



Guía para la evaluación
de la huella hídrica de
café en Colombia

GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL CAFÉ EN COLOMBIA

-
- * Investigador Científico III Unidad de Gestión de Proyectos Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé
 - ** Investigador Científico III Disciplina de Poscosecha Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé
 - *** Ingeniero Agrónomo, MSc en Ciencias Agrarias Centro de Internacional de Agricultura Tropical, CIAT
 - **** Investigador. Wageningen UR. Environmental Research, Water and Food
 - ***** Especialista Técnica Proyecto Manos al Agua - GIA Gerencia Técnica Federación Nacional de Cafeteros
 - ***** Asistente de Investigación Disciplina de Poscosecha Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé
-

Juan Mauricio Rojas Acosta*
Nelson Rodríguez Valencia**
Miguel Antonio Romero Sánchez***
Ángel de Miguel García****
María Angélica Montes*****
Laura Vanessa Quintero Yepes*****



Gestión Inteligente del Agua - Manos al Agua es una Asociación Público Privada que generó un modelo para habilitar y mejorar los sistemas para la cooperación intersectorial, la caficultura sostenible, la protección ambiental, y la toma de decisiones, que ha permitido contribuir a enfrentar los desafíos del desbalance hídrico para el sector cafetero y su cadena de valor, estableciendo condiciones ambientales, sociales y productivas para: reducir la pobreza, mejorar el bienestar rural, contribuir a la paz y alcanzar el desarrollo sostenible en la zona rural colombiana.





Socios Fundadores

Roberto Vélez Vallejo
Gerente General
Federación Nacional de Cafeteros, FNC

Jean-Marc Duvoisin
CEO, Nespresso

Mark Schneider
Chief Executive Officer
Nestlé

Alejandro Gamboa Castilla
**Director General Agencia de Cooperación
Internacional de Colombia**
APC Colombia
Wageningen University and Research

Álvaro L. Gaitán Bustamante
Director Cenicafé
Ministerio de Asuntos Exteriores de los Países
Bajos y Netherlands Enterprise Agency

Comité Directivo

Marcelo Burity
Green Coffee Development
Nestlé

Paulo Barone
Sustainability Program - Coffee
Nespresso

Charon Zondervan
**Wageningen University and Research
Programme Coordinator**
Environmental Sciences Group

Hernando Duque Orrego
Gerente Técnico
FNC

Director del Proyecto Manos al Agua, FNC

Rodrigo Calderón Correa

Comité Técnico Científico

Wouter Wolters
**Wageningen University and Research
Environmental Research**

Carlo Conforto Galli
Technical Manager Water Resources
Nestlé

Nelson Rodríguez
Investigador Científico
Cenicafé, FNC

Laura Miguel Ayala
**Wageningen University and Research
Environmental Research**

Comité Operativo

Ricardo Piedrahita
Strategic Sourcing and Sustainability Manager
Supply Chain
Nestlé Colombia

Santiago Arango
Green Coffee Project Manager
Nespresso Colombia

Nelson Rodríguez
Ph.D. en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente
Investigador Científico
Cenicafé, FNC
Equipo Administrativo, Coordinador, Científico y
Técnico del Proyecto

Comité Editorial Cenicafé

Álvaro León Gaitán Bustamante
Ph.D. Director - Cenicafé

Pablo Benavides Machado
Ph.D. Ing. Agrónomo
Entomología - Cenicafé

Diana María Molina Vinasco
Ph.D. Bacterióloga
Mejoramiento Genético - Cenicafé

Carmenza Esther Góngora Botero
Ph.D. Microbióloga
Entomología - Cenicafé

José Ricardo Acuña Zornosa
Ph.D. Microbiólogo
Fisiología - Cenicafé

Paula Jimena Ramos Giraldo
Ph.D. Ing. Electrónico
Poscosecha - Cenicafé

**Secretaría Técnica Comité Editorial,
revisión de textos y corrección de estilo**

Sandra Milena Marín López
Ing. Agrónoma MSc

Revisión Editorial
Josué David Espitia Franco
Economista - Cenicafé

Diseño y Diagramación
Inti Alonso

Fotografías
Archivo Cenicafé
David Bonilla Abreo

Mapas
Felipe Carvajal Monroy

Tabla de contenido

	Prólogo	6
1	Generalidades	9
	Antecedentes	10
	Importancia del café en Colombia	11
	La importancia del agua en el sector cafetero	13
	El concepto de la Huella Hídrica (HH)	15
	El café en el contexto de la Huella Hídrica	19
	Fases de la evaluación de la Huella Hídrica en el sistema productivo del café	21
2	Objetivos y aplicación de la guía de la Huella Hídrica	27
	Objetivo de la guía	28
	Alcance de la evaluación de la Huella Hídrica	29
	Límites del sistema	29
	Caracterización del sistema de producción de café	31
	Definición de la unidad funcional	31
	Dimensión temporal y geográfica	31
	Reglas de corte	33
3	Metodología para la cuantificación de la HH en el sistema de producción del café de Colombia	35
	Levantamiento de la información	36
	Delimitación de las fases en el sistema productivo del café a nivel de finca	39
	Cuantificación de las entradas y salidas del agua en el sistema productivo	40
	Cuantificación de la Huella Hídrica	58
4	Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica en el sistema de producción de café	71
	Criterios de sostenibilidad ambiental para la identificación de puntos críticos a nivel de cuenca	73
	Criterios de sostenibilidad ambiental para la identificación de puntos críticos a nivel de finca cafetera	80
	Evaluación de la sostenibilidad de la HH gris en el proceso de beneficio	82
	Evaluación de la sostenibilidad en la fase de cultivo	82
5	Aplicación de la metodología para el cálculo de las HH azul y gris en la etapa de beneficio de café y el análisis de sostenibilidad	85
	Reseña microcuenca Quebrada La Frisolera	86
	Descripción de las fincas seleccionadas	89
	Análisis de sostenibilidad	98
	Formulación de respuestas	99
6	Buenas prácticas en el sistema de producción de café en la gestión de la HH	101
7	Consideraciones finales	121
	Referencia de literatura	124
	Anexo I	132

PRÓLOGO

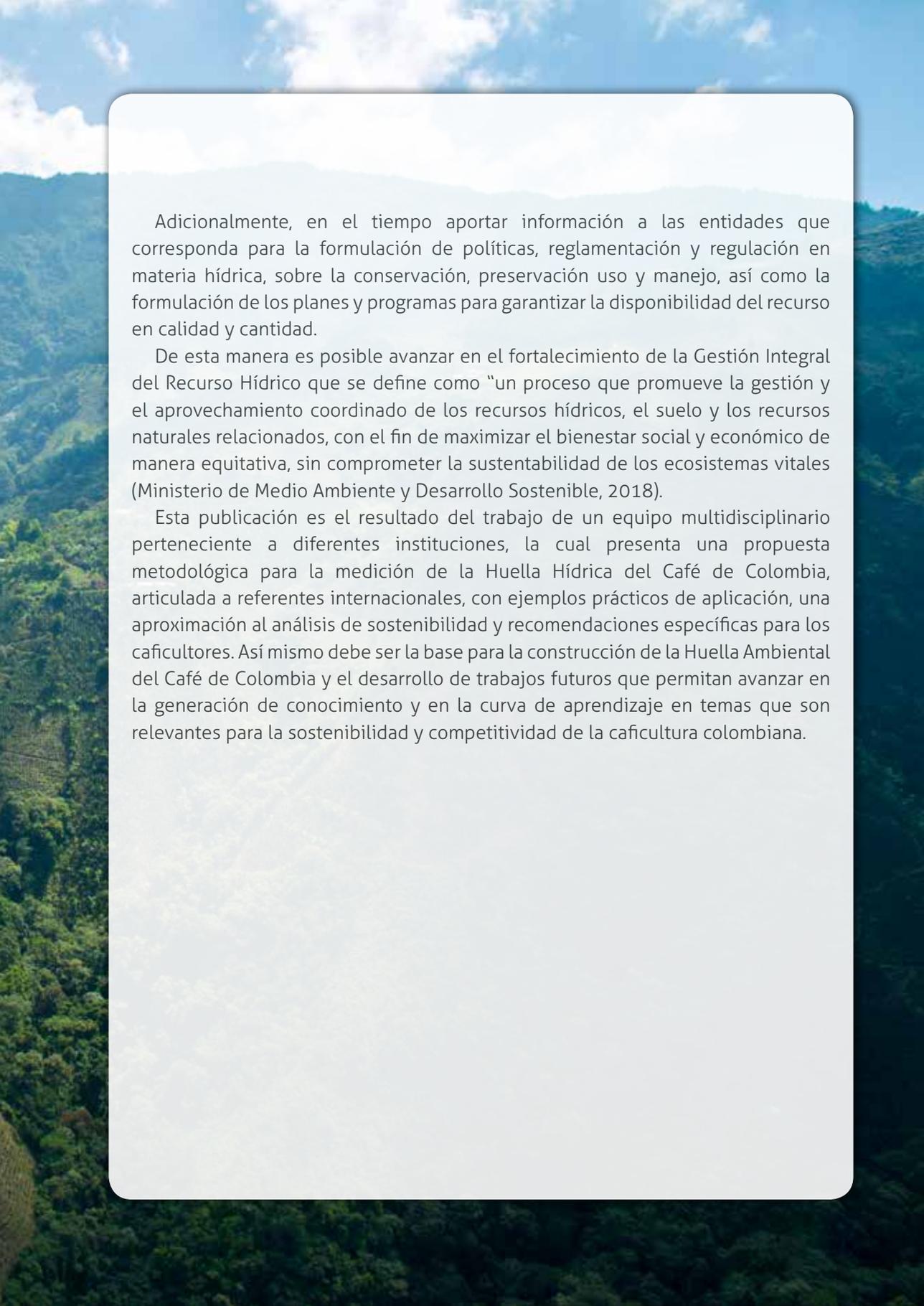
El agua es un recurso fundamental para la vida, y en la medida que avanza el tiempo se hace más relevante mantener una adecuada gestión de este recurso, para asegurar su disponibilidad dentro de parámetros de calidad que permitan su uso y aprovechamiento.

Son grandes los retos a los que se enfrenta la sociedad, en lo individual y lo colectivo, desde lo político, en términos de definición de pautas, lineamientos y normativas, para que en el futuro desde diferentes temáticas se aporte de manera importante y se avance en el conocimiento de este recurso vital, de tal manera que se promuevan e implementen mecanismos para hacer más eficiente su uso y conservación. Se requiere de diferentes estrategias para abordar la problemática actual y generar las soluciones de acuerdo a las condiciones y necesidades específicas de cada territorio.

El sector cafetero colombiano que ocupa la mayor área sembrada en el país, por encima de las 900.000 hectáreas, ha mantenido un interés por el uso y conservación de los recursos naturales. Específicamente con relación al agua, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia a través de Cenicafé ha generado tecnologías para la reducción del consumo del agua. Actualmente son diferentes los métodos disponibles para reducir el consumo: el despulpado sin agua, el transporte de la pulpa sin agua y el lavado y clasificación con tanque-tina, Becolsub y Ecomill®. Así mismo, son notorios los desarrollos para reducir la contaminación en el agua utilizada en el beneficio del café, mediante los Sistemas Modulares de Tratamiento de Agua – SMTA, las fosas de reúso y los filtros verdes.

Para avanzar en el conocimiento de la relación del agua y el cultivo del café es posible realizar medición de la Huella Hídrica (HH), que corresponde al volumen usado de agua para un proceso antrópico que no retorna al cuerpo de agua donde fue extraída o retorna con una calidad diferente a la original. La Huella Hídrica tiene tres componentes, dos de ellos asociados a la cantidad de agua (verde y azul) y uno a la calidad del agua (gris) (Ideam, 2014).

El proyecto Manos al Agua-GIA, consideró importante contribuir a la medición de la Huella Hídrica del Café de Colombia, para que a partir del conocimiento generado bajo las condiciones agroecológicas de la producción nacional, se realice una contribución que con el soporte técnico y científico sea la base para la toma de decisiones en diferentes ámbitos y al desarrollo de recomendaciones para que los caficultores bajo el concepto de Buenas Prácticas puedan implementar y contribuir a la gestión integral del recurso hídrico.



Adicionalmente, en el tiempo aportar información a las entidades que corresponda para la formulación de políticas, reglamentación y regulación en materia hídrica, sobre la conservación, preservación uso y manejo, así como la formulación de los planes y programas para garantizar la disponibilidad del recurso en calidad y cantidad.

De esta manera es posible avanzar en el fortalecimiento de la Gestión Integral del Recurso Hídrico que se define como “un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, el suelo y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

Esta publicación es el resultado del trabajo de un equipo multidisciplinario perteneciente a diferentes instituciones, la cual presenta una propuesta metodológica para la medición de la Huella Hídrica del Café de Colombia, articulada a referentes internacionales, con ejemplos prácticos de aplicación, una aproximación al análisis de sostenibilidad y recomendaciones específicas para los caficultores. Así mismo debe ser la base para la construcción de la Huella Ambiental del Café de Colombia y el desarrollo de trabajos futuros que permitan avanzar en la generación de conocimiento y en la curva de aprendizaje en temas que son relevantes para la sostenibilidad y competitividad de la caficultura colombiana.





Guía para la evaluación de la huella hídrica de café en Colombia

Generalidades

1

Antecedentes

El desarrollo de las actividades humanas depende de la disponibilidad de recursos naturales, por lo que es un deber poner en marcha acciones para su conservación; de esto depende, en gran medida, la sostenibilidad del planeta.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (2009), debido a la tasa de crecimiento poblacional sería necesario aumentar la producción de alimentos en un 70% entre 2005/07 y 2050; es decir, la producción en los países en desarrollo casi tendría que duplicarse. Ello implica un aumento importante en la producción de varios productos básicos fundamentales para alimentar a una población mundial de 9.100 millones de personas. Sin embargo, esto solo será posible si se conserva e incrementa la base del recurso natural fundamental como es el agua, la cual contribuye a:

- La provisión de alimentos desde su producción en el campo y en todos los pasos de la cadena de valor.
- Cumplir necesidades de carácter personal y doméstico, así como para la producción energética e industrial.
- Mantener importantes ecosistemas dependientes de agua y servicios ambientales.

Con el incremento de la demanda y la competencia por el agua, los recursos hídricos del planeta se encuentran bajo un riesgo creciente debido a la variabilidad climática, a su mal manejo y a la contaminación.

Aunque el agua es el elemento más abundante en la Tierra, únicamente el 2,53% del total es agua dulce y el resto es agua salada. Aproximadamente las dos terceras partes del agua dulce se encuentran inmovilizadas en glaciares y al abrigo de nieves perpetuas. A la cantidad natural de agua dulce existente en lagos, ríos y acuíferos se agregan los 8.000 km³ almacenados en embalses (ONU, 2003).

El agua es el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía y la producción de alimentos, los ecosistemas saludables y para la supervivencia misma de los seres humanos. El agua también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático y es el vínculo crucial entre la sociedad y el medioambiente. Muchos de los sectores económicos han identificado la crisis de abastecimiento del agua como un riesgo a nivel mundial.

Estudios previos indican que, adicional al incremento acelerado de la presión sobre los cuerpos de agua dulce en las últimas décadas (WBCSD, 2013), los fenómenos climáticos extremos se hacen cada vez más frecuentes, generando períodos de sequía

más intensos y prolongados en diferentes regiones del planeta (IPCC, 2007; ONU, 2014). Estos tienen un mayor impacto sobre los sectores estrechamente vinculados al clima y a la alta demanda de agua, como lo son la agricultura, silvicultura, ganadería y el turismo (IPCC, 2007; ONU, 2014).

A nivel mundial, la actividad agrícola emplea alrededor del 70% de toda el agua utilizada en el planeta. Es por esto que, la agricultura se categoriza en un nivel alto de riesgo ante la disponibilidad del recurso hídrico (IPCC 2007; ONU, 2014).

En el caso de Colombia, según la evaluación realizada en el Estudio Nacional del Agua (ENA, 2014), sobre la demanda de agua en los diferentes sectores económicos, el sector agrícola usa alrededor de 17.000 millones de m³, equivalentes al 47% del total del volumen de agua que se utiliza en el país. El mayor uso de agua se concentra en el área hidrográfica de los ríos Magdalena y Cauca con el 67% de la demanda total del país. Dentro del área de los ríos Magdalena y Cauca los sectores agrícola, pecuario y acuícola demandan el 55% del agua que se utiliza en las cuencas (ENA, 2014).

Importancia del café en Colombia

El café es uno de los sectores productivos que aportan positivamente al crecimiento económico del país; para el tercer trimestre del 2017 el sector agrícola registró un crecimiento de 7,1%, correspondiente a más de tres veces el PIB nacional, que alcanzó el 2%, en el mismo período. Dentro de la rama de agricultura, el segmento de mayor crecimiento lo obtuvo, para el mismo período, el café pergamino (24,9%) seguido de las semillas y frutos oleaginosos (48%) y la leche sin elaborar (9,6%).

En Colombia una de las cadenas agrícolas de mayor importancia es la del café. Según reportes de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC, 2015), la producción nacional de café creció 83% en los últimos cuatro años, al pasar de 7,7 millones en 2012 a 14,2 millones de sacos de 60 kg en 2017. Los datos más recientes (FNC, 2017) indican que el valor de la cosecha alcanzó los \$8,1 billones (0,9% del PIB) para el año 2016-2017 (Clavijo, 2017). En la Figura 1 se observa el movimiento en volumen y valor de la cosecha de café colombiano desde el año 2009 al 2017.



Figura 1. Volumen y valor de la cosecha de café colombiano del año 2009 al 2017. Fuente: Adaptado de Anif con base en FNC/Gráfico: LR-JG. (2017)

El crecimiento económico que se evidencia en la caficultura colombiana también se ve reflejado en la generación de empleos directos e indirectos, según análisis del Ministerio de Agricultura (2017), la caficultura genera cerca de 800 mil empleos directos en el sector rural es decir, 32% del empleo que generan las actividades agrícolas. Además del empleo directo, la caficultura ocupa a personas en toda la cadena de valor (comercialización, trilla, transporte, industrialización y exportación), lo que se traduce en cerca de 1,6 millones de empleos indirectos (MADR, 2017).

El año cafetero 2016/17 finalizó con una producción mundial de 155,8 millones de sacos, 1,7% menos con respecto al año cafetero 2015/16, que comparado con un consumo mundial de 156,9 millones de sacos representa un déficit global de 1,1 millones de sacos. Por su parte, los 156,9 millones de sacos de consumo mundial significan que la demanda creció 2,3% en el año cafetero 2016/17, de los cuales los países importadores demandaron el 70% (unos 110,3 millones de sacos), mientras que los países productores absorbieron el restante 30%, con 46,6 millones de sacos. Para el año cosecha 2017/18 se espera un aumento de 2,3% en el consumo de los países productores, impulsado por una mayor demanda en Brasil, Vietnam e Indonesia; y de 2,4% en los países importadores, jalonado por países no tradicionales pero con gran potencial como Irlanda, Pakistán y Argentina. Frente a estas previsiones de crecimiento del consumo y la producción es factible esperar que el precio externo del café se mantenga en niveles bajos, como los que se han registrado en los últimos meses de 2017 y durante los primeros meses de 2018, mientras se confirman las expectativas de clima y cosecha en Brasil y Vietnam, mayores determinantes del mercado (FNC, 2017).

El café en Colombia representa la mayor área sembrada con 903.950 ha, seguido de los cultivos de palma de aceite (516.960 ha, Fedepalma, 2017), caña de azúcar (243.232

ha, Asocaña, 2017) y plátano y tubérculos (468.432 ha), entre los más representativos (ENA, 2014, 2016). De acuerdo con la información suministrada en el Sistema de Información Cafetera (SICA), el área en café para el 2017 fue de 938.455 ha, vinculando a 555.692 productores, en 22 departamentos del país y 561 municipios (Tabla 1).

Tabla 1. Área sembrada en café por Departamentos, 2010 - 2017.

Departamento	2010*	2011*	2012*	2013*	2014*	2015*	2016*	2017*
Antioquia	131,12	131,17	133,61	137,13	130,99	128,63	126,40	123,26
Bolívar	n/d	n/d	n/d	1,00	1,12	1,16	1,18	1,23
Boyacá	11,14	11,27	10,35	11,49	11,41	11,52	11,45	10,57
Caldas	81,92	80,52	78,58	77,56	74,53	72,37	70,79	68,97
Caquetá	2,85	3,43	3,68	4,08	3,99	4,09	4,16	4,05
Casanare	2,61	2,74	2,92	3,20	3,25	3,20	3,17	2,92
Cauca	76,19	81,17	84,06	91,61	88,83	92,62	95,75	93,30
Cesar	24,23	26,19	28,69	30,77	30,28	28,91	29,02	28,03
Chocó	0,19	0,21	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,17
Cundinamarca	49,36	43,85	40,79	41,99	38,00	37,92	37,68	35,43
La Guajira	5,28	5,79	6,21	6,77	6,79	6,12	6,13	5,86
Huila	117,84	129,15	139,14	154,49	154,98	154,09	151,87	147,80
Magdalena	18,87	19,76	20,56	21,26	21,27	20,39	20,52	20,17
Meta	2,59	3,01	3,23	3,60	3,44	3,53	3,61	3,40
Nariño	33,54	35,37	37,12	39,29	38,86	38,85	38,75	38,17
N. de Santander	33,98	32,90	30,01	30,39	26,73	25,44	24,34	23,99
Putumayo	n/d	n/d	n/d	0,04	0,13	0,13	0,00	0,22
Quindío	43,37	31,07	30,18	28,88	27,67	27,02	25,68	23,76
Risaralda	52,88	52,56	52,32	52,27	51,03	50,80	50,26	48,52
Santander	44,58	45,23	46,83	50,27	50,32	51,14	50,61	50,16
Tolima	106,79	109,86	113,15	119,33	117,18	118,43	117,27	112,87
Valle	75,09	75,80	69,44	68,39	67,57	64,39	62,96	61,11
TOTAL	914,41	921,06	931,06	974,01	948,53	940,92	931,75	903,95

Fuente: FNC/ Gerencia Técnica.2017. (*) Corte a diciembre.

La importancia del agua en el sector cafetero

Uno de los recursos naturales necesarios para la producción café y la elaboración de la bebida es el agua. Este recurso es esencial en el proceso de producción del café, siendo requerida en todas las etapas: como riego en las etapas de germinador y almácigo, como precipitación en la etapa de establecimiento y desarrollo del cultivo, y como suministro en la etapa del beneficio del fruto. En esta última etapa se generan además

unos efluentes con alta contaminación orgánica, que pueden impactar las fuentes de agua superficiales, contribuyendo a la reducción de la disponibilidad del recurso.

La zona cafetera de Colombia, en su mayor proporción, se encuentra en la cadena montañosa de los Andes, donde también están las principales fuentes de abastecimiento del recurso hídrico. En total, la zona cafetera comprende más de tres millones de hectáreas, donde el sistema de producción de café interactúa con diferentes ecosistemas, que son de alta importancia para la sostenibilidad de la caficultura y del país (Figura 2).

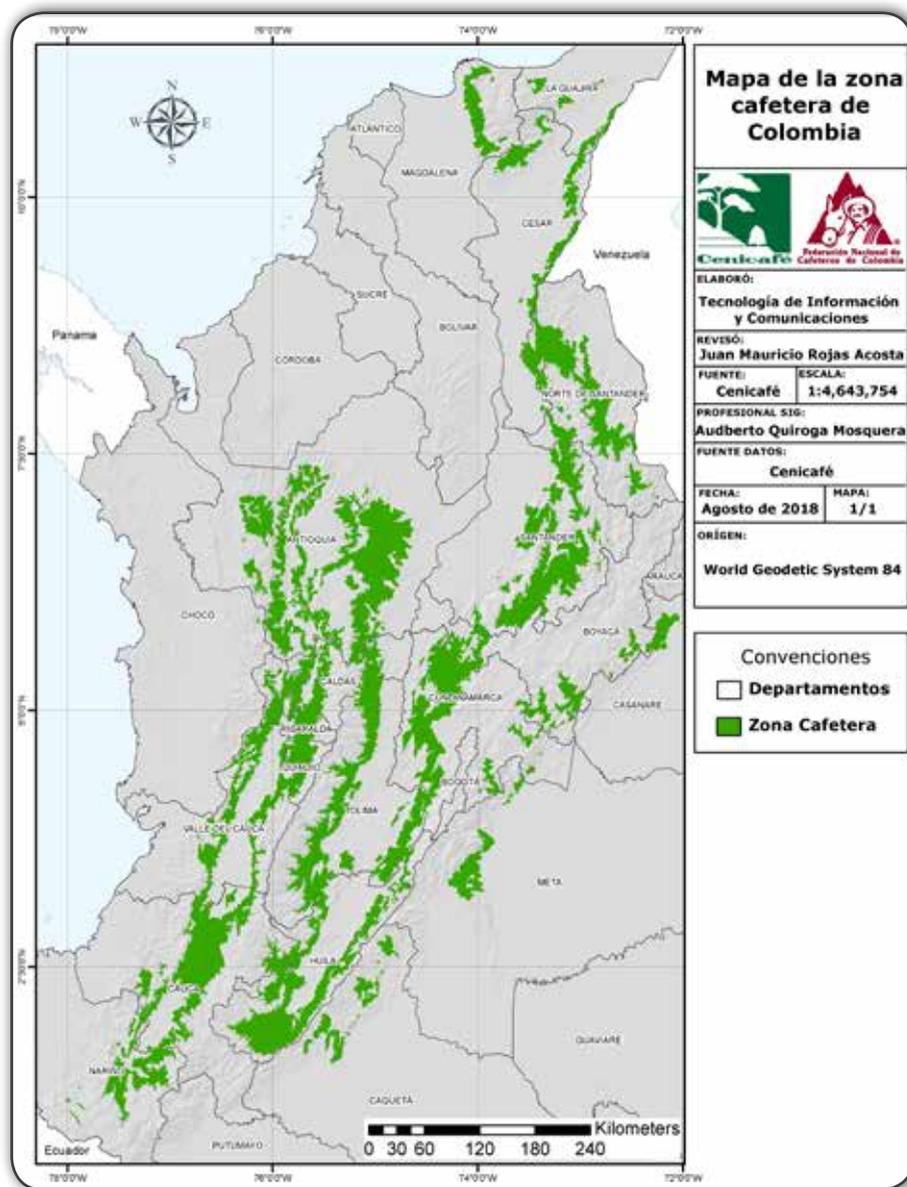


Figura 2. Zona Cafetera Colombiana.

Bajo el entendido de que el recurso hídrico es limitado, el sector cafetero colombiano, a lo largo del tiempo, ha mantenido un compromiso con la conservación y uso adecuado de los recursos naturales mediante diferentes estrategias, una de ellas es la generación de conocimiento y tecnología.

Con el objetivo de disminuir los consumos de agua y reducir la contaminación hídrica en el proceso de beneficio de café cereza, el Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé ha desarrollado diferentes opciones tecnológicas entre las que se destacan el uso de lavadores mecánicos (Ecomill®), desmucilagadores mecánicos (Deslim), el tanque tina y los sistemas de tratamiento de las aguas residuales (Cenicafé, 2013). De esta manera la FNC procura un permanente desarrollo de tecnologías que, adaptadas a las condiciones agroecológicas de la caficultura colombiana, contribuyan al uso eficiente y a la protección de los recursos naturales.

El concepto de la Huella Hídrica (HH)

El concepto de la HH fue presentado por primera vez por Wackernagel y Rees (1996) y Hoekstra y Hung (2002), y fue concebido inicialmente como un indicador que permitía estimar el contenido de agua oculta (asociada) en cualquier bien o servicio consumidos por un individuo o grupo de individuos de un área específica. La HH tiene relación con el uso del agua para un proceso antrópico; una parte del volumen usado no retorna a la cuenca de la cual fue extraída o retorna con una calidad diferente a la original. Por lo tanto, la HH se refiere al impacto territorial del uso, en términos de reducción de la disponibilidad de agua tanto en cantidad como en calidad, a partir de un proceso antrópico determinado.

La HH se basa en el desarrollo amplio de cuatro conceptos previos: **agua virtual**, **agua verde**, **agua azul** y **agua gris**, los cuales proporcionan la mayor parte de la base conceptual y metodológica que permite su aplicación y complementan la visión tradicional del manejo del agua en el contexto de la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

El **agua virtual** fue introducida como concepto por Allan (1993) y hace referencia al volumen de agua requerida para la producción de un producto o servicio, medida a lo largo de su cadena de suministro; de esta forma, si una nación exporta o importa un producto, se exporta o importa el agua virtual asociada a ese producto (ENA, 2014).

El **agua verde** hace referencia al agua de lluvia almacenada en el suelo en forma de humedad. Es tomada en cuenta con el propósito de generar conciencia respecto al agua disponible para el crecimiento de la biomasa y su participación en la evapotranspiración (Falkenmark, 2003). Posteriormente la FAO retomó el concepto primario y actualizó la definición del agua verde, considerándola como el flujo vertical de agua, es decir, agua almacenada en el suelo que soporta la vegetación y que se mantiene en el suelo, pero que no hace parte del proceso de recarga a fuentes de agua superficial o subterránea. El concepto de agua verde permite considerar a los ecosistemas naturales como un usuario

visible del agua, el cual está sometido a una competencia por el recurso hídrico, que es cuantificable por este medio (Induspj, 2017).

El **agua azul** como concepto representa el uso consuntivo del agua, es decir, agua dulce de superficie o subterránea. "Uso consuntivo del agua" se refiere a uno de los cuatro casos siguientes:

- El agua se evapora.
- El agua se incorpora a un producto.
- El agua no vuelve a la misma zona de flujo, por ejemplo, es devuelta a otra zona de captación o al mar.
- El agua no vuelve en el mismo período, por ejemplo, si se retira en un período seco y devuelve en un período de lluvias.

El primer componente, la evaporación, es generalmente el más importante. Por lo tanto se verá a menudo que los usos consuntivos se equiparan con la evaporación, pero los otros tres componentes deben ser incluidos cuando sea pertinente. Todo lo relacionado con la producción cuenta como evaporación, incluyendo el agua que se evapora durante el almacenamiento de agua (por ejemplo, en depósitos de agua artificiales), el transporte (por ejemplo, en canales abiertos), el tratamiento (por ejemplo, la evaporación del agua caliente que no se recoge) y la recolección y eliminación (por ejemplo, de canales de drenaje y de plantas de tratamiento de aguas residuales). "Uso consuntivo del agua" no quiere decir que el agua desaparezca, porque el agua se mantendrá dentro del ciclo y siempre volverá a alguna parte. El agua es un recurso renovable, pero eso no significa que su disponibilidad es ilimitada. En un determinado período, la cantidad de agua que recarga las reservas de aguas subterráneas y que fluye a través de un río está siempre limitada a un determinado volumen. El agua en los ríos y los acuíferos se puede utilizar para el riego o para fines industriales o domésticos. Pero en un determinado período no se puede consumir más agua que la que hay disponible. La huella hídrica azul mide la cantidad de agua disponible en un determinado período que se consume (es decir, que no se devuelve a la misma cuenca hidrográfica). De esta manera, proporciona una medida del volumen de agua azul disponible que ha sido consumida por los seres humanos. El resto, las aguas subterráneas y las superficiales no consumidas para fines humanos, se emplean en mantener los ecosistemas que dependen de las mismas (WFN, 2011).

El **agua gris** representa el agua contaminada debido al ingreso de contaminantes por los procesos antrópicos que llegan a fuentes de agua naturales y se identifican como una amenaza que puede alterar la condición de calidad natural del cuerpo receptor y, por lo tanto, reducir la disponibilidad de agua para los usuarios (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA, 2017). El ingreso de estos contaminantes puede provenir de fuentes puntuales o fuentes difusas.

Como consecuencia de los conceptos anteriores, se desarrolla el concepto de la HH (Hoekstra *et al.*, 2011), que representa la apropiación humana del agua, que se evidencia

en el impacto en términos de consumo y contaminación del agua por parte de los seres humanos; en otras palabras, se refiere al consumo y contaminación del agua con fines productivos. Por uso consuntivo se entiende aquel en el cual el agua ya no se encuentra disponible para otros usos, sea porque: (1) se ha evaporado; (2) se ha transferido a otra cuenca; (3) se ha incorporado a un producto; (4) se ha contaminado. Por el contrario, el uso no consuntivo es aquel que permite un nuevo aprovechamiento del agua, por ejemplo, la hidrogenación (IICA, 2017).

Componentes de la Huella Hídrica

El indicador de la HH permite la medición del volumen de agua consumido o contaminado a lo largo de la cadena de suministro, ya sea por unidad de tiempo para individuos y comunidades, o por unidad producida para una empresa (Hoekstra *et al.*, 2011). Tomando como base el manual de evaluación de HH (Hoekstra *et al.*, 2011), está conformado por tres indicadores representados por los colores azul, verde y gris; los indicadores de HH azul y verde se utilizan para evaluar consumos de agua, mientras que la HH gris se relaciona con el nivel de contaminación (Figura 3).

En términos generales, el objetivo de evaluar la HH es analizar cómo las actividades humanas o los productos específicos se relacionan con la escasez de agua y la contaminación, y cómo las actividades y los productos pueden ser más sostenibles desde el punto de vista del uso del agua (Hoekstra *et al.*, 2011).

HUELLA HÍDRICA AZUL

Cantidad de agua superficial y subterránea extraída de una unidad territorial para satisfacer una necesidad antrópica y que no retorna al mismo sistema

Casos en los que el agua no retorna al sistema:

Evaporación

Trasvase de cuencas

Incorporación de agua en el producto

Empeoramiento significativo de la calidad

HUELLA HÍDRICA VERDE (Huella de consumo)

Corresponde al consumo de agua procedente de la precipitación, que está almacenada en el suelo y que no retorna al sistema.

Casos en los que el agua no retorna al sistema:

Evaporación

Incorporación de agua en el producto

HUELLA HÍDRICA GRIS

Volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga de contaminantes por parte de un cuerpo receptor, tomando como referencia las normas de calidad ambiental, asociando los límites establecidos a una calidad buena para el ambiente y para las personas

Características

El cálculo se realiza por contaminante y se selecciona el de mayor volumen.

Debe considerar las condiciones naturales del afluente receptor del vertimiento.

El valor estimado es un volumen teórico.

Figura 3. Conceptos relacionados a los indicadores de Huella Hídrica. Adaptado de la guía metodológica para la evaluación de la HH del sector minero colombiano (UPME, 2006).

El café en el contexto de la Huella Hídrica

Desde que Chapagain y Hoekstra (2007) estimaran que se necesitan unos 140 L de agua para producir una taza de café, la atención de los consumidores a los posibles impactos sobre los recursos hídricos ha ido en aumento. Con el paso de los años la metodología de cálculo sea ido refinando hasta llegar al trabajo realizado por Mekonnen y Hoekstra (2010), que cuantifica la HH de más de 180 productos agrícolas a nivel mundial. Dicho trabajo, además de ofrecer unas cifras de HH más cercanas a la realidad, pone de relevancia que la HH de un producto agrícola varía de forma considerable en función de su localización, el manejo realizado al cultivo y la forma de procesamiento.

De esta manera, se estimó que la HH media del café producido en Colombia es de unos 14.560 m³/t de café pergamino seco (HH_{verde} 13.033 m³/t y HH_{gris} 1.533 m³/t), mientras que el café producido en Brasil es de 11.194 m³/t (HH_{verde} 10.750 m³/t, HH_{azul} 181 m³/t y HH_{gris} 263 m³/t). Esta gran diferencia se debe en gran parte al rendimiento del cultivo, mayor en el caso brasileño.

En Colombia, desde el año 2010, la aplicación de la HH se ha fortalecido con el proyecto SuizaAgua Colombia, desarrollado mediante el Programa Global del Agua, de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE. Esta iniciativa trabaja en el desarrollo y puesta en práctica del concepto de HH a nivel empresarial y territorial, el cual ha permitido generar información sobre la realidad de la HH del sector cafetero colombiano.

El Estudio Nacional del Agua (ENA, 2014), además de cuantificar la HH, introduce el concepto y su evaluación en Colombia, como una herramienta importante en la evaluación del estado actual del agua y sus tendencias, que complementa los análisis tradicionales de demanda que se han realizado en estudios anteriores. Da cuenta de la presión que ejerce el sector agrícola sobre los ecosistemas y el agua que no retorna a una cuenca.

El Ideam determina que el cultivo del café en Colombia consume unos 12.000 millones de m³ de agua verde al año, de los 55.000 millones de m³ consumidos por la toda la agricultura. Otro trabajo realizado por la WWF (2012) remarcó la contribución del sector cafetero a la HH gris de la agricultura colombiana como consecuencia de la lixiviación de fertilizantes. Este trabajo cuantificó para el sector cafetero alrededor del 55% del total de la HH gris de la agricultura colombiana, por encima de otros cultivos como el arroz o maíz.

Debido a las particularidades del café colombiano, cultivado mayoritariamente en condiciones de secano, la mayor parte de la HH recae sobre la componente verde (90%) siendo el resto, componentes minoritarias. Remarcar la componente azul, cuyo valor se aproxima a 0, pues el agua dulce es requerida de forma casi exclusiva durante el proceso de beneficio, con valores que van de los 40 a 1 L/kg de café pergamino seco, en función de la tecnología utilizada. Sin embargo, esta componente no debe ser despreciada.

De Miguel *et al.*, (2015) afirman que en aquellos productos donde el componente principal es el agua verde, el impacto local sobre los recursos hídricos es limitado, por lo que es necesario prestar especial atención a los componentes azul y gris, aunque su valor total sea menor. Tal es el caso del cultivo del café, donde el agua dulce es usada para el riego y el beneficio, y la posible contaminación derivada del uso de fertilizantes y el vertimiento de las aguas mieles del proceso de beneficio puede tener implicaciones negativas sobre los recursos hídricos locales mucho más relevantes que el consumo del agua procedente de la precipitación. En muchos casos, el agua residual procedente del beneficio del café es vertida a la fuente de agua más cercana a la finca, siendo captada aguas abajo por otra familia que, a su vez, la utilizará para consumo y beneficio de su café, afectando la salud de las personas y la calidad del café.

Las grandes variaciones en los valores de la HH reportados en estudios existentes no siempre se deben a la localización o manejo del cultivo, sino que en muchas ocasiones se deben a cuestiones metodológicas. De esta forma, Cedula y David (2013) determinaron que la HH del café en la cuenca del río Porce es de 7.607 m³/t (HH verde 7.460 m³/t, HH gris 147 m³/t). Una cifra inferior a la reportada para esa región por Mekonnen y Hoesktra (2010), estimada en 13.548 m³/t (HH verde 12.265 m³/t y HH gris 1.283 m³/t), especialmente en el caso de la HH gris, posiblemente debido al uso de distintas fuentes de información o incluso por asumir distintas hipótesis de partida.

El uso de información local como el clima, el rendimiento, el manejo del cultivo, la tipología del sistema de beneficio o el tratamiento de efluentes, es esencial para obtener un valor representativo de la HH. De igual forma, una clara definición de los elementos incluidos en el análisis, especialmente en el caso de la HH gris, es imprescindible para obtener valores comparables con otros trabajos.

La evaluación de la HH es una metodología que promueve y apoya el uso sostenible del recurso hídrico mediante información transparente y completa sobre el consumo y la contaminación del agua con relación a su disponibilidad.

Esta guía pretende ofrecer al lector las herramientas necesarias para abordar un análisis de la HH a nivel de finca cafetera, que permita obtener una cifra lo más aproximada posible del impacto de la actividad cafetera sobre los recursos hídricos, y a su vez, por medio del análisis de sostenibilidad, identificar aquellos puntos críticos sobre los que el caficultor debería establecer un programa de medidas que permita mitigar el impacto sobre los recursos hídricos locales.

Fases de la evaluación de la Huella Hídrica en el sistema productivo del café

Cuando se realiza una evaluación del indicador de la HH no solamente es relevante cuantificar el indicador, sino que también es necesario realizar un análisis con relación a las características de oferta y calidad hídrica presentes en la unidad de análisis definido, y de esta manera, proponer las estrategias de intervención donde se identifiquen puntos críticos. Por tal motivo, la metodología de evaluación de la HH (Hoekstra *et al.*, 2011), definió que la evaluación de HH requiere de la ejecución de cuatro fases o etapas, que se presentan en la Figura 4.

El seguimiento de estas fases permite cuantificar la HH del café, hacer un análisis de sostenibilidad y definir las estrategias para una mejora en reducción continua de la HH.

Enfoques de evaluación de la Huella Hídrica: WFN, ISO y Huella Ambiental

La HH puede evaluarse desde distintos puntos de vista o enfoques metodológicos. Según la definición propuesta por la WFN (Hoekstra *et al.*, 2011), la HH es un indicador volumétrico sobre la apropiación de agua dulce por parte del ser humano, cuya contextualización espacial y geográfica es imprescindible para llevar a cabo un análisis de sostenibilidad. Pero esta definición es parcialmente modificada desde el punto de vista del análisis de ciclo de vida (ACV). De esta forma, y según recoge la Norma ISO 14046 (2014), la HH quedaría definida como un indicador que cuantifica los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua, siendo solo un índice, si estos impactos no son evaluados.

A pesar de que en ambas metodologías se estudia el impacto de las actividades, productos o procesos sobre el recurso hídrico (respecto a consumos y nivel de contaminación), el enfoque propuesto por el ACV evalúa los daños potenciales sobre las tres áreas de protección definidas tales como, salud humana, entorno natural y recursos naturales.

Por lo tanto, la HH difiere en ambos enfoques, pues en el caso del enfoque del ACV se hace un análisis basado en una identificación de impactos potenciales del sistema relacionados con el agua, donde el método de evaluación se expresa como: eutrofización, ecotoxicidad, acidificación, disponibilidad y escasez, entre otras; mientras que el enfoque de la WFN, evalúa el impacto del recurso hídrico del sistema mediante el indicador volumétrico de la HH integrada por las componentes azul, verde y gris.

Al igual que la metodología definida por la WFN, un análisis del ciclo de vida debe seguir unos pasos estandarizados. De esta forma, una vez definido el alcance y el objetivo del estudio es necesario implementar la fase de inventario, en la que se recogen y cuantifican todos los flujos de agua asociados. Posteriormente deben determinarse los impactos derivados de dichos flujos mediante la fase de evaluación de impactos. Estas fases son análogas a la contabilidad del agua y el análisis de sostenibilidad propuesto por la WFN.

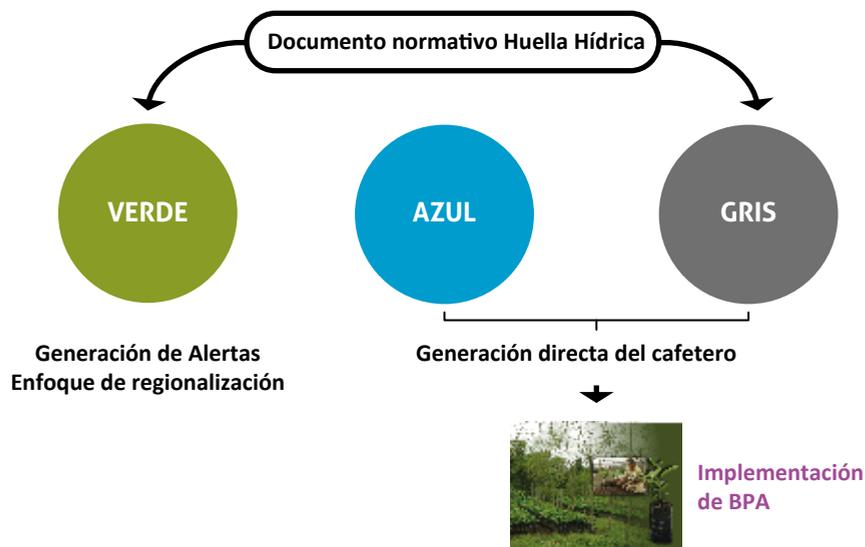
FASE 1 Definición de alcance y objetivos

Se exponen las razones para desarrollar la evaluación y se definen los límites. Esto conllevará, a la toma de decisiones como de suposiciones.



FASE 2 Contabilidad de la huella hídrica

Recolección y análisis de datos para la obtención del valor de huella hídrica.



FASE 3 Análisis de sostenibilidad de la Huella hídrica

Evaluación de resultados de huella hídrica desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental.



Criterios de sostenibilidad ambiental: Cumplimiento de los requerimientos de agua del medio ambiente y no excedencia de la capacidad de asimilación de contaminantes.



Sostenibilidad económica: Permite comparar la eficiencia económica del uso del agua entre las diferentes actividades productivas a partir de dos indicadores clave (productividad aparente del agua y productividad aparente de la tierra).



Sostenibilidad social: Definición y cuantificación de criterios para el uso equitativo del agua.

FASE 4 Formulación de estrategias de respuesta

Generar estrategias que permitan la sostenibilidad ambiental, económica y social del recurso hídrico.

BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS



Tecnología de beneficio

Uso de variedades resistentes



Selector de Arvenses

Figura 4. Fases para la medición de HH – Aplicación en el sistema de producción de café. Uso eficiente del recurso Hídrico, Archivo Cenicafé

El desarrollo de esta Guía se basa en la evaluación de los tres componentes de la HH mediante el enfoque de la WFN (HH verde, azul y gris). Este enfoque es el más apropiado para el sector cafetero, ya que permite cuantificar el impacto sobre el recurso hídrico en términos exclusivamente volumétricos, lo que facilita la interpretación de los resultados por las partes interesadas, con el fin de generar estrategias para una gestión integral del recurso.

Para el sector cafetero esta guía se enfoca en las fases de cultivo y beneficio, siguiendo los pasos definidos en la Figura 5.



Figura 5. Pasos para la evaluación de la Huella Hídrica del café de Colombia según la WFN. Adaptado de Hoekstra *et al.*, (2011).

Es importante mencionar que la evaluación de la HH del café en Colombia aportará a la evaluación de la Huella Ambiental del proceso productivo del café, debido a que es uno de los 14 impactos ambientales que se cuantifican en ella y que se pretende evaluar en estudios posteriores. En la Figura 6, se describe el enfoque que la caficultura debe evidenciar como parte de un sistema alineado con las dimensiones de la sostenibilidad (ambiental, social y económico).

En la medida que se fortalezca este enfoque, podrá tomarse como modelo para que otras cadenas del sector agrícola lo repliquen y adapten a las condiciones específicas de los sistemas de producción. Esta sería una de las vías para entender que un medio ambiente natural diverso, saludable, resiliente y productivo es el pilar de un futuro próspero, justo y seguro, para la humanidad.

GESTIÓN INTEGRAL DE LA HUELLA AMBIENTAL DEL CAFÉ

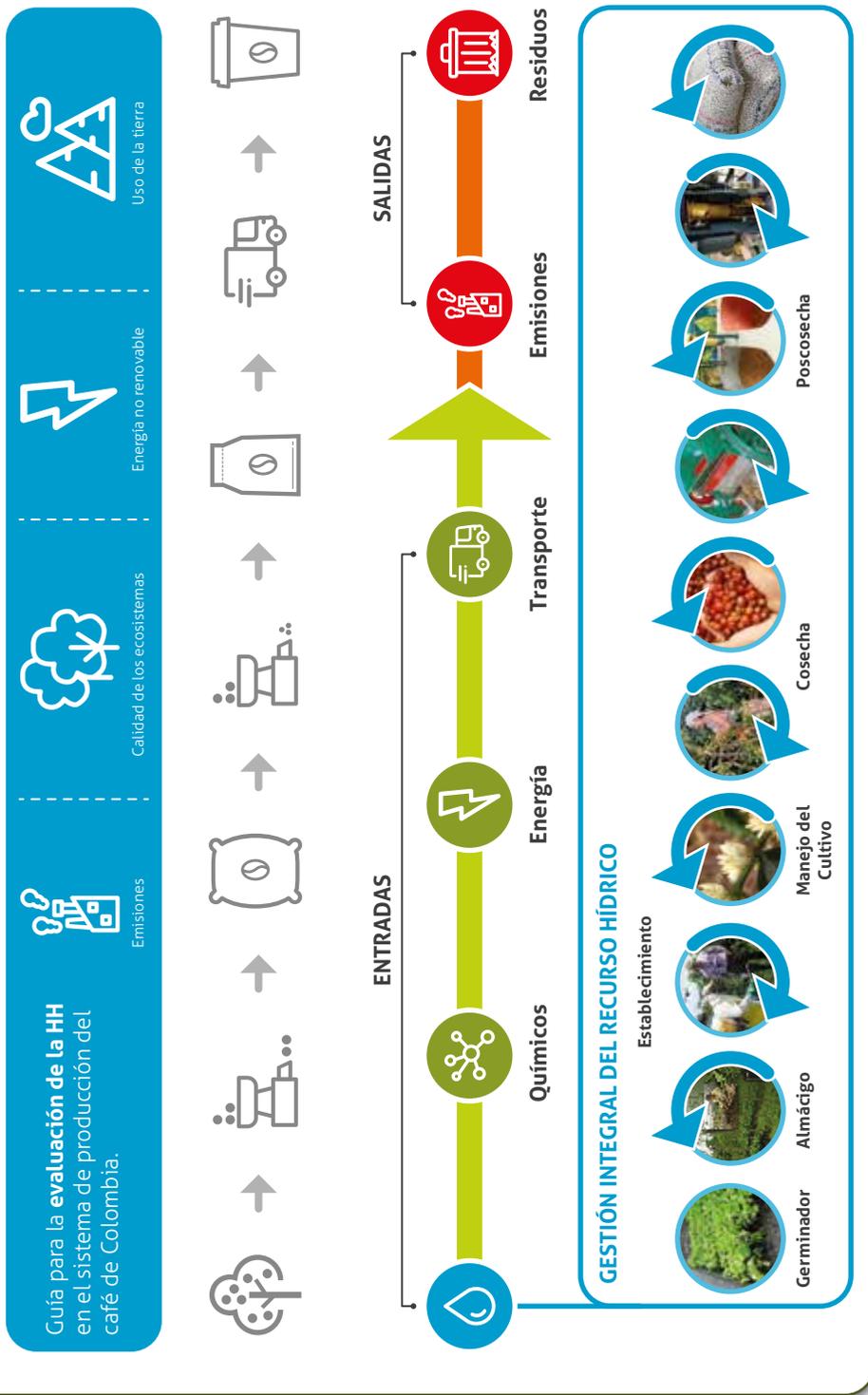


Figura 6. Enfoque de la cafcultura hacia el concepto de huella ambiental.





Guía para la evaluación de la huella hídrica de café en Colombia

**Objetivos y aplicación de la
guía de la Huella Hídrica**

2

Objetivo de la guía

El objeto de esta guía es establecer una metodología para la evaluación de la HH a nivel de finca cafetera. A partir de esta evaluación se pretende: medir el consumo del agua en términos de cantidad y calidad; evaluar la sostenibilidad ambiental de la caficultura sobre el recurso hídrico y establecer estrategias de respuesta para una mejor gestión del recurso hídrico en el sector.

La guía tiene un amplio público objetivo, entre los que destacan los productores de café sostenible, los equipos de asistencia técnica, universidades e institutos de investigación, agencias de cooperación, organizaciones no gubernamentales y donantes, compradores de café, institucionalidad cafetera y los tomadores de decisión encargados del ordenamiento del recurso hídrico.

La evaluación de la HH en el sistema de producción de café conducirá a:

- Determinar y optimizar la cantidad de agua utilizada y consumida dentro del proceso.
- Tomar mejores decisiones para la gestión del recurso hídrico.
- Contribuir a la sostenibilidad ambiental y productiva del café mediante la generación de tecnologías apropiadas.
- Promover una cultura cafetera con mayor responsabilidad ambiental.
- Posicionar al sector cafetero como un sector responsable y pionero en la implementación de acciones para una caficultura resiliente.

Respecto a la guía metodológica se identifican los siguientes beneficios:

- Unificar el lenguaje con respecto a los términos y aspectos que deben tenerse en cuenta en la medición y gestión de la HH en el sector cafetero.
- Dar garantía a las partes interesadas sobre la calidad, verificabilidad y reproducibilidad de la información generada en la evaluación.
- Demostrar la importancia de la evaluación de la HH como indicador que permite dar los elementos oportunos para una mejor toma de decisiones en sector cafetero, con efecto en el contexto nacional, regional y local.
- Contribuir a la generación de indicadores que evidencien el logro de metas de sostenibilidad de la caficultura.
- Promover los procesos de innovación, debido a que a partir de los resultados de la evaluación se podrán generar e implementar nuevos conocimientos y tecnologías que aporten en la gestión de la HH.

- Contribuir a la medición de otros indicadores ambientales como por ejemplo la Huella Ambiental, que analiza bajo el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) los impactos ambientales generados en el ciclo de vida de un producto.

Alcance de la evaluación de la Huella Hídrica

Uno de los primeros pasos a realizar en la evaluación de la HH es la definición del alcance. Esta guía recomienda implementar la evaluación de la HH directa a todo el ciclo de producción de café en la finca, desde la germinación de la semilla hasta la obtención del café pergamino seco, teniendo en cuenta los componentes verde, azul y gris de la HH.

Debido a la complejidad de la evaluación completa de la HH, mediante la definición de su alcance, el público objetivo será el responsable de decidir qué fases de la misma son de su interés. De esta forma, la evaluación de la HH podrá realizarse de forma completa o parcial; dicho alcance deberá ser identificado de forma concreta y expresado en los resultados.

Límites del sistema

Esta guía contempla de forma exclusiva la evaluación de la HH directa del sistema de producción de café pergamino seco a nivel de la finca, incluyendo las etapas no productivas de germinador, almácigo y café en levante, así como las etapas de producción y beneficio. Así mismo, no contempla en su alcance las siguientes operaciones, al considerarse como parte de la HH indirecta de la producción de café (Figura 7):

- La HH de los insumos para el cultivo del café, como fertilizantes o agroquímicos.
- La HH de cualquier otro insumo utilizado en el proceso de beneficio, más allá del agua de proceso.
- La HH de la energía (diésel, gasolina, carbón, gas o electricidad) empleada en los procesos y la maquinaria necesaria.
- La HH asociada al transporte del café dentro o fuera de la finca.
- La HH de todo el sistema de producción para la comercialización y consumo final.
- La HH asociada a las actividades humanas, como la satisfacción de las necesidades básicas de la familia cafetera.
- La HH asociada a los residuos proveniente de los insumos utilizados, como bolsas de almácigo, envases y empaques de agroquímicos, etc.
- Cualquier actividad posterior a la obtención del café pergamino seco.

ALCANCE

HUELLA HÍDRICA **DIRECTA** DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ A NIVEL DE FINCA



LÍMITE

HUELLA HÍDRICA **INDIRECTA** DE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ



Figura 7. Alcance y límites de la evaluación de la Huella Hídrica.

Caracterización del sistema de producción de café

El sistema de producción de café involucra las fases de cultivo y beneficio. En la Figura 8 se presentan las entradas y salidas de cada una de las etapas identificadas en el sistema de producción de café a nivel de la finca.

Definición de la unidad funcional

Se define como unidad funcional (UF) a la unidad de producto sobre la cual se efectuarán los balances de agua en el sistema objeto de estudio y proporciona una referencia para que todas las entradas y salidas del sistema puedan ser normalizadas.

La UF básica recomendada para la evaluación de la HH en el sistema de producción de café es 1,0 kg de café pergamino seco (cps), de forma que el resultado volumétrico de la evaluación de la HH se expresará en litros por kilogramo de café pergamino seco (L/kg cps).

Adicionalmente, pueden considerarse otras UF como:

- Saco de 60 kg de café.
- Kilogramo o saco de café cereza, en el caso de que la finca no tenga beneficio.
- Kilogramo o saco de café lavado, en el caso de que la finca no tenga secado.
- Por unidad de área (ha), en el caso de que quiera evaluarse la intensificación del sistema.
- Por unidad de tiempo (año), en el caso de que quiera evaluarse la evolución temporal.

Dimensión temporal y geográfica

La dimensión temporal hace referencia al período en un tiempo concreto (semanal, mensual, anual), en la cual se van a calcular los datos de la HH. Para este estudio, la unidad temporal recomendada fue el año.

En el caso de la producción de café, dentro de la fase de cultivo se consideran las etapas no productivas correspondientes a germinador, almácigo y establecimiento, que dan lugar a los árboles adultos que producirán durante varios años; por lo tanto, la HH en estas tres etapas debe repartirse entre todos los años de producción. Por ejemplo, en el caso de unos árboles de café que se mantengan productivos durante cinco años, a la HH del café de cada uno de los años productivos habría que sumarle la quinta parte de la HH calculada en las tres etapas anteriores (germinador, almácigo y establecimiento).

La dimensión geográfica se refiere al lugar donde se evaluará la HH. El resultado del cálculo de la HH se verá directamente afectado por la localización del área de estudio seleccionada: factores como el clima, el manejo, los objetivos de calidad ambiental en el recurso hídrico y el grado de aplicación de determinadas tecnologías influirán directamente en la evaluación de la huella. La dimensión geográfica recomendada para esta evaluación estará dada a nivel de la finca hasta obtener el café pergamino seco.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ A NIVEL DE FINCA

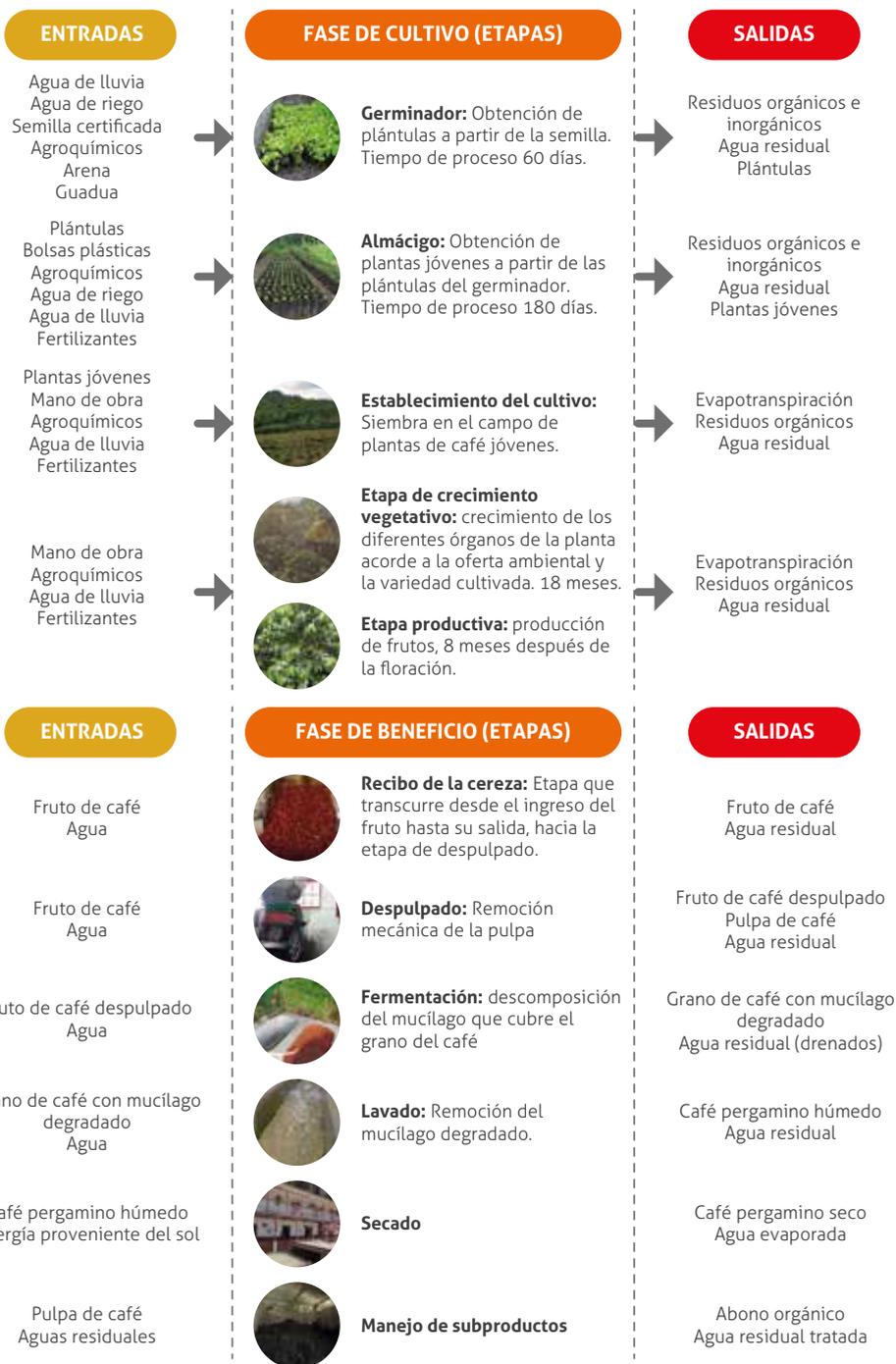


Figura 8. Sistema de producción de café a nivel de finca (Entradas y salidas).

Reglas de corte

Para optimizar el proceso de evaluación se recomienda excluir todos aquellos procesos que representen menos del 1,0% del valor total de la medición de la HH para cada una de sus componentes (azul, verde y gris).

Esta guía presenta una serie de sugerencias para determinar qué fases de la producción del café deben ser contempladas en la evaluación de la HH y cuáles, debido a su baja representatividad, pueden ser excluidas del análisis.





Guía para la evaluación de la huella hídrica de café en Colombia

**Metodología para la
cuantificación de la Huella
Hídrica en el sistema de
producción del café de Colombia**

3

En este capítulo se presentan una serie de herramientas metodológicas para la cuantificación de la HH, así como los elementos técnicos necesarios para su medición en campo o su estimación. La estructura de este capítulo aborda los aspectos generales a tener en cuenta en el proceso de cuantificación de la HH y posteriormente se presentan las metodologías de medición tanto para la fase de cultivo como para la fase de beneficio del fruto.

En algunos casos, los protocolos planteados pueden ser de limitada adopción, ya sea por los costos elevados en la adquisición de equipos o por la complejidad a la hora de su instalación, análisis e interpretación. Se pretende dar a conocer algunas herramientas con el fin de generar un mayor entendimiento de los factores que deben ser tenidos en cuenta durante el proceso de medición.

La cuantificación de la HH depende en gran medida de la disponibilidad de información a incluir en el análisis. En la mayoría de los casos la información local es limitada. En esos casos, se debe recurrir a información secundaria que puede aportar un nivel de incertidumbre alto lo que significa que los resultados deben ser interpretados con precaución. Para cada procedimiento de cuantificación de HH es relevante formular e implementar una metodología adecuada de mediciones directas en cultivo que generen información de todos los procesos involucrados en la obtención del producto. El análisis de información generada de forma local permitirá diseñar estrategias o planes de acción específicos más efectivos a condiciones locales (Romero *et al.*, 2016).

Una vez definido el sistema a caracterizar, la unidad funcional y las reglas de corte, se define el esquema de medición donde se determinan cuáles son los parámetros a cuantificar según las entradas y salidas de agua del cultivo y del beneficio. Como primer paso, se deben establecer los componentes de la huella que se desee cuantificar (azul, verde o gris) para posteriormente realizar la cuantificación de los volúmenes de entrada y salida de agua del sistema y los focos de contaminación (Figura 9).

Levantamiento de la información

Delimitación del área productiva. Conocer el área productiva es importante a la hora de cuantificar la HH, debido a que si se desea calcular el consumo de agua por unidad producida es necesario llevar los datos a términos de hectárea y luego a rendimiento por hectárea.

El área de la zona de cultivo es necesaria para calcular la cantidad de efluentes por hectárea y unidad producida. Si no se conoce el área en producción, existen varias herramientas para medirla:

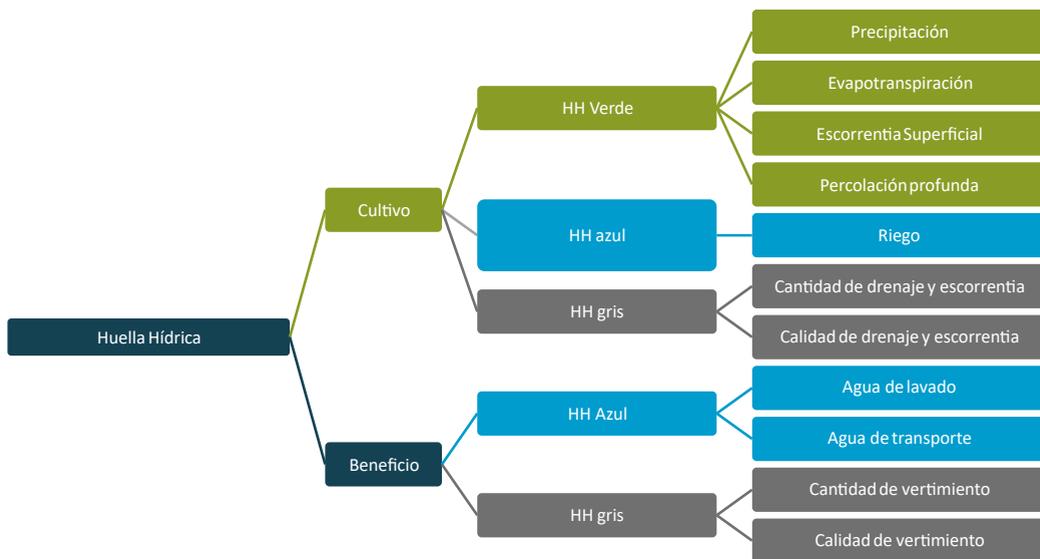


Figura 9. Esquema de parámetros a cuantificar según el tipo de huella.

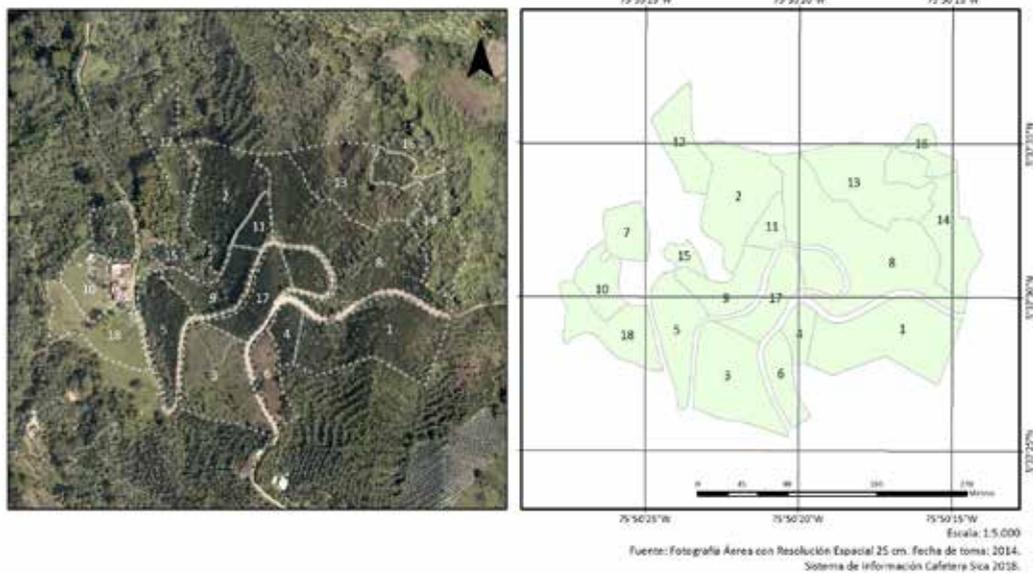


Figura 10. Delimitación del área productiva en una finca cafetera.

- Para áreas pequeñas se puede emplear un GPS para georreferenciar el lote y a partir de herramientas como Google Earth se puede delimitar el predio, lotes y calcular el área de cada unidad productiva; también existen aplicaciones de teléfono móvil que permiten recorrer el perímetro de la parcela y calcular el área automáticamente.
- Para áreas de mayor tamaño se recomienda el uso de fotografías aéreas, imágenes satelitales o cartografía disponible (Figura 10).

Recolección de información climática: Los registros diarios de una estación climática de influencia en la zona son de gran importancia, porque permiten conocer información sobre el comportamiento del clima, por ejemplo, la cantidad y distribución de las lluvias en la región durante el período de estudio.

Los datos climáticos pueden ser consultados en **La Red Agroclimática Cafetera (agroclima.cenicafe.org)** y en **el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam** (Figura 10). En la Figura 11, se muestra la estación meteorológica instalada por el Proyecto Manos al Agua en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé.



Figura 11. Estación Experimental Naranjal de Cenicafé.

Caracterización física y química de suelos. La aplicación de fertilizantes y enmiendas, y su interacción con las propiedades físicas y químicas del suelo, va a definir el impacto potencial sobre los cuerpos de agua superficiales y profundos (CIAT, 2017). Por esta razón, se recomienda disponer de una caracterización de las propiedades fisicoquímicas del suelo en la región, a partir de los análisis de suelos (Figura 12), debido a que esta información puede utilizarse en el análisis y validación de los resultados obtenidos.

Los valores de las propiedades físicas del suelo pueden ser útiles para el **cálculo de la evapotranspiración mediante el balance de humedad del suelo**, mientras que los

valores de los parámetros de química de suelos, junto con el balance de fertilización, son importantes **para la interpretación de los resultados de la HH gris**.

Se recomienda contar con la información de las características físicas y químicas de los suelos como:

- **Físicas:** textura, densidad aparente, humedad a punto de saturación, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y conductividad hidráulica.
- **Químicas:** pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y concentración de macronutrientes.



Figura 12. Muestreo de suelo para análisis en el laboratorio.

Delimitación de las fases en el sistema productivo del café a nivel de finca:

Para el cálculo de la HH del café se deben definir las fases de evaluación con el fin de cuantificar los parámetros que determinan la cantidad y calidad del agua que entran y salen del sistema. En el cultivo de café se diferencian dos fases principales:

- **Fase de cultivo**, que comprende las etapas de germinación, almácigo, establecimiento, levante y etapa productiva.
- **Fase de beneficio**, que incluye desde la recepción del fruto proveniente del campo hasta la obtención de café pergamino seco.

Cuantificación de las entradas y salidas del agua en el sistema productivo

Previo paso a la estimación de la HH verde y azul, es imprescindible implementar un balance de agua, de forma que a partir de las entradas y salidas de agua al sistema se pueda calcular el consumo de agua, tanto en la etapa productiva como en la etapa de beneficio. En el caso de la HH gris, esta se estimará a partir del volumen de agua requerida y la concentración de contaminantes que llegan a los cuerpos de agua superficial o subterránea. Para ello, será necesario conocer la calidad y el volumen de agua de escorrentía o percolación en la etapa del cultivo, al igual que la calidad y volumen vertido en la etapa de beneficio.

A continuación se presentan unas metodologías prácticas para cuantificar los distintos componentes del balance hídrico, donde se incluyen las entradas de agua al sistema más representativas como lo son la precipitación y riego y las salidas de agua en forma de evapotranspiración, escorrentía y percolación profunda.

A continuación, se describen los procesos que se presentan en el balance hídrico para la fase de cultivo a nivel de finca:

Entradas de agua:

Precipitación

En el cultivo de café y durante las etapas de levante y producción la precipitación es la principal fuente de agua para suplir los requerimientos hídricos del cultivo, de ahí su importancia a la hora de contar con registros climáticos de varios años en la zona con el fin de determinar la dinámica de lluvias en la finca y calcular el ingreso total de agua al cultivo.

De no contar con registros, se recomienda su medición directa mediante la instalación de un pluviómetro que registre diariamente los valores de agua lluvia durante al menos un ciclo productivo. Los pluviómetros en su versión más simple pueden ser de registro manual en una planilla, hasta pluviómetros de registro automático incorporados en estaciones climáticas.

Los valores de precipitación usualmente se expresan en términos de lámina de agua (mm). Para expresar en términos de m^3/ha , el valor obtenido debe ser multiplicado por 10.

A manera de ejemplo, en la Tabla 2 se presentan datos de varios eventos de precipitación de una estación climática según su valor en m^3/ha .

Tabla 2. Ejemplo de valores de precipitación en lámina y en volumen en diferentes eventos.

Fecha	Días después de la siembra	Lámina de lluvia (mm)	Volumen agua lluvia (m^3/ha)
5/03/2017	5	27,3	273
9/03/2017	9	32,1	321
16/03/2017	34	5,4	54
4/04/2017	45	12,6	126

En caso de no contar con recursos para la adquisición de un pluviómetro, en la Figura 13, se presenta en detalle, la elaboración de un pluviómetro casero.

ELABOREMOS UN PLUVIÓMETRO CASERO

¿Qué es un pluviómetro?

Es un instrumento o aparato que sirve para medir la cantidad de precipitación caída durante cierto tiempo.

¿Qué es precipitación?

Es la caída de lluvia, llovizna, granizo o nieve.

Materiales:

- ✓ Una botella plástica desechable de gaseosa de 2 litros, vacía y limpia.
- ✓ Tijeras
- ✓ Bisturí
- ✓ Cinta de enmascarar
- ✓ Cinta transparente ancha
- ✓ Marcador permanente
- ✓ Regla

Recomendaciones:

- ⚠ Tenga cuidado cuando realice el corte de la botella para evitar un accidente.
- ⚠ El corte de la botella lo debe realizar una persona adulta.
- ⚠ Puede agregar un poco de aceite de cocina en el pluviómetro antes de ponerlo bajo la lluvia, para que ayude a evitar la evaporación del agua.
- ⚠ Al momento de hacer la medición de la cantidad de precipitación, recuerde restar la cantidad de aceite agregado.

Pasos para la elaboración del pluviómetro

- 1



Mida 10 centímetros desde la boca de la botella hacia abajo, marque donde dé la medida y corte inicialmente con el bisturí, luego con las tijeras. Procure que el corte sea parejo. Separe las dos partes resultantes.
- 2



Pegue una tira de cinta de enmascarar desde la base de la botella hasta el borde superior; tome la regla y con el marcador permanente marque cada centímetro y milímetro a lo largo de la cinta. Ponga cinta adhesiva transparente sobre la cinta de enmascarar para protegerla del agua.
- 3



Dele la vuelta a la parte superior de la botella y póngala boca abajo dentro de la parte inferior de la botella.
- 4



Sítue el pluviómetro en el exterior de la vivienda, en un lugar seguro para recoger la lluvia. Realice las mediciones diarias cuando llueva.

Figura 13. Construcción de un pluviómetro casero.

En la Figura 14 se muestra un pluviómetro de registro automático conectado a un datalogger, donde la información es almacenada de forma continua.



Figura 14. Pluviómetro de registro automático y datalogger en zona cafetera.

Riego

Las etapas de germinador y almácigo requieren la aplicación continua de agua de riego para suplir los requerimientos hídricos y garantizar el óptimo desarrollo de las plántulas en crecimiento. Se recomienda el registro diario de los volúmenes de agua aplicados, para lo cual se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Debido a los bajos volúmenes de agua aplicados en la etapa de germinador es posible la utilización de recipientes tipo regadera de volumen conocido. El volumen total aplicado se calculará en función del número de regaderas aplicadas.
- En la etapa de almácigo, puesto que los volúmenes aplicados son mayores, se recomienda la utilización de contadores de agua colocados en la tubería de suministro. Se deberá realizar un registro diario del volumen de agua aplicada. En caso de no disponer de un contador de agua, es posible aforar el caudal de la tubería de suministro y registrar el tiempo de riego.

Para aforar el caudal de la tubería se puede utilizar un recipiente de volumen conocido (balde) y cronometrar el tiempo que tarda en llenarse. Se recomienda repetir la operación al menos tres veces para obtener un valor representativo. **Nota:** El riego siempre debe hacerse con la tubería completamente abierta de forma que el caudal aplicado sea el mismo que el caudal aforado (Figura 15).

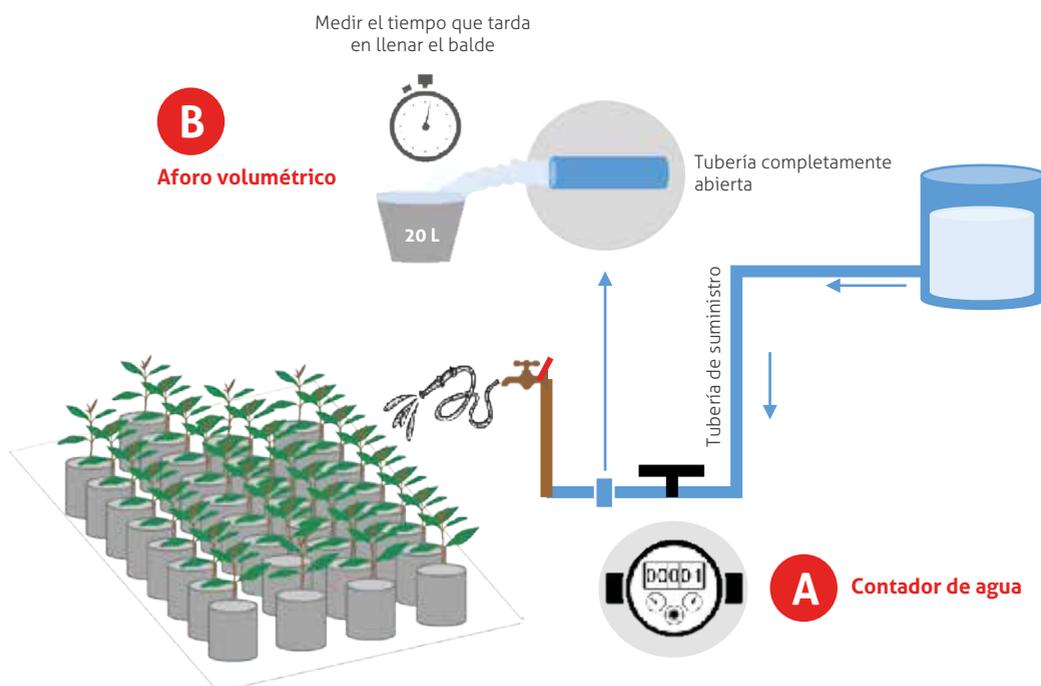


Figura 15. Métodos de aforo para medición consumo de agua en el proceso de almácigo.

El café es un cultivo que se desarrolla en condiciones de secano, sin embargo, en algunos casos excepcionales y lugares concretos, se puede requerir riego.

En la agricultura existen dos sistemas predominantes de ingreso de agua a un predio:

- Mediante una tubería donde el agua se puede distribuir a un sistema de riego por aspersión o por goteo o.
- Ingreso mediante un canal o acequia para un riego por gravedad o inundación.

Para su cuantificación se debe garantizar que toda el agua que ingrese al predio sea medida, de esta forma también se están incluyendo en la medición las posibles pérdidas por transporte de agua desde la entrada de la finca hasta el lote.

Medición en sistemas de acceso de agua por tubería. En sistemas de riego por aspersión o goteo donde el agua es conducida por una tubería principal, se puede instalar un medidor de caudal. Las lecturas se deben realizar antes y después de cada

riego, siendo la diferencia entre la medición final y la medición inicial, el volumen del agua que pasa por el medidor en un período de tiempo dado. Al conocer el área de influencia del riego se determina la lámina aplicada (Figura 16).

Si el riego ha sido diseñado de forma correcta, en los sistemas por aspersión o goteo, la cantidad de agua que sale por escorrentía es mínima por lo que toda el agua aplicada puede ser considerada como un ingreso neto de agua al balance.

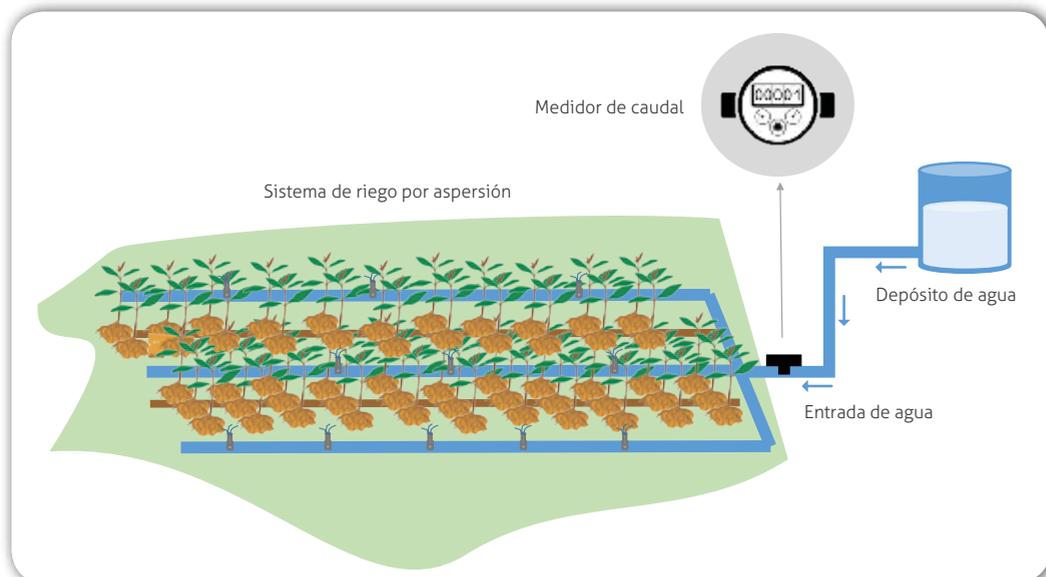


Figura 16. Medidor de caudal en un sistema de riego por aspersión.

En la Tabla 3 se presenta un ejemplo del volumen de riego por aspersión aplicado a dos eventos. De esta forma, mediante la lectura del contador antes y después de la aplicación, es posible determinar el volumen de agua aplicado que posteriormente puede ser transformado por unidad de área al dividirse el volumen aplicado entre el área de riego.

Tabla 3. Ejemplo de riego por aspersión aplicado en dos eventos.

Evaluación del riego por aspersión	Fórmula	Evento 1	Evento 2
Lectura inicial (m ³)	L_i	2.160,47	2.226,19
Lectura final (m ³)	L_f	2.226,2	2.279,14
Volumen aplicado (m ³)	$V_a = L_i - L_f$	65,73	52,95
Área de riego (ha)	A_{riego}	0,2924	0,2924
Volumen riego (m ³ /ha)	$V_{\text{riego}} = V_a / A_{\text{riego}}$	224,79	181,09
Lámina riego (mm)	$L_{\text{riego}} = V_{\text{riego}} / 10$	22,48	18,11

Medición en sistemas de acceso de agua por canal. En los sistemas de producción con riego por surcos o inundación donde el agua ingresa por gravedad se debe canalizar su ingreso por una o varias entradas controlables para su medición.

A su vez, el volumen de agua que sale por escorrentía superficial es considerable, por lo que debe ser también cuantificado y posteriormente restado al volumen de agua que ingresa en el predio para así calcular el agua que realmente ingresa en el suelo. Para ello, las salidas de agua se deben encauzar por una o varias salidas controlables (drenajes) para realizar la medición. Una vez adecuadas las entradas y salidas de agua por un canal se debe instalar un aforo y, de ser posible, un sensor de registro de caudal que permita realizar la medición.

En la Figura 17, se presenta un ejemplo de un sistema de riego por surcos, con un aforador de caudal sobre el canal de ingreso de agua al lote y un aforador en la salida del lote. Las mediciones de altura de la lámina de agua en el aforador son transformadas a valores de caudal en litros por segundo.

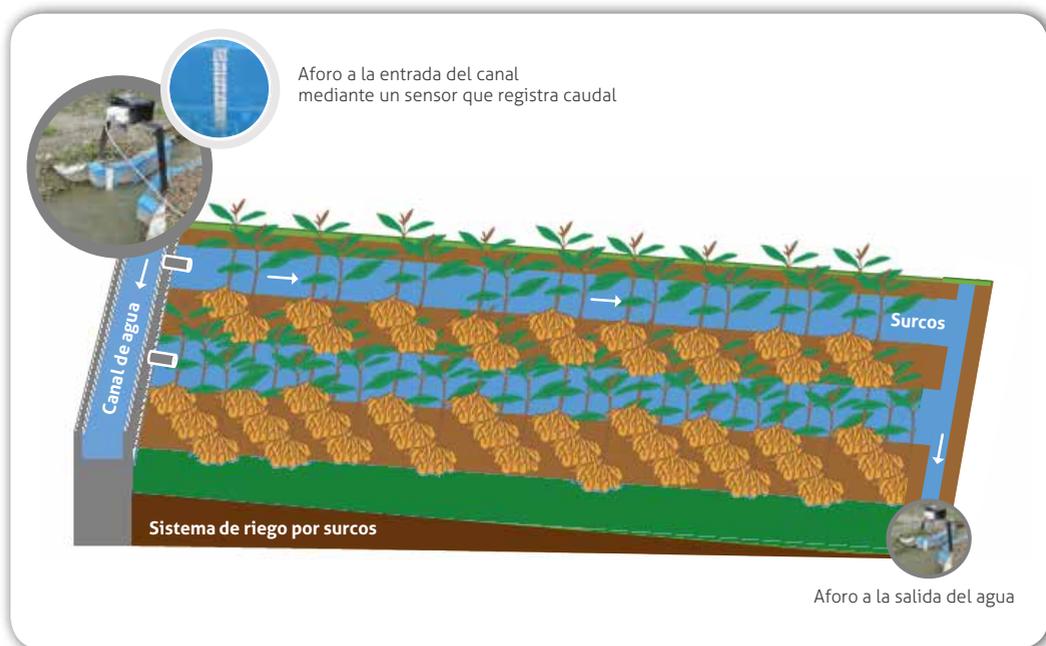


Figura 17. Aforo de caudal utilizado para la medición del agua que ingresa a un canal.

En la Tabla 4 se presenta un ejemplo del cálculo del volumen de riego por gravedad mediante el uso de un aforador de caudal.

Tabla 4. Ejemplo de riego por gravedad aplicado en un evento.

Riego gravedad	Fórmula	Evento
Hora inicio	-	9:45 a. m.
Hora fin	-	1:05 p. m.
Tiempo riego (min)	t_{riego}	200
Caudal entrada (l/s)	Q_e	3,8
Volumen entrada (m ³)	$V_{\text{entrada}} = Q_e \times t_{\text{riego}}$	45,6
Caudal de salida (L/s)	Q_e	1,2
Volumen de salida (m ³)	$V_{\text{salida}} = Q_e \times t_{\text{riego}}$	14,4
Área riego (ha)	A_{riego}	0,27
Volumen riego (m ³ /ha)	$V_{\text{riego}} = \frac{V_a}{A_{\text{riego}}}$	115,6
Lamina riego (mm)	$L_{\text{riego}} = \frac{V_{\text{riego}}}{10}$	11,6

Salidas de agua:

Escorrentía superficial

Esta corresponde a la fracción de la precipitación o riego que no se infiltra ni se evapotranspira, sino que circula por la superficie del suelo según la dirección de la pendiente. En cultivos donde la pendiente es nula la escorrentía superficial es mínima, esta se vuelve significativa en un evento de una fuerte precipitación, riego excesivo o riego por gravedad (Allen *et al.*, 2006; Morales, 1996).

Para el caso de sistemas de producción de café en ladera donde la escorrentía natural juega un papel importante o en aquellos casos donde se observe escorrentía superficial en los eventos de riego, se deberá cuantificar el volumen perdido en una parcela de escorrentía, las cuales permiten recolectar el agua que se desplaza superficialmente (adaptado de Romero *et al.*, 2016).



Figura 18. Aspecto de parcela de escorrentía instalada por el Programa GIA en la Estación Experimental Naranjal.

Las parcelas de escorrentía constan de un área delimitada lateralmente por láminas enterradas hasta 20 cm de profundidad, para evitar filtraciones hacia y desde el interior de la parcela de escorrentía y asegurar que la causante de la escorrentía sea únicamente la precipitación que cae sobre el área delimitada. La parte inferior de la canal se une a un cilindro colector de agua mediante un tubo conector, el cual en la entrada debe tener una malla para evitar el paso de sedimentos y hojarasca.

El agua escurrida debe ser medida después de cada evento de lluvia. Para ello, se determina el volumen recogido en el cilindro colector. Por ejemplo: mediante la medición de la altura que alcanza la lámina de agua en el colector es posible calcular el volumen recogido, pues las dimensiones del cilindro son conocidas. Para ello, se recomienda el uso de colectores rectos, que no varíen su forma con la altura. Una vez determinado el volumen recogido, es posible calcular el agua escurrida tanto en mm o m^3/ha , puesto que el área de la parcela es también conocida (Romero *et al.*, 2016).

En la Figura 19 se ilustra la parcela de escorrentía.

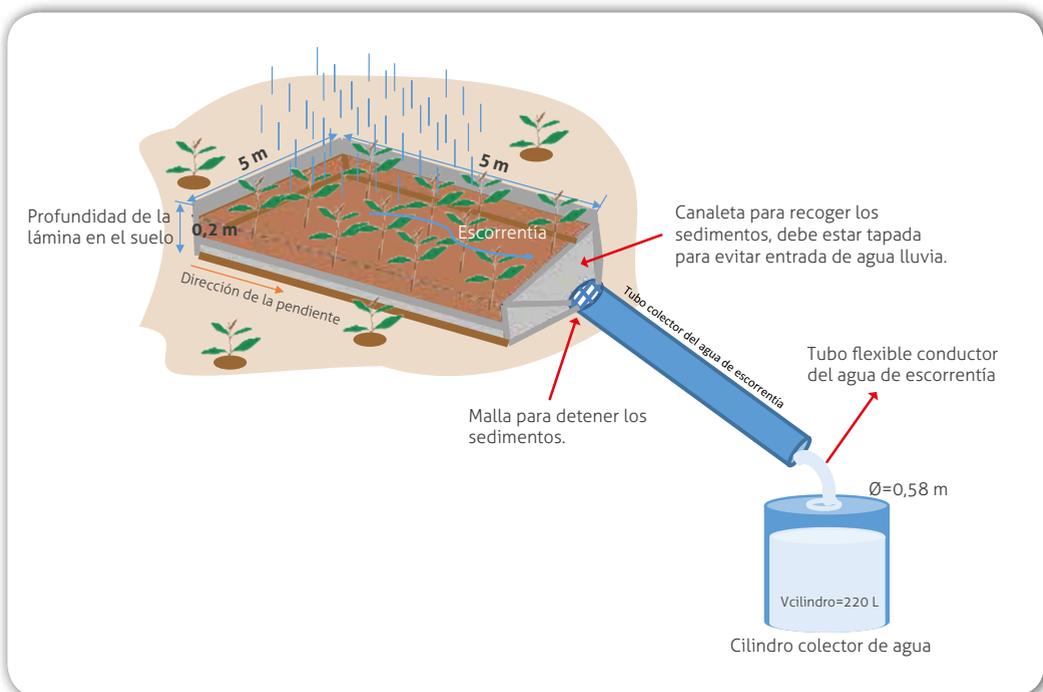


Figura 19. Ejemplo de una parcela de escorrentía

En la Tabla 5 se presenta un ejemplo del volumen de agua captada en una de las parcelas de escorrentía. El volumen de agua recogido (m³) en una parcela de escorrentía puede calcularse mediante la medición de la lámina de agua en el cilindro colector (m) y el área del mismo (m²). Como el área de la parcela de escorrentía también se conoce, el volumen de agua recogido después del evento de precipitación puede transformarse a volumen escurrido por unidad de área, sea en m³/ha o en mm (L/m²).

Tabla 5. Volumen de agua captada en una parcela de escorrentía después de un evento de precipitación.

Parámetro a medir	Fórmula	Valor
Área de la parcela* (m ²)	A _{parcela}	10
Volumen cilindro* (litros)	V _{cilindro} = A _{cilindro} x H _{lámina agua}	220
Diámetro del cilindro colector* (m)	D _{cilindro}	0,58
Área circular del cilindro* (m ²)	A _{cilindro} = π x radio ²	0,26
Altura de lámina de agua colectada (m)	H _{lámina agua}	0,50
Volumen de escorrentía (m ³)	V _{esc} = H _{lámina agua} x A _{cilindro}	0,13
Agua de escorrentía (m ³ /ha)	Agua _{esc} = (V _{esc} / (A _{parcela} x 10000))	132,1
Agua de escorrentía (mm)	Agua _{esc} / 10	13,21

*Medidas constantes de nuestra parcela de escorrentía

Percolación profunda:

La percolación es el proceso de infiltración del agua a las capas profundas del suelo. Las pérdidas por exceso de humedad se obtienen con base a la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo o capacidad de campo (CC), de tal forma que si la suma de la precipitación (P) y el riego (R) exceden el déficit de agua, el exceso de lámina se asume como agua perdida por percolación profunda (PP), debido a que la matriz del suelo no es capaz de retenerla. Es importante contar con los valores de capacidad de campo (CC) de los horizontes del suelo, los cuales son obtenidos luego de hacer un análisis de las propiedades físicas del suelo o a partir de estimaciones en función de la textura del mismo (Allen *et al.*, 2006; Romero *et al.*, 2016).

$$Déficit = \begin{cases} 0 & \text{si } AD \geq CC \\ CC - AD & \text{si } AD < CC \end{cases}$$

$$Percolación = \begin{cases} 0 & \text{si } P + R \leq Déficit \\ P + R - Déficit & \text{si } P + R > Déficit \end{cases}$$

P = precipitación, R = riego, CC = capacidad de campo, AD = Agua Disponible

En la Tabla 6 y Figura 20, se presenta un ejemplo del cálculo del volumen de agua perdido por percolación profunda. En el cual se presenta un suelo con una profundidad de 200 mm y capacidad de campo del 46,8% capaz de retener hasta 93,6 mm de agua. Si las condiciones de humedad inicial se establecen en el 25,5% (51 mm), significa que ese suelo tiene un déficit de 42,6 mm (21,3%) para llegar a capacidad de campo. Después de un evento de precipitación de 30 mm y un riego de otros 20 mm, la entrada de agua total es de 50 mm, la cual supera la capacidad del suelo de almacenar agua y por tanto el volumen excedente se transforma en percolación profunda.

Tabla 6. Ejemplo del valor del volumen de agua por percolación profunda.

Parámetro a medir	Fórmula	Valor
Capacidad de campo (%)	CC	46,8*
Humedad del suelo (%)	Humedad _{suelo}	25,5**
Profundidad del suelo (mm)	H _{suelo}	200
Lámina de agua disponible (mm)	$AD = H_{suelo} \chi$ (Humedad _{suelo} x 100)	51,0
Lámina de agua disponible a CC (mm)	$CC = H_{suelo} \chi$ (CC x 100)	93,6
Déficit (mm)	Déficit = CC - AD	42,6
Precipitación (mm)	P	30,0
Riego (mm)	R	20,0
Percolación profunda (mm)	$PP = R + P - \text{Déficit}$	7,4
Percolación profunda (m ³ /ha)	$PP \chi 10$	74,0

*Datos suministrados en un estudio de suelo.

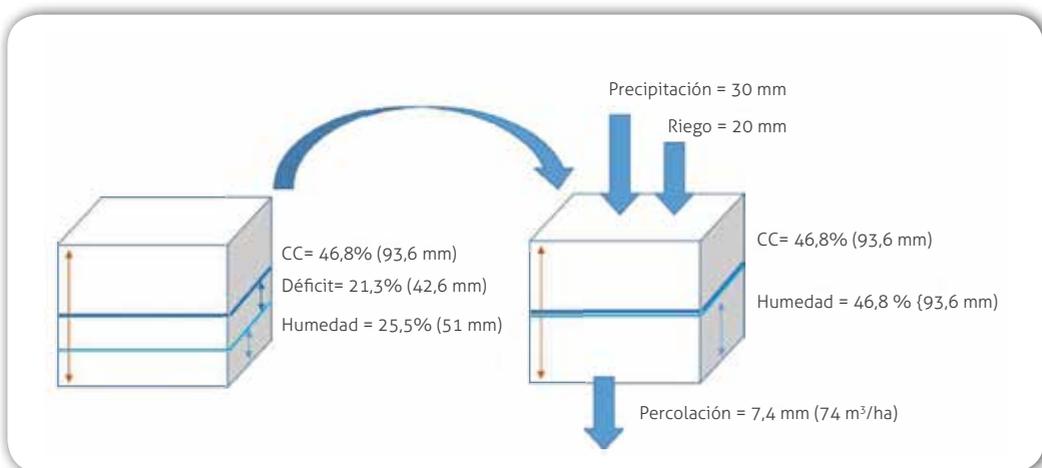


Figura 20. Ilustración del ejemplo aplicativo a percolación profunda.

Evapotranspiración:

La ET es el principal componente dentro del consumo de agua de un cultivo siendo la mayor parte del agua absorbida por las raíces y solo una pequeña fracción es usada dentro de la planta o incorporada en los tejidos. La ET es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde en la superficie del suelo por evaporación y por otra parte, mediante transpiración del cultivo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal (Allen *et al.*, 2006).

Su cálculo debe realizarse por métodos indirectos, existiendo varias técnicas para su estimación, entre las que se destacan:

- Cálculo de la ET a partir de la evapotranspiración de referencia del cultivo:
 - » Método del tanque evaporímetro
 - » Método de Penman Monteith
- Estimación de la ET basado en modelos (*Cropwat*).
- Estimación de la ET por medio del lisímetro de pesada.
- Estimación de la ET mediante la medición directa de la humedad del suelo.
- Estimación de la ET mediante sensores remotos (*Eddy Covariance*).

A continuación, se detallan cada una de las técnicas para la estimación de la ET :

Cálculo de la ET a partir de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o).

La ET de un cultivo depende del clima, las características del cultivo y la disponibilidad de agua en el suelo. Para el cálculo de la ET de un cultivo es necesario estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o), la cual depende exclusivamente de las variables climáticas (Figura 23); esta representa la pérdida de agua de una superficie cultivada estándar y expresa el poder evaporante de la atmósfera. La ET_o puede calcularse a partir de las variables climáticas proporcionadas por una estación meteorológica o de forma directa mediante un tanque evaporímetro.

Posteriormente, debe determinarse la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c), la cual depende tanto de las condiciones climáticas como las propiedades del cultivo. Para calcular la ET_c debe multiplicarse la ET_o por el coeficiente del cultivo (K_c), que integra los efectos de las características que distinguen a un sistema de referencia de un cultivo concreto en el campo (Allen *et al.*, 2006).

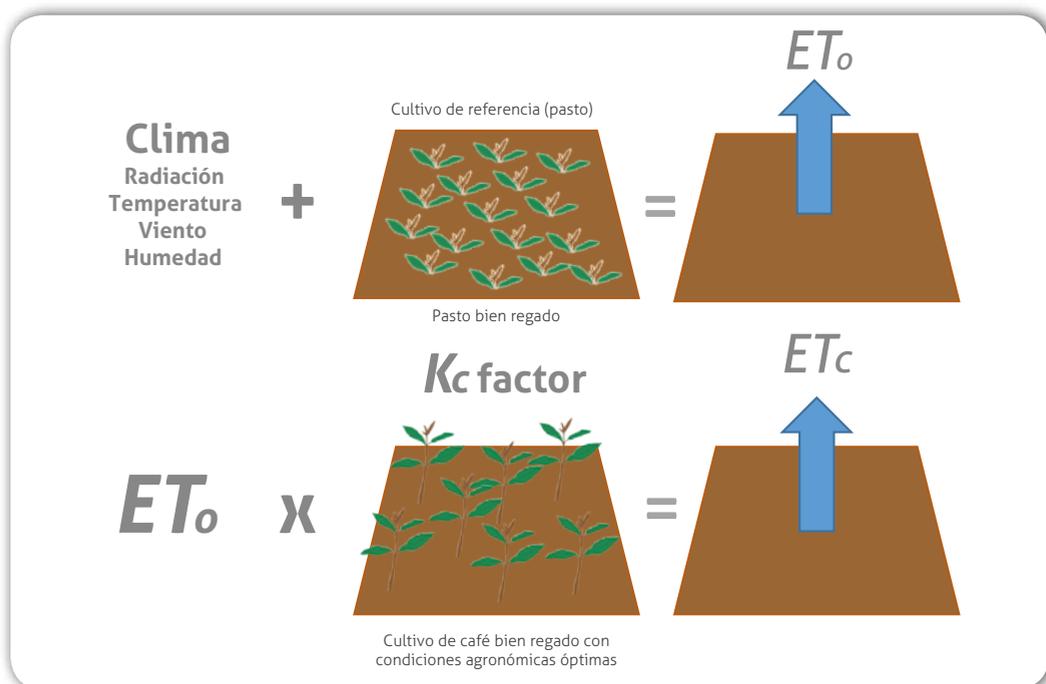


Figura 21. Evapotranspiración de cultivo de referencia (ET_0), bajo condicione estándar (ET_c).

Debido a variaciones en las características del cultivo durante los diferentes períodos de crecimiento para un determinado cultivo, el K_c cambia desde la siembra hasta la cosecha (Allen *et al.*, 2006). En la Tabla 7 se encuentran los valores generales de K_c para el cultivo de café en las etapas de levante y producción (Allen *et al.*, 2006), así como los valores de K_c propuestos por Cenicafé para la Estación Experimental de Paraguaicito, en el departamento de Quindío.

Tabla 7. Factores de cultivo para café.

Edad (años)	Coefficiente de cultivo (K_c)	Profundidad de raíces (cm)	Lluvia neta (%)
1	0,80	20	90
2	0,95	30	75
Más de 3	1,05	40	55

(Allen *et al.*, 2006).

Etapas de crecimiento	Coefficiente de cultivo (K_c)*
Vegetativa	0,62
Reproductiva	0,88

*CASTAÑO M., A.M.; GARCÍA L., J.C. Desarrollar e inter-comparar modelos de predicción de crecimiento y producción de cultivos como herramienta para determinar la vulnerabilidad del sector agrícola frente a la variabilidad y el cambio climático WP5: Informe final. Manizales : RICCLISA, 2018. 52 p.
Las condiciones de cultivo en las cuales se obtuvo los datos de K_c son: Variedad Castillo Paraguaicito, densidad de 7.143 plantas/ha.

Una vez estimada la ET_c para el café será necesario realizar un balance diario de agua a nivel del suelo. El valor de ET_c es un valor máximo potencial que dependerá de la disponibilidad de agua. De esta forma, si el agua disponible en el suelo gracias a la lluvia o al riego es suficiente, ET será igual a ET_c , si no es así, ET será menor.

Determinación de la ET_o por medio del método FAO Penman-Monteith. Aunque existen numerosos métodos para calcular la ET_o a partir de datos climáticos (**Ecuación 1**), el método de Penman-Monteith se ha establecido como el método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia (Allen *et al.*, 2006). Este método requiere de información diaria sobre número de horas sol (radiación), temperatura, humedad atmosférica y velocidad de viento.

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

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻²día⁻¹)

R_o = radiación extraterrestre (mm día⁻¹)

G = flujo del calor de suelo (MJ m⁻²día⁻¹)

T = temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u_2 = velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)

e_s = presión de vapor de saturación (kPa)

e_a = presión real de vapor (kPa)

$e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (kPa)

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)

γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

Para **determinar las variables** climáticas que se requieren en la **Ecuación 1**, se sugiere consultar los datos meteorológicos de la Guía No.56 del Estudio FAO - Riego y drenaje (Allen *et al.*, 2006).

Estimación de la ET_o por el método del tanque evaporímetro.

La ET_o se puede obtener también mediante métodos de medición indirecta como el uso del tanque evaporímetro. Este ha sido utilizado para estimar la ET_o observando la pérdida por evaporación de una superficie de agua y aplicando coeficientes empíricos para relacionar la evaporación del tanque con ET_o (Allen *et al.*, 2006).

La evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque, como se presenta en la **Ecuación 2**:

$$ET_o = K_p \times E_{pan} \quad \mathbf{2}$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

K_p = coeficiente del tanque evaporímetro (-)

E_{pan} = evaporación del tanque evaporímetro (mm día⁻¹)

Para el cálculo de la ET_o , se requiere del registro diario de la evaporación (EV) del agua en el tanque, mediante el uso de un tornillo micrométrico u otro sistema de medición (regleta). La diferencia entre la medición del día actual y el día anterior, representa la lámina diaria evaporada (E_{pan}). El valor de EV es multiplicado por el coeficiente del tanque (K_p) que depende de la humedad relativa y de la velocidad del viento, que usualmente es definido en 0,7 (Allen *et al.*, 2006).

En la **Figura 22**, se muestra el uso de un tanque evaporímetro de tipo Clase A.



Figura 22. Tanque evaporímetro y tornillo micrométrico para lectura de lámina agua evaporada.

Estimación de la ET basado en modelos (CROPWAT).

Existen diversos modelos que permiten el cálculo de la ET de forma sencilla y rápida. Entre ellos se destaca el CROPWAT, un *software* libre que permite realizar un balance hídrico para un lugar y cultivo específico.

Requiere información climática, de suelos, así como los parámetros básicos de los cultivos a evaluar (fecha de siembra, duración de las etapas de crecimiento y coeficientes de cultivo). Con la información climática se calcula la ET_o y con la información de suelos, riego y cultivo, a su vez, se estima un balance hídrico que permite calcular la ETc en las

condiciones de humedad y manejo del agua de riego que se quieran estimar (Allen *et al.*, 2006; Romero *et al.*, 2016).

Este programa utiliza la ecuación FAO Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de referencia, la cual facilita la ejecución de los cálculos (Figura 23).

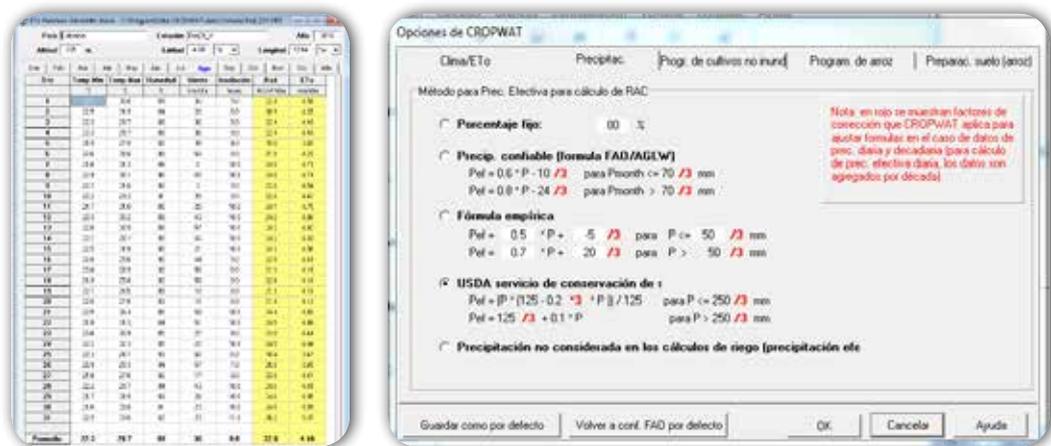


Figura 23. Interfaz de modelo CROPWAT.

Estimación de la ET por medio del lisímetro de pesada. Los lisímetros de pesada han sido utilizados a nivel mundial para la medición directa de la ET_o , la ET_c , la precipitación efectiva (PE), la cantidad de agua percolada y su calidad, así como para estudiar los efectos del clima sobre la evapotranspiración y desempeño de los cultivos (Khan *et al.*, 1998; World Meteorological Organization-WMO, 2012; Allen *et al.*, 2006).

Este método está constituido por un tanque con suelo y una o varias plantas, dependiendo del cultivo, dispuestas sobre un instrumento sensible de medida como una balanza, celda de carga o un neumático lleno de agua en su versión más simple. Las pérdidas y ganancias de peso del sistema pueden ser traducidas a pérdidas y ganancias de humedad y, por consiguiente, a un ingreso de agua por precipitación o riego y a una salida de agua por evapotranspiración o percolación (Romero *et al.*, 2016).

Dependiendo de su nivel de precisión los lisímetros pueden llegar a ser costosos y su operación y mantenimiento pueden requerir especial cuidado, razón por la cual su uso se restringe normalmente a trabajos investigativos, sin embargo, se pueden considerar opciones de fabricación más simples y menos costosas (Romero *et al.*, 2016). En el caso del café, debido a las dimensiones del sistema radical de la planta, se aconseja su utilización siempre y cuando sean lo suficientemente grandes para que no se presente ninguna restricción al crecimiento radical que pueda llegar a afectar el normal crecimiento y desarrollo de la planta evaluada.

En la Figura 24 se ilustra el funcionamiento de un lisímetro neumático de pesada.

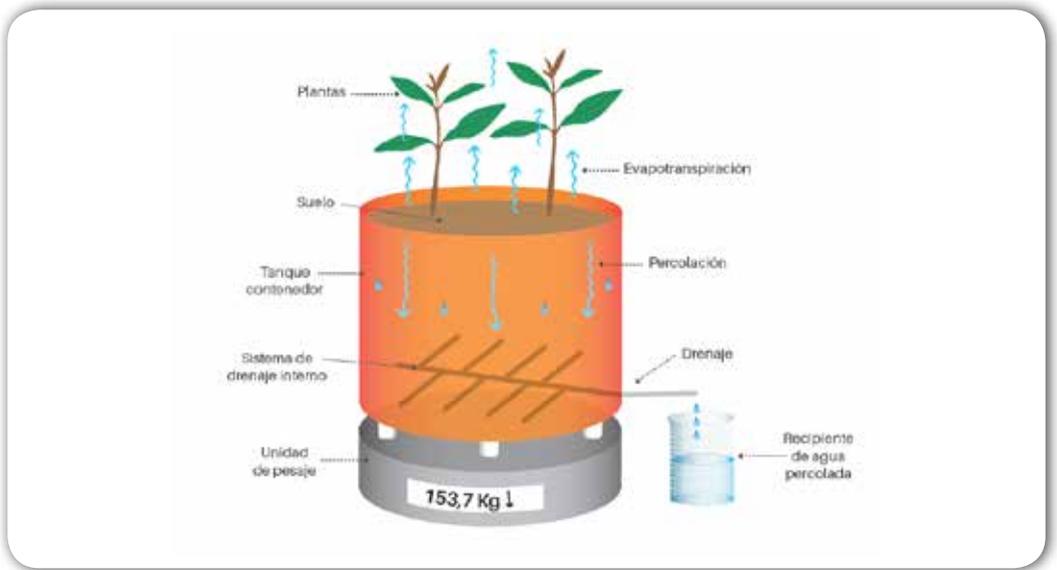


Figura 24. Esquema de un lisímetro neumático de pesada.

Estimación de la ET mediante la medición directa de la humedad del suelo. El balance de humedad de agua en el suelo permite el cálculo de la evapotranspiración de forma indirecta, mediante la medición de sus diversos componentes. Este método consiste en evaluar diariamente los flujos de agua que entran y salen de la zona radicular del cultivo, en un determinado período (Figura 25).

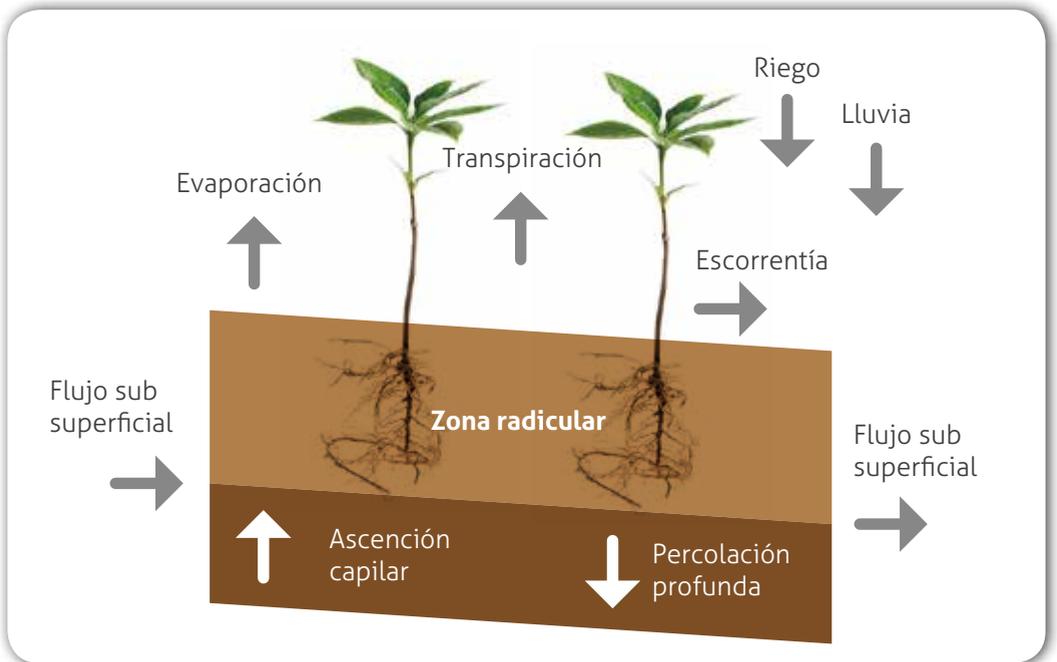


Figura 25. Balance de agua en el suelo de la zona radicular.

El riego y la precipitación proporcionan agua a la zona radical, mientras que la evapotranspiración, escorrentía superficial y percolación profunda pueden remover agua del suelo. El agua también puede ser transportada hacia la superficie mediante capilaridad desde la capa freática sub-superficial hacia la zona de raíces, o ser transferida horizontalmente por flujo sub-superficial hacia dentro (FS_{in}) o fuera (FS_{out}) de la zona radicular (ΔFS), sin embargo, estos tres últimos flujos son mínimos y difíciles de medir, por tanto, pueden despreciarse en períodos cortos de tiempo (Allen *et al.*, 2006; Romero *et al.*, 2016).

Si todos los otros flujos aparte de la ET pueden ser evaluados, la ET se puede deducir a partir del cambio en el contenido de agua en el suelo (ΔHS) a lo largo de un período de tiempo (**Ecuación 3**):

$$(R + P + C + FS) - (ET + ES + D) = \pm \Delta HS \quad \mathbf{3}$$

R = riego

P = precipitación

C = capilaridad

FS = flujo Sub-superficial

ET = evapotranspiración

ES = escorrentía superficial

D =percolación profunda

ΔHS = cambio en el contenido de agua en el suelo

El cambio en el contenido de agua en el suelo (ΔHS), es determinado mediante el monitoreo continuo del cambio de la humedad del suelo que corresponde a la cantidad de agua por volumen de suelo que hay en un terreno. Su medición exacta puede ser realizada por medio de los siguientes métodos:

- **Método gravimétrico:** se realiza por medio de un muestreo de suelo. Inicialmente se determina el peso de la muestra en húmedo y luego su peso seco (a 105°C durante 24 a 48 horas), para finalmente calcular su porcentaje de humedad gravimétrica (Figura 26). Es un método destructivo y puntual, por lo que su medición a largo plazo no es aconsejable.



Figura 26. Método gravimétrico para determinar la humedad del suelo.

- **Sensor de humedad:** son sondas que se insertan en el suelo y que permiten monitorear de forma continua la humedad volumétrica del suelo. Es un método no destructivo cuyos registros pueden almacenarse en un *datalogger*. Su instalación a distintas profundidades genera información del estado de humedad del perfil del suelo (Figura 27).



Figura 27. Sensores de humedad instalados en los diferentes perfiles del suelo.

Estimación de la ET mediante sensores remotos (Eddy Covariance). La ET también puede ser determinada mediante sistemas remotos como con el sistema de *Eddy Covariance*, el cual determina los flujos de agua del cultivo a la atmósfera, mediante la medición de la dirección y velocidad del viento y la cuantificación de las concentraciones de los gases que se mueven en él. Estos remolinos (*Eddy* en inglés) llevan una concentración de gases (CO_2 y H_2O).

Conociendo la dirección, la velocidad y la concentración de los gases en los remolinos, se puede determinar el flujo de los gases hacia la atmósfera y determinar de forma precisa el volumen de agua evapotranspirada (Burba y Anderson, 2005). Para ello es necesario contar con un anemómetro sónico y un analizador de gases; además, para completar la información es importante reportar datos micro-meteorológicos, entre los cuales se presentan los de radiación, flujo de calor latente, temperatura y humedad ambiental, humedad y temperatura del suelo, entre otros.

En la Figura 28, se muestra la estación de *Eddy Covariance* instalada en una de las estaciones experimentales de Cenicafé.



Figura 28. Estación *Eddy Covariance* instalada en la Estación Experimental Paraguacito.

Cuantificación de la Huella Hídrica

Según el alcance de esta Guía, la cuantificación de la HH total del sistema de producción de café corresponde a la HH directa del sistema en las etapas que lo integran (**Ecuación 4**):

$$HH_{Total}(L/kg) = HH_{directa_{fase\ de\ cultivo}} + HH_{directa_{fase\ de\ beneficio}} \quad \mathbf{4}$$

La HH de cada etapa del proceso productivo está dada por la suma de los tres tipos de huellas a partir de las **Ecuaciones 5** y **6**.

$$HH_{fase\ de\ cultivo}(L/kg) = HH_{Verde_{cultivo}} + HH_{Azul_{cultivo}} + HH_{Gris_{cultivo}} \quad \mathbf{5}$$

$$HH_{fase\ de\ beneficio}(L/kg) = HH_{Azul_{beneficio}} + HH_{Gris_{beneficio}} \quad \mathbf{6}$$

Huella Hídrica de la fase de cultivo

- **HH verde.** Debido a que el café en Colombia es un cultivo que se presenta generalmente en condiciones de secano toda el agua consumida en las etapas de establecimiento y producción proviene de la precipitación, por lo que el agua evapotranspirada corresponde en su totalidad a agua verde (agua lluvia), como se presenta en la **Ecuación 7**.

$$HH_{\text{verde}} (\text{L/kg}) = \frac{ET_{\text{agua verde}} + \text{Incorporación}}{\text{Rendimiento}} \quad 7$$

El volumen de agua incorporada al producto puede despreciarse, al ser una cantidad mínima en relación con el agua evaporada por el cultivo.

- **HH Azul.** En las etapas de germinación y almácigo así como en los casos excepcionales donde se aplique riego en el cultivo, es necesario el cálculo de la HH azul. De esta manera la cuantificación de la HH azul está dada por los siguientes componentes que se presentan en la **Ecuación 8**:

$$HH_{\text{azul}} (\text{L/kg}) = \frac{ET_{\text{agua azul}} + \text{Incorporación} + \text{Evaporación agua azul (A,A,T)}}{\text{Rendimiento}} \quad 8$$

El volumen de agua incorporada al producto puede despreciarse, al ser una cantidad mínimo en relación con el agua evaporada por el cultivo.

La evaporación de agua azul durante la aplicación, almacenamiento y transporte puede ser determinada de forma indirecta, una vez que se hagan los aforos de riego en la entrada del sistema productivo y a la salida del mismo (riego efectivo), y se compare con el agua evapotranspirada, por lo cual deben revisarse las reglas de asignación para la HH.

Regla de asignación para el cálculo de la evapotranspiración de agua verde y azul: en las etapas de germinador y almácigo se requiere la aplicación continua de agua de riego para suplir los requerimientos hídricos. Puesto que en estos casos la entrada de agua de lluvia es mínima, al ser sistemas por lo general cubiertos, se puede asumir que toda el agua evaporada es agua azul. De esta forma, la HH azul (agua evaporada) puede estimarse a partir del riego efectivo, calculado mediante el balance de agua de riego en la entrada del sistema productivo (riego total) y a la salida del mismo.

En el caso de sistemas de germinador o almácigo sin cobertura o en los casos excepcionales donde se necesite el riego del cultivo, el agua evapotranspirada puede provenir tanto de agua lluvia (verde) como de agua de riego (azul). Según lo anterior, el volumen de agua evapotranspirada por el cultivo es la sumatoria de la evapotranspiración de agua verde más la evapotranspiración de agua azul (**Ecuación 9**), al ser el agua incorporada despreciable.

$$ET (m^3) = ET_{\text{agua verde}} (m^3) + ET_{\text{agua azul}} (m^3) \quad 9$$

Puesto que el suelo actúa como reservorio almacenando el agua que posteriormente es utilizada por las plantas, es difícil cuantificar qué parte del agua evapotranspirada corresponde a agua verde y cuál a agua azul. Para ello, es necesario realizar una aproximación, que puede ser calculada a partir de la metodología de los dos balances de

agua. Dicha metodología se basa en la implementación de dos balances teóricos de agua en el suelo con criterios de entrada de agua diferente.

El primer balance simula la evapotranspiración del cultivo en condiciones de secano (agua proveniente exclusivamente de la lluvia). El segundo balance simularía el cultivo en condiciones de riego a evapotranspiración potencial ($ET = ETC$).

El resultado del primer balance determinaría la HH verde, siendo la diferencia entre ambos balances la HH azul evapotranspirada. Una vez estimada dicha HH azul pueden darse tres situaciones:

- i. La HH azul obtenida en el balance es mayor al volumen aplicado en riego. Son situaciones de riego deficitario y la HH azul correspondería al agua efectiva aplicada por riego (sustraer escorrentía en caso de riego por inundación).
 - ii. La HH azul obtenida en el balance es igual al volumen aplicado en riego.
 - iii. La HH azul obtenida en el balance es menor al volumen aplicado en riego. En este caso, todo el riego efectivo (sustraer escorrentía en caso de riego por inundación) se consideraría como HH azul, aunque podría diferenciarse entre HH evapotranspirada (resultado del balance) y HH asociada a la aplicación, transporte y almacenamiento (diferencia entre el riego efectivo aplicado y la HH azul evapotranspirada).
- **HH gris.** La HH gris se calcula dividiendo la carga contaminante que entra en un cuerpo de agua (L) con la diferencia entre la concentración máxima permisible de un contaminante (C_{max}) y la concentración natural del mismo (C_{nat}), como se presenta en la **Ecuación** . La HH gris de cada contaminante debe calcularse por separado para cada contaminante en cuestión, de forma que se tomará como HH gris la de mayor impacto para cada uno de los contaminantes evaluados (Hoekstra *et al.*, 2011; Franke *et al.*, 2013).

$$HH_{gris} (L/kg) = \frac{L (carga)}{C_{max} - C_{nat}} \div Rendimiento \quad \mathbf{10}$$

Concentración natural del contaminante (C_{nat}): es la concentración que debería tener un cuerpo de agua sin alteraciones antrópicas. Las concentraciones naturales de contaminantes en el agua no se conocen con exactitud, pero se estima que son muy bajas por lo cual es normal asumirlos como 0 (Franke *et al.*, 2013).

Concentración máxima permitida de una contaminante (C_{max}): según la ubicación del lugar de estudio debe consultarse la norma de los objetivos de calidad de los ríos de influencia en cada cuenca donde se vierten los efluentes del sistema productivo. Cuando no se cuenta con información de regulación de efluentes en la región pueden usarse como guía de referencia los parámetros dados por el Ideam para calidad de aguas superficiales y los lineamientos dados en el Decreto 1594 de 1984, con respecto a las características de calidad según el uso del recurso (Tabla 8) (Romero *et al.*, 2016).

Tabla 8. Valores máximos de parámetros en cuerpos de aguas superficiales con categoría de calidad aceptable.

Contaminante	Límite (ppm)	Referencia
DQO	25	Ideam, 2013
NO ₃	45	Decreto 1594 de 1984
PO ₄	6,0	Normativa Europea
NH ₄	2,0	Decreto 1594 de 1984

Fuente: Ideam, 2013. Índice de calidad del agua en corrientes superficiales.

Cuantificación de la carga contaminante que entra en un cuerpo de agua (L): En los sistemas agrícolas la principal fuente de contaminación de agua es difusa, vía aplicación de fertilizantes al suelo. La carga contaminante puede cuantificarse mediante su medición directa en el campo o estimada a partir de coeficientes de lixiviación. Su medición en el campo puede realizarse mediante la cuantificación del volumen de agua de escorrentía o percolación (E_{ffl}), así como la concentración de cada uno de los contaminantes en dichos volúmenes (C_{effl}). A ellos, sería necesario restar la carga de contaminantes que entran en el sistema, mediante la determinación del volumen de agua lluvia o riego ($Abstr$) y la concentración del contaminante en el agua de ingreso o concentración actual (C_{act}) (Franke *et al.*, 2013), como se presenta en las **Ecuaciones 11** y **12**.

$$L = (E_{ffl} \times c_{effl} - Abstr \times c_{act}) \left(\frac{\text{masa}}{\text{tiempo}} \right) \quad \text{11}$$

$$HH_{gris} = \frac{(E_{ffl} \times c_{effl} - Abstr \times c_{act})}{(C_{max} - C_{nat})} \times \frac{1}{\text{Rendimiento}} \left(\frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} \right) \quad \text{12}$$

Debido a que el café en Colombia suele presentarse en condiciones de secano, la única entrada de agua al predio sería mediante de la precipitación, por ello puede desprejarse el aporte de carga contaminante de forma natural, eliminando el término ($Abstr \times C_{act}$) de la **Ecuación 10**. En caso de riego y siempre que el agua utilizada sea de buena calidad, dicho término también puede eliminarse.

Para la cuantificación de los volúmenes de agua escurridos o percolados (E_{ffl}) pueden usarse las técnicas antes mencionadas, ya sea mediante parcelas de escorrentía en el caso del volumen escurrido, o lisímetros de pesada o estimación de la percolación en el caso del volumen percolado. En los casos donde la salida de agua del terreno es puntual (sistema de riego por inundación), la muestra de agua puede cuantificarse mediante un aforador o canal de drenaje.

Para la determinación de la concentración de contaminantes (C_{effl}) pueden analizarse periódicamente muestras de agua en el laboratorio. En el caso del agua escurrida, dichas muestras pueden tomarse en las parcelas de escorrentía o canales de drenaje. Para el

agua percolada, el agua puede tomarse a partir de la instalación de lisímetros de succión, los cuales permiten extraer agua de la solución del suelo¹.

Pero el proceso de medición de la carga contaminante en el campo resulta complejo y costoso. Es por ello, que en ciertas situaciones, es posible determinar la carga contaminante a partir de un factor alfa (α) para evaluar la fracción de lixiviación del compuesto (fertilizante) y la cantidad de producto químico o fertilizante aplicada al suelo (*Appl*) (Franke *et al.*, 2013), como se presenta en las **Ecuaciones 13** y **14**.

$$L = \alpha \times Appl \left(\frac{\text{masa}}{\text{área}} \right) \quad \text{13}$$

$$HH_{gris} = \frac{\alpha \times Appl}{C_{max} - C_{nat}} \times \frac{1}{\text{Rendimiento}} \left(\frac{\text{Volumen}}{\text{masa}} \right) \quad \text{14}$$

El valor α puede calcularse según las condiciones ambientales y las prácticas agrícolas realizadas, mediante el uso de las **Ecuaciones 15** y **16** para el caso de uso de fertilizantes que contengan nitrógeno y fósforo.

$$\alpha_{\text{Nitrógeno}} = 0,0100 + \left(\frac{\Sigma(S \times W)}{\Sigma(W)} \right) \times 0,024 \quad \text{15}$$

$$\alpha_{\text{Fósforo}} = 0,0001 + \left(\frac{\Sigma(S \times W)}{\Sigma(W)} \right) \times 0,049 \quad \text{16}$$

Donde *W* corresponde al peso que tiene cada factor ambiental y de manejo en la tasa de lixiviación-percolación, y *S* corresponde a un puntaje determinado por la magnitud de cada factor (Tabla 9).

¹ Se recomienda recolectar las muestras después de un evento de riego o precipitación donde se espera una salida significativa de agua. En sistemas por inundación, donde la salida de agua es continua, se recomienda tomar una muestra semanal o quincenal para ser enviada al laboratorio y evaluar los parámetros de calidad determinados por la norma de influencia en la región.

Tabla 9. Fracciones mínima, promedio y máxima de lixiviación-escorrentía a para nitrógeno y fósforo.

		Lixiviación y escorrentía	Muy bajo	Bajo	Alto	Muy alto
		Puntaje (S)	0	0,33	0,67	1
		Peso*(w)				
		α				
Nitrógeno	Deposición de N (g/m ² /año de N)	10	<0,5	>0,5	<1,5	>1,5
	Textura (relevante para lixiviación)	15	Arcilla	Limo	Franca	Arena
	Textura (relevante para escorrentía)	10	Arena	Franco	Limo	Arcilla
	Drenaje (relevante para lixiviación)	10	Pobre	Moderado	Adecuado	Excesivo
	Drenaje (relevante para escorrentía)	5	Excesivo	Adecuado	Moderado	Pobre
	Precipitación (mm)	15	0-600	600-1.200	1.200-1.800	>1.800
	Fijación de N (kg/ha)	10	0	>0	<60	>60
	Tasa de aplicación**	10	Muy baja	Baja	Alta	Muy alta
	Rendimiento del cultivo**	5	Muy alto	Alto	Bajo	Muy bajo
Prácticas de manejo	10	Excelente	Óptima	Promedio	Mala	
Fósforo	Textura (relevante para escorrentía)	15	Arena	Franca	Limo	Arcilla
	Erosión	20	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
	Contenido de P (g/m ² de P)	15	<200	200-400	400-700	>700
	Precipitación (mm)	10	Baja	Moderada	Fuerte	Excesiva
	Tasa de aplicación**	15	Muy baja	Baja	Alta	Muy alta
	Rendimiento del cultivo**	5	Muy alto	Alto	Bajo	Muy bajo
	Prácticas de manejo	10	Excelente	Óptima	Promedio	Mala

Huella Hídrica de la fase de beneficio

Durante la fase de beneficio, la principal fuente de entrada de agua por regla general es captada de un nacimiento o tomada directamente del cuerpo de agua y entra de forma directa en el beneficiadero mediante una tubería.

La principal salida corresponderá con el vertido de agua una vez es utilizada en el proceso de beneficio. Por lo general, se puede asumir que más del 90% del agua que entra en el beneficiadero sale del mismo en forma de agua residual (agua miel) y, por tanto, con unas condiciones de calidad completamente distintas.

- **HHazul.** La presente guía considera como **HH azul** cualquier utilización de agua en el proceso de beneficio puesto que, aunque dicho volumen retorna en su

mayoría al cuerpo receptor, la alteración de su calidad modifica sus usos potenciales, tal como lo establece el Ideam en el ENA (2014). Esta consideración se alinea con los objetivos de mejora continua a nivel de reducción de agua en el beneficio del café.

El proceso de cuantificación consiste en la medición del volumen de agua que ingresa al proceso de beneficio con relación a los kilogramos de café pergamino seco procesados. La presente Guía recomienda la medición directa de los volúmenes de agua utilizados en el proceso de beneficio. Para ello, puede utilizarse un medidor de caudal; en el caso de no tener dicho dispositivo el volumen de agua utilizado puede cuantificarse mediante el aforo de la tubería de entrada al beneficio y el tiempo de proceso (aforo volumétrico). Similar a lo descrito en la cuantificación de la HH azul para las etapas de germinador y almacigo.

En caso de no poder realizar una medición directa del agua utilizada en la fase de beneficio se recomienda emplear la Tabla 10, en la cual a partir de la caracterización de las distintas etapas del beneficiadero es posible determinar el volumen de agua por cada kilogramo de café pergamino seco procesado.

Tabla 10. Consumo de agua por kilogramo de café pergamino seco producido en la fase de beneficio según la etapa y tecnología utilizada.

Etapa de Beneficio	Dispositivo/práctica	L agua/kg cps
Recibo	Tolva seca	0,000
	Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfin	0,025
	Tanque sifón sin recirculación	4,70
	Tanque sifón con recirculación	2,00
	Bomba sumergible	2,00
Despulpado	Con agua	5,00
	Sin agua	0,00
Transporte pulpa	Con agua	5,00
	Sin agua	0,00
Transporte café en baba	Con agua	5,00
	Sin agua	0,00
Lavado	Lavador mecánico Ecomill	0,3 – 0,5
	Otros lavadores	2,2 - 2,7
	Desmucilaginador Deslim	0,7 – 1,0
	Otros desmucilaginadores	1,5 – 3,3
	Técnica cuatro enjuagues en el tanque	4,0 – 5,0
	Bomba sumergible	6,5 – 9,0
	Canal semisumergido	6,5 – 8,0
	Canal de correteo	20,0- 25,0

Fuente: Rodríguez et al., (2015).

La HH azul resulta de la suma de los volúmenes consumidos por kilogramo de café pergamino seco en cada una de las etapas caracterizadas **Ecuación 17**. La incertidumbre de los datos registrados en la tercera columna de la Tabla 10 es mayor cuando el volumen de café procesado es bajo, y por lo tanto, el beneficiadero no trabaja a pleno rendimiento.

$$HH_{\text{azul beneficio}} = \sum \left(V_{\text{consumido/proceso}} / \text{kg cps} \right) \quad \text{17}$$

Ejemplo

Aplicación de los datos de consumo de agua en el proceso de beneficio (Tabla 10) para hallar la HH azul en la etapa de beneficio.

Se quiere calcular la HH azul en la fase de beneficio y dentro de las etapas del mismo se tiene la siguiente caracterización:

- Recibo de café: se realiza utilizando un tanque sifón sin recirculación.
- Desulpado: se realiza con agua.
- Transporte de la pulpa y del café en baba: se realiza en seco.
- Lavado: se hace mediante el Ecomill.

El consumo de agua se calcula sumando los gastos de cada proceso:

Dispositivo/práctica	L agua/kg de cps
Tanque sifón sin recirculación	4,70
Desulpado con agua	5,00
Lavador mecánico Ecomill	0,50
La HH azul de la etapa de beneficio se estima en	10,20

- **HH gris.** Para el cálculo de la HH gris se recomienda usar el protocolo planteado por Franke *et al.* (2013), para fuentes puntuales de contaminación, debido a que el contaminante es liberado de forma directa a la fuente. Para esto deben medirse de forma directa los siguientes parámetros (**Ecuación 18**):

$$HH_{\text{gris}} (\text{mm/t}) = \frac{(E_{\text{ffl}} \times c_{\text{effl}})}{(C_{\text{max}} - C_{\text{nat}})} \times \frac{1}{\text{Rendimiento}} \left(\frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}} \right) \quad \text{18}$$

Cantidad de efluentes (Effl): los efluentes del proceso de beneficio son considerados como la salida de agua del sistema después que ha sido usada en las diferentes fases. Para su cuantificación se pueden utilizar métodos simples como la recolección de agua en un recipiente de volumen conocido y contabilizar el tiempo que toma en llenar este recipiente, de esta forma se obtiene un caudal en L/s, que llevado al tiempo total de salida de agua se determina la cantidad de agua en m³.

En el caso que no se pueda realizar una medición de los caudales vertidos, es posible utilizar los parámetros establecidos en la Tabla 10, asumiendo que el 100% del volumen de agua utilizado en el proceso de beneficio es vertido al medio.

Concentración de contaminantes en el efluente (C_{effl}): se recomienda tomar una serie de muestras de agua con el fin de enviar a laboratorio y cuantificar las concentraciones de los diferentes contaminantes requeridos según las normas ambientales. La muestra de agua puede ser tomada directamente de la salida del proceso y colectada en un recipiente plástico.

Concentración máxima permitida de una contaminante (C_{max}): al igual que en el caso de la estimación de la HH gris del cultivo se debe consultar la norma de los objetivos de calidad de los ríos de influencia en cada cuenca donde se vierten los efluentes del sistema productivo. Cuando no se cuente con dicha información, se recomienda el uso de los valores establecidos en la Tabla 11. Es importante remarcar que, aunque en el proceso de beneficio se realizan descargas puntuales, no se debe utilizar como concentración máxima las establecidas por las leyes de vertido, pues la HH gris se calcula en función de la concentración en el cuerpo de agua.

Tabla 11. Valores máximos de parámetros en cuerpos de aguas superficiales de categoría de calidad aceptable.

Contaminante	Límite (ppm)	Referencia
DQO	25	Ideam, 2013
NO ₃	45	Decreto 1594 de 1984
PO ₄	6,0	Normativa Europea
NH ₄	2,0	Decreto 1594 de 1984
SST	100	Ideam, 2013

Fuente: Ideam. 2013. Índice de calidad del agua en corrientes superficiales.

Si no es posible hacer un análisis de calidad de agua pueden usarse los valores de referencia en para el proceso de beneficio, como aquellos que se presentan en la Tabla 12, para distintos contaminantes generados en cada una de las prácticas realizadas en las diferentes etapas de beneficio.

Tabla 12. Contaminación generada en el proceso de beneficio del café.

Etapa de Beneficio	Dispositivo/práctica	g DQO/kg cps	g N/kg cps	g PO ₄ /kg cps	g SST/kg cps
Recibo	Tolva seca	0,00	0,00	0,00	0,00
	Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín	0,07	0,00	0,00	0,01
	Tanque sifón sin recirculación	11,00	0,22	0,01	2,00
	Tanque sifón con recirculación	5,00	0,10	0,00	1,00
Despulpado	Con agua	87,00	1,74	0,07	14,00
	Sin agua	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte pulpa	Con agua	87,00	1,74	0,07	14,00
	Sin agua	0,00	0,00	0,00	0,00
Almacenamiento pulpa	Sin techo	87,00	1,74	0,07	14,00
	Con techo	0,00	0,00	0,00	0,00
Descomposición de la pulpa	Sin techo	87,00	1,74	0,07	14,00
	Con techo	0,00	0,00	0,00	0,00
Recolección y tratamiento drenados de la pulpa	No	69,00	1,38	0,05	11,00
	Sí	0,00	0,00	0,00	0,00
Tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café	Sin tratamiento de agua.	152	2,91	0,10	17
	Tratamiento con eficiencia < 20% (tratamientos físicos de sedimentación o bioquímicos de hidrólisis).	121	2,42	0,08	14
	Tratamiento con eficiencia > 20 y ≤50% (tratamientos físicos de sedimentación+filtración. Ejemplo: adición del mucílago a la pulpa)	91	1,84	0,06	10
	Tratamiento con eficiencia > 50 y ≤80%. (tratamientos físicos de sedimentación+filtración con hidrólisis. Ejemplo: adición de mieles del Ecomill a la pulpa)	45	0,85	0,03	5
	Tratamiento con eficiencia > 80% y ≤99%. (tratamientos químicos con sales de aluminio, tratamientos biológicos con biodigestores o SMTA)	15	0,27	0,01	2
	Tratamiento completo del agua sin generación de vertimientos (reúso de las aguas tratadas).	0,00	0,00	0,00	0,00

Con base en las prácticas y equipos utilizados en el beneficio del café es posible a partir de la Tabla 12 estimar la carga contaminante en términos de kg de DQO/kg de cps y determinar la concentración del vertido (C_{eff}). Una vez realizado y con base en las fórmulas presentadas es posible calcular la HH gris en el proceso de beneficio.

Teniendo en cuenta que los valores de la Tabla 12 están expresados en términos de masa (g), es posible transformar el resultado en términos de concentración, mediante la división entre el volumen de agua vertido, ya sea con su medición directa o mediante el uso de la Tabla 10 y asumiendo que el agua utilizada es igual al agua vertida.

Ejemplo

Aplicación de los datos de contaminación generada en el proceso de beneficio (Tabla 11) para hallar la HH gris

Se quiere calcular la HH gris en la fase de beneficio y dentro de las etapas del mismo se tiene la siguiente caracterización:

- Masa beneficiada: 100 kg de cps
- Recibo de café: se realizó utilizando un tanque sifón sin recirculación
- Despulpado: se realizó con agua
- Transporte de la pulpa y del café en baba: se realizó en seco
- Lavado: se hizo mediante el uso del Ecomill
- Las aguas del Ecomill se aplicaron a la pulpa

La contaminación se calculó sumando para cada uno de los parámetros considerados (DQO, NO_3 , NH_4 , PO_4 y SST), en cada una de las etapas, su carga másica. Para 100 kg cps, la contaminación por DQO es la siguiente:

Dispositivo/práctica	g de DQO/kg de cps	kg de cps procesados	Carga vertida g de DQO
Tanque sifón sin recirculación	11	100	1.100
Despulpado con agua	87		8.700
Transporte de la pulpa y del café en baba, en seco	0		-
Mieles del Ecomill sobre la pulpa	45		4.500

Carga vertida (g de DQO/100 kg de cps)	14.300
Volumen de agua utilizado en el proceso (L/100 kg cps)	1020
Concentración del vertido (mg/L DQO)	14.020

Las estimaciones para cada uno de los otros parámetros considerados (NO_3 , NH_4 , PO_4 y SST) se realizan de igual forma.





Guía para la evaluación de la huella hídrica de café en Colombia

**Evaluación de la sostenibilidad
de la huella hídrica en el
sistema de producción de café**

Una vez calculado el valor de la HH deben contextualizarse los resultados obtenidos mediante un análisis de sostenibilidad, que permita evaluar si el consumo de agua asociado a la actividad cafetera es sostenible, eficiente y equitativo, y en caso negativo formular las estrategias apropiadas.

La sostenibilidad se define como la capacidad de satisfacer las necesidades presentes sin sacrificar la capacidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades (Brundtland, 1987). La HH debe calcularse para las componentes del agua verde, azul y gris, teniendo en cuenta todos los impactos directos e indirectos; el análisis de sostenibilidad deberá desarrollarse obedeciendo los criterios desde las dimensiones ambiental, social y económica. De esta forma, el volumen total de agua consumido o el volumen de agua contaminado como consecuencia de la actividad cafetera debe compararse con el volumen y la calidad de los recursos hídricos disponibles en el momento y lugar de consumo.

Conceptualmente existen dos escalas para evaluar la sostenibilidad de una actividad:

1. Evaluar cuál es la situación en términos de sostenibilidad a escala general, en la microcuenca, subcuenca o cuenca donde se desarrolla la actividad cafetera.
2. Enfocarse a nivel de finca en la actividad en sí misma y evaluar los impactos directos o indirectos derivados del uso de materiales y emisiones en su entorno cercano.

Ambas aproximaciones son complementarias y a la vez resulta necesario entender los daños a nivel local de un determinado uso de agua y entender cuál es el efecto agregado de todos los usos en una microcuenca frente a su capacidad para sostener otras actividades humanas y procesos naturales.

Según el manual de la HH de la WFN (Hoesktra *et al.*, 2011), para realizar un análisis de sostenibilidad completo deberían seguirse cuatro pasos consecutivos:

1. Identificación de los criterios de sostenibilidad (ambiental, social y económico) a evaluar.
2. Identificación de los puntos críticos.
3. Identificación y cuantificación de los impactos primarios.
4. Identificación y cuantificación de los impactos secundarios.

Comparando la situación espacial (en qué lugares) y temporal (en qué momento) de la HH generada por las diferentes actividades con los criterios de sostenibilidad seleccionados, puede determinarse qué componentes de la HH de cada uno de los procesos corresponden a un uso de agua insostenible, ya sea a nivel de finca o a nivel de microcuenca (puntos críticos). Dichos puntos deberán ser la base para implementar

futuras medidas y conseguir que la HH de la actividad cafetera sea lo más sostenible posible.

En función de los puntos críticos identificados pueden evaluarse los efectos reales en los que se traduce dicho incumplimiento. En el caso de los impactos primarios la evaluación deberá centrarse en las consecuencias directas sobre el ciclo hidrológico, sea sobre la cantidad o calidad del agua. En el caso de los impactos secundarios podrán evaluarse aquellos efectos producidos de forma diferida ya sean ecológicos, sociales o económicos y que son afectados como resultado de los impactos primarios. Así podrán ser evaluados efectos sobre la pérdida de biodiversidad, la salud, seguridad alimentaria, actividades económicas, etc.

Debido a la complejidad de realizar un análisis completo de la sostenibilidad de la HH, esta guía recomienda abordar los dos primeros pasos: identificación de los criterios de sostenibilidad e identificación de los puntos críticos. De igual forma, y debido a la complejidad de evaluar la sostenibilidad basada en criterios sociales y ambientales, la presente guía se centra exclusivamente en la sostenibilidad desde el punto de vista ambiental.

Criterios de sostenibilidad ambiental para la identificación de puntos críticos a nivel de cuenca

Pueden considerarse como indicadores de sostenibilidad aquellos que evalúan en términos absolutos la situación en una microcuenca concreta, determinando la presión que existe sobre los recursos hídricos disponibles. Puesto que la HH de la actividad cafetera se evalúa tanto para la componente verde, azul y gris de la HH, se recomienda evaluar el estado de la microcuenca en las tres componentes.

Sostenibilidad de la HH azul

Existen diversos indicadores que permiten evaluar la sostenibilidad de la HH azul; uno de los más destacados es el indicador de escasez mensual de agua azul (Hoekstra *et al.*, 2012), que relaciona la HH azul total de una cuenca con la disponibilidad de agua a nivel mensual. Para su cálculo es necesario conocer la disponibilidad de agua y la HH total de la cuenca. La disponibilidad de agua es el resultado de la diferencia entre el caudal natural (sin intervención antrópica) y el caudal ambiental. En ciertos casos, como en una microcuenca cafetera su cálculo puede resultar muy laborioso, al tener que estimar entre otras variables, la HH azul de toda la microcuenca y no solo del sector cafetero.

Otro indicador que da una idea de la presión sobre los recursos en una cuenca es la relación entre los caudales fluyentes a nivel mensual (procedentes de un aforo), con respecto al requerimiento mínimo ambiental o caudal ambiental (De Miguel *et al.*, 2012). Cuando el caudal fluyente se acerca mucho al requerimiento mínimo ambiental o es inferior al mismo, se puede decir que es una cuenca con una elevada presión sobre los recursos hídricos.

En Colombia y para el sector cafetero se recomienda el uso del índice de agua no retornada a la cuenca (*IARC*). Donde la *HH azul* es la *HH* intersectorial de una cuenca determinada y la *OHD* es la oferta hídrica disponible o disponibilidad del agua azul en un año medio (**Ecuación 19**).

$$IARC = \frac{\sum HH_{azul}}{OHD_{año_medio}} \quad 19$$

Este índice anual ha sido calculado por el Ideam (2015) para cada una de las subcuencas hidrográficas de Colombia, relacionando la *HH azul* con la oferta hídrica disponible (Figura 29). Para su comprensión, el Ideam establece seis rangos de presión: el estado **crítico** para valores mayores a 1,0, que indican una *HH azul* que excede la oferta. La categoría **muy alto** para valores entre 0,5 y 1,0, que evidencian una situación límite en términos de competencia por agua azul; categoría **alta** para valores entre 0,2 y 0,5 donde existe una alerta, porque la demanda de agua azul multisectorial supera el 20% del total disponible; categoría **moderada** para valores entre 0,1 y 0,2 en zonas donde existe evidencia de una situación de uso y no retorno de agua azul multisectorial, que supera el 10% del total disponible; categoría **baja y muy baja** para valores inferiores a 0,1 donde se considera que existe una situación favorable en términos de oferta-demanda de agua azul.

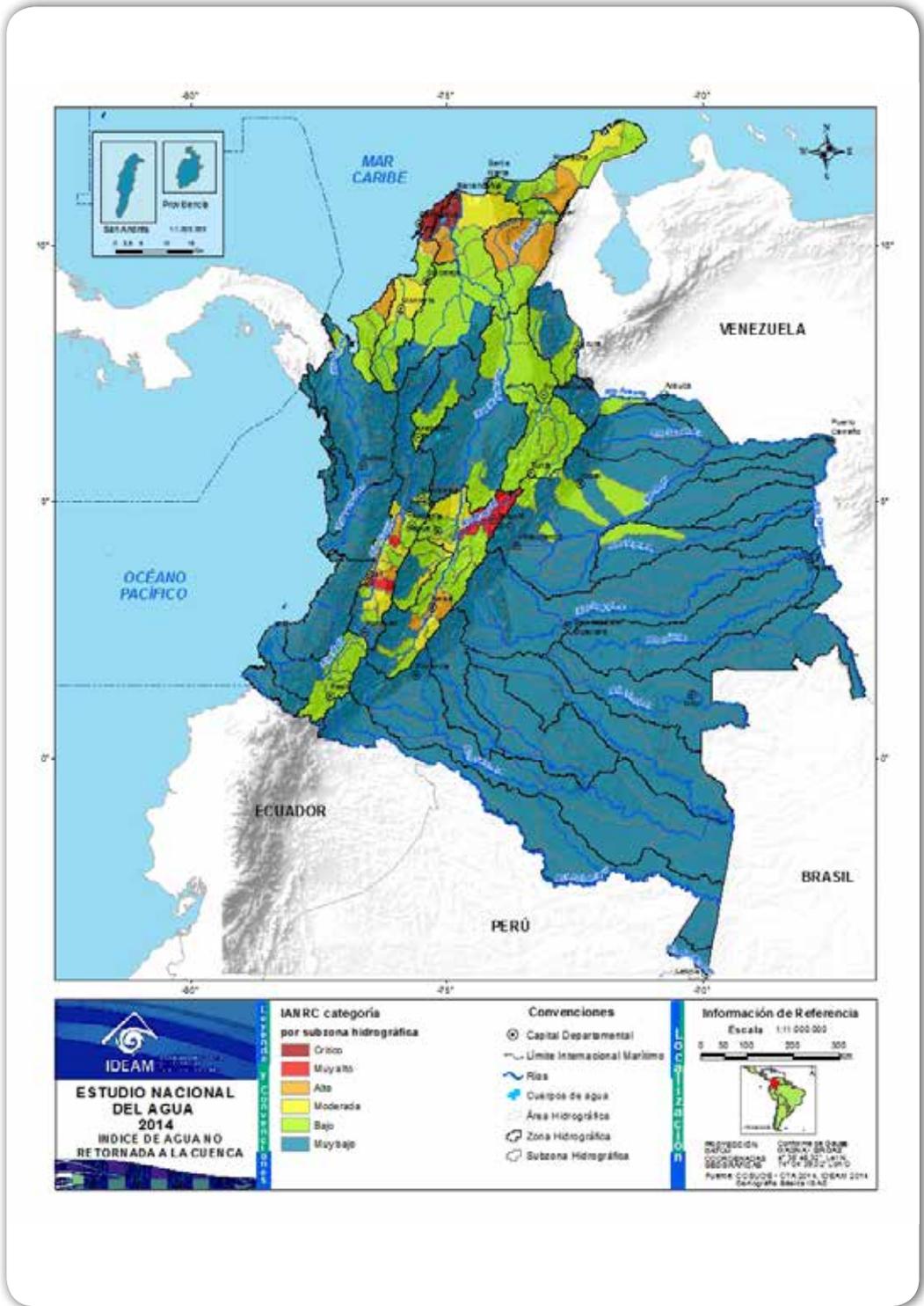


Figura 29. Índice de agua no retornada a la Cuenca (IARC), año 2012, (ENA, 2014).

Sostenibilidad de la HH verde

En el caso de la HH verde puede emplearse el indicador de escasez de agua verde. Este indicador se aplica también a nivel de cuenca, representando la relación entre la HH verde total en la cuenca y la disponibilidad de agua verde.

En Colombia y para el sector cafetero se propone el uso del índice de presión hídrica a los ecosistemas (IPHE) desarrollado por el Ideam (2015), para cada una de las subcuencas hidrográficas de Colombia (**Ecuación 20**), este índice relaciona la HH verde total de una cuenca con la disponibilidad de agua verde en la misma (DA_{verde}).

$$IPHE = \frac{\sum HH_{verde}}{\sum DA_{verde}} DA_{verde} = ET_{verde} - ET_{natural} - ET_{no_productiva} \quad \mathbf{20}$$

La disponibilidad de agua verde (DA_{verde}) se calcula a nivel mensual como la diferencia entre la evapotranspiración real de la cuenca (ET_{verde}) menos la evapotranspiración producida en áreas naturales protegidas ($ET_{natural}$) y en zonas no productivas ($ET_{no_productiva}$), entre las que se destacan suelos sin cobertura vegetal, asentamientos humanos y zonas intervenidas, entre otros.

Al igual que el índice de agua no retornada a la cuenca (*IARC*), el *IPHE* identifica seis categorías (Figura 30), desde el estado **crítico** para valores mayores a 1,0, reflejando que existe clara competencia por agua verde entre el uso del suelo vinculado al sector agropecuario y las áreas de protección asociadas a ecosistemas estratégicos en las cuencas; categoría **muy alta** para valores entre 0,8 y 1,0 que evidencian una situación límite en términos de competencia por agua verde; categoría **alta** para valores entre 0,5 y 0,8 donde existe evidencia de una situación de competencia por agua verde; categoría **moderada** para valores entre 0,3 y 0,5 en zonas donde se identifica una alerta de demanda de agua verde por parte de sector agropecuario; categoría **baja y muy baja** para valores inferiores a 0,3 y 0,1, respectivamente, donde se considera que existe una situación favorable para ecosistemas estratégicos.

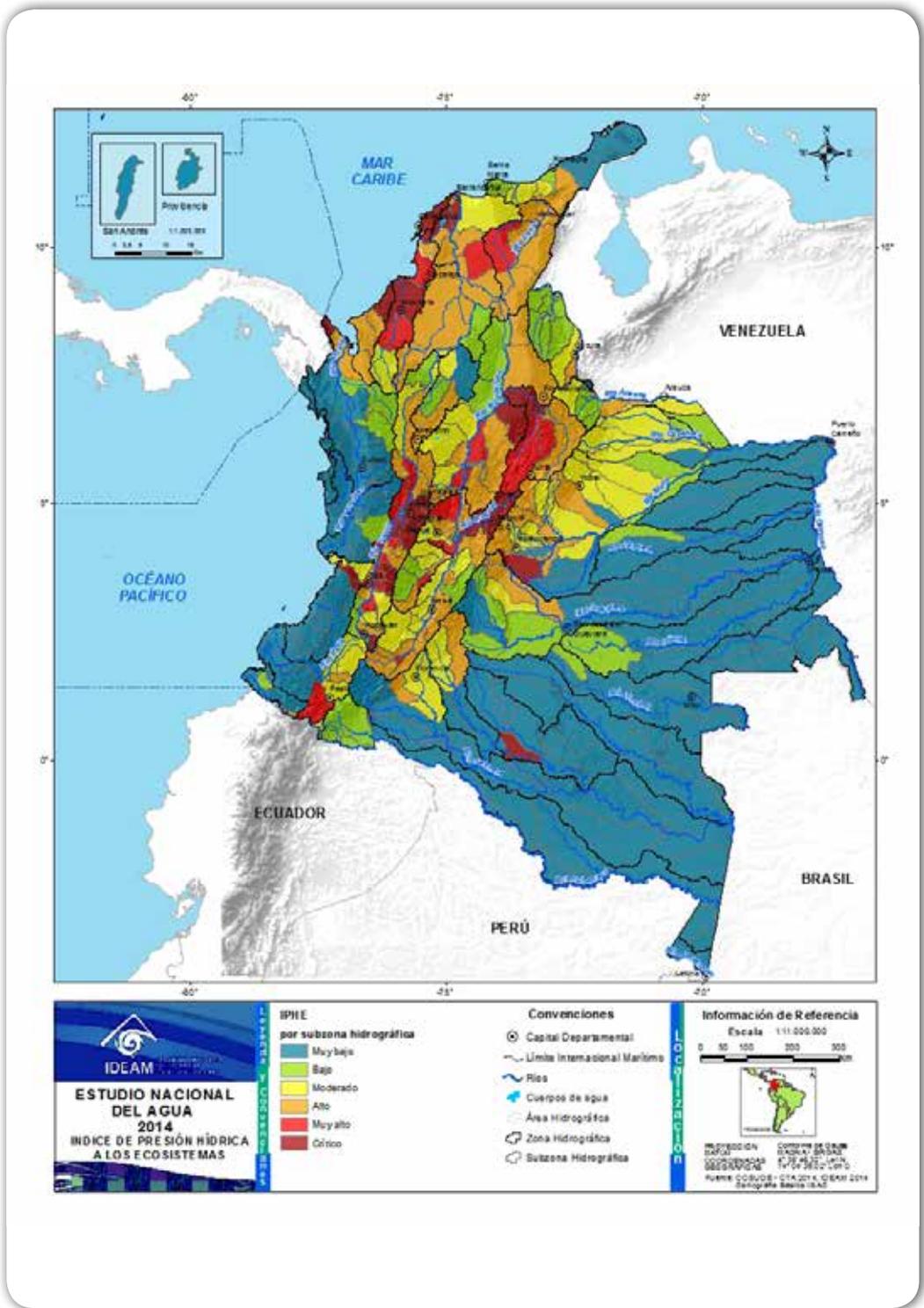


Figura 30. Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas (IPHE), (ENA, 2014).

Sostenibilidad de la HH gris

Existen diversos indicadores que permiten evaluar la sostenibilidad de HH gris, basados en el nivel de contaminación o carga contaminante recibida por las cuencas receptoras. Así, el índice de nivel de contaminación del agua (*WPL*) desarrollado por Liu *et al.* (2012), relaciona la HH gris total de una cuenca con la esorrentía de la misma. Este índice proporciona una idea de la capacidad de asimilación de contaminantes por parte de la cuenca a nivel anual, pero no hace referencia a potenciales eventos de contaminación puntual.

En Colombia y para el sector cafetero se propone el uso del índice de alteración potencial de la calidad de aguas (*IACAL*) desarrollado por el Ideam (2015), para cada una de las subcuencas hidrográficas de Colombia, que relaciona la contaminación potencial de diversos sectores (doméstico, cafetero, industrial, sacrificio y minero, entre otros) con la oferta hídrica. Incluye como variables las cargas por vertimiento de DBO, DQO, sólidos en suspensión, nutrientes (nitrógeno total y fósforo total) y mercurio. Aunque esta última no afecta al sector cafetero, el efecto sobre el índice en cuencas cafeteras no es significativo.

El *IACAL* establece cinco categorías de impacto, que van desde alteraciones con un nivel **muy alto** hasta el nivel **bajo** (Figura 31).

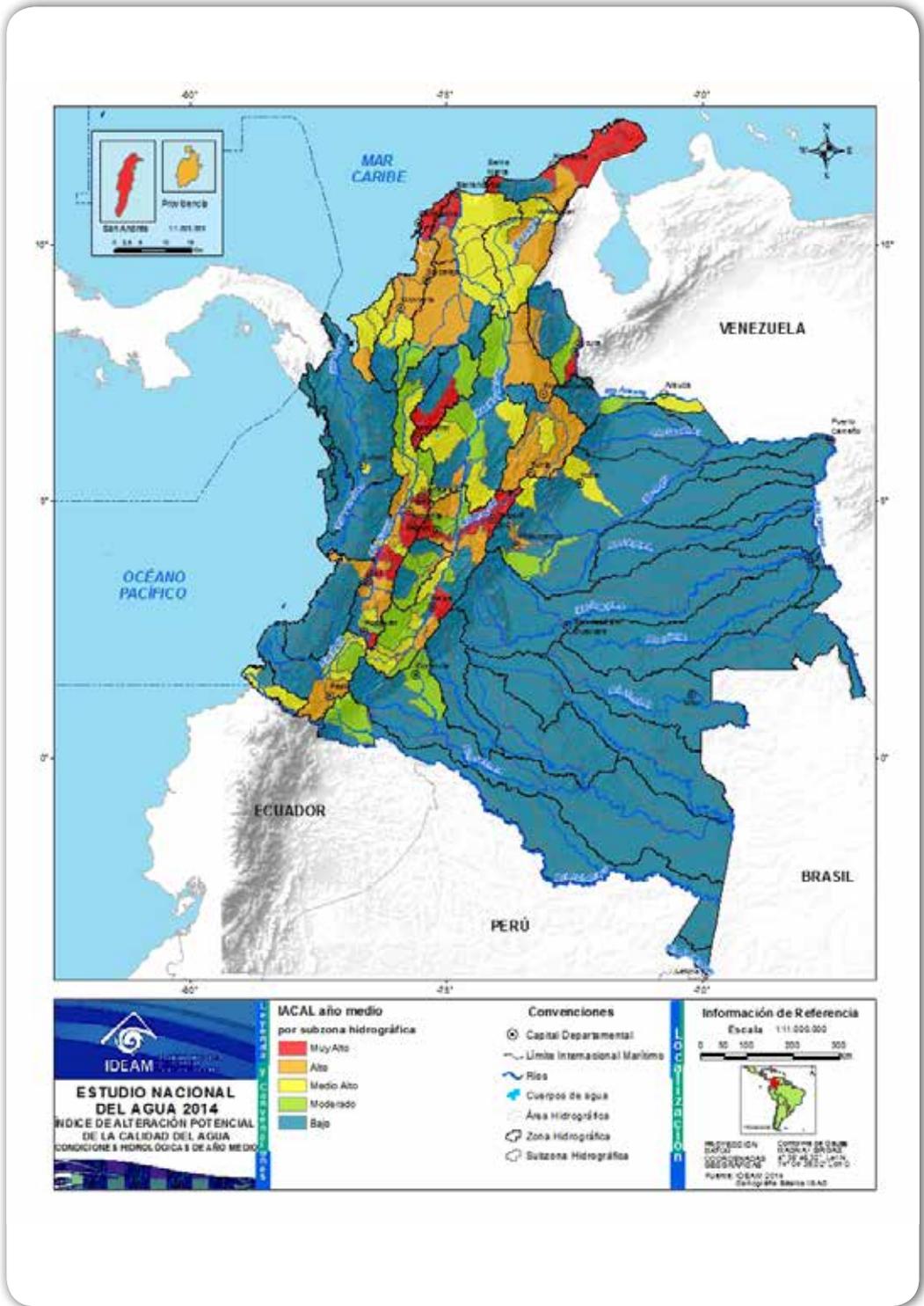


Figura 31. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) (ENA, 2014).

¿Cómo se utilizan los índices de sostenibilidad?

Como se ha mencionado anteriormente, la sostenibilidad de la HH dependerá no solo del valor volumétrico obtenido durante la fase de la contabilidad sino del volumen y la calidad de los recursos hídricos disponibles en el momento y lugar de consumo. Es por ello que si la actividad cafetera se encuentra en una microcuenca que presenta un **valor mayor al moderado** en cualquiera de los índices evaluados (por ejemplo, IPHE, IARC o IACL), la HH puede ser considerada un **punto crítico**, y por lo tanto debería ser abordada en la formulación de estrategias respuestas (Figura 32).

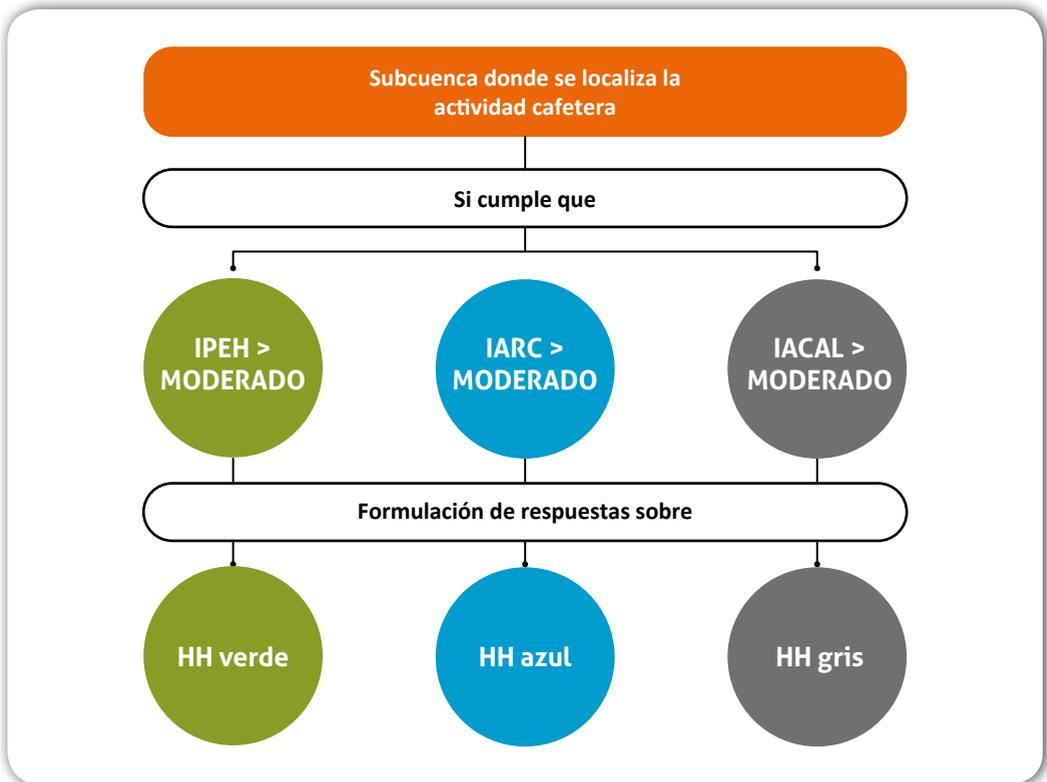


Figura 32. Indicadores para los cuales es necesario generar estrategias de respuesta.

Criterios de sostenibilidad ambiental para la identificación de puntos críticos a nivel de finca cafetera

La HH determina el volumen de agua consumido por la actividad cafetera en función de su localización y medios de producción. Comparar dicho valor con el valor potencial de HH que dicha finca podría obtener mediante un mejor desempeño ambiental, proporciona una información de gran utilidad a la hora de identificar los puntos críticos

de la actividad y diseñar una formulación de estrategias de respuestas. El objetivo de la evaluación de sostenibilidad a nivel de finca es identificar aquellas acciones o comportamientos que inciden en una mayor HH y que pueden ser corregidas para conseguir una mejora sustancial de la sostenibilidad de la actividad.

Debido a que la actividad cafetera en Colombia presenta una gran diversidad en cuanto a los medios de producción o ecosistemas donde se asienta, es difícil definir un desempeño ambiental medio con el que pueda compararse la actividad de cada caficultor. En esta guía se recomienda implementar el análisis de sostenibilidad sobre la HH azul y la HH gris del proceso de beneficio, para compararlas con la HH azul y la HH gris potencialmente obtenidas con las mejores técnicas de beneficio disponibles (Tablas 13 y 14). De esta forma, mediante la comparación del valor de la HH azul y la HH gris obtenida el caficultor, en su fase de beneficio, podrá conocer lo cerca o lejos que se encuentra del valor mínimo de HH establecido, pudiendo implementar de esta forma un programa de medidas para corregir dicha desviación.

En aquellos casos en los que el caficultor se encuentre en una escala de sostenibilidad inferior a buena, el caficultor deberá considerar ese proceso como un punto crítico en la sostenibilidad de su HH y deberá implementar las medidas necesarias para minimizar su impacto.

Evaluación de la sostenibilidad de la HH azul en el proceso de beneficio

La Mejor Técnica Disponible (MTD) que permite un menor consumo de agua en el proceso de beneficio del café se presenta cuando el recibo del fruto se realiza en tolva seca, el despulpado, el transporte de la pulpa, el transporte del café en baba y el transporte del café lavado se realiza sin agua y el lavado del grano se hace en un lavador mecánico tipo Ecomill. Este proceso permite un consumo de agua entre 0,3 y 0,5 L/kg cps.

Tabla 13. Evaluación de la sostenibilidad de la HH azul según las MTD en el proceso de beneficio del café.

Escala sostenibilidad	L agua/kg cps	Estrategia
Excelente	<0,5	Asegurar el correcto funcionamiento de los equipos
Buena	<10 y >0,5	Disminuir el volumen de agua en las etapas donde se consume agua
Media	<20 y >10	Adoptar el beneficio ecológico
Mala	<40 y >20	Adoptar el beneficio ecológico
Muy mala	>40	Adoptar el beneficio ecológico

Evaluación de la sostenibilidad de la HH gris en el proceso de beneficio

Las mejores técnicas disponibles que permiten la menor contaminación de agua en el proceso de beneficio del café se presenta cuando el recibo del fruto se realiza en tolva seca, el despulpado, el transporte de la pulpa, el transporte del café en baba y del café lavado se realiza sin agua y las aguas del lavado del grano se tratan y reúsan completamente, lo cual arroja un valor de contaminación nulo, medida como 0 g DQO por kilogramos de cps.

Tabla 14. Valoración de la Sostenibilidad de la HH gris en el beneficio del café.

Escala sostenibilidad	g DQO/kg cps	HH gris L H ₂ O/kg cps	Estrategia
Excelente	<5	< 200	Realizar el reúso de las aguas residuales generadas
Muy buena	<25 y >5	<1.000 y > 200	Realizar tratamiento a las aguas residuales generadas
Buena	<125 y >25	<5.000 y > 1.000	Adoptar el beneficio ecológico
Media	<250 y >125	<10.000 y > 5000	Adoptar el beneficio ecológico
Mala	<450 y >250	<18.000 y > 10.000	Adoptar el beneficio ecológico
Muy mala	>450	> 18.000	Adoptar el beneficio ecológico

Evaluación de la sostenibilidad en la fase de cultivo

Es difícil evaluar la sostenibilidad de la HH en la fase de cultivo, especialmente para el caso de la HH verde, cuyo valor muchas veces es intrínseco a las condiciones ambientales de la zona de producción. Es por ello que al comparar los valores de una finca con valores promedio puede incurrirse en grandes errores; sin embargo, en el Capítulo 6 de la presente guía, el lector puede encontrar un listado de buenas prácticas para una gestión de las distintas componentes de la HH, tanto en la fase de cultivo como del proceso.

Por lo tanto, aquellos caficultores que ya cumplan o en su defecto decidan poner en marcha algunas de las estrategias propuestas estarán trabajando por una minimización de la HH, para conseguir una producción de café mucho más sostenible desde el punto de vista de los recursos hídricos.







Guía para la evaluación de la huella hídrica de café en Colombia

**Aplicación de la metodología
para el cálculo de las HH
azul y gris en la etapa
de beneficio de café y el
análisis de sostenibilidad**

5

Este capítulo permite comprender y aplicar la metodología descrita en el Capítulo 3 para la cuantificación de la HH del café en Colombia en la etapa de beneficio, mediante la determinación de la HH azul y la HH gris en la etapa del lavado del café. Este ejercicio se realizó en fincas del departamento de Caldas, donde se caracterizaron los beneficiaderos existentes, mediante la medición y determinación de parámetros fisicoquímicos. A su vez, se presenta un ejemplo práctico del Capítulo 4, correspondiente a la evaluación de la sostenibilidad de la HH en el sistema de producción de café.

De la misma manera, se presenta un ejemplo práctico del capítulo 4 correspondiente a la evaluación de la sostenibilidad a nivel de cuenca hidrográfica, teniendo en cuenta la ubicación de las fincas evaluadas a nivel de subcuenca. De acuerdo con los valores de los índices de sostenibilidad reportados para dicha subcuenca se podrá observar que tanto el *IPHE* como el *IACAL* se encuentra en un rango superior al moderado, por lo que la HH verde y la HH gris de dichas fincas se deberían considerar como un punto crítico y por lo tanto ser tenidas en cuenta en la formulación de respuestas.

Reseña microcuenca quebrada La Frisolera

La microcuenca quebrada La Frisolera está ubicada en el municipio de Salamina, en la zona Norte-Centro del departamento de Caldas. Salamina limita al Norte con los municipios de Pácora y Aguadas, al Sur con Aranzazu, Neira y Marulanda; al Oriente con Pensilvania y al Occidente con La Merced. Su área total es de 401 kilómetros cuadrados, con una altitud media de 1.825 m.s.n.m. Registra una temperatura media de 18 a 20°C. Tiene 16.968 habitantes, de los cuales 6.828 son rurales, dista de la ciudad de Manizales 80 kilómetros (Alcaldía de Salamina, 2018).

COD AH	COD ZH	COD SZH	NOM AH	NOM ZH	NOM SZH
2	26	2616	Magdalena Cauca	Cauca	Río Tapias y otros directos al Cauca

COD AH: Código Área Hidrográfica Hidrográfica **COD ZH:** Código Zona Hidrográfica
COD SZH: Código Subzona **NOM AH:** Nombre Área Hidrográfica Hidrográfica
NOM ZH: Nombre Zona Hidrográfica **NOM SZH:** Nombre Subzona

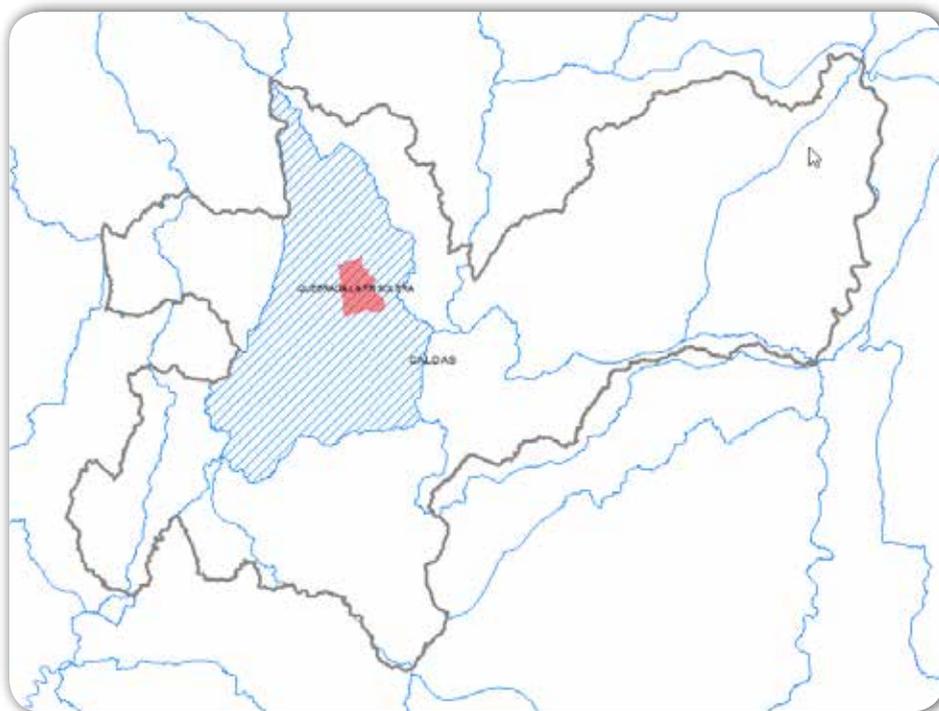


Figura 33. Panorámica Microcuenca La Frisolera, Salamina, Caldas.

Sistemas productivos

Se caracteriza por la presencia de cultivos de café, plátano asociado a este cultivo, caña para la producción de panela, y tomate. Otro de los grandes renglones económicos es el de la ganadería, de tipo extensivo y doble propósito, la porcicultura se encuentra poco desarrollada y la avicultura tiene presencia a nivel familiar para autoconsumo.

Caficultura en la microcuenca

La zona cafetera está enmarcada en un paisaje de montaña, típico de los Andes centrales, con una topografía accidentada de pendientes abruptas y con inclinaciones mayores a 50%. Régimen de lluvia bimodal con períodos de precipitaciones en los meses de marzo y mayo, y octubre – noviembre, y períodos secos enero – febrero y julio – agosto, sin déficit hídrico. En un año promedio pueden llegar a caer entre 2.000 y 4.000 mm de lluvia.

El área de intervención está caracterizada dentro del Ecotopo Cafetero 204 A, en el cual se distinguen dos unidades de suelo, aportando características particulares a

los sistemas productivos. La unidad Tablazo, presenta suelos con poco desarrollados, presencia de suelos pedregosos y cascajos, siendo muy susceptibles a problemas erosivos. La unidad Chinchiná, con suelos profundos y fértiles.

La región presenta una caficultura tecnificada, con plantaciones de café al sol y en semisombrío, el parque cafetero está constituido en su mayoría por plantaciones resistentes a la roya del cafeto como Variedad Castillo® El Rosario, sembrado en densidades de 5.133 plantas/ha (Figura 34).



Figura 34. Cafeto en producción en el municipio de Salamina.

Se distinguen dos épocas principales de concentración de la cosecha en los meses de marzo y octubre. La tecnología para el beneficio del café que más predomina es el beneficio convencional, con secado al sol; programas como Nespresso AAA y Manos al Agua-GIA han impulsado la reconversión tecnológica del proceso de beneficio mediante la implementación de infraestructuras ecológicas y prácticas para reducir la contaminación hídrica.

Variables cafeteras:

En la Tabla 15 se presentan las características del sector cafetero de la zona de estudio.

Tabla 15. Caracterización del sector cafetero en la microcuenca La Frisolera.

Variable	Und.	2017
Cafeteros (as)	No.	1.319
Predios	No.	1.616
Área en café (municipio)	ha	2.399
Áreas en café tradicional	%	0,2
Áreas en café tecnificado	%	99,8
Porcentaje en var. Resistentes	%	78,3
Edad promedio de los cafetales	Años	5,9
Densidad promedio de los cafetales	Árboles / ha.	5.133
Área promedio café de las fincas	ha	1,50

Fuente: Sistema de Información Cafetera - SICA (2017).

Descripción de las fincas seleccionadas

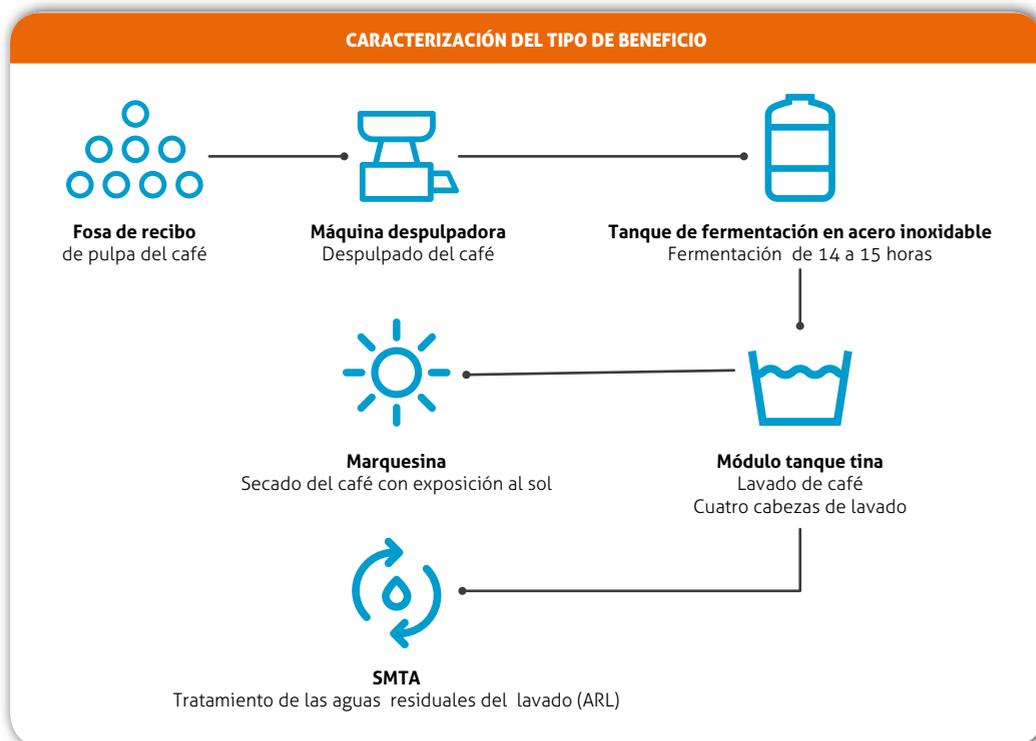
Para el presente estudio y a modo de ejemplo, se evaluó la HH azul y gris de tres fincas cafeteras correspondiente a la fase de beneficio. Fueron caracterizadas fuera del pico de cosecha, por lo tanto, los valores obtenidos no son completamente representativos debido a que una vez realizado el beneficio del café, se obtuvieron del proceso bajas cargas de contaminación. El análisis realizado se ha basado en la toma de datos reales, tanto de consumo de agua para el caso de la HH azul como de muestras de calidad para el caso de la HH gris.

Las fincas dentro de la estructura del beneficiadero cuentan con sistemas de tratamiento de los efluentes generados en el procesamiento del café. Para obtener una información más completa de la HH gris, las fincas fueron muestreadas antes y después del sistema de tratamiento, para cuantificar la HH gris para la finca con o sin tratamiento.

En la Figura 35, se muestra la caracterización de los beneficiaderos de las fincas cafeteras evaluadas.

Figura 35. Caracterización de las fincas cafeteras en la microcuenca La Frisolera, Salamina (Caldas).

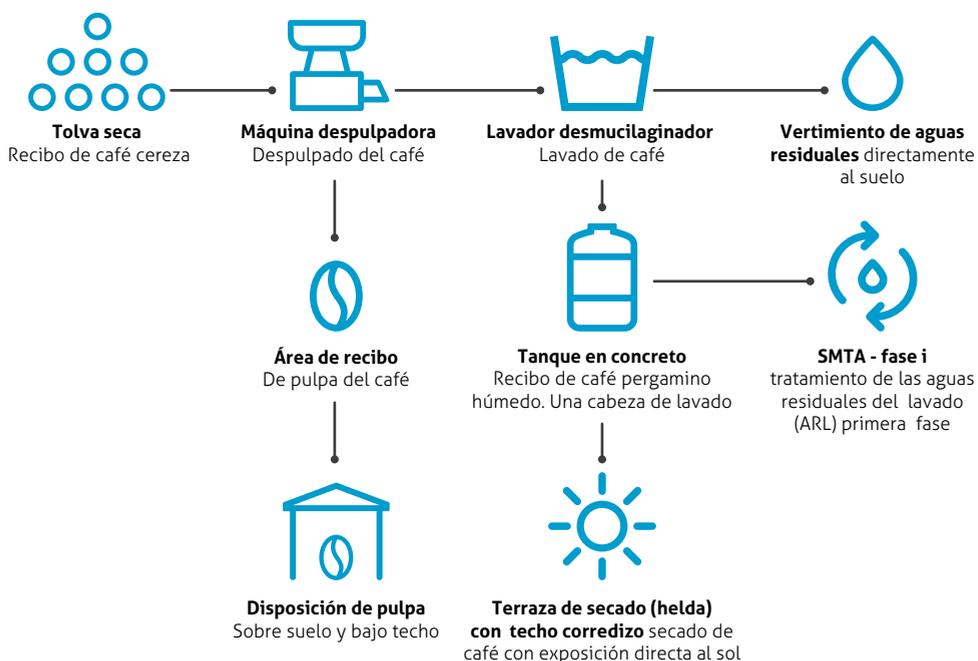
MEDICIÓN HH FASE DE BENEFICIO	
Finca:	El Mango
Código SICA	1765301657
Fecha:	16/11/2017
Localización: (Coordenadas)	X= 847318,81; Y= 1090167,18
Orientación: (N, S, E, W)	5°24'37,9"N 75°27'16,2"W
Nombre caficultor:	Humberto
Superficie total: (ha)	1,8
Densidad de plantación: (ejemplares/ha)	5.974
Variiedad:	Castillo
Exposición: (plena, sombrío, agroforestal)	Sol
Producción media anual: (t)	
Producción día pico: (kg)	203
Producción semana pico: (kg)	583
Beneficiario de gia o aaa	GIA
Tipo de beneficio	Módulo Tanques Tina
Café Cereza a Despulpar:	
(Monitoreo 1)	81 kg
(Monitoreo 2)	104 kg



MEDICIÓN HH FASE DE BENEFICIO

Finca:	La Plata
Código SICA	1765301715
Fecha:	16/11/2017
Localización: (Coordenadas)	X= 846649,96; Y= 1088973,09
Orientación: (N, S, E, W)	5°24'01,9"N 75°27'39,9"W
Nombre caficultor:	Eduard Aníbal
Superficie total: (ha)	10,68
Densidad de plantación: (ejemplares/ha)	5.873
Variedad:	Castillo
Exposición: (plena, sombrío, agroforestal)	Sol
Producción media anual: (t)	6.200
Producción día pico: (kg)	25.000
Producción semana pico: (kg)	G1A y AAA RF
Beneficiario de gia o aaa	571 kg
Tipo de beneficio	Desmucilagador mecánico
Café cereza a despulpar	571 kg

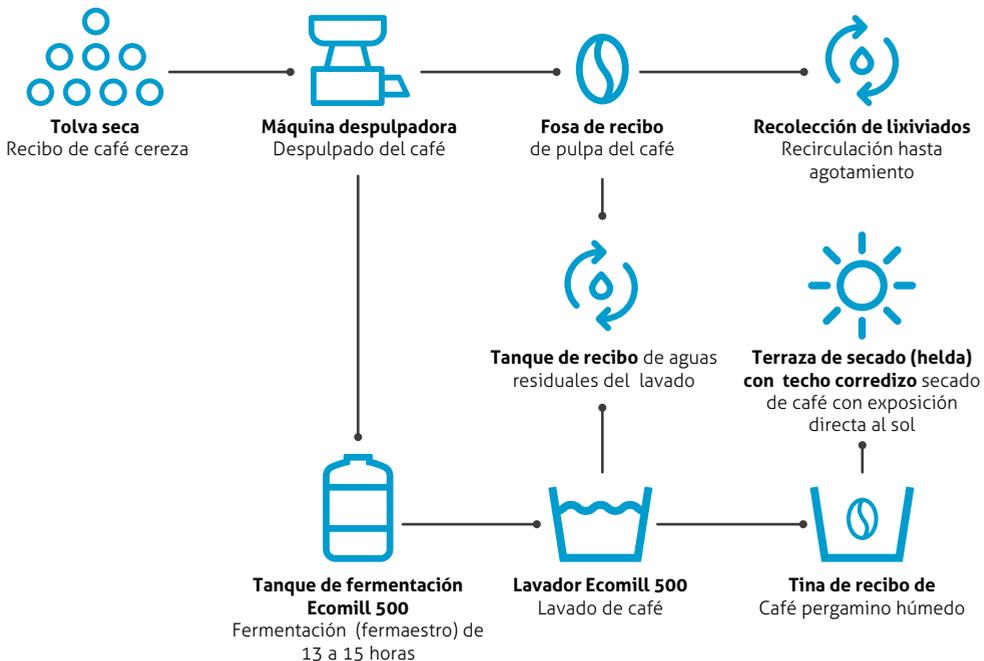
Caracterización del tipo de beneficio



MEDICIÓN HH FASE DE BENEFICIO

Finca:	El Encanto
Código SICA	1765301074
Fecha:	11/10/2017
Localización: (Coordenadas)	X = 845180,66; Y= 1092527,26
Orientación: (N, S, E, W)	5°25'50,6"N 75°28'21,6"W
Nombre caficultor:	Jhon Jairo
Superficie total: (ha)	3
Densidad de plantación: (ejemplares/ha)	6.142
Variedad:	Castillo
Exposición: (plena, sombrio, agroforestal)	Sol
Producción media anual: (t)	800 - 1.000
Producción día pico: (kg)	4.500
Producción semana pico: (kg)	AAA
Beneficiario de gia o aaa	300 kg
Tipo de beneficio	Ecomil 500
Café cereza a despulpar	300 kg

Caracterización del tipo de beneficio



Cálculo práctico de la HH azul

Para determinar la HH azul en la etapa de beneficio de café se deben tener en cuenta los volúmenes de agua consumidos durante las diferentes etapas del proceso de beneficio: recibo, clasificación hidráulica, despulpado, transporte del café despulpado y de la pulpa, lavado del grano, transporte del café lavado y lavado de equipos e infraestructura.

Una guía que se puede utilizar como referencia para realizar esta determinación respecto al tipo de beneficiadero instalado en la finca, es la publicada por Cenicafé (Rodríguez *et al.* 2015).

A manera de caso aplicado, a continuación se ilustra cómo se realiza la determinación de los volúmenes de agua gastados en la etapa de lavado del grano de café, actividad que se llevó a cabo en tres fincas del departamento de Caldas.

En la Figura 36, se ilustra el procedimiento de medición de caudal en los sistemas Ecomill 500, tanque tina y módulo Becolsub, para la determinación de la HH azul en la etapa de lavado del grano de café.



Figura 36. Procedimiento para medición de caudal.

El primer paso en la determinación de la HH azul en la etapa de lavado del grano de café es conocer la cantidad de café procesado.

La HH azul se estima utilizando la **Ecuación 21**:

$$HH_{Azul \text{ en la etapa de lavado}} (L/kg \text{ cps}) = \frac{V_{usado} (L)}{\text{Cantidad de café beneficiado (kg cps)}} \quad 21$$

$$V_{usado} (L) = \text{Caudal (L/s)} \times \text{tiempo de proceso(s)}$$

En la Tabla 16 se presentan los resultados de la HH azul para algunos beneficiaderos del departamento de Caldas. De acuerdo a los lineamientos del Ideam (2015), en Colombia, cuando se utiliza agua y se cambian sus características de calidad se considera que el agua ha sido consumida (así se devuelva a la misma microcuenca de la cual se captó) y por lo tanto, para el caso de esta guía se considerará su totalidad como HH azul.

Tabla 16. HH azul en la etapa de lavado del café.

Finca	Tipo de beneficiadero	Caudal (L/s)	Tiempo de proceso (s)	Volumen de agua usado (L)	Café lavado (kg cps)	HH azul (L/kg cps)
Finca El Mango	Tanque Tina_M1	0,118	543	64,1	16,2	4,0
	Tanque Tina_M2	0,273	319	87,1	20,8	4,2
Finca La Plata	Desmucilagador mecánico	0,409	301	123,1	114,2	1,1
Finca El Encanto	Lavador mecánico	0,033	850	28,1	60,0	0,5

NOTA: Este mismo procedimiento que se aplica para la etapa de lavado, se debe utilizar en las demás etapas del beneficio en donde se utilice agua.

Las etapas en las cuales se ha identificado el consumo de agua por parte de los productores de café son: recibo del fruto, clasificación hidráulica del fruto, despulpado, transporte de la pulpa y del café despulpado, lavado del grano, transporte hidráulico del café lavado y lavado de equipos e infraestructura del beneficiadero. La HH azul del beneficio de café es la sumatoria de las huellas azules de cada una de las etapas del proceso de beneficio en donde se utilice agua.

Cálculo práctico de la HH gris

Para la determinación de la HH gris es necesario conocer el volumen de agua residual (tratada o sin tratar) que es descargada al suelo o a los cuerpos de agua superficiales provenientes de las diferentes etapas del proceso de beneficio de café y adicionalmente conocer la concentración de contaminantes presentes en las mismas tanto como carga orgánica (DQO, DBO, SST), nitrógeno en sus diferentes formas (nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, nitratos) y fósforo, en sus diferentes formas (fósforo total, fosfatos).

A manera de guía, en los apartados siguientes, se ilustra cómo se realiza la determinación de los volúmenes de agua residual generados en la etapa de lavado del grano, actividad que se llevó a cabo en algunas fincas del departamento de Caldas. Al igual que para la HH azul, es necesario conocer la cantidad de café procesado.

Para las fincas que no cuentan con sistemas de tratamiento, los caudales se deben medir a la salida de la infraestructura utilizada para el lavado del grano y, para las fincas con sistemas de tratamiento los caudales se deben caracterizar a la salida de la última unidad del tratamiento, pues es el agua que será vertida al cuerpo receptor.

Deben tomarse muestras compuestas ya sea a la salida del sistema de lavado del grano o a la salida del sistema de tratamiento y deben ser llevadas a un laboratorio para realizar su caracterización en parámetros tales como, DQO, DBO, SST, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, nitratos, fósforo total, fosfatos, entre otros.

En la Figura 37 se observan las imágenes corresponden a la etapa de lavado del grano en diferentes beneficiaderos del departamento de Caldas:

- **Imagen 1.** Toma de muestra de agua residual a la salida de sistema Ecomill 500.
- **Imagen 2.** Toma de muestra de agua residual a la salida de sistema tanque tina.
- **Imagen 3.** Sistema modular de tratamiento anaerobio (SMTA).
- **Imagen 4.** Toma de muestra de agua residual a la salida del SMTA.



Figura 37. Toma de muestras para la determinación de la HH Gris.

Para la determinación de la HH gris se tiene en cuenta la siguiente información: litros de agua (tratada o sin tratar) generada por kilogramo de café pergamino seco, concentración de los diferentes parámetros evaluados y concentración límite de estos parámetros en el agua superficial.

La HH gris se estima teniendo en cuenta la concentración de cada uno de los parámetros evaluados (**Ecuación 22**):

$$HH_{\text{gris en la etapa de lavado por parámetro}} \left(\frac{L}{kg} \right) = \frac{\text{agua residual generada} \left(\frac{L}{kg\text{cps}} \right) \times C_{\text{parámetro}} (g/L)}{C_{\text{max parámetro}} (g/L)} \quad 22$$

Donde:

$C_{\text{parámetro}}$ = concentración del parámetro evaluado

$C_{\text{max parámetro}}$ = concentración máxima del parámetro evaluado

La HH gris es aquella equivalente a la del parámetro que genere el mayor valor. Este mismo procedimiento que se aplica para el agua residual de la etapa de lavado debe utilizarse en las demás etapas del beneficio en donde se genere agua residual.

Las etapas en las cuales se ha identificado generación de agua residual por parte de los productores son: recibo del fruto, clasificación hidráulica del fruto, despulpado, transporte de la pulpa y del café despulpado, lavado del grano, transporte hidráulico del café lavado y lavado de equipos e infraestructura del beneficiadero.

En Tabla 17 se presenta los valores obtenidos de las caracterizaciones realizadas a las muestras de agua residual tomadas en la etapa de lavado del grano de café, que se pueden comparar con los máximos permitidos, según la Tabla 11, presentada en el capítulo 3.

Tabla 17. Resultados de la caracterización realizada a las muestras de agua residual.

Finca	Tipo de beneficiadero	DQO (ppm)	SST (ppm)	Nitrógeno Amoniacal (ppm)	Nitratos (ppm)	Fosfatos (ppm)
El Mango	Tanque tina, agua sin tratamiento (M1)	15.332	3.731	30,0	7,0	24,0
	Tanque tina, agua con tratamiento (M1)	6.068	1.648	38,0	3,0	28,0
	Tanque tina, agua sin tratamiento (M2)	38.783	3.335	47,0	18,0	17,0
	Tanque tina, agua con tratamiento (M2)	9.957	1.913	40,0	4,0	47,0
La Plata	Desmucilagador, agua sin tratamiento	44840	5280	52,0	21,6	11,4
	Desmucilagador, agua con tratamiento	4.980	880	24,0	2,1	16,5
El Encanto	Lavador mecánico, agua sin tratamiento	150.160	22.400	64,0	16,5	19,5

En la Tabla 18 se presentan los resultados de la HH gris para cada uno de los beneficiadores caracterizados en cada uno de los parámetros evaluados, teniendo en cuenta las concentraciones máximas permisibles en aguas superficiales. La evaluación se ha realizado dos veces para cada beneficiadero, con el objetivo de caracterizar la influencia de la carga de café lavada sobre la concentración del vertido y, por lo tanto, sobre HH gris.

Tabla 18. Huella hídrica gris en la etapa de lavado, tomando como base las concentraciones máximas permisibles en aguas superficiales.

Finca	Tipo de beneficiadero	HH gris L/kg cps				
		DQO	SST	Nitrógeno amoniacal	Nitratos	Fosfatos
El Mango	Tanque tina, agua sin tratamiento	2.426	148	59,0	0,6	16,0
	Tanque tina, agua con tratamiento	960	65	75,0	0,3	18,0
	Tanque tina, agua sin tratamiento	6.495	140	98,0	1,7	12,0
	Tanque tina, agua con tratamiento	1.673	80	84,0	0,4	33,0
La Plata	Desmucilagador, agua sin tratamiento	1.934	57	28,0	0,5	2,0
	Desmucilagador, agua con tratamiento	219	10	13,0	0,1	3,0
El Encanto	Lavador mecánico, agua sin tratamiento	2.808	105	15,0	0,2	2,0

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para la HH gris en la etapa de lavado del grano, el parámetro que presenta los valores más altos de HH gris es la DQO, por lo tanto, es el valor que se toma para reportar el dato de HH gris en esta etapa.

Gracias al análisis de la HH gris de los beneficiaderos con y sin tratamiento (Tabla 19), puede observarse que la implementación de los sistemas de tratamiento de efluentes del beneficio reduce significativamente la HH gris del café, por encima del 90% en el caso del beneficiadero con desmucilagador, en la finca La Plata). Dicho beneficiadero presenta la menor HH gris con un valor de 219 L/kg cps. En la Tabla 19 se presentan los resultados de la HH gris en la etapa de lavado del grano de café.

Tabla 19. HH gris en la etapa de lavado del grano de café.

Finca	Tipo de beneficiadero	HH gris sin tratamiento L/kg cps	HH gris con tratamiento L/kg cps
El Mango	tanque tina	2.426	960
	tanque tina	6.495	1.673
La Plata	Desmucilagador	1.934	219
El Encanto	Lavador mecánico	2.808	-

Análisis de sostenibilidad

A continuación, se presenta a manera de ejemplo la aplicación de la metodología descrita en el capítulo 4 correspondiente a la sostenibilidad a nivel de cuenca y de finca según las características de los beneficiaderos anteriormente evaluados.

Sostenibilidad a nivel de cuenca hidrográfica

Las fincas seleccionadas se encuentran en la quebrada La Frislera, ubicada en el municipio de Salamina, en la zona Norte-Centro del departamento de Caldas. Desde el punto de vista hidrológico, dichas fincas se encuentran situadas en la subcuenca del río Risaralda. En la Tabla 20, se presentan los valores de los índices de sostenibilidad para la HH azul, verde y gris para la subcuenca seleccionada.

Tabla 20. Índices de sostenibilidad para la subcuenca del río Risaralda (SZH-2614).

Índice	Índice de agua no retornada a la cuenca (IARC). HH azul	Índice de presión hídrica a los ecosistemas (IPHE). HH verde	Índice de alteración potencial de la calidad de aguas (IACAL). HH gris
Rango	0,003 Muy bajo	0,86 Muy alto	4,0 Alto

Fuente: ENA (2014), Anexo 2.

En función de los valores de los índices de sostenibilidad reportados para la subcuenca del río Risaralda, se puede observar que tanto el *IPHE* como el *IACAL* se encuentra en un rango superior al moderado, por lo que la HH verde y la HH gris de dichas fincas deberían considerarse como un punto crítico y ser tenidas en cuenta en la formulación de respuestas.

Sostenibilidad a nivel de finca

Para la evaluación de la sostenibilidad a nivel de finca en la Tabla 21 se compararon los valores de la HH obtenidos para cada una de las fincas evaluadas (beneficiadero) con los valores reportados en las Tablas 13 y 14 sobre la HH obtenida en función de las mejores técnicas disponibles.

Para el caso de la HH azul, la mayor parte de los beneficiaderos se encuentran en un nivel de sostenibilidad alto y en un nivel muy alto el beneficiadero con el lavador mecánico. Esto quiere decir que la HH azul del beneficio no se considera un punto crítico en las fincas evaluadas.

Como casi todos los beneficiaderos evaluados cuentan con sistemas de tratamiento, la HH gris se encuentra en unos rangos de sostenibilidad entre alto y muy alto, por lo que no se considera como un punto crítico la HH gris del beneficio.

Para el caso del beneficiadero con tanque tina (monitoreo 2) sin tratamiento de aguas residuales, la HH gris es de 6.500 L/kg cps y se encuentra en una escala de sostenibilidad media, por lo que debería considerarse como un punto crítico en la formulación de respuestas.

Tabla 21. Caracterización de sostenibilidad según los beneficiaderos evaluados.

Finca	Tipo de beneficiadero	HH azul L/kg cps	MTD HH azul L/kg cps	HH gris con trat. L/kg cps	MTD HH gris con trat. L/kg cps	HH gris sin trat. L/kg cps	MTD HH gris sin trat. L/kg cps
El Mango	Beneficiadero 1 Tanque Tina	4,0	<10,0 y >0,5	960	<1.000	2.426	<5.000 y >1000
	Beneficiadero 2 Tanque Tina	4,2	<10,0 y >0,5	1.673	<5.000 y >1.000	6.495	<10.000 y >5.000
La Plata	Beneficiadero 3 Desmucilagador	1,1	<10,0 y >0,5	219	<1.000	1.934	<5.000 y >1.000
El Encanto	Beneficiadero 4 Lavador mecánico	0,5	<0,5	2.808	<5.000 y >1.000	2.808	<5.000 y >1.000

MTD: mejores técnicas disponibles.

Nota: Para una mejor interpretación de la Tabla 21 ver Tablas 13 y 14.

Formulación de respuestas

Según el análisis de sostenibilidad, tanto la HH verde como la HH gris pueden considerarse como puntos críticos a nivel de cuenca para las cuatro fincas evaluadas. A nivel de finca y para el caso del beneficiadero 2 sin tratamiento de aguas, la HH gris se identifica como un punto crítico.

Esto implica, que los caficultores de las fincas evaluadas deberían hacer especial énfasis en la mitigación de estas huellas en su programa de mejora continua. Dicho análisis, no implica que los caficultores no deban prestar atención a la mitigación del resto de huellas, pero deberían tomar ciertas acciones para minimizarlas.

En el capítulo 6 se ofrece una serie de buenas prácticas que los caficultores pueden implementar con el objetivo de gestionar los recursos hídricos y minimizar su HH.



6



Guía para la evaluación de la huella hídrica de café en Colombia

**Buenas prácticas en el
sistema de producción de
café en la gestión de la HH**

Las estrategias de respuesta para la gestión de la HH del café son aquellas acciones a realizar con base en los resultados de HH evaluada en los capítulos anteriores.

Tradicionalmente las estrategias están enfocadas en la reducción de la HH, pero en muchos casos no se trata de su reducción en consumo volumétrico por unidad de tiempo sino del aumento en la eficiencia en el uso del agua, el aumento en la equidad en el uso de esta y la productividad económica o protección de los ecosistemas estratégicos. La formulación de acciones de respuesta debe realizarse de manera integrada, por lo tanto, las acciones deben establecerse de manera integrada.

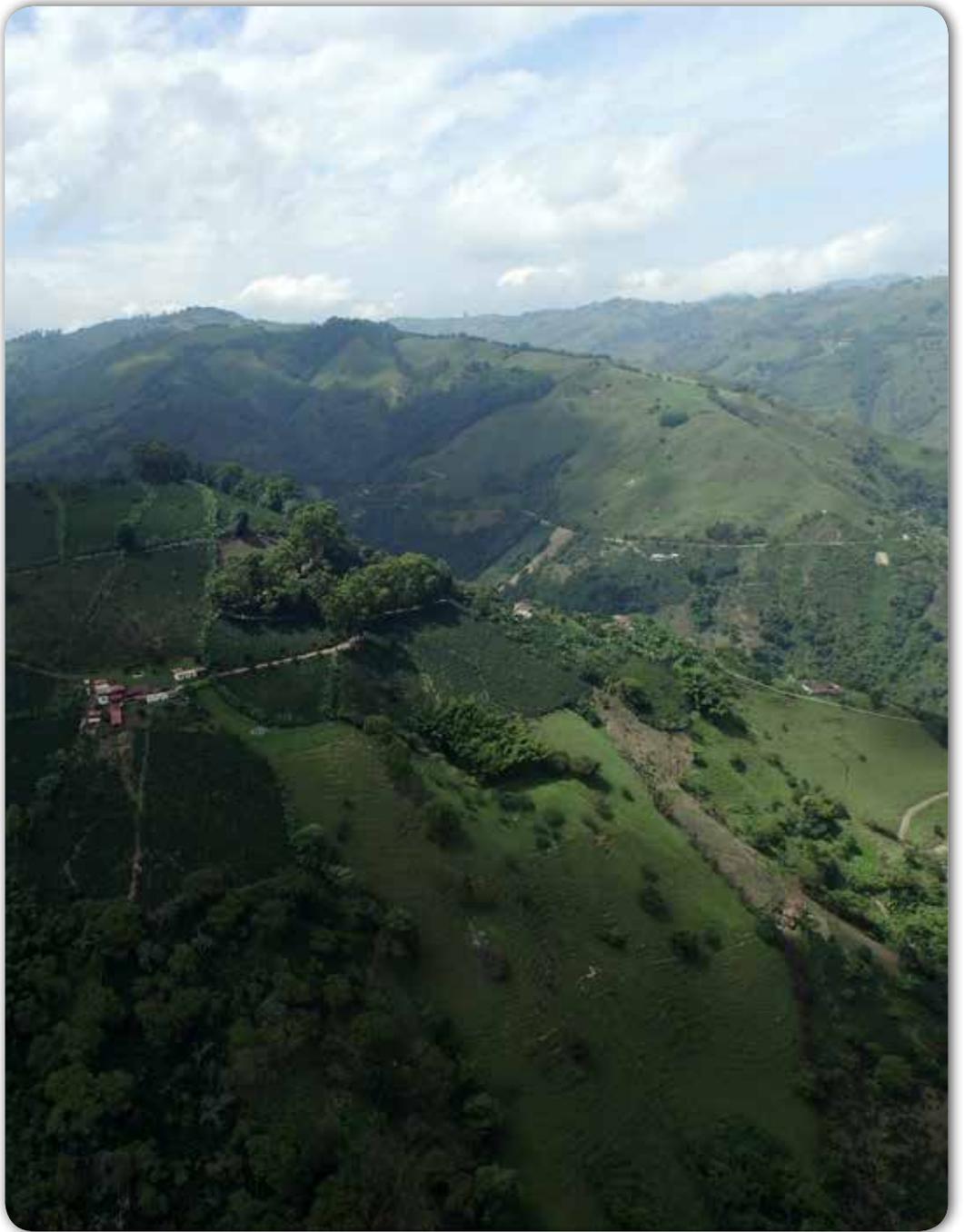
A la hora de desarrollar una estrategia de respuesta a partir del análisis de sostenibilidad, la HH aporta nueva información relacionada con la diferenciación del origen de los flujos de agua y sus impactos, para definir de formas más precisa, detallada y dirigida las estrategias de respuesta, aumentando la posibilidad de maximizar los resultados.

En general, el concepto de **Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)** en la producción de café ha evolucionado en los últimos años como resultado de los propósitos de un amplio conjunto de interesados en la producción, la seguridad, la inocuidad, la calidad del grano y la sostenibilidad ambiental. Los principales objetivos de las BPA son la calidad, la eficiencia en la producción, la calidad de vida de los caficultores, la satisfacción de los consumidores de café y los beneficios para el ambiente a mediano y largo plazo.

Con respecto a este último, las BPA promueven el desarrollo de una caficultura sostenible mediante la minimización del impacto negativo de la producción en el medio ambiente. Para tal efecto, promueven la protección de la biodiversidad y la fertilidad de los suelos, así como la reducción de la contaminación del espacio natural, racionalizando el manejo de productos químicos, fertilizantes y desechos orgánicos.

En este capítulo se encuentra una recopilación de BPA en torno al manejo del agua (Figuras 38 a 45), de tal forma que pueden observarse las fases en la que debe realizarse la práctica tanto en cultivo como en el beneficio del café, la práctica y la descripción de la misma, el impacto de dichas prácticas en la HH de la producción del café (verde, azul, gris), y las ventajas y desventajas de las mismas. Se busca dejar a partir de los desarrollos obtenidos, una serie de recomendaciones para reducir la HH de las fincas cafeteras en Colombia, con el fin de mejorar el rendimiento, apoyar la toma de decisiones y minimizar los impactos mediante BPA en torno al manejo del agua. Es necesario aclarar que las prácticas consignadas en este documento no son las únicas que existen.

Se espera que con esta contribución se generen planes integrales de acción en finca y con estrategias dirigidas más específicas, optimizando los recursos disponibles y aumentando el impacto positivo en las fincas y las microcuencas cafeteras.



Buenas prácticas

para la gestión de la Huella Hídrica en el sistema de producción de café a nivel de finca



Germinador



Señor caficultor:
Tenga en cuenta las siguientes prácticas para hacer cada vez más sostenible su cultivo de café.

PRÁCTICA

DESCRIPCIÓN

VENTAJAS

DESVENTAJAS

•••••

Utilizar semilla certificada y antes de que cumpla el tiempo de vencimiento

El material sano desde la siembra se va a reflejar en menor aplicación de plaguicidas.
La presencia de patógenos genera una mayor dependencia del uso de productos de síntesis química

Disminución en la aplicación de plaguicidas.
Disminución HH gris.

•••••

Uso racional de fungicidas

Aplicar fungicidas orgánicos y productos de síntesis química según las recomendaciones dadas para cada tipo de manejo y zona. La aplicación de cantidades excesivas genera impactos negativos en el crecimiento de las plantas como generar contaminación en el sustrato y en el agua residual.

Menor aplicación de productos de síntesis química que pueden contaminar fuentes de agua.
Reducción de costos de aplicación.
Disminución HH gris.

•••••

Uso racional de fungicidas

Consiste en verificar la humedad del sustrato en bolsa y hacer aplicaciones de riego cuando se observe que el primer centímetro del sustrato se encuentre seco. Regar únicamente hasta que el suelo tenga una apariencia húmeda, sin llegar a generar encharcamientos.
Revisar periódicamente (al menos una vez al día, pero en épocas de verano fuerte, revisar al menos dos veces al día). Hacer los riegos de manera uniforme.

Evita eventos de estrés o exceso de humedad que puedan afectar el desarrollo de la plántula.
Menor requerimiento de agua para riego.
Uso racional de fertilizantes, menor contaminación de suelos, fuentes de agua superficial y profunda.
Disminución HH gris
Disminución HH azul

•••••

Uso racional de fungicidas

El sombrío regula en mejor medida el balance de humedad, disminuye la evapotranspiración y por ende, la necesidad de agua de riego.

Reducción del consumo de agua
Disminución HH azul
Disminución HH verde

Para garantizar condiciones de humedad continuas se requiere una mayor mano de obra.

Figura 38. Buenas prácticas para la gestión de la HH en la etapa de germinador (Cenicafé, 2013; Farfán, 2016).

Buenas prácticas

para la gestión de la huella hídrica en el sistema de producción de café a nivel de finca



Almacigo



Señor caficultor:

Colinos trasplantados a tiempo y bien cuidados, tendrán raíces abundantes y bien formadas que permitirán establecer un cafetal productivo y amigable con el ambiente.

PRÁCTICA

DESCRIPCIÓN

VENTAJAS

DESVENTAJAS

Riego controlado en almacigo

- Consiste en verificar la humedad del sustrato en bolsa y hacer aplicaciones de riego cuando se observe que el primer centímetro del sustrato se encuentre seco.
- Regar únicamente hasta que el suelo tenga una apariencia húmeda, sin llegar a generar encharcamientos.
- Revisar periódicamente (al menos una vez al día, pero en épocas de verano fuerte, revisar al menos dos veces).
- Hacer los riegos de manera uniforme.

- Evita eventos de estrés o exceso de humedad que puedan afectar el desarrollo de la plántula.
- Menor requerimiento de agua para riego.
- **Disminución de HH azul**

- Para garantizar condiciones de humedad continuas se requiere una mayor mano de obra

Obtención de material sano desde germinador

- Las chapolas que salen desde el germinador no deben tener síntomas de volcamiento o cualquier tipo de pudrición.
- El material sano, desde la siembra, se verá reflejado en una menor aplicación de plaguicidas.
- La presencia de nematodos, mancha de hierro, roya, muerte descendente y cochinillas genera una mayor dependencia del uso de productos de síntesis química.

- Disminución en la aplicación de plaguicidas.
- Reducción de costos de aplicación.
- **Disminución de HH gris**

- Para garantizar condiciones de humedad continuas se requiere una mayor mano de obra.

Uso racional de fertilizantes

- Aplicar abonos orgánicos y productos de síntesis química según las recomendaciones dadas para cada tipo de manejo y zona. La aplicación de cantidades excesivas genera impactos negativos en el crecimiento de las plantas como generar contaminación en el sustrato y en el agua residual.

- Uso racional de fertilizantes, menor contaminación de suelos y fuentes de aguas.
- Reducción de costos de aplicación.
- **Disminución de HH gris**

- Para garantizar condiciones de humedad continuas se requiere una mayor mano de obra.

Manejo de plagas y enfermedades según evaluación de incidencia y severidad.

- Aplicar plaguicidas solo cuando se superen los umbrales de control recomendados para cada enfermedad y así evitar su aplicación innecesaria.

- Uso racional de fertilizantes, menor contaminación de suelos y fuentes de aguas.
- Reducción de costos de aplicación.
- **Disminución de HH gris**

- Para garantizar condiciones de humedad continuas se requiere una mayor mano de obra.

Regulación de sombrío

- El sombrío regula en mejor medida el balance de humedad, disminuye la evapotranspiración y por ende, la necesidad de agua de riego.

- Reducción del consumo de agua
- **Disminución de HH azul**
- **Disminución de HH gris**

- Para garantizar condiciones de humedad continuas se requiere una mayor mano de obra.

Figura 39. Buenas prácticas para la gestión de la HH en la etapa de Almacigo (Cenicafé, 2013; Farfán, 2016).

Buenas prácticas

para la gestión de la huella hídrica en el sistema de producción de café a nivel de finca



Señor caficultor:

Es necesario tener en cuenta el tamaño del hoyo en el que se siembra el colino con el fin de ajustar la dosis de la cal.



PRÁCTICA	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
----------	-------------	----------	-------------

<ul style="list-style-type: none"> Mejorar las características del suelo al momento de la siembra. 	<ul style="list-style-type: none"> Incorporar abono orgánico en el hoyo al momento de la siembra con el fin de generar un ambiente más propicio para el crecimiento de las raíces y aumentar la retención de humedad y de nutrientes en el suelo. Establecer cultivos intercalados para evitar que el terreno permanezca desnudo y a su vez, favorecer el aporte de residuos orgánicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Disminuye la lixiviación de los nutrientes en el suelo, la contaminación de fuentes de agua. Favorece a futuro, los costos de producción por aplicación eficiente de fertilizantes. Disminuye la HH gris y HH verde 	
<ul style="list-style-type: none"> Obtención de material sano desde almacigo. 	<ul style="list-style-type: none"> Los colinos que salen del almacigo no deben tener síntomas de ataques de plagas o enfermedades. El material sano desde la siembra se va a reflejar en menor aplicación de plaguicidas en la fase de establecimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Disminución en la aplicación de plaguicidas. Reducción de costos de aplicación. Disminución de HH gris 	
<ul style="list-style-type: none"> Establecimiento de sistemas agroforestales con café. 	<ul style="list-style-type: none"> Bajo este sistema se combinan especies arbóreas en asocio con el café, con el objeto de, mejorar el manejo y la conservación del suelo y el agua, así como, el aumento y mantenimiento de la producción. 	<ul style="list-style-type: none"> Reciclaje de nutrientes, producción de residuos vegetales, fijación de nitrógeno, control de arvenses, reducción de plagas y enfermedades, regulación micro climática, diversificación de la producción, conservación de humedad del suelo, mejor utilización del espacio vertical, mayor protección contra la erosión por viento y agua, recuperación de suelos degradados. Disminución de la HH verde azul y gris. Disminución de la evapotranspiración Menor escorrentía Menor aplicación de productos de síntesis química que puedan contaminar acuíferos. 	<ul style="list-style-type: none"> Incremento de costos por mano de obra para establecimiento.
<ul style="list-style-type: none"> Corregir la acidez del suelo mediante el encalamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Consiste en la incorporación de calces, principalmente carbonatos de calcio (CaCO₃) y/o magnesio (MgCO₃); esto sin descartar otros materiales encalantes como óxidos, hidróxidos y silicatos. Esta práctica mejora las condiciones del suelo, acondicionando el suelo para una buena productividad. 	<ul style="list-style-type: none"> Esta práctica aumenta el pH, reduce la toxicidad de aluminio, proporciona calcio y magnesio, favorece la disponibilidad de fósforo y algunos elementos menores, estimula la actividad de los microorganismos, contribuye al crecimiento de las raíces y aumenta la capacidad del suelo para retener elementos como nitrógeno (en forma de amonio, Ca²⁺, Mg²⁺, y K⁺). Disminución de HH gris. 	

Figura 40. Buenas prácticas para la gestión de la HH en el establecimiento del cultivo (Cenicafé, 2013; Farfán, 2016; Sadeghian, 2016).

Buenas prácticas

para la gestión de la huella hídrica en el sistema de producción de café a nivel de finca



Crecimiento vegetativo
Crecimiento de los diferentes órganos de la planta, acorde a la oferta ambiental y la variedad cultivada.

Señor caficultor:
Recuerde que el análisis de suelo ayuda a definir planes adecuados de nutrición para su cultivo, minimizando los riesgos económicos y ambientales.

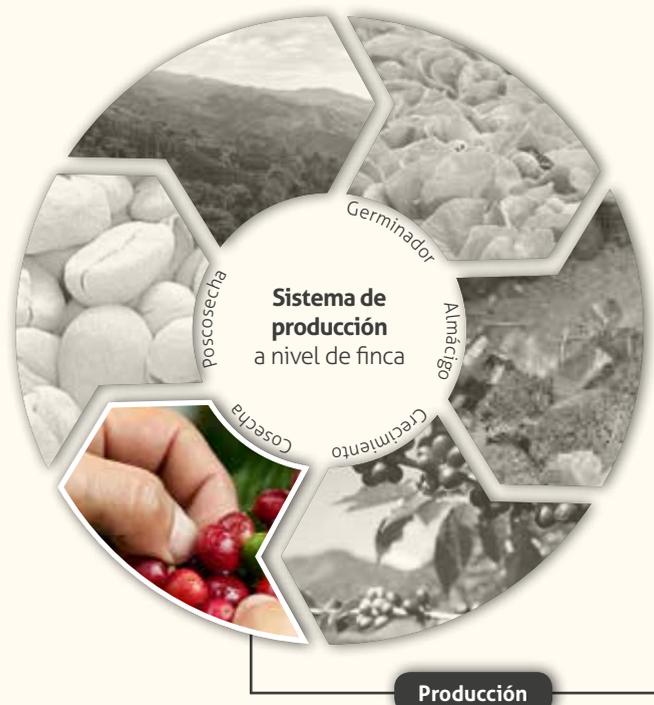


PRÁCTICA	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> Plan de fertilización con base al análisis de suelo 	<ul style="list-style-type: none"> Fertilizar en las cantidades óptimas y necesarias para el cultivo en cada fase para evitar aplicaciones excesivas de fertilizantes que generen la lixiviación de nutrientes en los suelos y por ende, un impacto en las fuentes de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> Menos contaminación de suelos y aguas. Se minimizan los riesgos económicos y ambientales. Diminución HH gris. 	<ul style="list-style-type: none"> Costo del análisis de suelo y mano de obra
<ul style="list-style-type: none"> Aplicación fraccionada de fertilizantes 	<ul style="list-style-type: none"> Aplicación de fertilizantes en dosis más bajas y con una mayor frecuencia. 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor aprovechamiento por parte de la planta y menor contaminación de fuentes hídricas por lixiviación. Disminución HH gris 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor mano de obra
<ul style="list-style-type: none"> Manejo manual y oportuno de arvenses 	<ul style="list-style-type: none"> Consiste en el arranque manual de las arvenses cuando estas estén en estado vegetativo (antes de floración). 	<ul style="list-style-type: none"> Menor dependencia de insumos químicos. Disminución HH gris. 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor mano de obra
<ul style="list-style-type: none"> Aplicación de herbicidas con selector. 	<ul style="list-style-type: none"> Es un equipo sencillo y liviano para la aplicación de herbicidas de forma localizada sobre arvenses de alta interferencia o muy agresivas 	<ul style="list-style-type: none"> Permite un uso racional de herbicidas y el establecimiento de arvenses de baja interferencia (coberturas nobles) que evita la erosión y degradación del suelo. Permite reducir los costos de los deshierbes entre un 20% y 50%. Disminuye la HH gris y azul. 	<ul style="list-style-type: none"> Mal manejo del equipo puede generar pérdida de plaguicida y emplear mayor mano de obra. Hacer un control inadecuado de arvenses puede generar toxicidad al café.

Figura 41. Buenas prácticas para la gestión de la HH en la etapa de germinador (Cenicafé, 2013; Sadeghian et al., 2015; Sadeghian, 2017).

Buenas prácticas

para la gestión de la huella hídrica en el sistema de producción de café a nivel de finca



Señor caficultor:
Si los suelos son susceptibles a la erosión, el establecimiento a libre exposición solar debe de ir acompañado de buenas prácticas de conservación de suelos, como siembras en sentido contrario a la pendiente, barreras vivas y manejo de coberturas nobles, entre otras.

PRÁCTICA	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
----------	-------------	----------	-------------

<ul style="list-style-type: none"> • • • • • 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de fertilizantes de lenta liberación 	<ul style="list-style-type: none"> • La liberación lenta de nutrientes al suelo permite una mejor absorción por las plantas y disminuye las pérdidas de nutrientes por lixiviación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuye el consumo y acarreo de agua hasta en un 95%. Disminuye el empleo de herbicida hasta en un 29% durante el primer año y el segundo año un 63%. • Reducción de mano de obra del 24% primer año y 42% en el segundo año. Menor riesgo de degradación de calidad de agua superficial y subsuperficial. • Disminución HH gris.
---	--	--	--

<ul style="list-style-type: none"> • • • • • 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservación del suelo y nutrientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consiste en sembrar en contorno, plantar árboles de conservación, establecer barreras vivas y construir acequias, uso del mulch, coberturas vivas y cultivos intercalados, como barreras físicas que reduzcan la erosión, empleo de abonos orgánicos de origen vegetal o animal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso eficiente de los recursos, un ambiente sano y protección de los recursos naturales, agua y suelo. • Evita pérdida de los nutrientes por lixiviación. • Disminución HH gris.
---	--	--	--

<ul style="list-style-type: none"> • • • • • 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de coberturas vegetales 	<ul style="list-style-type: none"> • Las coberturas vegetales generan una mayor retención de humedad del suelo y permiten una mayor recirculación de nutrientes. Restringen el establecimiento de arvenses. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor aprovechamiento por parte de la planta y menor contaminación de fuentes de agua por lixiviación. • Disminución HH Verde y gris. • Menor evapotranspiración. • Mayor disponibilidad de nutrientes y menor dependencia de productos de síntesis química.
---	---	--	--

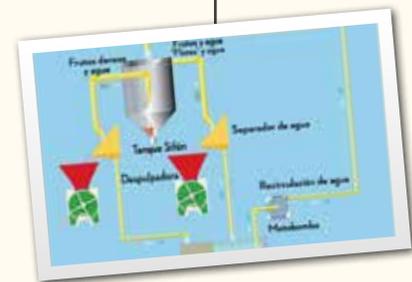
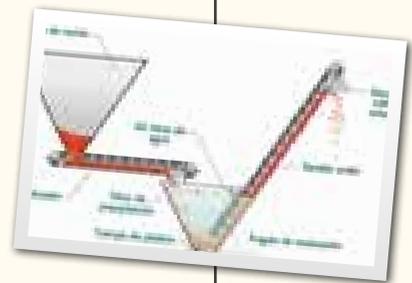
Figura 42. Buenas prácticas para la gestión de la HH en la etapa de Producción (Sadeghian y González, 2012; Cenicafé, 2013; Sadeghian, 2017).

Buenas prácticas

para la gestión de la Huella Hídrica en el proceso de beneficio del café



Señor caficultor:
Para evitar la contaminación, deben llevarse las aguas residuales de la clasificación hidráulica a un sistema de tratamiento para su uso de nuevo en el cultivo.



PRÁCTICA

DESCRIPCIÓN

VENTAJAS

DESVENTAJAS

<ul style="list-style-type: none"> • • • • • 	<ul style="list-style-type: none"> • Solamente utiliza la gravedad para hacer llegar los frutos hasta las máquinas dentro del beneficiadero. • Para lograr este objetivo se requieren ángulos de 45° que obligan a tener grandes alturas si se quiere almacenar grandes cantidades de café en cereza, y la necesidad, en la mayoría de los casos, de un desnivel importante entre esta y la máquina. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el consumo de agua. • Disminuye la HH gris y azul 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de implementación y mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • • • • • 	<ul style="list-style-type: none"> • Este dispositivo hidromecánico remueve por flotación material liviano que está conformado por frutos de café defectuosos, como frutos vanos, muy brocados, secos o provenientes de plantas enfermas, entre otros, lo mismo que impurezas livianas como hojas y trozos de ramas. • El dispositivo tiene también una trampa en la que se retienen las impurezas densas y duras como piedras, puntillas, vidrios, entre otros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el consumo de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de implementación y mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • • • • • 	<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza para retirar la masa de café que llega al beneficiadero (los frutos de inferior calidad, denominados flotes así como otros elementos como objetos duros que pueden causar daño a la despulpadora). El uso de esta tecnología se recomienda con un sistema de recirculación, que permita re utilizar el agua y reducir el consumo de la misma. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el consumo de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de implementación y mantenimiento

Figura 43. Buenas prácticas para la gestión de la HH en la etapa de Poscosecha (Cenicafé, 2013; Sanz et al., 2014).

Buenas prácticas

para la gestión de la Huella Hídrica en el proceso de beneficio del café

2



Pulpa sin agua



cps sin agua

3



Deslim



ECOMILL

4



Tanque tina



Bomba sumergible

Señor caficultor:

Adopte tecnologías limpias para beneficiar su café, no olvide que los grandes consumos de agua generan grandes contaminaciones a los cuerpos de agua y mayor costo para su tratamiento.

PRÁCTICA

DESCRIPCIÓN

VENTAJAS

DESVENTAJAS

Despulpado

<ul style="list-style-type: none"> Adopción del despulpado y transporte de la pulpa sin agua Transporte del café despulpado sin agua 	<ul style="list-style-type: none"> Consiste en hacer el despulpado de los frutos sin agua y su transporte por gravedad a las fosas, esta acción se constituye en la acción ambiental más importante en el beneficio húmedo del café, dado que el agua en esta etapa genera el mayor impacto ambiental negativo sobre los ecosistemas. Transportar el café despulpado hacia la zona de secado en carreta o de forma mecánica sin el uso de agua para su desplazamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> El costo de implementación es bajo. Reduce el consumo de agua. Se disminuye la HH gris y azul. 	<ul style="list-style-type: none"> Costos de implementación y mantenimiento.
--	--	---	---

Fermentación mecánica

<ul style="list-style-type: none"> Desmucilaginado mecánico DESLIM (BECOLSUB) Tecnología ECOMILL 	<ul style="list-style-type: none"> La remoción mecánica del mucílago del café ocurre por la frotación de una masa de café despulpado con un dispositivo (rotor), que permite desprender el mucílago en pocos segundos. Es un sencillo sistema de control de caudal, que permite tener un flujo de agua menor a 1 L/kg-1 de cps. Consiste en el despulpado sin agua, transporte del café despulpado y de la pulpa sin agua, proceso de fermentación natural en tanques cilíndricos que no necesitan agua para el vaciado del café, sistema de lavado con mínima cantidad de agua (menos de 0,5 L/Kg-1 de cps) y manejo de las aguas resultantes con cero vertimientos. 	<ul style="list-style-type: none"> Se obtiene café lavado con más de 98% de remoción de mucílago, el cual puede llevarse inmediatamente al secador y obtener café de alta calidad física y en taza. Se disminuye la HH gris Manejo de las aguas residuales del café con cero vertimiento. Reducción del consumo de agua. Disminución de la HH azul y gris. 	<ul style="list-style-type: none"> Costos de implementación y mantenimiento.
--	---	---	---

Lavado

<ul style="list-style-type: none"> Práctica de lavado con cuatro enjuagues (tanque tina) Bomba sumergible 	<ul style="list-style-type: none"> Consiste en un tanque rectangular que posee unas esquinas redondeadas, en el que se realiza el proceso de fermentación del mucílago y permite el fácil y eficiente lavado del grano de café. La utilización del tanque tina permite reducir el consumo de agua desde 25 hasta 4,1 L/kg de cps. Proceso de lavado de café pasándolo de un tanque a otro, generalmente cuatro veces, utilizando una bomba sumergible circulando únicamente el agua del tercer enjuague. 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del consumo de agua y del costo por tratamiento y volumen de las aguas residuales generadas. Disminución de la HH azul y gris. Reducción del consumo de agua. Disminución de la HH azul y gris. 	<ul style="list-style-type: none"> Costos de implementación y mantenimiento.
---	--	--	---

Figura 44. Buenas prácticas para la gestión de la HH en la etapa de germinador (Pabón et al., 2009; Cenicafé, 2013; Oliveros et al., 2013; Rodríguez, 2015).

Buenas prácticas

para la gestión de la Huella Hídrica en el manejo de subproductos



VENTAJAS:

- Protección de los recursos naturales agua y suelo.
- Cero residuos.



Señor caficultor:

Reduce la contaminación de los cuerpos de agua y del suelo, mediante el manejo adecuado de los subproductos del café.



Con la aplicación de estas prácticas puede transformarse un beneficiadero convencional a ecológico y un beneficiadero ecológico a beneficiadero ecológico sin vertimientos.



Figura 44. Buenas prácticas para la gestión de la HH en el manejo de subproductos (Cenicafé, 2013; Rodríguez y Zambrano, 2010).





Guía para la evaluación de la huella hídrica de café en Colombia

Consideraciones finales

7

El equipo de trabajo presenta las siguientes consideraciones a partir del trabajo realizado:

- Para el sector cafetero colombiano, este trabajo recoge información primaria del trabajo realizado en el marco del Proyecto Manos al Agua – GIA, por equipos de investigadores de diferentes áreas del conocimiento e instituciones, lo que es un paso importante en la estructuración de una base de información sólida, que en el tiempo se debe complementar y ajustar en la medida que se avance en la generación de conocimiento en esta materia.
- La Huella Hídrica del Café de Colombia genera información importante para la toma de decisiones en diferentes ámbitos:
 - » Recomendaciones que en el marco de la Buenas Prácticas los caficultores con un nivel de conciencia adecuado puedan implementar y así contribuir a la gestión adecuada del recurso hídrico.
 - » Suministrar información en el nivel gubernamental para aportar a la generación de políticas encaminadas al fortalecimiento de la Gestión Integral del Recurso Hídrico, en el ámbito nacional, regional y local.
 - » Aportar al fortalecimiento de capacidades del personal técnico, en el caso de la caficultura al Servicio de Extensión y otras partes interesadas.
- Desde el sector cafetero, ha sido permanente su compromiso con la conservación y uso racional de los recursos naturales, por esto es notoria la generación de un número importantes de tecnologías y prácticas en torno al manejo eficiente del agua, tanto en cultivo como en el beneficio del café. Estas practicas han venido siendo promovidas por el Servicio de Extensión e implementadas por los caficultores, lo que ha permitido generar las bases de los planes integrales de acción en finca, con estrategias dirigidas de forma específica hacia la optimización de los recursos disponibles y aumentando el impacto positivo no solo en las fincas sino en las microcuencas cafeteras.
- Desde los sectores productivos, la gestión adecuada del recurso hídrico debe ser un tema estratégico y que debe contar con planes específicos de gestión, para que en el tiempo sea evidente el avance en el uso racional y la conservación del recurso hídrico.
- Es conveniente que la información generada en el tiempo sobre la Huella Hídrica del Café de Colombia, se divulgue en diferentes espacios, donde se analice en conjunto con otros sectores y se identifiquen oportunidades que desarrolladas bajo esquemas de trabajo conjunto, permitan obtener aportes que le ayuden al país en el mejoramiento de la gestión del recurso hídrico.
- Profundizar el análisis de la Huella Hídrica del Café de Colombia por regiones de producción, puede contribuir a toma de decisiones que sean más aplicables y de mayor impacto de acuerdo a las condiciones específicas de los territorios en materia de recurso

hídrico con menores índices de contaminación de las de los cuerpos de agua de la zona cafetera.

- Así mismo, es pertinente seguir trabajando en el cálculo de las HH en todas las etapas de la cadena de valor del Café de Colombia, ya que el alcance de esta Guía permite obtener información a nivel de finca. Bajo el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida – ACV, es conveniente avanzar en el conocimiento sobre el impactos de los procesos al recursos hídrico y generación de soluciones que favorezcan la gestión y el mejoramiento continuo.
- Los avances en la medición de la Huella Hídrica del Café de Colombia, pueden ser complementados con la medición de otros impactos ambientales, que en su conjunto permitan avanzar en la medición de la Huella Ambiental del Café de Colombia, en cada una de las etapas de la cadena de valor y con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida – ACV.
- El avance en el conocimiento de los impactos ambientales generados en el ciclo de vida del Café de Colombia, y cuantificado en la medición de la huella ambiental, además de contribuir a la generación de soluciones para mitigar los impactos, permitirá generar elementos diferenciadores que se traduzcan en el posicionamiento frente a los consumidores, que actualmente dentro de sus criterios de decisión de compra tienen en cuenta aspectos relacionados con el eje ambiental de la sostenibilidad. Adicionalmente, es factible la generación de ingresos complementarios, principalmente a los cafeteros colombianos.
- Finalmente, para realizar un mejor aprovechamiento de la información generada a partir de la medición de la huella hídrica, es necesario avanzar en el análisis de sostenibilidad, para comparar los resultados obtenidos, donde el volumen total de agua consumido, o el volumen de agua contaminado, como consecuencia de la actividad cafetera, debe ser analizado con respecto al volumen y la calidad de los recursos hídricos disponibles en el momento y lugar de consumo. Este análisis permitirá tomar decisiones más ajustadas al territorio.

LITERATURA CITADA

ALLAN, J.A. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible. Priorities for water resources allocation and management 13(4):26. 1993.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 2006. 323 p. (Estudio FAO riego y drenaje No. 56).

ARÉVALO U., D.; LOZANO A., J.G.; SABOGAL M., J. Estudio nacional de huella hídrica Colombia sector agrícola. Revista internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo 6:101-126. 2011.

ARÉVALO U., D.; SABOGAL M., J.; LOZANO A., J.G.; MARTÍNEZ A., J.S. Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica. Bogotá: WWF, 2012. 48 p.

BRUNDTLAND, G.H. Report of the world commission on environment and development: Our common future. Oslo: United nations commission, 1987. 300 p.

BURBA, G.; ANDERSON, D. A brief practical guide to eddy covariance flux measurements: Principles and workflow examples for scientific and industrial applications. Nebraska: Li-Cor Biosciences, 2010. 212 p.

CEDULA B., E.D. Cuantificación y análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica agrícola y pecuaria de la cuenca del río Porce. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2013. 78 p. Trabajo de grado: Magister en Medio Ambiente y Desarrollo.

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ-CENICAFÉ. Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Chinchiná: FNC : CENICAFÉ, 2013. 3 vols.

CLAVIJO, S. Panorama cafetero 2017-2018. [En línea]. En: La República. Bogotá, Noviembre 20, 2017. Disponible en internet: <https://www.larepublica.co/analisis/sergio-clavijo-500041/panorama-cafetero-2017-2018-2571638>. Consultado el 17 de enero de 2018.

COLOMBIA. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Gestión integral del recurso hídrico. [En línea]. Bogotá : MinAmbiente, 2018. Disponible en internet: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico>. Consultado en febrero del 2018.

COLOMBIA. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. DECRETO No. 1594: Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Bogotá : El Ministerio, 1984.

CHAPAGAIN, A.K.; HOEKSTRA, A.Y. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. Ecological economics 64(1):109-118. 2007.

CHOUCHANE, H.; HOEKSTRA, A.Y.; KROL, M.S.; MEKONNEN, M.M. The water footprint of Tunisia from an economic perspective. Ecological indicators 52:311-319. 2015.

DE MIGUEL, Á. DE; HOEKSTRA, A.Y.; GARCÍA C., E. Sustainability of the water footprint of the Spanish pork industry. *Ecological indicators* 57:465-474. 2015.

DE MIGUEL, Á. DE; KALLACHE, M.; GARCÍA C., E. The water footprint of agriculture in Duero river basin. *Sustainability* 7(6):6759-6780. 2015.

FALKENMARK, M. Water management and ecosystems: Living with change. Estocolmo: Global water partnership, 2003. 43 p.

FARFÁN V., F.F. Sistemas agroforestales para establecer en la finca cafetera. Manizales: Cenicafé, 2016. 8 p. (Avances Técnicos No. 474).

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - FNC. Mucho más que una bebida. Bogotá: La Federación, (s.f.). Disponible en internet: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/mucho_mas_que_una_bebida/. Consultado el 22 de febrero de 2018.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - FNC. Valor de la cosecha registrada: Anual desde 2000. Bogotá: La Federación, (s.f.). Disponible en internet: https://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/quienes_somos/119_estadisticas_historicas/

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FNC: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. Cartilla cafetera. Chinchiná: Cenicafé, 2004. 2 Vols.

FRANKE, N.A.; BOYACIOGLU, H.; HOEKSTRA, A.Y. Grey water footprint accounting: Tier 1 supporting guidelines. [En línea]. Ámsterdam: UNESCO, 2013. 62 p. Disponible en internet: <http://bit.ly/2eCg8rc>

GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO - IPCC. Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático: Resumen para responsables de políticas. [En Línea]. Ginebra : IPCC, 2012. 20 p. Disponible en internet: https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/IPCC_SREX_ES_web.pdf.

HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K.; ALDAYA, M.M.; MEKONNEN, M.M. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. London: Earthscan, 2011. 203 p.

HOEKSTRA, A.Y.; HUNG, P.Q. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Amsterdam : IHE Delft, 2002. 115 p.

HOEKSTRA, A.Y.; MEKONNEN, M.M.; CHAPAGAIN, A.K.; MATHEWS, R.E.; RICHTER, B.D. Global monthly water scarcity: Blue water footprints versus blue water availability. [En Línea]. PLoS One 7(2):e32688. 2012. Disponible en Internet: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0032688> Consultado el 21 de marzo de 2018.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM. Hoja metodológica del indicador índice de calidad del agua: Sistema de indicadores ambientales de Colombia, indicadores de calidad del agua superficial. Bogotá : El instituto, 2013. 10 p.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM. Estudio nacional del agua 2014. Bogotá: IDEAM, 2015. 496 p.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM: CORPORACIÓN CENTRO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ANTIOQUIA - CTA: AGENCIA SUIZA PARA EL DESARROLLO Y LA COOPERACIÓN – COSUDE: GOOD STUFF INTERNATIONAL – GSI-LAC. Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia: Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del estudio nacional del agua 2014. Medellín: IDEAM, 2015. 169 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. Norma 14046 Gestión ambiental: Huella de agua; principios, requisitos y directrices. Ginebra: ISO, 2014.

KHAN, L.; GIL, J.; ACOSTA, R. Diseño y funcionamiento de un lisímetro hidráulico para medición de la evapotranspiración potencial. *Bioagro* 10(1):11-18. 1998.

LIU, C.; KROEZE, C.; HOEKSTRA, A.Y.; GERBENS L., W. Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers. *Ecological indicators* 18:42-49. 2012.

MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and earth system sciences discussions* 8(47):763-809. 2011.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. ¿Qué es la Huella Hídrica? [En Línea] Bogotá: El Ministerio, (s.f). Disponible en internet: <http://www.aclimatecolombia.org/huella-hidrica/> Consultado el 12 de diciembre de 2017.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico. Bogotá: El Ministerio, 2010. 23 p.

MUÑOZ O., L.G. Caficultura sostenible, moderna y competitiva. [En Línea]. Ensayos sobre economía cafetera 27(30):5-10. 2014. Disponible en internet: <https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/EEC30.pdf> Consultado el 13 de diciembre de 2017.

OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; RAMIREZ G., C.A.; TIBADUIZA V., C.A. ECOMILL®: Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado del café. Manizales : Cenicafé, 2013. 8 p. (Avances Técnicos No. 432).

ONU. Agua. Nueva York: ONU, (s.f). Disponible en internet: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA - FAO. La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050: Foro de expertos de alto nivel. [En Línea]. Roma: FAO, 2009. 4 p. Disponible en Internet: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf. Consultado el 15 de diciembre 2017.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA - UNESCO. Agua para todos, agua para la vida: Informe de las Naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. [En Línea]. París: UNESCO, 2003.

36 p. Disponible en internet: <http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf> Consultado en 13 febrero de 2018.

PABÓN U., J.P.; SANZ U., J.R.; OLIVEROS T., C.E. Manejo del café desmucilaginado mecánicamente. Manizales : Cenicafé, 2009. 8 p. (Avances Técnicos No. 388).

PÉREZ R., M.A. Comercio exterior y flujos hídricos en la agricultura colombiana: Análisis para el período 1961-2004. Revista iberoamericana de economía ecológica 4:3-16. 2006.

REES, W.; WACKERNAGEL, M. Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability. Environmental impact assessment review 16(4/6):223-248. 1996.

RODRÍGUEZ V., N.; SANZ U., J.R.; OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A. Beneficio del café en Colombia: Prácticas y estrategias para el ahorro uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso de beneficio húmedo del café. Manizales: Cenicafé, 2015. 35 p.

RODRÍGUEZ V., N.; ZAMBRANO F., D.A. Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. Manizales: Cenicafé, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 393).

ROMERO, M; QUINTERO, M; MONSERRATE, F. Elementos técnicos para la medición de huella hídrica en sistemas agrícolas. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, 2016. 44 p.

SADEGHIAN K., S. La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. Manizales : Cenicafé, 2016. 12 p. (Avances Técnicos No. 466).

SADEGHIAN K., S. Manejo integrado de nutrientes: Retos para una caficultura rentable y sostenible. Manizales : Cenicafé, 2017. 4 p. (Avances Técnicos No. 479).

SADEGHIAN K., S.; GONZÁLEZ O., H. Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de producción. Manizales : Cenicafé, 2012. 8 p. (Avances Técnicos No. 424).

SADEGHIAN K., S.; GONZÁLEZ O., H.; ARIAS S., E. Lixiviación de nutrientes en suelos de la zona cafetera: Prácticas que ayudan a reducirla. Manizales : Cenicafé, 2015. 36 p. (Boletín Técnico No. 40).

SANZ U., J.R.; OLIVEROS T., C.E.; PENUELA M., A.E. Instalación del separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín en beneficiaderos construidos. Manizales : Cenicafé, 2014. 4 p. (Avances Técnicos No. 439).

WATER FOOTPRINT NETWORK (WFN). The Water Footprint Assessment Manual. Washington, DC: WFT, 2011. Earthscan200 p.

WMO. Guide to agricultural meteorological practices: WMO No. 134. Ginebra : WMO, 2012.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). Reporting Matters – WBCSD 2013, Baseline Report. 2013.

ZAMBRANO F., D.A.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U. Construya su tanque tina para la fermentación y el lavado de café. Chinchiná: Cenicafé, 2011. 4 p. (Avances Técnicos No. 408).

ZAPATA O., J.D.; GONZÁLEZ V., J.E.; GUZMÁN C., A.C.; CARDONA, N.; OSPINA, S.; VALENCIA, V. Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica del sector minero colombiano. [En línea]. Bogotá: Ministerio de minas y energía: Corporación centro de ciencia y tecnología de Antioquia - CTA, 2016. Disponible en internet: http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/EstudiosPublicaciones/Huella_Hidrica.pdf Consultado el 15 de febrero de 2018.

ZÁRATE T., E.; FERNÁNDEZ P., A.; KUIPER, D.; UNIÓN EUROPEA; INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA - IICA. Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica. [En Línea]. San José: IICA, 2017. 80 p. Disponible en internet: <http://www.iica.int/es/publications/gu%C3%ADa-metodol%C3%B3gica-para-la-evaluaci%C3%B3n-de-la-huella-h%C3%ADdrica-en-una-cuenca-hidrogr%C3%A1fica> Consultado el 14 de febrero de 2018.

AGRADECIMIENTOS

Los responsables de este proyecto expresan su reconocimiento especial y agradecimiento a las siguientes personas que hicieron parte del equipo ejecutor del proyecto en la Unidad de Gestión de Proyectos de Cenicafé:

Cristy Mayerly González Durán. Ingeniera Ambiental. Asistente de investigación, quién en la última etapa del Proyecto integró el equipo de la Unidad de Gestión de Proyectos de Cenicafé.

Josué David Espitia Franco. Economista M.Sc. Analista de Proyectos de la Unidad de Gestión de Proyectos de Cenicafé, quién en la última etapa del Proyecto, contribuyó en la toma de información en el campo.

Así mismo, el reconocimiento para:

Wouter Wolters, *Wageningen UR - Integrated Water Management.*

Laura Miguel Ayala, *Wageningen UR - Impact Assessment Researcher.*

Marcela Quintero, Directora de Área de Investigación en Agroecosistemas y Paisajes Sostenibles del Centro Internacional de Agricultura Tropical –CIAT.

Daniel Chico Zamanillo, actualmente *technical manager - water reporting at cdp - global environmental reporting system*, quien en las fases iniciales del proyecto hacía parte del equipo de la *Water Footprint Network - WFN*.

Un reconocimiento especial a las siguientes personas que hacen parte de la Gerencia Técnica de la FNC, de Cenicafé y al equipo del proyecto Manos al Agua – GIA:

Gerencia Técnica:

Hernando Duque Orrego. Gerente Técnico.

Rodrigo Calderón. Director Proyecto Manos al Agua – GIA.

Raúl Jaime Hernández. Coordinador del programa ambiental.

Paola Castaño. Especialista en Comunicaciones Proyecto Manos al Agua – GIA.

Felipe Carvajal. Especialista en sistemas de información geográfica Proyecto Manos al Agua – GIA.

Leidy Viviana Pinilla. Analista contable Proyecto Manos al Agua – GIA.

José Alfredo Rodríguez. Coordinador Proyecto Manos al Agua – GIA.

Sandra Bibiana Peñarete. Auxiliar Administrativa Proyecto Manos al Agua – GIA.

Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé:

Álvaro Gaitán Bustamante. Director.

Plan de trabajo	Nombre personal contratado y/o Coordinador de paquete	Cargo	Disciplina
Estudios de Calidad del Agua	Gustavo Adolfo Gómez Zuluaga	Asistente de Investigación	Poscosecha
Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales -STAR	Andrés Felipe Osorio	Asistente de Investigación	Poscosecha
	Walter Mauricio Osorio	Auxiliar de Investigación	
Divulgación y Transferencia	Paula Andrea Marroquín	Analista Divulgación	Divulgación y Transferencia
	Julieth Sofía Veloza Beltrán	Analista Divulgación	
	Sandra Milena Marín López	Coordinadora Divulgación y Transferencia	
Plan Dirección del Programa	Lina Marcela Patiño Gutiérrez	Auxiliar Administrativa	Planeación Financiera y Presupuesto
	Jesús Alberto Cardona	Coordinador Financiero	

Equipo GIA:

Departamento de Caldas

Responsable	Rol/perfil
Jaime Baena Tovar	Coordinador GIA
Yesica Lorena Morales Salazar	Promotor beneficio/STAR
Alejandra Duque Aristizábal	Promotor Microcuena

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ACV	Análisis de ciclo de vida
Abstr	Abstracción de un cuerpo de agua
AD	Agua disponible
Appl	Cantidad de producto químico o fertilizante aplicada al suelo
BPA	Buenas prácticas agrícolas
CENICAFÉ	Centro Nacional de Investigaciones de Café
CO₂	Dióxido de carbono
cps	Café pergamino seco
DAverde	Disponibilidad de agua verde en la cuenca
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
ECOMILL	Beneficio ecológico con manejo de subproductos
ENA	Estudio Nacional de Calidad del Agua
ENA	Encuesta Nacional Agropecuaria
Epan	Evaporación del tanque evaporímetro
ET	Evapotranspiración
ETc	Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar
ETnatural	Evapotranspiración producida en áreas naturales protegidas
ETno_produc	Evapotranspiración producida en zonas no productivas
ETverde	Evapotranspiración real de la cuenca
ETo	Evapotranspiración de referencia
EV	Evaporación
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FNC	Federación Nacional de cafeteros de Colombia
GIA	Gestión Inteligente del Agua
HH	Huella hídrica
H₂O	Agua
IACAL	Índice de alteración potencial de la calidad de aguas
Ideam	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
IPHE	Índice de presión hídrica a los ecosistemas
ISO	Organización Internacional de Normalización
kg	Kilogramo
Kp	Coefficiente del tanque evaporímetro
L	Carga contaminante que entra en un cuerpo de agua
MTDs	Mejores técnicas disponibles
STAR	Sistema de tratamiento de aguas residuales
OMS	Organización Mundial de la Salud

ONGs	Organización no gubernamental
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PE	Precipitación efectiva
PIB	Producto interno bruto
PPR	Equipos de Presión retenida
SICA	Sistema de información cafetera
SST	Sólidos suspendidos totales
UF	Unidad funcional
UPME	Unidad de Planeación Minero - Energética
WBCSD	World Business Council for Development
WFN	Water Footprint Network
WMO	World Meteorological Organization

ANEXO I DEFINICIONES GENERALES

Ciclo de vida. Etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final [ISO 14044:2006, 3.1] (Figura 46).

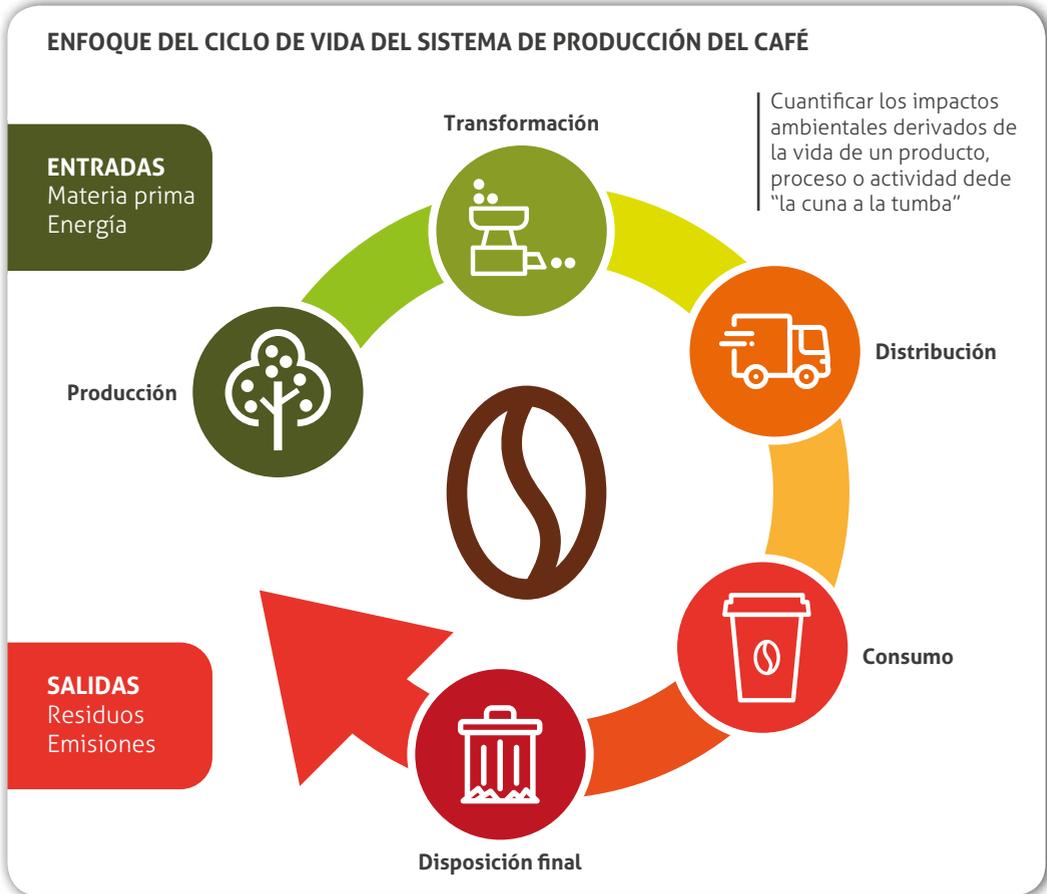


Figura 46. Ciclo de Vida en la cadena de valor de café.

Análisis de ciclo de vida. Recopilación y evaluación de las entradas, salidas y potenciales impactos medio ambientales, causados por un sistema productivo desde la extracción de materias primas o de su generación a partir de recursos naturales hasta su disposición final [Adaptación ISO 14044:2006, 3.1 – 3.2] (Figura 47).



Figura 47. Análisis de ciclo de vida, según la ISO 14040.

Apropiación del agua. Término utilizado para referirse al “consumo” de agua dulce para las actividades humanas (HH azul y verde) y “contaminación” del agua dulce (HH gris) (Manual para la evaluación de la HH, WFN).

Carga crítica. Nivel máximo de compuestos contaminantes que puede soportar un cuerpo de agua, el cual va a consumir la capacidad total de asimilación del cuerpo de agua receptor (Manual para la evaluación de la HH, WFN).

Consumo de agua. Volumen de agua dulce utilizada y luego evaporada o incorporada en un producto. También incluye agua extraída de la superficie o agua subterránea en una cuenca de captación y devuelta a otra cuenca o al mar.

El consumo de agua utilizada en la fase de poscosecha en el cultivo de café está concentrado en las labores de despulpado, remoción del mucílago y lavado. Estas se realizan mediante procesos de beneficio húmedo, aplicado en el país cerca del 70% del total del café pergamino seco (cps) y el 30% restante corresponde al beneficio ecológico. La relación insumo-producto en el primero de estos se mueve en un rango entre 40 y 60 L/kg cps y es de menos de 10 L/kg cps cuando se trata de beneficio ecológico (Rodríguez *et al.*, 2015) (Adaptado del Manual para la evaluación de la HH, WFN) (IDEAM 2010; Cenicafé, 2000).

Contabilidad de la HH. Es uno de los pasos en la evaluación de la HH que se refiere a la recopilación de datos empíricos y objetivos sobre las HH con un alcance y profundidad empírico (Manual para la evaluación de la HH, WFN).

Criterios de corte. Decisión conforme a la cual se establece la cantidad de flujo de materia y energía o el grado importancia ambiental relacionados a un sistema de producción, que permite determinar si puede ser excluido de un estudio en particular (ISO 14040:2006, 3.1).]

Cuenca hidrográfica. Territorio geográficamente identificado y delimitado, desde el cual las escorrentías de agua procedentes de precipitaciones, drenan sistemáticamente

de forma natural mediante un cuerpo de agua y vierte sus aguas a otro cuerpo de agua, lago o mar.

Cuerpo de agua. Masa de agua identificada con características hidrológicas, hidrogeomorfológicas, biológicas, físicas y químicas (Adaptado de ISO 14046:2014).

Disponibilidad de agua. Volumen total de aguas superficiales y subterráneas en donde el ser humano y los ecosistemas obtienen la cantidad necesaria con una calidad apropiada para satisfacer sus necesidades.

Estrés hídrico. Situación en donde la demanda de agua dulce es más alta que la cantidad disponible, o cuando su baja calidad restringe su uso (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente).

Evaluación de HH. Se refiere a la gama completa de actividades para. (i) cuantificar y ubicar la HH de un proceso, producto, productor o consumidor o para cuantificar en espacio y tiempo la HH en un área geográfica específica; (ii) evaluar el impacto ambiental, social y económico como sostenibilidad de la HH; y (iii) formular una estrategia de respuesta (Manual para la evaluación de la HH, WFN).

Factor de dilución. El número de veces que un volumen de efluente contaminado tiene que ser diluido en agua a temperatura ambiente, con el fin de llegar a una concentración determinada (Manual para la evaluación de la HH, WFN).

El **consumo directo**, se refiere al consumo y contaminación de agua dulce que está asociado al uso de agua de un consumidor o productor (grupo de consumidores y productores) solo en sus procesos de desarrollo y producción. No está asociado a los bienes y servicios consumidos por el individuo, ni con la HH de los insumos utilizados por el productor y el consumo indirecto, es la HH de un consumidor y productor, que se presenta en el consumo y contaminación de agua dulce, que hay “detrás” de los productos usados para satisfacer una necesidad o como insumo para la producción de otros bienes y servicios. Esta huella es igual a la suma de las HH de todos los productos usados por el consumidor y de todos los insumos utilizados por el productor (Adaptado del Manual para la evaluación de la HH, WFN).

Impactos primarios y secundarios. En el caso de los impactos primarios, la evaluación se centra en las consecuencias directas sobre el ciclo hidrológico, ya sea sobre la cantidad o calidad del agua. En el caso de los impactos secundarios se evalúan aquellos efectos producidos de forma diferida, ya sean ecológicos, sociales o económicos y que son generados como resultado de los impactos primarios. Así podrán ser evaluados efectos sobre la pérdida de biodiversidad, la salud, seguridad alimentaria, actividades económicas y el bienestar (Manual para la evaluación de la HH, WFN).

Parte interesada. Persona, organización o grupo, que puede afectar o verse afectada, por actividades o procesos de producción. En cuanto a la HH del café, pueden considerarse como partes interesadas. la Gerencia Técnica de la FNC, Cenicafé, Servicio de Extensión, Ministerio de Agricultura, IDEAM, Caficultores, entre otros (Adaptada ISO 14046:2015).

Precipitación efectiva. Parte de la precipitación total que se infiltra y es retenida por el suelo sin llegar a perderse por escorrentía, permaneciendo disponible en las raíces

de las plantas, lo que permite satisfacer necesidades de agua para la producción de cultivos.

Proceso. Conjunto de fases sucesivas mutuamente relacionadas, que desde el elemento de entrada conserva una lógica para lograr en la salida, un resultado específico. Los procesos del sistema de producción de café son. germinador, almácigo, establecimiento, levante, etapa productiva (cosecha), recibo del fruto, despulpado, fermentación, lavado, secado.

Producto. Bien o servicio elaborado naturalmente por una persona u organización (empresas), mediante un sistema de procesos, con el fin de satisfacer necesidades de la población. El producto es el resultado de un trabajo u operación. Para el alcance de esta guía, el producto dentro del sistema de producción a nivel de finca es el café pergamino seco.

Rendimiento de los cultivos. Producción de un cultivo por unidad de área cosechada. Para este estudio el rendimiento se evalúa por sacos de 60 kg de café pergamino seco (Adaptado del Manual para la evaluación de la HH, WFN).

Residuo. Materia o sustancia que queda de un todo y no se considera necesaria, determinándose que debe ser eliminada o descartada porque ha perdido su valor, o deja de ser útil. Para el caso del sistema de producción de café a nivel de finca, los residuos se definen como subproductos que quedan del proceso de beneficio. Estos pueden ser aprovechados dentro del sistema si se hace un adecuado tratamiento (Ejemplo. abono orgánico a partir de la pulpa).

Sistema de producción de un producto. Consiste en todos los pasos secuenciales del proceso aplicados para producirlo. Un sistema de producción puede ser una cadena lineal de procesos, que puede tomar la forma de un árbol de producto (muchas entradas en última instancia, resulta en un producto de salida) o puede parecer una red de procesos interconectados que eventualmente conducen a uno o más productos (ejemplo. Los procesos del sistema de producción de café llevados a cabo en finca son germinador, almácigo, establecimiento, cosecha y poscosecha) (Adaptado del Manual para la evaluación de la HH, WFN).

