en corresponsabilidades, a partir de las cuales se puedan generar políticas y estrategias entre actores que generen cambios positivos y efectivos en la seguridad y calidad hídrica dentro y fuera de la cuenca.

### **3.5.2.2 Huella Hídrica verde e Índice de Aridez (IA).**

En este caso, la huella hídrica verde resulta ser complementaria ya que el IA expresa las características climáticas y del suelo con el fin de identificar los lugares con excedentes o déficit de agua. La huella hídrica verde por su parte, con base en información de los

suelos y los cultivos, permite identificar la presión o competencia ejercida por la actividad productiva del hombre sobre el ecosistema natural, por lo tanto este indicador aporta al análisis del IA el uso humano de agua verde en el mismo territorio. A partir de esta información adicional se pueden identificar áreas sobreexplotadas o identificar áreas de potencial productivo para así formular prioridades de desarrollo y políticas públicas acordes a las condiciones específicas de cada región.

### **3.5.2.3 Huella hídrica gris e índices de calidad (IACAL & ICA)**

La huella hídrica gris, a diferencia de los componentes azul y verde, se encuentra en una etapa menos avanzada en cuanto al desarrollo del concepto. La debilidad principal que se identifica es la falta de comparabilidad entre territorios con legislación y estándares diferentes respecto a los contaminantes de referencia. Actualmente se encuentra en desarrollo la guía de aplicación y cálculo de la huella hídrica gris, por lo tanto este componente del indicador sale del alcance de este trabajo.

### **3.5.2.4 Huella hídrica azul e Índice de Oferta renovable de Aguas subterráneas con respecto a número de habitantes (IOASH)**

El IOASH indica la disponibilidad de agua subterránea per cápita en una unidad de análisis territorial. Este indicador al relacionar la población en un territorio y los recursos hídricos subterráneos disponibles, da una idea de la potencial amenaza de sobreexplotación del recurso. Al complementarse con la huella hídrica azul, en primer lugar se obtiene información más detallada pues se contabilizan tanto fuentes superficiales como subterráneas, y por otro lado, se pueden realizar análisis de los verdaderos consumidores de los recursos hídricos, lo cuales pueden estar ubicados en la misma cuenca o en otra, a la que se exporte agua virtual. De esta manera se pueden formular estrategias de consumo más responsable dirigidas específicamente a individuos, o generar mecanismos de financiación y concertación entre actores interesados para formular políticas e iniciativas que enfrenten efectivamente los problemas y conflictos asociados al recurso hídrico.

### **3.5.2.5 Huella Hídrica e Índice de Presión Demográfica (IPD)**

El IPD expresa la presión que ejercen las actividades domésticas sobre el recurso hídrico, tiene en cuenta la distribución de la población y la población que habita en zonas secas como factor de presión sobre el recurso, el crecimiento de la población para evaluar el comportamiento futuro de la demanda y el índice de estrés hídrico como indicador de la disponibilidad de agua. Sin embargo, este indicador considera únicamente la presión ejercida por el sector doméstico relacionándola con la vulnerabilidad al desabastecimiento y la escasez de agua. La huella hídrica por su parte como se dijo anteriormente ofrece un resultado más ajustado a la realidad y una visión holística de la presión e impactos antrópicos generados sobre las fuentes de agua dulce y los ecosistemas abastecedores, ya que considera la cadena de suministro y los actores involucrados tanto en el consumo (demanda) como en el uso de los bienes y servicios ambientales que estos proveen.

Además la huella hídrica resulta ser adaptable a diferentes unidades de análisis, incluido el sector doméstico, contabiliza el uso humano de las diferentes fuentes de agua (superficial, subterránea y el agua contenida en el suelo) y posee una medida de contaminación comparable con el uso de agua superficial y subterránea (azul) y el agua contenida en el suelo (verde). De esta manera, la huella hídrica, evaluada para el sector doméstico, resulta ser un indicador complementario al IPD por la completa información que ofrece en referencia al impacto antrópico generado sobre el recurso hídrico.

### **3.5.3 Inclusión de la Huella Hídrica como indicador en la estrategia corporativa de sostenibilidad**

En el ámbito empresarial, consumidores, inversionistas y autoridades requieren cada vez más información sobre los procesos, materia prima y prácticas laborales y ambientales con el fin de evaluar el desempeño y responsabilidad social de las empresas. La adopción de la RSE se ha transformado en un asunto que trasciende la imagen o las regulaciones legales, se ha convertido en punto de referencia para inversionistas que consideran criterios de sostenibilidad y para otras empresas que deseen adoptar prácticas más sostenibles. La gestión integral de los recursos y la realización de informes de sostenibilidad han dejado de ser voluntarios para convertirse en elementos que representan una ventaja competitiva para las empresas ya que gracias a ellos pueden mitigar riesgos, proteger sus marcas corporativas y mejorar su imagen nacional e internacional. En muchos casos la RSE se ha justificado en obligaciones morales, sostenibilidad, mantenimiento de la licencia para operar y temas reputacionales haciendo que las empresas enfrenten en cierto nivel las necesidades de su entorno más cercano, sin embargo, estos enfoques no están direccionados hacia el alcance de los objetivos organizacionales, sino que se componen como un asunto desarticulado e independiente de la estrategia corporativa.

En el contexto competitivo del mercado en Colombia, se hace necesario emprender la gestión integral de los recursos naturales desde una perspectiva que le permita a las compañías asegurar el desempeño económico a largo plazo, evitando acciones de corto plazo social o ambientalmente dañinas (Porter et al., 2006). A diferencia de la dirección que ha tomado la RSE en el país, las acciones a realizar no deben suplir necesidades del entorno de manera general y aisladas del objetivo principal de la empresa, deben al contrario tener en cuenta los intereses económicos y regulatorios de cada negocio, es decir deben estar encaminadas hacia la generación de valor económico a largo plazo mientras se mejoran las condiciones sociales y económicas de la comunidad en la que opera la compañía.

El desempeño sostenible de la empresa se convierte por lo tanto en un proceso relacionado directamente con las acciones de cooperación y conexión entre diferentes grupos de interés de la compañía. De esta manera se hace evidente en el contexto colombiano desarrollar estrategias que busquen el uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, específicamente del agua, desde la perspectiva de cuenca y basándose en el relacionamiento y actuar colectivo de los diferentes gestores y usuarios del recurso en la región. Es por esto que se identifica la oportunidad para el sector privado de convertirse en el motor que incentive a llevar a cabo una gestión responsable del agua

por medio del conocimiento, análisis y formulación de estrategias de respuesta ante los impactos generados sobre el recurso desde la perspectiva multisectorial que ofrece el Análisis de huella hídrica. Las cuencas son proveedoras de bienes y servicios ambientales para múltiples sectores productivos, es por esto que son los mismos sectores los que tienen un papel fundamental en la sostenibilidad de la cuenca.

Algunas empresas colombianas han iniciado el camino hacia la sostenibilidad con miras a la permanencia de su negocio en el largo plazo y la rendición de cuentas ante sus grupos de interés y el estado. Para este fin se han apoyado en iniciativas globales como el *Global Compact* y el *CEO Water Mandate*, en temas específicos relacionados con el recurso hídrico, las cuales sugieren el uso de los indicadores propuestos por el GRI dentro de las mediciones internas de la compañía (The CEO Water Mandate, 2011). Son estos indicadores los que se usan tradicionalmente en los informes de sostenibilidad empresariales en Colombia, en referencia al recurso hídrico se tiene:

- Captación total de agua por fuente
- Fuentes de agua afectadas significativamente por la captación
- Porcentaje total de agua reciclada y reutilizada.

Como se puede ver, son indicadores que se mantienen dentro de las fronteras organizacionales y, aunque la información que proveen es valiosa para la toma de decisiones internas en relación a la gestión del agua y contribuyen al levantamiento de datos, no brindan la integralidad que necesita la gestión de un recurso compartido como es el agua. Es necesario ir más allá de las fronteras organizacionales, conocer el origen de los impactos y los actores involucrados para identificar corresponsabilidades que lleven a la toma de decisiones conjuntas que enfrenten efectivamente los problemas asociados al agua en las cuencas colombianas. El agua se ha convertido en un asunto estratégico y material para numerosas empresas y grupos de interés, ya que de su disponibilidad, calidad, accesibilidad, entre otros factores, depende la posibilidad de los negocios de seguir operando en el largo plazo y generar rentabilidad, es por esta razón que es fundamental la intersectorialidad y participación en su manejo. La evaluación de huella hídrica, al evaluar cadenas de suministro, establece vínculos reales entre usuarios del recurso permitiendo así la creación de plataformas donde los diversos actores se encuentren teniendo objetivos y preocupaciones comunes.

Por otro lado, dentro de la estrategia de sostenibilidad, las empresas han tenido en cuenta estándares como el propuesto por *Accountability* en las series AA1000, donde no se proponen indicadores específicos asociados al agua, sin embargo, invitan a las empresas a desarrollar su estrategia en base a los principios de Inclusividad, Relevancia y Capacidad de Respuesta. Ante esto se identifica la oportunidad de incluir la huella hídrica como indicador en la gestión del recurso hídrico en las empresas ya que se ajusta al seguimiento de estos principios. La huella hídrica resalta la importancia de ir más allá de las fronteras organizacionales e identifica las relaciones, de manera cualitativa y cuantitativa, con los actores a lo largo de las cadenas de suministro permitiendo su identificación y posterior inclusión dentro de las estrategias e iniciativas dirigidas al cumplimiento de una gestión del recurso hídrico responsable y sostenible.

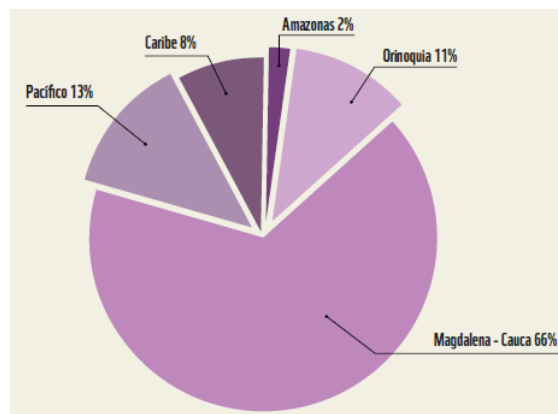
De la misma manera, las empresas deben identificar los temas relevantes, es decir los temas que influyen en las decisiones y desempeño de la empresa y de sus grupos de interés, con el fin de tomar buenas decisiones. En el proceso de determinación de la relevancia se tiene que asegurar una información exhaustiva, equilibrada, correcta y de un periodo de tiempo pertinente, el indicador de huella hídrica brinda información acertada y ajustada a las condiciones reales de la actividad dentro de la cuenca al evaluar los consumos directos e indirectos de la organización, es por esto que es un indicador pertinente en la identificación de la relevancia y materialidad del agua dentro de sus operaciones y para sus grupos de interés. De la misma manera, el conocimiento de los riesgos y responsabilidades compartidas entre diferentes actores facilitará la capacidad de respuesta, es decir las decisiones, acciones, desempeño y comunicación con los grupos de interés.

La falta de información y de relaciones entre los actores públicos y privados, es decir gestores y usuarios del recurso hídrico, causan una carencia de regulaciones y estrategias que permitan hacer un uso eficiente y responsable del agua en las cuencas colombianas. Es en este aspecto donde radica la importancia de la adhesión de Colombia a iniciativas globales como la de OECD, donde recientemente se ha fijado una hoja de ruta para la adhesión de Colombia a la organización. La OECD crea directrices en la formulación de políticas organizacionales que sean una referencia internacional. Los gobiernos que hacen parte se comprometen a promover el cumplimiento de dicho código por parte de las empresas en su territorio o empresas nacionales operando en el extranjero (AconutAbility, 2004), además sirve como foro mundial de políticas económicas, medioambientales y sociales para los países miembros y resalta la importancia del levantamiento de información e indicadores relacionados con la calidad de vida de los habitantes del país. Así es como plataformas internacionales, como la OECD, se convierten en el punto de referencia para los gobiernos para iniciar un relacionamiento con sus sectores productivos que permita tomar decisiones conjuntas que lleven a la formulación de políticas públicas que se ajusten a parámetros internacionales de buenas prácticas, y que finalmente contribuyan en el mejoramiento de la calidad de vida de los colombianos.

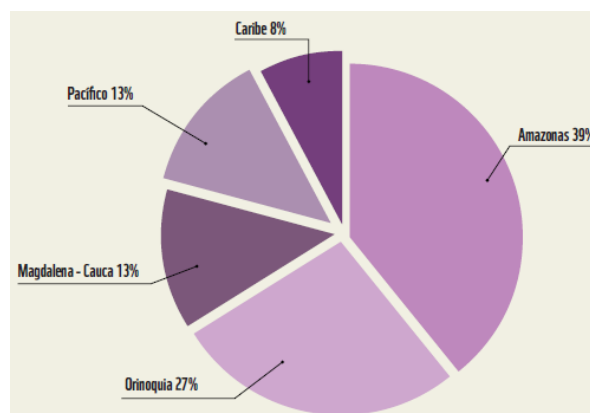
#### **3.5.4 La huella hídrica como indicador de sostenibilidad en la gestión integral del recurso hídrico en Colombia**

Todos los sectores y actividades humanas requieren del recurso hídrico para llevar a cabo sus operaciones normalmente y para asegurar el bienestar, por lo tanto existe un vínculo ineludible entre el agua y el ser humano, siendo el agua un recurso fundamental en el desarrollo económico, social y cultural de cualquier región del mundo. Es evidente que la responsabilidad y competencia para llevar a cabo la gestión del recurso hídrico en la cuenca ya no se limita a los gobiernos, sino que también los sectores productivos han ganado importancia debido al gran impacto que generan y porque adicionalmente poseen recursos económicos e intereses que se ven en riesgo frente a una gestión no sostenible de los recursos naturales, específicamente del agua.

En el caso de Colombia, al igual que en muchas regiones del mundo, a pesar de poseer una enorme riqueza de recursos hídricos, la disponibilidad de agua es cada vez menor a causa de la concentración de población y actividades productivas en zonas con baja oferta hídrica, además del creciente número de impactos de origen antrópico sobre ecosistemas y fuentes hídricas. A finales del Siglo XX, el país llegó a ocupar el puesto cuatro en disponibilidad de agua per cápita a nivel mundial, a inicios del siglo XXI ha descendido hasta el puesto 24 (IDEAM, 2008), lo que mantiene al país como potencia hídrica, sin embargo, ilustra los problemas de desabastecimiento que el país puede sufrir en el futuro cercano. Sin embargo, el riesgo de desabastecimiento no es el único reto que enfrenta un país como Colombia en referencia al agua, fenómenos como el cambio climático incrementan la variabilidad e inequidad en la distribución de la oferta hídrica, generando sobrepresiones en ciertas regiones. La Figura 15 y Figura 16 muestran la relación entre la distribución poblacional en Colombia y la disponibilidad hídrica en las mismas zonas hidrográficas, evidenciando el desequilibrio que existe entre oferta y demanda hídrica en las regiones colombianas.



**Figura 15. Distribución poblacional de Colombia por área hidrográfica (WWF-Colombia, 2012)**



**Figura 16. Disponibilidad hídrica en Colombia por área hidrográfica (WWF-Colombia, 2012)**

Con base en la información sobre el recurso hídrico en el territorio colombiano, recopilada en el ENA, próximamente en las ERA y otros estudios relacionados, tanto las empresas como los gobiernos deben desarrollar estrategias de respuesta capaces de enfrentar, mitigar y prevenir los efectos adversos de la falta de agua de buena calidad que permita el desarrollo económico, social y cultural del país. Es así como, en las empresas privadas, la planeación de la gestión del agua pasa de ser un asunto de responsabilidad social a un asunto clave en la viabilidad del negocio a largo plazo y para los gobiernos es un tema fundamental para garantizar la seguridad hídrica de la región que permita el desarrollo de sus comunidades.

Por otro lado, los ecosistemas hídricos continentales contribuyen al mantenimiento de la calidad ambiental y los flujos naturales derivados del ciclo hidrológico en cuencas, estuarios y ecosistemas costeros, cumplen adicionalmente una función de mitigación de impactos por inundaciones, absorben contaminantes, retienen sedimentos, recargan acuíferos y abastecen los suelos, garantizando así hábitats adecuados para numerosas especies de flora y fauna (Ministerio del Medio Ambiente, 2002). En Colombia, los ecosistemas de agua dulce son elementos fundamentales en la economía nacional y local pues son la base de actividades productivas y socioculturales de numerosas comunidades. Sin embargo, la gestión del recurso se ha limitado a las fronteras de las industrias y a acciones específicas relacionadas con sistemas de abastecimiento y tratamiento de aguas residuales, sin considerar que la seguridad hídrica se debe gestionar desde la conservación de los ecosistemas que facilitan el ciclo hidrológico, regulan la calidad ambiental, entre otros servicios ecosistémicos.

La huella hídrica provee un enfoque global donde se analizan las cadenas de suministro en su totalidad y no únicamente un fragmento de la cadena de producción de bienes y servicios, discriminando la apropiación humana del agua por fuente (agua azul y agua verde) para tener una información acertada, pertinente y útil en la formulación de estrategias efectivas de respuesta ante problemas de conflictos, calidad y escasez. Es así como la huella hídrica se convierte en una herramienta para ampliar líneas base de información a nivel local y nacional, para realizar una comunicación y divulgación efectiva que puede ser presentada ante todos los niveles de la sociedad gracias a su formulación clara y entendible para la mayoría de la población, adicionalmente le brinda una visión integral y holística a la gestión del agua.

Al cambiar la perspectiva de la gestión integral del recurso hídrico hacia la identificación de impactos y consumos a lo largo de las cadenas de suministro y se aplica un enfoque ecosistémico del manejo del agua en la cuenca, se evidencia la necesidad del compromiso entre tomadores de decisiones y usuarios del recurso (agentes impactantes), con el fin de formular estrategias que se materialicen por medio de políticas dirigidas a revertir las tendencias de deterioro de ecosistemas abastecedores y los impactos sobre las fuentes de agua dulce, logrando así satisfacer las necesidades de desarrollo de las regiones mientras se garantiza el bienestar humano de sus pobladores. La evaluación de huella hídrica provee la estructura y los elementos necesarios para iniciar este proceso de relacionamiento a partir del conocimiento de impactos.

Los problemas actuales y futuros relacionados con el agua plantean la necesidad del vínculo del sector privado dentro del proceso de toma de decisiones en las cuencas y en las regiones en general. Los riesgos hídricos pueden convertirse en una seria amenaza para la capacidad de generar valor económico en el largo plazo; es por esto que el conocimiento de los mismos y el involucramiento en la generación de estrategias que propicien bienestar común en la cuenca debe ser una prioridad dentro de la estrategia de cualquier empresa colombiana.

Los riesgos hídricos se presentan tanto para las empresas como para los gobiernos y las comunidades. Comprender los riesgos asociados al agua fuera de las fronteras de la organización puede convertirse en un asunto material para muchas empresas colombianas. Sin embargo, el riesgo dependerá de las condiciones hidrológicas, sociales, económicas y políticas específicas de la región. Existen tres categorías de riesgo que afectan a las compañías de manera diferente, según WWF (2013): Físicos, Regulatorios y Reputacionales, los cuales dependen de cuál sea el uso que la empresa le da al recurso, cantidad, periodo de tiempo, ubicación, precio del agua y regulaciones de descarga. Estos riesgos tienen impactos sobre las operaciones directas y la cadena de suministro de la compañía en temas de costos de operación, ingresos y crecimiento proyectado (Pacific Institute & WWF, 2009) (Ver Tabla 27).

**Tabla 27. Tipos de riesgos hídricos (WWF, 2013)**

	Riesgo de la cuenca	Riesgo de la compañía
<b>Riesgo físico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escasez</li> <li>• Inundaciones</li> <li>• Sequías</li> <li>• Contaminación y sus impactos sobre la sociedad y el medio ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad y calidad del agua disponible en operaciones directas y en la cadena de suministro</li> </ul>
<b>Riesgo regulatorio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrategia de agua local / nacional</li> <li>• Sofisticación de la regulación de agua</li> <li>• Ejecución de la regulación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conformidad legal</li> <li>• Incidentes / sanciones</li> <li>• Cambios en el precio del agua</li> <li>• Derechos de extracción</li> </ul>
<b>Riesgo reputacional</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Percepciones del público respecto al uso del agua, contaminación y desempeño que afecten la imagen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura mediática a nivel local y mundial</li> <li>• Comunicación con grupos de interés</li> <li>• Gobernanza y monitoreo internos</li> </ul>

Por otro lado, los riesgos asociados a la GIRH en Colombia se refieren al manejo del déficit y exceso de agua en cuencas hidrográficas deterioradas, evaluación de la conveniencia de proyectos hidráulicos, el crecimiento no planificado de la demanda respecto a la oferta neta limitada, conflictos por el uso del recurso y la carencia de iniciativas adecuadas en temas de gestión del riesgo por eventos socio-naturales (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).



El riesgo de desabastecimiento amenaza en gran medida el desarrollo de las actividades económicas en el país en cuanto al suministro de agua potable para la población, procesos industriales, generación de energía eléctrica y conservación de ecosistemas. El exceso de agua por su parte causa inundaciones, avenidas torrenciales y deslizamientos que afectan la infraestructura y los sistemas de abastecimiento, amenazando la disponibilidad y continuidad del servicio y la calidad del agua generando impactos directos en las operaciones industriales. La contaminación de acuíferos superficiales y subterráneos también representa un riesgo tanto para comunidades y ecosistemas como para el sector privado.

De esta manera, el agua y su gestión se convierten en la plataforma en la cual es posible el encuentro entre el sector privado, los gobiernos, las comunidades y otras organizaciones en el territorio, quienes tienen preocupaciones comunes, responsabilidades y riesgos compartidos en referencia al recurso hídrico. Por lo tanto es importante que en Colombia se dé un cambio de paradigma y se migre desde la gestión basada en acciones reactivas ante eventos climáticos y en iniciativas de ordenamiento territorial como Planes de contingencia ante el desabastecimiento, hacia la gestión coordinada y colaborativa entre los actores de la cuenca, y por medio de la evaluación de huella hídrica avanzar en el conocimiento de las amenazas y riesgos hídricos a los que puede estar expuesta una empresa o región.

El entendimiento del riesgo compartido y la realización de análisis de huella hídrica son importantes para lograr la colaboración entre las empresas y el gobierno para reducir los riesgos, evitar el estrés hídrico y promover el desarrollo económico colectivamente, con el fin de generar políticas enfocadas a herramientas de conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos y de los ecosistemas que los proveen, que permitan mejorar la competitividad de las regiones colombianas.

Existen herramientas tales como el Filtro de Riesgo de Agua, diseñado por WWF en colaboración con la Sociedad Alemana de Inversiones y Desarrollo (DEG), para la evaluación de riesgos hídricos en base a la ubicación, el sector productivo y el desempeño de la compañía, con el fin de que las empresas se comprometan con la GIRH como parte de su estrategia corporativa de generación de valor y no sólo como una estrategia aislada de RSE. A partir del conocimiento de riesgos y huella hídrica, es importante también la participación de las empresas públicas y privadas en Colombia en redes y plataformas internacionales que permitan compartir experiencias y conocimiento, para así llevar a cabo procesos de mejoramiento continuo, replicación de iniciativas y fortalecimiento de la GIRH en las regiones colombianas.

Ejemplos de estas iniciativas son la *Alliance for Water Stewardship* y *The CEO Water Mandate*. La *Alliance for Water Stewardship* es una organización sin ánimo de lucro que promueve el uso responsable del agua con el fin de obtener beneficios sociales y económicos, mientras se lleva a cabo una gestión ambientalmente sostenible. Esta alianza entre líderes mundiales con experiencia en gestión sostenible del recurso hídrico trabaja para apoyar el desarrollo de respuestas colectivas ante riesgos hídricos compartidos por medio de la formulación de guías y estándares, que permitan construir un sistema internacional de Custodia del Agua.

Las organizaciones que hacen parte de la alianza son *The Nature Conservancy*, *Pacific Institute*, *WWF*, *The CEO Water Mandate*, entre otros, y los estándares desarrollados pretenden dar una guía de aplicación global y para cualquier sector, para evaluar el uso que se le da al agua, su impacto sobre el entorno y proveer mecanismos de relacionamiento con grupos de interés (Alliance for Water Stewardship, 2010).

*The CEO Water Mandate*, por su parte es una iniciativa público-privada diseñada para asesorar a las compañías en el desarrollo, implementación y divulgación de políticas hídricas de sostenibilidad e invita a las empresas a convertir la gestión integral del recurso hídrico en una prioridad y trabajar colectivamente con gobiernos, agencias de Naciones Unidas, ONG y grupos de interés en seis esferas principalmente: operaciones directas, cadena de suministro y manejo de cuenca, acciones colectivas, política pública, compromiso de la comunidad y transparencia (The CEO Water Mandate, 2013). Estos estándares están prontos a ser publicados por lo tanto el primer paso a tomar por las organizaciones en Colombia es analizar su huella hídrica y conocer los riesgos hídricos a los que están expuestas, para que cuando los estándares estén disponibles, se cuente con la información necesaria para ajustar el desempeño de la empresa a los estándares internacionales.

De esta manera, la GIRH en Colombia se debe enfrentar desde diversas perspectivas y con diferentes elementos: el análisis de huella hídrica como herramienta para ampliar líneas base de información local y para conocer los impactos generados a lo largo de las cadenas de suministro mediante una visión holística de la apropiación humana del recurso hídrico, el análisis de riesgos hídricos como mecanismo de inclusión de la GIRH dentro de la estrategia corporativa de generación de valor, el relacionamiento con los diferentes actores, gestores y usuarios del agua, en la cuenca para desarrollar estrategias de respuesta en base a los riesgos compartidos que permitan el desarrollo económico y social de las regiones de manera sostenible, la participación en redes y plataformas nacionales e internacionales que permitan ampliar el conocimiento sobre huella hídrica, riesgos hídricos y otros problemas asociados al agua.

Estos elementos permiten la formulación de acciones individuales para reducir la huella hídrica de empresas, gobiernos y comunidades para posteriormente participar de acciones colectivas en la cuenca, que velen por el aprovechamiento sostenible del agua y la protección de ecosistemas abastecedores. Finalmente, después de un proceso de diálogo y colaboración entre gestores y usuarios del agua en la cuenca, es posible influir en la gobernanza del agua por medio de la formulación de políticas que materialicen y reglamente en el largo plazo el uso sostenible del recurso hídrico en Colombia.

## **4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1 DESCRIBIR LOS INDICADORES UTILIZADOS ACTUALMENTE EN EL DIAGNÓSTICO DEL RECURSO HÍDRICO A NIVEL DE POLÍTICA PÚBLICA Y A NIVEL CORPORATIVO.**

En la fase inicial se realizó una revisión bibliográfica de los indicadores relacionados con el recurso hídrico a nivel territorial en Colombia. Para alcanzar este objetivo se identificaron los indicadores evaluados en el ENA (2010) realizado por el IDEAM, y se describió el concepto, metodología de cálculo, información requerida y aplicabilidad de cada uno. Esto con el fin de tener la base teórica para identificar la complementariedad del indicador de huella hídrica en la caracterización y evaluación del estado del agua en Colombia.

Esta revisión bibliográfica permitió identificar vacíos de conocimiento sobre el uso que se le da al recurso hídrico en las regiones colombianas por parte de los diferentes sectores usuarios; además se logró sintetizar y presentar de manera ordenada la batería de indicadores con los que se dispone en Colombia para evaluar el estado y dinámica del recurso, esta revisión puede ser útil para futuras investigaciones relacionadas con la evaluación del agua en el país.

El ENA más reciente fue realizado en el año 2010 y en él se muestra una evaluación completa de la situación y dinámica del recurso hídrico en Colombia, teniendo en cuenta la oferta superficial y subterránea, uso y demanda, condiciones de calidad, y las afectaciones al régimen hidrológico debidas al cambio climático. En este estudio se utilizaron seis indicadores (Figura 2), aplicados a cinco áreas hidrográficas, 41 zonas y 309 subzonas hidrográficas, para caracterizar el recurso y permitir un seguimiento de las políticas y acciones tomadas dentro de la gestión del agua. Es por esto que es el estudio más relevante en cuanto al recurso hídrico en las regiones colombianas y la base de referencia para estudiar los indicadores utilizados actualmente.

Por otro lado, se presentaron los indicadores propuestos en las ERA, planteadas, y aun no implementadas, como una herramienta para la generación de información a nivel subregional que brinde un mayor nivel de detalle y permita formular estrategias regionales acordes con las características de cada zona. Adicionalmente las ERA pretenden ser coherentes con las metodologías y resultados obtenidos en los ENA y en la PNGIRH. En estas evaluaciones se propone el análisis de los seis indicadores del ENA y nueve índices adicionales que permiten profundizar en el tema de aguas subterráneas, calidad, presión demográfica, amenaza y vulnerabilidad del recurso hídrico causadas por la variabilidad climática (IDEAM, 2011).

Con base en la revisión bibliográfica de estos indicadores se evidenció la necesidad de la implementación de las ERA, ya que estas proponen la inclusión de indicadores fundamentales en el estudio del agua, tales como indicadores de caracterización y uso de aguas subterráneas y su relación con sectores y poblaciones usuarias (IEAS, IREAS, IOASH, IASAP, IVICSA), indicadores de presión demográfica sobre el recurso (IPD, IOASH, IASAP), índices de calidad que consideren la vulnerabilidad de las fuentes de agua según su ubicación y condiciones físicas y sociales (IVH, IVET) y un índice integral que permita conocer en qué estado se encuentra la seguridad hídrica de una región (IIUA), todo esto para facilitar los procesos de toma de decisiones y que estos se ajusten a la realidad física del recurso, teniendo en cuenta los actores involucrados en el uso y gestión del mismo.

En cuanto a los indicadores utilizados en sostenibilidad del recurso hídrico en las empresas colombianas, se realizó una revisión bibliográfica de los estándares y certificaciones de sostenibilidad más utilizadas a nivel nacional e internacional para la realización de los informes de sostenibilidad.

Con base en el informe “*Strategic challenges for business in the use of corporate responsibility codes, standards and frameworks*” (2004), se pudieron identificar los cuatro pasos con los cuales una organización puede gestionar las tres dimensiones de su sostenibilidad empresarial: social y ética, medioambiental y económica. Estos pasos son, según *AcconutAbility* (2004): Formulación de políticas, Contabilización, Aseguramiento y Comunicación, y se evidencia que, a pesar de contar con una estructura de gestión de la sostenibilidad, la mayoría de estándares se limitan a proponer directrices y principios que las empresas deben seguir en relación a la gestión del recurso hídrico, entre otros elementos, sin embargo, pocos presentan indicadores medibles específicos y ninguno presenta índices integrales y con un enfoque holístico del uso y apropiación del agua por parte de la empresa y sus operaciones.

Los indicadores más usados en los reportes de sostenibilidad son los propuestos por el GRI, sin embargo estos y los demás indicadores tales como los propuestos por la OECD, se limitan a la evaluación del uso del recurso hídrico dentro de las fronteras organizacionales, descontextualizando los resultados del territorio y condiciones sociales y económicas donde opera el negocio. Algunos de los indicadores actualmente utilizados por el sector privado en los informes de sostenibilidad son: captación total de agua por fuentes, fuentes de agua que han sido afectadas significativamente por la captación de agua y porcentaje y volumen total de agua reciclada y reutilizada.

A partir de esta revisión bibliográfica se identificó la necesidad de que las empresas innoven y dispongan de indicadores más significativos respecto al recurso hídrico, indicadores que ofrezcan información más detallada, pertinente y oportuna de la apropiación e impacto sobre el recurso hídrico, que tengan en cuenta la cadena de suministro de los productos y servicios para que se pueda identificar posibles riesgos a los que la compañía se enfrenta y así poder llevar a cabo una gestión integral y sostenible del agua como medio para la seguridad hídrica de las regiones donde se ubican. Esto no sólo como estrategia de responsabilidad social empresarial, sino como medio para asegurar la capacidad de generar valor en el largo plazo.

Es así como se propone que las empresas vean su RSE no como una línea aislada de la línea de acción principal del negocio, sino por el contrario, como parte de su estrategia corporativa, ya que la RSE y la GIRH específicamente son herramientas para generar valor y bienestar colectivo en términos económicos y sociales.

#### **4.2 ANALIZAR EL CONCEPTO DE HUELLA HÍDRICA, SUS COMPONENTES Y APLICACIONES.**

En este numeral se evaluó el concepto de huella hídrica, se identificaron las metodologías disponibles para su cálculo, sus tres componentes, sus aplicaciones y las limitaciones que presenta.

La huella hídrica se basa en dos enfoques principales, la aplicación territorial y la aplicación corporativa, dentro de las cuales se encuentran unidades de análisis más específicas como la huella hídrica de áreas geográficas delimitadas, de un producto, empresa, consumidor, sector productivo o grupo de consumidores. Las dos metodologías explicadas en esta fase fueron formuladas basándose en estos dos acercamientos. La ISO 14046 se enfoca en el cálculo y análisis de la huella hídrica corporativa, mientras que la metodología de *The Water Footprint Network* presenta una metodología apta para el cálculo de la huella hídrica de un proceso, producto, grupo de consumidores, de un área geográfica, de una nación, de una cuenca hidrográfica, u otras unidades administrativas, y de una empresa.

La ISO 14046 se menciona, sin embargo, esta metodología no se ha publicado oficialmente, por lo tanto sale del alcance de este trabajo. Para conocer la metodología propuesta por *The Water Footprint Network* se realizó la revisión bibliográfica del *Water Footprint Assessment Manual* (Hoekstra et al., 2011), de donde se extrajo la información referente a los tres componentes de la huella hídrica, azul, verde y gris, las variables involucradas en su cálculo, la definición del concepto y su aplicabilidad.

El resultado principal de esta fase es la ampliación del conocimiento sobre el concepto de huella hídrica y sus tres componentes. La huella hídrica azul expresa el volumen de agua dulce extraído del total del agua de escorrentía. La huella hídrica gris se define como la cantidad de agua necesaria para asimilar los contaminantes, cuantificada como el volumen de agua necesaria para diluirlos manteniendo los estándares de calidad de agua acordados. La huella hídrica verde se refiere al uso del agua almacenada en el suelo y vegetación principalmente por la agricultura y las plantaciones forestales. Es importante resaltar que la fuente de agua verde es el agua contenida en el suelo, agua que no llegará a los acuíferos subterráneos, sino que permanecerá en el suelo para el aprovechamiento por parte de las plantas. La ventaja de este indicador radica en el hecho de que las diferentes formas de contaminación son transformadas a términos comunes: volumen de agua (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011).

La fórmula de cálculo de los tres componentes de la huella hídrica permitió identificar la información necesaria en su cuantificación, con el fin de ofrecer a las entidades públicas y privadas la oportunidad para ampliar la línea base de información referente al recurso hídrico e iniciar el proceso de inclusión de la huella hídrica como indicador de sostenibilidad en la toma de decisiones. La información recolectada en este aspecto es:

$$HH_{proc,azul} = \frac{EvaporaciónAguaAzul + IncorporaciónAguaAzul + FlujoRetornoPerdido}{[Volumen/tiempo]}$$

### Fórmula 23. Huella hídrica azul de un proceso

$$HH_{proc,verde} = EvaporaciónAguaVerde + AguaVerdeIncorporada(Biomasa)$$

### Fórmula 24. Huella hídrica verde de un proceso

$$HH_{proc,gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}}$$

### Fórmula 25. Huella hídrica gris de un proceso

Dónde:

L: carga contaminante [masa/tiempo]

C<sub>max</sub>: concentración máxima aceptable del contaminante [masa/volumen]

C<sub>nat</sub>: concentración natural del contaminante presente en el cuerpo de agua [masa/volumen]

Como se puede ver en la Figura 14, la huella hídrica de un proceso es la base de las dos perspectivas principales del análisis de huella hídrica: la perspectiva territorial y la perspectiva corporativa. Cuando se calcula la huella hídrica de una zona geográfica se tienen en cuenta todas las actividades que tienen lugar dentro de dicha zona, de esta manera, la huella hídrica es geográficamente explícita, permitiendo un análisis contextualizado en un territorio con características, físicas, sociales y económicas particulares.

Por otro lado si se habla de la huella hídrica corporativa, que incluye la huella hídrica de un producto, empresa, consumidor, sector productivo o grupo de consumidores, se tendrán en cuenta la totalidad de las actividades que componen la cadena de suministro de los productos consumidos o producidos sin delimitación de área geográfica.

Adicionalmente, en cada una de las unidades de análisis se puede hablar de huella hídrica directa e indirecta.

Es así como se identifican los elementos fundamentales que hacen de la huella hídrica un indicador útil y pertinente en la GIRH en Colombia:

- Considera el consumo de agua como consumo real, es decir como pérdida de volumen disponible.
- Ofrece una visión holística del uso de agua, permitiendo evaluar no sólo la industria descontextualizada de un territorio, sino las cadenas de suministro en su totalidad con el fin de identificar corresponsabilidades en el manejo del recurso.
- Tiene en cuenta tanto consumos directos como indirectos, dando información más ajustada a la realidad de los impactos ejercidos sobre el recurso hídrico.
- Es geográficamente explícita, lo cual permite contextualizar a la actividad analizada en un territorio con características particulares y así llevar a cabo procesos de toma de decisiones más efectivos y concertados entre actores.

Por último, se identificaron las limitaciones del indicador de huella hídrica en términos de aplicabilidad, alcance, cálculo e información requerida para su análisis. Este análisis es útil en la identificación de vacíos para determinar la complementariedad de este indicador con los indicadores tradicionales en la GIRH en Colombia.

Las principales limitaciones que se identificaron son:

- La huella hídrica no resulta ser un indicador que brinde integralidad si no se complementa con otros indicadores relacionados con las condiciones sociales, económicas y políticas de la unidad de análisis
- Su alcance no contiene temas relacionados con eventos de inundación, infraestructura para el abastecimiento de agua potable en comunidades, institucionalidad en la cuenca u otros aspectos ambientales.
- Para lograr la cooperación entre actores es necesario conocer las características de la región más allá de su disponibilidad y demanda hídrica, es necesario relacionar el aprovechamiento del agua con temas como el cambio climático, fragmentación y deterioro de ecosistemas abastecedores, cambios en el uso del suelo, pobreza, entre otros y el análisis de huella hídrica no brinda este nivel de profundidad.
- Colombia posee ecosistemas marinos de gran importancia en el desarrollo económico y social de las regiones y el indicador de huella hídrica no contiene una propuesta de evaluación del aprovechamiento y contaminación del agua en este tipo de ecosistemas.
- La falta de información y de líneas base respecto a oferta, demanda, calidad y riesgos asociados al recurso hídrico, transformaciones de origen antrópico y sus efectos en la calidad, las amenazas y las vulnerabilidades en ecosistemas, las potencialidades y restricciones de sistemas hídricos para el abastecimiento de las poblaciones, y el aprovechamiento por parte de los diferentes sectores productivos del país, son los aspectos que, en Colombia, limitan en mayor medida el desarrollo de análisis de huella hídrica a nivel empresarial y territorial.

- La calidad y disponibilidad de la información es otra fuente de incertidumbre, por lo cual los resultados deben ser interpretados cuidadosamente, de hecho *The Water Footprint Network* (2011) resalta la importancia de tener indicadores que muestren la magnitud de la incertidumbre en el análisis de huella hídrica.
- Los antecedentes y la experiencia que se tiene respecto al concepto de huella hídrica es limitada, pocas empresas en el mundo han decidido emprender este análisis con el fin de evaluar sus riesgos hídricos y en muchos casos la información no es comunicada en su totalidad, limitando aún más la disponibilidad de datos y experiencias.

#### **4.3 EVALUAR EL POTENCIAL DE LA HUELLA HÍDRICA EN SUS DIFERENTES APLICACIONES Y COMO INDICADOR EN POLÍTICA PÚBLICA Y EMPRESARIAL PARA EL CASO DE COLOMBIA.**

A partir de la identificación de coincidencias y diferencias entre la huella hídrica y los indicadores tradicionales (Tabla 14 y Tabla 15), se identificaron las relaciones de complementariedad más relevantes en cuanto a la aplicación en política pública de este indicador.

El principal factor que justifica la pertinencia de la inclusión de la huella hídrica como indicador de sostenibilidad, tanto en política pública como corporativa, es que este indicador tiene en cuenta el consumo directo e indirecto de agua, a diferencia de los indicadores tradicionales que consideran el consumo como la extracción de agua superficial o subterránea únicamente (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, 2013). Adicionalmente, el valor agregado que ofrece el indicador de huella hídrica consiste en el hecho de que cuantifica el uso del agua teniendo en cuenta el consumo real, es decir, la pérdida de volumen disponible, además de discriminar este consumo según su origen, ya sea agua verde o agua azul, los indicadores tradicionales por el contrario, se evalúan desde la perspectiva de la demanda de agua, es decir cuantificando la extracción y el uso sin tener en cuenta el flujo que retorna a las fuentes hídricas en el mismo periodo de tiempo y el agua recirculada o reciclada en el mismo u otro proceso.

Las relaciones de complementariedad que se consideraron como relevantes son:

- Huella hídrica azul – Índice de uso del agua (IUA), Índice de extracción de agua subterránea (IEAS) e Índice integral de uso del agua (IIUA)
- Huella hídrica verde e Índice de aridez (IA)
- Huella hídrica azul e Índice de Oferta renovable de Aguas subterráneas con respecto a número de habitantes (IOASH)
- Huella Hídrica e Índice de Presión Demográfica (IPD)

Adicionalmente, se concluyó que la huella hídrica gris aun no debe considerarse para ser incluido como indicador complementario, ya que está en fase de definición y le hacen falta elementos que le permitan ser comparable en diferentes territorios con estándares



diferentes, es por lo tanto dependiente de los valores que establezcan los gobiernos como límites permisibles de concentración de un contaminante determinado. Es por esta razón que se decide excluir este componente del alcance de este trabajo.

Desde el enfoque empresarial es evidente la necesidad de vincular directamente la sostenibilidad de la empresa con los procesos de relacionamiento y las acciones de cooperación y conexión entre diferentes grupos de interés de la compañía. Es en este aspecto donde se identifica la pertinencia de la inclusión de la huella hídrica en la sostenibilidad corporativa, ya que la evaluación de este indicador plantea una visión holística de la cadena de suministro de productos y servicios, facilitando la identificación de corresponsabilidades a las que se pueda dar respuesta desde un acercamiento colectivo. Las cuencas son proveedoras de bienes y servicios ambientales para múltiples sectores productivos, es por esto que son los mismos sectores los que tienen un papel fundamental en la sostenibilidad de la cuenca.

Los indicadores usualmente usados en sostenibilidad corporativa son indicadores que se mantienen dentro de las fronteras organizacionales y, aunque la información que proveen es valiosa en la toma de decisiones internas, no brindan la integralidad que necesita la gestión de un recurso compartido como es el agua. La evaluación de huella hídrica permite salir de las fronteras de la organización, conocer el origen de los impactos y los actores involucrados en el uso y gestión del agua, factor estratégico para negocios y comunidades. La mejor manera de enfrentar efectivamente los problemas asociados al agua en las cuencas colombianas es basándose en acercamientos colectivos donde se reconozcan las corresponsabilidades.

Como resultado de esta fase se logró alinear la inclusión de la huella hídrica en política pública y en gestión del recurso hídrico a nivel corporativo por medio de la GIRH como medio para la seguridad hídrica, teniendo el indicador de huella hídrica como herramienta de análisis y generación de información útil en la toma de decisiones.

Así que con base en el estudio de los indicadores y estándares relacionados con el recurso hídrico se logró evidenciar que la gestión del recurso hídrico en Colombia se debe enfrentar desde diversas perspectivas y con diferentes elementos:

- El análisis de huella hídrica como herramienta para ampliar líneas base de información local y para conocer los impactos generados a lo largo de las cadenas de suministro mediante una visión holística de la apropiación humana del recurso hídrico.
- El análisis de riesgos hídricos como mecanismo de inclusión de la GIRH dentro de la estrategia corporativa de generación de valor
- El relacionamiento con los diferentes actores, gestores y usuarios del agua, en la cuenca para desarrollar estrategias de respuesta en base a los riesgos compartidos que permitan el desarrollo económico y social de las regiones de manera sostenible
- La participación en redes y plataformas nacionales e internacionales que permitan ampliar el conocimiento sobre huella hídrica, riesgos hídricos y otros problemas asociados al agua.

Estos elementos permiten la formulación de acciones individuales para reducir la huella hídrica de empresas, gobiernos y comunidades para posteriormente participar de acciones colectivas en la cuenca que velen por el aprovechamiento sostenible del agua y la protección de ecosistemas abastecedores. Finalmente, después de un proceso de diálogo y colaboración entre gestores y usuarios del agua en la cuenca, es posible influir en la gobernanza del agua por medio de la formulación de políticas que materialicen y reglamente en el largo plazo el uso sostenible del recurso hídrico en Colombia.

## 5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

- A partir del análisis de la huella hídrica gris, y teniendo en cuenta el nivel de desarrollo metodológico de este componente, se concluye que por el momento no es recomendable su aplicación como indicador complementario en la GIRH a nivel nacional, regional y corporativo debido a que es un indicador que considera los estándares legales de calidad como referencia para su cálculo y estas regulaciones están influenciadas por factores externos que hacen que sean muy variables entre las regiones, por lo tanto es un indicador que no es comparable entre diferentes zonas con regulaciones diferentes. Además, la huella hídrica gris se excluye de este trabajo debido a que está actualmente en proceso de estudio y desarrollo y su nivel de incertidumbre es mucho mayor al de los componentes de huella hídrica azul y verde, por lo tanto no es posible tener una conclusión definitiva respecto al componente de agua gris.
- La cuenca hidrográfica es la unidad básica para la aplicación de la huella hídrica como indicador de sostenibilidad en la GIRH, las demás aplicaciones son complementarias, por lo tanto es importante que en cualquier análisis de huella hídrica, en cualquier unidad de análisis, se contextualice en su resultado y las acciones de respuesta, dentro de la cuenca teniendo en cuenta los actores, recursos y riesgos compartidos entre ellos.
- El principal reto de la aplicación del análisis de huella hídrica en Colombia es la falta de información detallada a nivel local y empresarial, sin embargo, la inclusión de la huella hídrica como indicador complementario contribuirá a la ampliación de las líneas base para que cada vez sea posible obtener resultados más acertados y ajustados a la realidad que permitan formular estrategias de respuesta efectivas que generen cambios positivos en la calidad de vida de los colombianos y en el desarrollo económico del país.
- Actualmente se está evaluando la inclusión de la huella hídrica en el Estudio Nacional del Agua 2014, sin embargo, se recomienda evaluar la inclusión posterior en las Evaluaciones Regionales del Agua como indicador complementario ya que permitirá disponer de información en el nivel subregional, es decir que se tendrán estudios detallados que tengan en cuenta las características propias de cada subregión donde las instituciones del nivel nacional no llegan efectivamente. Es así como se podrán formular estrategias de reducción de impactos sobre el recurso hídrico acordes con las necesidades y expectativas de unidades territoriales específicas. Los estudios a nivel de cuenca facilitan la formación y fortalecimiento de alianzas público-privadas que faciliten y materialicen la implementación tanto de la PNGIRH como de políticas regionales creadas concertadamente entre actores en base al diálogo y socialización de riesgos hídricos compartidos.

- La huella hídrica con aplicación corporativa permite realizar un análisis de las principales fuentes de impacto de la compañía sobre el recurso hídrico y su ubicación en la cadena de suministro, para así poder identificar los riesgos a los que está expuesta su operación y por lo tanto la generación de rentabilidad, y el cumplimiento de sus políticas de sostenibilidad. Es así como la huella hídrica se convierte en la herramienta para convertir a la GIRH en parte de la estrategia corporativa y no mantenerla como una estrategia aislada dentro de la responsabilidad social empresarial que no se ajusta a los objetivos organizacionales.
- El estándar ISO 14046 para la aplicación corporativa de la huella hídrica se encuentra en proceso de formulación, sin embargo se conoce que estará basado en el análisis de ciclo de vida (ACV). El ACV complementa la evaluación de huella hídrica al proveer indicadores de impacto que consideran aspectos ambientales adicionales al uso de agua, en áreas como salud humana, impactos sobre los ecosistemas y agotamiento de recursos naturales. Especialmente en la aplicación corporativa, el enfoque hacia la sostenibilidad del producto, ofrecido por el ACV, complementa el enfoque hacia la GIRH, ofrecido por la huella hídrica, permitiendo la contextualización de estos indicadores en un territorio con condiciones específicas. Adicionalmente el ACV ha permitido el enriquecimiento de bases de datos que pueden ser útiles en la recolección de información para la evaluación de huella hídrica, es por esto que un acercamiento desde el ACV facilita la formulación de estrategias de respuesta más efectivas (Boulay, Hoekstra, & Vionnet, 2013).
- Es importante un cambio de paradigma en Colombia, las poblaciones deben identificarse territorialmente con la cuenca en la que están ubicadas y no tanto con el municipio únicamente, la cuenca es la unidad básica de análisis para implementar medidas de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, es la cuenca donde se interconectan actores, gestores, ecosistemas y demás elementos que garantizan el abastecimiento de agua a poblaciones y sectores productivos, por lo tanto el acercamiento de la GIRH se debe emprender desde la perspectiva de cuenca como unidad básica de análisis.
- En referencia al análisis de huella hídrica, al ser un concepto nuevo y en desarrollo, no se disponen de estructuras de compensación o mitigación definidas y algunos estándares relacionados con la metodología están en proceso de desarrollo; sin embargo, la metodología de cálculo de la huella hídrica azul y verde se encuentran en una etapa más madura que la huella hídrica gris, por lo tanto se sugiere adelantar en el cálculo y análisis de sostenibilidad del componente azul y verde para que los gobiernos y empresas colombianas estén preparadas para la discusión de la GIRH en base a la huella hídrica en un futuro cercano.
- La clave para que el sector público vea la necesidad de relacionarse y actuar colectivamente con grupos de interés y gobiernos es el análisis de huella hídrica y el posterior análisis de riesgos compartidos, ya que estas dos propuestas permiten evaluar impactos y riesgos indirectos que no se evidencian en los análisis de

sostenibilidad tradicionales que se enfocan dentro de las fronteras organizacionales.

- La conformación de redes de diálogo, donde se compartan experiencias, conocimiento, casos de éxito y expectativas de los diferentes sectores son fundamentales en el desarrollo de una GIRH basada en el análisis de huella hídrica ya que, el agua al ser el recurso compartido por excelencia, requiere de toma de decisiones concertadas pues sólo así es posible la formulación de estrategias de respuesta efectivas ante los problemas actuales y futuros relacionados con la escasez, calidad y conflictos por el agua.
- Como pasos siguientes se sugiere el análisis y determinación de las formas adecuadas para que se dé el relacionamiento del sector privado con el sector público y la influencia del primero en la formulación de políticas, ya que es necesaria una hoja de ruta para este proceso y que esta influencia no se convierta en un mecanismo para defender los intereses particulares de las compañías, sino que se mantenga como un sistema para alcanzar el bien común de los grupos interesados en la seguridad hídrica en las regiones.
- El objetivo principal de esta propuesta es que tanto sector público como el privado y las comunidades se comprometan con una gestión concertada del agua para poder desarrollar colectivamente políticas y mecanismos de respuesta que velen por una gestión integral y sostenible del agua teniendo en cuenta en donde se está generando el impacto sobre el recurso hídrico a partir del análisis de huella hídrica. Es importante resaltar que la huella hídrica no debe verse como un fin, sino como una herramienta en la toma de decisiones continua.
- Por lo tanto la huella hídrica es el primer paso hacia el conocimiento de los riesgos hídricos y posterior compromiso con grupos de interés y actores relacionados con el agua en la cuenca para alcanzar un aprovechamiento sostenible del recurso hídrico en las regiones colombianas que contribuya en el bienestar social y económico de las mismas.

## BIBLIOGRAFÍA

AccountAbility. (2004). *Strategic challenges for business in the use of corporate responsibility codes, standards, and frameworks*. Recuperado el 2013

AccountAbility. (2008). *Norma de Principios de AccountAbility AA1000APS (2008)*. Recuperado el 2013, de AccountAbility: <http://www.accountability.org/images/content/3/5/350.pdf>

AccountAbility. (2012). *The AA1000 Standards*. Recuperado el 2013, de AccountAbility: <http://www.accountability.org/standards/index.html>

Alliance for Water Stewardship. (2010). *About AWS*. Recuperado el 2013, de Alliance for water Stewardship: <http://www.allianceforwaterstewardship.org/about-aws.html#about-aws>

Arévalo, D. (2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica*. Bogotá D.C: WWF-Colombia.

Boulay, A. M., Hoekstra, A. Y., & Vionnet, S. (2013). Complementarities of Water-Focused Life Cycle Assessment and Water Footprint Assessment. *Environmental Science and Technology*, pág. 2.

Centro de ciencia y tecnología de Antioquia. (2013). *Huella hídrica en la cuenca del río Porce*. Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia.

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia. (2013). *Resumen de resultados: Evaluación de la Huella Hídrica en la cuenca del río Porce*. Medellín: Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia.

D&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability World 80 Index*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability World 80 Index: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-world80\\_tcm1071-337271.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-world80_tcm1071-337271.pdf)

Departamento de Planeación Nacional. (2010). *Plan nacional de desarrollo: Prosperidad para todos (2010-2014)*. Recuperado el 2012, de <http://www.dnp.gov.co/PND/PND20102014.aspx>

Departamento Nacional de Planeación. (2011). *Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014*. Bogotá D.C, Colombia: Departamento Nacional de Planeación.

Global Reporting Initiative. (2006). *Guía para la elaboración de Memorias de Sostenibilidad*. Recuperado el 2013, de Global Reporting Initiative: [http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/334\\_gri.pdf](http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/334_gri.pdf)

Gómez, D., & Scade, J. (2012). *Directrices, normas y guías internacionales*. Recuperado el 2013, de [http://www.eoi.es/wiki/index.php/Directrices,\\_normas\\_y\\_gu%C3%ADas\\_internacionales\\_en\\_Responsabilidad\\_Social\\_y\\_Sostenibilidad\\_Empresarial](http://www.eoi.es/wiki/index.php/Directrices,_normas_y_gu%C3%ADas_internacionales_en_Responsabilidad_Social_y_Sostenibilidad_Empresarial)

Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. Londres: Earthscan.

IDEAM & Fondo para el logro de los ODM (MDGIF). (2010). *Indicadores, tendencias y escenarios hidrológicos para el cambio climático*. Recuperado el 2013, de PNUD: [http://www.pnudcolombia.org/cambioclimaticomacizo/documentos/indicadores\\_tendencias\\_y\\_escenarios\\_hidroligicos\\_para\\_el\\_cambio\\_climatico\\_062010.pdf](http://www.pnudcolombia.org/cambioclimaticomacizo/documentos/indicadores_tendencias_y_escenarios_hidroligicos_para_el_cambio_climatico_062010.pdf)

IDEAM. (2008). *Informe Anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia*. Bogotá D.C: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales.

IDEAM. (2010). Estudio nacional del agua 2010. *Estudio nacional del agua 2010*. Colombia: IDEAM.

IDEAM. (2011). *Marco Conceptual y Metodológico para las evaluaciones regionales del agua*. IDEAM.

ISO. (2004). *ISO 14001:2004*. ISO.

ISO. (2010). *Norma internacional ISO 26000*. Ginebra: Secretaría Central de ISO.

Lafontaine, M. (2012). Corporate Water Footprint. *II Seminario Internacional de Huella Hídrica* (pág. 54). Medellín: Centro Nacional de Producción más Limpia.

Meneses, J. (2013). ISO 26000. *Gestión Sostenible*, (pág. 50). Medellín.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2012). *Legislación del agua*. Recuperado el 2012, de MinAmbiente: <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=909&conID=3975>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico. Colombia: Viceministerio de Ambiente.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España. (2008). *Día mundial del control de la calidad del agua*. Recuperado el 2013, de Día mundial del control de la calidad del agua: <http://www.dmcca.es/documentum/publicaciones/manual2008.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Política Nacional para Humedales interiores en Colombia*. Recuperado el 2013, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: [http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/politica/polit\\_nal\\_humedales\\_int\\_colombia.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/politica/polit_nal_humedales_int_colombia.pdf)

OECD. (2008). *OECD Key environmental indicators*. Recuperado el 2013, de <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/37551205.pdf>

OECD. (2012). *OECD work on water*. Recuperado el 2013, de <http://www.oecd.org/env/resources/49854843.pdf>

OECD. (s.f). *Organization for Economic Co-operation and Development*. Recuperado el 2013, de <http://www.oecd.org/about/>

Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2006). Strategy & Society. The link Between Competitive Advantage and Corporate Social Responsibility. *Harvard Business Review*, 24.

RobecoSAM. (2011). *SAM Research Corporate Sustainability Assessment Questionnaire*. Recuperado el 2013, de SAM Research Corporate Sustainability Assessment Questionnaire: <http://www.robecosam.com/images/sample-questionnaire.pdf>

RobecoSAM AG. (2013). *Dow Jones Sustainability World Index Guide*. Zurich: RobecoSAM.

RobecoSAM. (s.f). *DJSI Index Family Overview*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability Indices : <http://www.sustainability-indices.com/dow-jones-sustainability-indices/index.jsp>

RobecoSAM. (s.f). *RobecoSAM Corporate Sustainability Assessment*. Recuperado el 2013, de RobecoSAM: <http://www.robecosam.com/en/sustainability-insights/about-sustainability/robecosam-corporate-sustainability-assessment.jsp>

S&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability North America Index*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability North America Index: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-na\\_tcm1071-337275.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-na_tcm1071-337275.pdf)

S&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability Emerging Markets Index*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability Emerging Markets Index: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-em\\_tcm1071-364151.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-em_tcm1071-364151.pdf)

S&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability Europe 40 Index*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability Europe 40 Index: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-europe40\\_tcm1071-337287.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-europe40_tcm1071-337287.pdf)

S&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability Eurozone Index*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability Eurozone Index: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-eurozone\\_tcm1071-337285.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-eurozone_tcm1071-337285.pdf)

S&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability Japan 40 Index*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability Japan 40 Index: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-japan40\\_tcm1071-337297.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-japan40_tcm1071-337297.pdf)



S&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability Korea 20 Index*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability Korea 20 Index: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-korea20\\_tcm1071-337301.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-korea20_tcm1071-337301.pdf)

S&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability Korea Index*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability Korea Index: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-korea\\_tcm1071-337299.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-korea_tcm1071-337299.pdf)

S&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability Nordic Index*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability Nordic Index: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-nordic\\_tcm1071-337291.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-nordic_tcm1071-337291.pdf)

S&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability North America 40 Indices*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability North America 40 Indices: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-na40\\_tcm1071-337279.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-na40_tcm1071-337279.pdf)

S&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability United States 40 Index*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability United States 40 Index: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-us40\\_tcm1071-337281.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-us40_tcm1071-337281.pdf)

S&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability United States Index*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability United States Index: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-us\\_tcm1071-337277.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-us_tcm1071-337277.pdf)

S&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability World Enlarged Index*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability World Enlarged Index: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-world-enlarged\\_tcm1071-337269.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-world-enlarged_tcm1071-337269.pdf)

S&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability World ex-U.S. 80 Index*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability World ex-U.S. 80 Index: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-world-ex-us80\\_tcm1071-337273.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-world-ex-us80_tcm1071-337273.pdf)

S&P Dow Jones Indices. (2013). *Dow Jones Sustainability World Index*. Recuperado el 2013, de Dow Jones Sustainability World Index: [http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-world\\_tcm1071-337267.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/indexes-monthly-djsi-world_tcm1071-337267.pdf)

S&P Dow Jones Indices. (2013). *Indices*. Recuperado el 2013, de S&P Dow Jones Indices: <http://www.djindexes.com/sustainability/>

Secretaría General de la Comunidad Andina. (2008). *Manual de Estadísticas Ambientales Andinas*. Recuperado el 2013, de Naciones Unidas: [http://www.eclac.org/deype/noticias/noticias/7/44607/Indicadores\\_CAN\\_completo.pdf](http://www.eclac.org/deype/noticias/noticias/7/44607/Indicadores_CAN_completo.pdf)

SIAC. (s.f). *Calidad: Agua superficial*. Recuperado el 2013, de Sistema de información Ambiental de Colombia (SIAC): <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=860&conID=1373>

The CEO Water Mandate. (2011). *The CEO Water Mandate: An initiative by business leaders in partnership with the interational community*. Recuperado el 2013, de The CEO Water Mandate: [http://ceowatermandate.org/files/Ceo\\_water\\_mandate.pdf](http://ceowatermandate.org/files/Ceo_water_mandate.pdf)

The CEO Water Mandate. (2013). *About*. Recuperado el 2013, de The CEO Water Mandate: <http://ceowatermandate.org/about/>

Pacific Institute & WWF. (2009). *From Footprint To Public Policy: The business future for addressing water issues*. The CEO Water Mandate.

Water Footprint Network. (2013). *What is the Water Footprint Network?* Recuperado el 2013, de water Footprint Network: <http://www.waterfootprint.org/?page=files/AboutWFN>

WWF. (2012). *WWF's Freshwater Programme: Securing water for people and nature*. WWF.

WWF. (2013). *Water Stewardship: Perspectives on business risks and responses to water challenges*. WWF.

WWF-Colombia. (2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica*. Cali, Colombia: WWF- Colombia.

WWF-Colombia. (2013). *El filtro de riesgo de agua (Water Ris Filter): Modelo conceptual*. Bogotá D.C.

WWF-COLOMBIA. (2013). *Estrategia de Custodia del Agua (Water Stewardship) desde la Evaluación de huella hídrica de producto mainstream y evaluación del Riesgo relacionado con el agua para Bavaria*. Bogotá D.C.

Nattero, M., Orr, S., & Farrington, R. (2009). *21st Century Water: Views from the finance sector on water risk and opportunity*. Surrey: WWF-UK.

Zárate, É. (2011). Introducción al concepto de Huella Hídrica. *Seminario de Huella Hídrica* (pág. 55). Medellín: Centro Nacional de Producción Más Limpia.

Zárate, É. (2012). Contexto metodológico HH y aplicaiciones. *II Seminario Internacional de Huella Hídrica* (pág. 28). Medellín: Centro Nacional de Producción Más Limpia.

Zuluaga, P. A., & Franco, M. (2013). *Acuerdos de pesca sostenible en las comunidades indígenas de la Estrella Fluvial de Inírida: Avances*. ICAA.

