

EVALUACIÓN MULTISECTORIAL DE LA HUELLA HÍDRICA EN COLOMBIA

.....
RESULTADOS POR SUBZONAS HIDROGRÁFICAS
EN EL MARCO DEL ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2014



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza
Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE



Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia



JUAN MANUEL SANTOS CALDERÓN

Presidente de la República de Colombia

GABRIEL VALLEJO LÓPEZ

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

PABLO ABBA VIEIRA SAMPER

Viceministro de Ambiente

OMAR FRANCO TORRES

Director General

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM

NELSON OMAR VARGAS MARTÍNEZ

Subdirector de Hidrología – IDEAM

COORDINACIÓN GENERAL ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2014

Nelson Ómar Vargas

Martha García

DIRECCIÓN DE COMPONENTE HUELLA HÍDRICA EN ENA2014

Diego Arévalo Uribe

Claudia Campuzano Ochoa

AUTORES DE LA PUBLICACIÓN:**AGENCIA SUIZA DE DESARROLLO Y COOPERACIÓN - COSUDE**

Diana Rojas

CENTRO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ANTIOQUIA - CTA

Carolina María Rodríguez

Juan Esteban González

Andrea Carolina Guzmán

Sergio Restrepo (Colaborador CTA)

Sebastián Ospina (Colaborador CTA)

GOOD STUFF INTERNATIONAL LATINOAMERICA Y CARIBE - GSI-LAC

Gabriela Parada Puig

Érika Zárate Torres

Derk Kuiper

ASESORES

Luis Javier Montoya

Universidad de Medellín

Maria del Pilar Arroyave

Escuela de Ingeniería de Antioquia

Yaneth Daza

Tecnológico de Antioquia

Juan Camilo Villegas

Universidad de Antioquia

José Adrián Ríos

Universidad Pontificia Bolivariana

Carlos Toro

Centro Nacional de Producción Más

Limpia y Tecnologías Ambientales

PRODUCCIÓN EDITORIAL

XXXXX

CORRECCIÓN DE ESTILO

Margarita Mejía Umaña

DISEÑO DE LA CARÁTULA

Adhouse S.A.S

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Adhouse S.A.S

FOTOGRAFÍA DE LA CARÁTULA

Raphael Linzatti

CÍTESE COMO

IDEAM, Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia. Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del estudio nacional del agua 2014 – año 2013. Bogotá, D. C., 2015. xxx páginas.

Publicación aprobada por el IDEAM marzo de 2015, Bogotá D.C., Colombia - Distribución Gratuita.

2015, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total o parcial debe ser autorizada por el IDEAM. Impreso en Colombia – Printed in Colombia

**Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios
Ambientales - IDEAM**

OMAR FRANCO TORRES

Director General - IDEAM

MARTHA NALIA SILVA ULLOA

Secretaria General (E) – IDEAM

CONSEJO DIRECTIVO

GABRIEL VALLEJO LÓPEZ

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

NATALIA AVELLO VIVES

Ministra de Transporte

SIMÓN GAVIRIA

Director, Departamento Nacional de Planeación- DNP

MAURICIO PERFFETI DEL CORRAL

Director, Departamento Nacional de Estadísticas-DANE

JUAN PABLO RUIZ SOTO

Delegado, Presidencia de la República

TEÓFILO CUESTA BORJA

Representante por la Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible –ASOCARS

YANETH GIHA TOVAR

Directora General, Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación - COLCIENCIAS

MARTHA NALIA SILVA ULLOA

Secretaria Técnica (E) del Consejo

DIRECTIVAS

LUIS CARLOS APONTE PÉREZ

Subdirector de Estudios Ambientales

MARÍA SARALUX VALBUENA LÓPEZ

Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

NELSON OMAR VARGAS MARTÍNEZ

Subdirector de Hidrología

MARÍA TERESA MARTÍNEZ GÓMEZ

Subdirectora de Meteorología

CHRISTIAN EUSCATEGUI COLLAZOS

Jefe Oficina Pronósticos y Alertas

JAIRO FUQUENE

Jefe Oficina Asesora de Planeación

CARLOS ANDRÉS SILVA SÁNCHEZ

Coordinador Grupo de Comunicaciones

LEONARDO CÁRDENAS CHITIVA

Jefe Oficina de Informática

ADRIANA PORTILLO TRUJILLO

Jefe Oficina Asesora Jurídica

MARÍA EUGENIA PATIÑO JURADO

Jefe Oficina Control Interno

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
1. CONCEPTOS GENERALES	7
1.1 El origen del concepto de huella hídrica - HH	8
1.1.1 Agua verde	9
1.1.2 Agua azul	10
1.1.3 Agua virtual	12
	13
1.2 Componentes y cuantificación de la huella hídrica	14
1.2.1 Huella hídrica verde (HHV)	15
1.2.2 Huella hídrica azul (HHA)	16
1.2.3 Huella hídrica gris (HHG)	17
	18
1.3 Evaluación y análisis de huella hídrica	
1.3.1 Definición del alcance	
1.3.2 Cuantificación de la huella hídrica	
1.3.3 Evaluación de sostenibilidad	
1.3.4 Análisis de flujos de agua virtual	
2. MARCO METODOLÓGICO	
2.1 Sector agropecuario	
2.1.1 Fuentes de información	
2.1.2 Metodología de cálculo, sector agropecuario	
2.1.2.1 Información estadística de cultivos agrícolas para Colombia	
2.1.2.2 Información estadística de pastos para ganadería en Colombia	
2.1.2.3 Información de suelos para Colombia	
2.1.2.4 Distribución espacial del área sembrada en cultivos agrícolas para Colombia	
2.1.2.5 Distribución espacial de pastos para ganadería en Colombia	
2.1.2.6 Información climática para Colombia	
2.1.2.7 Estimación del requerimiento de agua de los cultivos	
2.1.2.8 Estimación de la huella hídrica del sector agropecuario	
2.2 Componente doméstico	
2.2.1 Fuentes de información	
2.2.2 Metodología de cálculo, componente doméstico	
2.3 Sector industrial	
2.3.1 Fuentes de información	
2.3.2 Metodología de cálculo, sector industrial	

TABLA DE CONTENIDO

2.4 Sector energético	5
2.4.1 Fuentes de información	
2.4.2 Metodología de cálculo para embalses	6
2.4.3 Metodología de cálculo para las termoeléctricas	
2.4.4 Metodología de cálculo consolidado	7
	8
2.5 Sector petrolero	9
2.5.1 Fuentes de información y escala espacio-temporal	10
2.5.2 Metodología de cálculo, sector petrolero	12
	13
3. CUANTIFICACIÓN MULTISECTORIAL DE LA HUELLA HÍDRICA EN COLOMBIA	14
	15
	16
3.1 Resultados de la huella hídrica del sector agropecuario	17
3.1.1 Huella hídrica azul del sector agrícola por cultivo	18
3.1.2 Huella hídrica azul del sector agrícola por unidades hidrográficas	
3.1.3 Huella hídrica azul del sector pecuario	
3.1.4 Huella hídrica verde del sector agrícola por cultivo	
3.1.5 Huella hídrica verde del sector agrícola por unidades hidrográficas	
3.1.6 Huella hídrica verde del sector pecuario	
3.2 Resultados de la huella hídrica azul en el componente doméstico	
3.3 Resultados de la huella hídrica azul del sector industrial	
3.4 Resultados de la huella hídrica azul del sector energético	
3.4.1 Huella hídrica azul de los embalses	
3.4.2 Huella hídrica azul de las termoeléctricas	
3.4.3 Consolidado de resultados del sector energético	
3.5 Resultados de la huella hídrica del sector petrolero	
4. EVALUACIÓN MULTISECTORIAL DE LA HUELLA HÍDRICA	
4.1 Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica azul en Colombia	
4.1.1 Metodología	
4.1.1.1 Datos empleados	
4.1.1.2 Estimación del Índice de agua no retornada a la cuenca (IARC) por subzona hidrográfica	
4.1.2 Resultados	

4.2 Evaluación de la disponibilidad de agua verde y de la sostenibilidad de la huella hídrica verde en Colombia	5
4.2.1 Metodología	6
4.2.1.1 Datos empleados	7
4.2.1.2 Estimación de la disponibilidad de agua verde (DAV) e Índice de presión hídrica a los ecosistemas (IPHE), por subzona hidrográfica	8
4.2.2 Resultados de disponibilidad de agua verde	9
4.2.3 Resultados del Índice de presión hídrica a los ecosistemas, IPHE	10
	12
5. PROYECCIONES DE LA HUELLA HÍDRICA AGRÍCOLA, PERIODO 2012-2022	13
	14
5.1 Caracterización de la producción agrícola al 2012	15
5.2 Metodología de las proyecciones de áreas agrícolas para el periodo 2012-2022 de los doce cultivos priorizados	16
5.2.1 Modelo de dinámica de sistemas	17
5.2.1.1 Estructura del modelo	18
5.2.1.2 Estimaciones econométricas insumo para el modelo	
5.3 Resultados	
6. ANÁLISIS DE FLUJO DE AGUA VIRTUAL PARA EL SECTOR AGRÍCOLA, PERIODO 2012-2022	
6.1 Caracterización de los flujos comerciales asociados al sector agrícola	
6.2 Metodología de estimación de las exportaciones de Colombia para el sector agrícola	
6.2.1 Conceptualización	
6.2.2 Modelo econométrico	
6.2.3 Estructura del modelo	
6.2.4 Cálculo de agua virtual azul y verde, y distribución espacial de los flujos de agua virtual y exportaciones	
6.3 Resultados del análisis de flujo de agua virtual	
6.4 Resultados del análisis de agua azul y verde por área hidrográfica, por subzona hidrográfica y por producto	
6.5 Análisis de flujos de agua virtual para proyecciones agrícolas a 2022	

7. CONSIDERACIONES FINALES

BIBLIOGRAFÍA

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Áreas concertadas para los cultivos permanentes en Colombia, año 2012.	29
Tabla 2. Áreas concertadas para los cultivos transitorios en Colombia, semestre A del 2012 y semestre B del 2011.	29
Tabla 3. Áreas concertadas para pastos en Colombia 2012.	30
Tabla 4. Categorías del mapa de coberturas terrestres consideradas para la distribución espacial de los cultivos agrícolas y pastos para la ganadería en Colombia.	31
Tabla 5. Clima teórico asociado a cada cultivo.	32
Tabla 6. Características de cultivos permanentes.	35
Tabla 7. Características de cultivos transitorios y del cultivo de caña.	35
Tabla 8. Huella hídrica azul anual del sector agrícola.	46
Tabla 9. Principales resultados de huella hídrica azul agrícola en el AH Caribe.	49
Tabla 10. Principales resultados de huella hídrica azul agrícola en el AH Magdalena - Cauca.	49
Tabla 11. Principales resultados de huella hídrica azul agrícola en el AH Orinoco.	50
Tabla 12. Principales resultados de huella hídrica azul agrícola en el AH Amazonas.	51
Tabla 13. Principales resultados de huella hídrica azul agrícola en el AH Pacífico.	51
Tabla 14. Huella hídrica azul del sector pecuario asociada al sacrificio de aves, ganado bovino y ganado porcino por área hidrográfica.	54
Tabla 15. Principales resultados de huella hídrica azul pecuaria por subzona hidrográfica.	54
Tabla 16. Huella hídrica verde anual del sector agrícola.	56
Tabla 17. Principales resultados de huella hídrica verde agrícola en el AH Caribe.	58
Tabla 18. Principales resultados de huella hídrica verde agrícola en el AH Magdalena-Cauca.	59
Tabla 19. Principales resultados de huella hídrica verde agrícola en el AH Orinoco.	60
Tabla 20. Principales resultados de huella hídrica verde agrícola en el AH Amazonas.	60
Tabla 21. Principales resultados de huella hídrica verde agrícola en el AH Pacífico.	61
Tabla 22. Principales resultados de huella hídrica verde pecuaria en el AH Caribe.	66
Tabla 23. Principales resultados de huella hídrica verde pecuaria en el AH Magdalena-Cauca.	66
Tabla 24. Principales resultados de huella hídrica verde pecuaria en el AH Orinoco.	66
Tabla 25. Principales resultados de huella hídrica verde pecuaria en el AH Amazonas.	67
Tabla 26. Principales resultados de huella hídrica verde pecuaria en el AH Pacífico.	67
Tabla 27. Huella hídrica azul doméstica para las cinco principales subzonas hidrográficas.	69
Tabla 28. Resultados de huella hídrica azul doméstica por área hidrográfica.	69
Tabla 29. Actividades económicas con mayor huella hídrica azul industrial a escala nacional.	72
Tabla 30. Resultados de huella hídrica azul por área hidrográfica para el sector industrial.	72
Tabla 31. Huella hídrica azul anual de los embalses de acuerdo al uso.	75
Tabla 32. Huella hídrica azul anual de los embalses por área hidrográfica.	76
Tabla 33. Huella hídrica azul anual de las termoeléctricas por área hidrográfica.	76
Tabla 34. Huella hídrica azul anual del sector energético por subzona hidrográfica.	77
Tabla 35. Huella hídrica azul anual del sector energético por área hidrográfica.	78
Tabla 36. Huella hídrica azul anual de la extracción de petróleo de las principales subzonas hidrográficas.	81
Tabla 37. Huella hídrica azul anual de la extracción de petróleo por área hidrográfica.	82
Tabla 38. Oferta total y disponible de agua azul por área hidrográfica.	85
Tabla 39. Subzonas hidrográficas con la mayor oferta de agua disponible por área hidrográfica.	86
Tabla 40. Distribución de la huella hídrica azul por sector.	87
Tabla 41. Subzonas hidrográficas con IARC en valor crítico.	89
Tabla 42. Subzonas hidrográficas con IARC en valor muy alto.	89
Tabla 43. Reclasificación del mapa de coberturas terrestres para Colombia.	93
Tabla 44. Distribución de la ET en Colombia por cobertura terrestre y en las áreas protegidas.	94

Tabla 45. Disponibilidad de agua verde por área hidrográfica, según los cálculos y suposiciones en este estudio.	96
Tabla 46. Subzonas hidrográficas con menor disponibilidad de agua verde.	97
Tabla 47. Subzonas hidrográficas con mayor disponibilidad de agua verde.	97
Tabla 48. Subzonas hidrográficas con IPHE crítico.	100
Tabla 49. Subzonas hidrográficas con IPHE muy alto.	101
Tabla 50. Áreas (hectáreas) proyectadas del 2012 al 2022 para los cultivos transitorios.	107
Tabla 51. Áreas (hectáreas) proyectadas del 2012 al 2022 para los cultivos permanentes.	108
Tabla 52. Área (hectáreas) proyectadas del 2013 al 2022 para los pastos (forrajero y corte), flores y follajes.	108
Tabla 53. Huella hídrica azul proyectada del 2012 al 2022 para los cultivos transitorios.	109
Tabla 54. Huella hídrica verde proyectada del 2012 al 2022 para los cultivos transitorios.	109
Tabla 55. Huella hídrica azul proyectada del 2012 al 2022 para los cultivos permanentes.	110
Tabla 56. Huella hídrica verde proyectada del 2012 al 2022 para los cultivos permanentes.	110
Tabla 57. Huella hídrica azul proyectada del 2012 al 2022 para los pastos de corte y forraje.	112
Tabla 58. Huella hídrica verde proyectada del 2012 al 2022 para los pastos de corte y forraje.	112
Tabla 59. Huella hídrica azul y verde, y agua virtual azul y verde en millones de metros cúbicos por año para el 2012.	121
Tabla 60. Flujos de agua virtual azul (Millones de m3) por área hidrográfica de origen por cultivo para el 2012	126
Tabla 61. Flujos de agua virtual verde (millones de m3) por área hidrográfica por cultivo para el 2012	127

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Esquema conceptual de la demanda hídrica frente a la huella hídrica azul y la huella hídrica gris.	24
Figura 2. Fases de la evaluación de la huella hídrica.	25
Figura 3. Distribución espacial de la HHA anual de los cultivos permanentes (a), transitorios (b) y pastos (c) en Colombia.	47
Figura 4. Huella hídrica azul por área hidrográfica para el sector agrícola en Colombia.	48
Figura 5. Distribución espacial de la huella hídrica azul anual para el sector agrícola en Colombia.	51
Figura 6. Distribución espacial de la huella hídrica azul mensual para el sector agrícola en Colombia.	52
Figura 7. Distribución espacial de la huella hídrica azul anual del sector pecuario en Colombia.	54
Figura 8. Distribución espacial de la HHV anual de los cultivos permanentes (a), transitorios (b) y pastos (c) en Colombia.	56
Figura 9. Huella hídrica verde por área hidrográfica para el sector agrícola en Colombia.	57
Figura 10. Distribución espacial de la huella hídrica verde anual para el sector agrícola en Colombia.	61
Figura 11. Distribución espacial de la huella hídrica verde mensual para el sector agrícola en Colombia.	62
Figura 12. Huella hídrica verde por área hidrográfica para el sector pecuario en Colombia.	64
Figura 13. Distribución espacial de la huella hídrica verde anual para el sector pecuario en Colombia.	67
Figura 14. Resultados de huella hídrica azul anual para el componente doméstico	

por subzona hidrográfica.	70
Figura 15. Resultados de huella hídrica azul anual para el sector industrial por subzona hidrográfica.	73
Figura 16. Comportamiento mensual de la HHA de los embalses.	74
Figura 17. Distribución espacial de la huella hídrica azul anual del sector energético.	78
Figura 18. Distribución espacial y mensual de la huella hídrica azul del sector energético.	79
Figura 19. Distribución espacial por subzona hidrográfica de la huella hídrica azul anual de la extracción de petróleo.	82
Figura 20. Distribución espacial subzona hidrográfica mensual de la huella hídrica azul de la extracción de petróleo.	83
Figura 21. Oferta de agua disponible en año medio por subzona hidrográfica.	89
Figura 22. Índice de agua no retornada a la cuenca (IARC) por subzona hidrográfica en Colombia.	90
Figura 23. Disponibilidad de agua verde en las 311 subzonas hidrográficas en Colombia.	98
Figura 24. Índice de presión hídrica a los ecosistemas IPHE para 311 subzonas hidrográficas en Colombia.	101
Figura 25. Proyección de la huella hídrica azul y verde del cultivo de café para los años 2012 y 2022.	112
Figura 26. Proyección de la huella hídrica azul y verde del cultivo de cacao para los años 2012 y 2022.	113
Figura 27. Proyección de la huella hídrica azul y verde del cultivo de la caña de azúcar para los años 2012 y 2022.	114
Figura 28. Proyección de la huella hídrica azul y verde del cultivo de la palma de aceite para los años 2012 y 2022.	115
Figura 29. Proyección de la huella hídrica azul y verde del cultivo de plátano para los años 2012 y 2022.	116
Figura 30. Proyección de la huella hídrica azul y verde del cultivo de flores y follajes para los años 2012 y 2022.	117
Figura 25. Agua virtual verde y azul, y exportaciones del banano, cacao, café, azúcar, aceite palma, plátano y flores y follajes para el 2012.	121
Figura 26. Huella hídrica azul y agua virtual azul del banano, cacao, café, azúcar, aceite de palma, plátano, y flores para el 2012.	122
Figura 27. Agua virtual azul, y exportaciones de banano, cacao, café, azúcar, aceite de palma, plátano, y flores para el 2012.	123
Figura 28. Huella hídrica verde y agua virtual verde del banano, el cacao, el café, el azúcar, el aceite de palma, el plátano, y las flores para el 2012.	124
Figura 29. Agua virtual verde y exportaciones de banano, cacao, café, azúcar, aceite de palma, plátano, y flores para el 2012.	124
Figura 36. Proyección de las exportaciones del cultivo de banano, para los años 2012 y 2022.	128
Figura 37. Proyección de las exportaciones del cultivo de cacao, para los años 2012 y 2022.	128
Figura 38. Proyección de las exportaciones del cultivo de café, para los años 2012 y 2022.	129
Figura 39. Proyección de las exportaciones del cultivo de caña de azúcar, para los años 2012 y 2022.	129
Figura 40. Proyección de las exportaciones del cultivo de la palma de aceite, para los años 2012 y 2022.	130
Figura 41. Proyección de las exportaciones del cultivo de plátano, para los años 2012 y 2022.	130
Figura 42. Proyección de las exportaciones del cultivo de flores y follajes, para los años 2012 y 2022.	131
Figura 43. Proyección de los flujos de agua virtual azul y verde del cultivo de banano, para los años 2012 y 2022.	132

Figura 44. Proyección de los flujos de agua virtual azul y verde del cultivo de cacao, para los años 2012 y 2022.	133
Figura 45. Proyección de los flujos de agua virtual verde del cultivo de café, para los años 2012 y 2022.	134
Figura 46. Proyección de los flujos de agua virtual azul y verde del cultivo de caña de azúcar, para los años 2012 y 2022.	135
Figura 47. Proyección de los flujos de agua virtual azul y verde del cultivo de la palma de aceite, para los años 2012 y 2022.	136
Figura 48. Proyección de los flujos de agua virtual azul y verde del cultivo de plátano, para los años 2012 y 2022.	137
Figura 49. Proyección de los flujos de agua virtual azul y verde del cultivo de flores y follajes, para los años 2012 y 2022.	138

LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1. Evapotranspiración ajustada	34
Ecuación 2. Coeficiente de estrés hídrico	34
Ecuación 3. Coeficiente de estrés hídrico	34
Ecuación 4. Agua disponible total	35
Ecuación 5. Agua fácilmente aprovechable	35
Ecuación 6. Agotamiento del agua disponible	36
Ecuación 7. Pérdidas de agua	37
Ecuación 8. Riego	37
Ecuación 9. Evapotranspiración azul	38
Ecuación 10. Evapotranspiración verde	38
Ecuación 11. Huella hídrica azul sector agropecuario	38
Ecuación 12. Huella hídrica verde sector agropecuario	39
Ecuación 13. Huella hídrica azul por dotación	40
Ecuación 14. Huella hídrica azul, componente doméstico	40
Ecuación 15. Huella hídrica azul industrial	41
Ecuación 16. Huella hídrica azul embalses	42
Ecuación 17. Huella hídrica azul termoeléctricas	43
Ecuación 18. Huella hídrica azul termoeléctricas de carbón	44
Ecuación 19. Huella hídrica azul termoeléctricas de gas	44
Ecuación 20. Huella hídrica azul sector energía	44
Ecuación 21. Huella hídrica azul, extracción petróleo	45
Ecuación 22. Índice de agua no retornada a la cuenca	88
Ecuación 23. Disponibilidad de agua verde	95
Ecuación 24. Índice de presión hídrica al ecosistema	95

LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

SIGLA	DEFINICIÓN
ACP	Asociación Colombiana del Petróleo
GIRH	Gestión Integral del Recurso Hídrico
AH	Área Hidrográfica
GSJ-LAC	Good Stuff International Latinoamérica y Caribe
ANH	Agencia Nacional de Hidrocarburos
HH	Huella Hídrica
ASOCAÑA	Asociación de Cultivadores de Caña de Colombia
HHA	Huella Hídrica Azul
CTA	Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia
HHV	Huella Hídrica Verde
COSUDE	Agencia para el Desarrollo y la Cooperación Suiza –
HHG	Huella Hídrica Gris
DAA	Disponibilidad de Agua Azul
IACAL	Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
IARC	Índice de Agua no retornada a la cuenca
DAV	Disponibilidad de Agua Verde
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
DNP	Dirección Nacional de Planeación
IPHE	Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas
ENA	Estudio Nacional del Agua
IUA	Índice de Uso de Agua
ET	Evapotranspiración
RUA	Registro Único Ambiental
ETR	Evapotranspiración Real
SZH	Subzona Hidrográfica
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y La Agricultura
UPA	Unidad Productora Agropecuaria
FAV	Flujo de Agua Virtual
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
FEDECAFE	Federación Nacional de Cafeteros de Colombia
ZH	Zona Hidrográfica

RESUMEN

La presente publicación es la ampliación del trabajo de evaluación multisectorial de las huellas hídricas azul y verde, desarrollado como uno de los capítulos del Estudio Nacional del Agua 2014 (IDEAM, 2015).

El objetivo es la cuantificación y evaluación de los resultados obtenidos a partir de la estimación de las huellas hídricas azul y verde para cuatro sectores económicos: agropecuario, industrial, energético y petrolero; también se incluyó el componente doméstico. El año de referencia del estudio es el 2012 y está referenciado geográficamente en las 316 subzonas hidrográficas en las que está dividido el territorio nacional (ENA, 2014). Adicional a la cuantificación de las huellas hídricas azul y verde, se evaluaron también dos indicadores asociados a las huellas hídricas: el Índice de Agua No Retornada a la Cuenca (IARC) y el Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas (IPHE)¹. El primer índice relaciona la huella hídrica azul con la oferta disponible de agua por subzona hidrográfica, evidenciando aquellas unidades de análisis que presentan una situación de alerta respecto a su capacidad de satisfacer las necesidades de agua azul demandada en el territorio. El segundo indicador define en qué subzonas hidrográficas se presenta una competencia por el agua verde, la cual se evalúa entre las actividades agropecuarias y las áreas de importancia ambiental (ecosistemas estratégicos).

Adicional a lo anterior, se desarrolló un análisis económico para determinar el comportamiento, con relación a las áreas sembradas, de los doce principales cultivos del sector agrícola colombiano en el año de referencia (arroz, banano, cacao, caña, café, frijón, maíz, plátano, palma de aceite, plátano, soya, yuca) para el

periodo 2012-2022; esto con el fin de determinar las proyecciones de las áreas cultivadas para cada uno de los años y estimar la huella hídrica al 2022. Con base en estos resultados, también se realizaron las proyecciones de exportaciones para siete cultivos (aceite de palma, banano, cacao, café, caña, plátano y flores), para cuantificar de esta manera los flujos de agua virtual (huella hídrica azul y verde) exportados en estos cultivos a otros países.

Como resultados generales, se tiene una huella hídrica azul multisectorial a nivel nacional de 9.956,8 millones de m³/año (el sector agropecuario representa el 70,1%) y una disponibilidad de 1.126.905,0 millones de m³/año de agua azul²; por ello, en Colombia se tiene, en principio, la suficiente cantidad de agua para satisfacer los requerimientos de los sectores y componentes analizados. Pero a nivel de subzona hidrográfica (SZH), hay cuatro de ellas que presentan un valor crítico para el IARC, para las cuales se genera una alarma respecto a la relación oferta/demanda hídrica que se está presentando en estas SZH.

En el caso de la huella hídrica verde (HHV), el valor total estimado asciende a 300.453,0 millones de m³ de agua (las actividades pecuarias asociadas a la ganadería extensiva representan el 81,7% de la HHV) y una disponibilidad de agua verde (DAV) estimada en 1.221.345,9 millones de m³ de agua. Las anteriores cifras dan a entender que, en la escala nacional, se tiene la suficiente cantidad de agua verde para sostener las áreas de importancia ambiental; no obstante, a nivel de SZH se identifican 22 de ellas que, de acuerdo con los análisis, están presentando competencia crítica entre las actividades agropecuarias y el agua para los ecosistemas necesaria para la provisión de servicios

¹ Con respecto al término "Escasez de agua azul", denominado en el manual "Blue Water Scarcity", el IDEAM ha estimado conveniente proponer para el contexto nacional una modificación al nombre, con la finalidad de conseguir coherencia y armonía con el trabajo previo desarrollado sobre índices relativos al agua en estudios nacionales de agua anteriores, para que quede incluido en el grupo de indicadores de presión al recurso hídrico bajo la denominación de "Índice de Agua No Retornada a la Cuenca (IARC)". Con relación al término "Escasez de agua verde", denominado en el manual "Green Water Scarcity", el IDEAM ha estimado conveniente proponer para el contexto nacional una modificación al nombre con la finalidad de conseguir coherencia y armonía con el trabajo previo desarrollado sobre índices relativos al agua en estudios nacionales de agua anteriores, para que quede incluido en el grupo de indicadores de presión al recurso hídrico bajo la denominación de "Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas (IPHE)".

² El agua azul hace referencia al agua superficial y subterránea. Para este estudio, el valor referenciado en el texto corresponde a la oferta hídrica disponible de agua superficial en año medio, según el Estudio Nacional del Agua 2014. (IDEAM, 2015)

ecosistémicos esenciales. Sobre estas SZH es necesario analizar la ampliación de la frontera agropecuaria, en detrimento de las áreas de protección ambiental.

En cuanto a los resultados geográficos, se evidencia que el área hidrográfica (AH) Magdalena–Cauca soporta las mayores presiones en todos los sectores analizados, ya que tiene los principales centros poblados (Bogotá y Medellín), los conglomerados industriales más importantes, los embalses para la generación de energía, el abastecimiento doméstico y también concentra las actividades agrícolas. Esto lleva a pensar en la necesidad de potenciar el desarrollo de actividades económicas con criterios de sostenibilidad en otras AH para mejorar las condiciones sociales y económicas. Teniendo en cuenta, además, que el AH Magdalena–Cauca es la segunda con menor oferta disponible de agua para satisfacer las necesidades actuales, lo que a futuro implicaría mayores desafíos, en especial, a escala de subzona hidrográfica.

En las proyecciones de las áreas de producción agrícola realizadas para el periodo comprendido

entre el año base, el 2012, y el año 2022, se identifica una clara tendencia a la especialización del sector agrícola, debida en especial a las nuevas condiciones de mercado relacionadas con los diferentes tratados de libre comercio, y jalonada por la demanda energética de biocombustibles y por las cadenas productivas promocionadas desde el Gobierno nacional. En los resultados, sobresalen las tendencias crecientes del área sembrada de caña de azúcar, palma de aceite y cacao, y, por otro lado, la estabilización o reducción del área de los principales cultivos transitorios, asociados en su mayoría a la economía campesina.

En todo lo relativo a la huella hídrica, este estudio sigue la metodología y las definiciones presentadas en el Manual de Huella Hídrica (Hoekstra et al., 2011) publicado por la Red de Huella Hídrica (Water Footprint Network). Como base metodológica local fue tomada la Evaluación de la huella hídrica multisectorial en la cuenca del río Porce (Colombia) (CTA et al., 2013a y 2013b); este último documento es un referente a nivel mundial de estudios de huella hídrica multisectorial aplicado en cuencas hidrográficas.

ABSTRACT

This publication is the extension of the multi-sector evaluation project of the blue and green water footprints, developed as one of the chapters of the National Water Study 2014 (IDEAM, 2015).

The objective is the quantification and the evaluation of the results obtained from the estimation of the blue and green water footprints for four economic sectors: agricultural, industrial, energy, and oil; and the domestic component was also included. The reference year of the study is 2012 and is geographically referred in the 316 hydrographic subzones in which the national territory is divided (NWS 2014). Besides the quantification of the blue and green water footprints, two indicators associated to the water footprints were evaluated: the Index of Unreturned Water to the Source (IUWS) and the Index of Hydric Pressure on the Ecosystems (IHPE)¹. The first index relates the blue water footprint with the available offer of water per hydrographic subzone, evidencing those analysis units that have an alert situation regarding their capacity to satisfy the needs for blue water demanded in the territory. The second indicator defines in which hydrographic subzones there is a competition for green water, which is evaluated between the agricultural activities and the areas of environmental importance (strategic ecosystems).

Besides the aforementioned, an economic analysis was developed to determine the behavior, in relation to planted areas, of the 12 main crops of the Colombian agricultural sector in the year of reference (rice, bananas, cocoa, sugarcane, coffee, beans, corn, plantain, oil palm, soy, and yucca) for the period 2012-2022: this was in order to determine the projections of the cultivated areas for each one of the years and to

estimate the water footprint for 2022. Based on these results, the projections for the exportations for seven crops, were also done (palm oil, banana, cocoa, coffee, sugarcane, plantain, and flowers), to quantify the virtual water flows (blue and green hydric trace) exported to other countries in these crops.

As general results, there is a multi-sector blue water footprint at a national level of 9.956,8 million cubic meters/year (the agricultural sector represents 70,1%) and an availability of 1.126.905,0 million cubic meters /year of blue water;² therefore, Colombia has, the sufficient amount of water to satisfy the needs of the analyzed sectors and components. But at the level of hydrographic subzone (HSZ), there are four of them that have a critical value for the IARC, for which there is a warning regarding the hydric offer/demand hydric relation that is happening in this HSZ.

For the case of the green water footprint (GWF), the estimated total value rises to 300.453,0 million cubic meters of water (the farming activities associated to extensive livestock represent 81,7% of the GWF) and an availability of green water (AGW) estimated in 1.221.345,9 million cubic meters of water. These numbers say that, in the national scale, there is a sufficient amount of green water to sustain the areas of environmental importance; nevertheless, at the level of HSZ there are 22 subzones identified that, according to the analysis, are having critical competition between agricultural and farming activities and the water for the ecosystems that is necessary for the supply of essential ecosystem services. Regarding these HSZ it is necessary to analyze the extension of the agricultural border, in detriment of the areas of environmental protection.

¹ Regarding the term "Blue Water Scarcity", stated in the manual "Blue Water Scarcity", IDEAM has estimated convenient to propose a modification to the name for the national context, in order to acquire coherence and harmony with the previous work developed about water relative indexes in previous national water studies, in order to include it in the group of pressure indicators to the hydric resource under the denomination "Index of Unreturned Water to the Source (IARC in Spanish)".

IDEAM has estimated convenient to propose a modification to the name for the national context, in order to acquire coherence and harmony with the previous work developed about water relative indexes in previous national water studies, in order to include it in the group of pressure indicators to the hydric resource under the denomination "Index of Hydric Pressure on the Ecosystems (IPHE in Spanish)".

² Blue water refers to surface and underground water. For this study, the value referred in the text corresponding to the available hydric offer of surface water in one year and a half, according to the National Water Study 2014. (IDEAM, 2015).

Regarding the geographic results, it is evidenced that the Magdalena-Cauca hydrographic area (HA) supports the highest pressures in all the analyzed sectors, since it has the main populated centers (Bogotá and Medellín), the most important industrial conglomerates, the dams for generation of energy, the domestic supply, and also concentrates the agricultural activities. This leads to think about the need to potentiate the development of economic activities with criteria of sustainability in other HA to improve the social and economic conditions. Considering that, the Magdalena-Cauca is the second with the least available offer of water to satisfy the current needs, and that in the near future it will imply greater challenges, especially, at a hydrographic subzone scale.

In the projections of the agricultural production areas done for the period comprehended from the base year, 2012, and 2022, there is a clear tendency towards the specialization of the agricultural sector, due to the new market conditions related to the different free trade agreements, and promoted by the energetic demand of biofuels and by the productive chains promoted by the national Government. In the results, the growing tendencies of the area planted with sugarcane, oil palm, and cocoa are outstanding, and on the other hand, the stabilization or decrease of the area of the main transitory crops, mostly associated to the peasant economy.

In everything regarding the hydric footprint, this study follows the methodology and definitions presented in the Water Footprint Manual (Hoekstra et al., 2011) published by the Water Footprint Network). The Evaluation of the Multisector Water Footprint in the Porce River (Colombia) (CTA et al., 2013a and 2013b) was used as the local methodological base; this last document is a worldwide studies reference of multisector water footprint studies applied to hydrographic sources.

INTRODUCCIÓN

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), realiza cada cuatro años el Estudio Nacional del Agua (ENA), en el cual se presenta el panorama general del recurso hídrico para toda Colombia en sus componentes de oferta, demanda, calidad y riesgos asociados al agua y al recurso hídrico.

En la versión del ENA 2014, a partir del acompañamiento que hizo el IDEAM al estudio de Evaluación de la huella hídrica multisectorial en la cuenca del río Porce y de los resultados que aportó esta evaluación para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, se incluye la huella hídrica como una de las novedades temáticas de esta versión. Para este trabajo se estableció una alianza estratégica entre el IDEAM, la Embajada Suiza a través de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA) y la empresa Good Stuff International Latinoamérica y Caribe (GSI-LAC), con el fin de nutrir y complementar los temas tratados en versiones anteriores del ENA, mediante la aplicación de la evaluación de la huella hídrica multisectorial para toda Colombia.

Desde el punto de vista conceptual, la huella hídrica implicó una ampliación de la base conceptual de la gestión del recursos hídrico a nivel nacional, haciendo explícita y necesaria la definición e inclusión de los conceptos de agua verde y agua azul. En este sentido, en el marco del ENA hasta ahora se había estudiado para Colombia lo relacionado con el agua azul (demanda hídrica). A partir del presente estudio, la demanda hídrica se complementa con los conceptos de agua verde y huella hídrica verde, como una de las más importantes novedades conceptuales del estudio. Esto permite analizar temas que se refieren al aprovechamiento del agua lluvia contenida en el suelo y su relación con los ecosistemas como proveedores y reguladores de servicios ambientales, por ejemplo, la disponibilidad hídrica. Esto abre una nueva puerta de investigación en torno a lo que significa el agua verde y la conservación de ecosistemas en el marco de la gestión territorial.

Se cuantificaron la huella hídrica azul y la huella hídrica verde para cuatro sectores económicos de gran importancia para Colombia: agropecuario, industrial, energético y petrolero, además del componente doméstico en cada una de las 316 SZH establecidas para el país.

La huella hídrica comprende la apropiación humana del agua dulce, así como la alteración de la calidad del agua o su contaminación. Sin embargo, debido a las importantes limitaciones de información sobre calidad del agua a nivel nacional, se tomó la decisión de incluir la huella hídrica gris a nivel de concepto, sin lograr el cálculo y análisis de resultados. Esto pospone la cuantificación y evaluación a un escenario próximo, esperando contar para entonces con una mejor información de calidad del agua a nivel nacional.

La huella hídrica azul se complementa y relaciona con el concepto de demanda hídrica, permitiendo visibilizar la diferencia entre la extracción de agua y el consumo efectivo. Se considera como extracción la cantidad de agua tomada de una fuente; y lo consumido, la porción de agua extraída que no retorna a la misma cuenca.

Por otro lado, la huella hídrica verde permite visibilizar y cuantificar el impacto del sector agropecuario sobre el agua que se encuentra en el suelo, disponible tanto para las coberturas naturales como para la producción agropecuaria, y que hasta la fecha no se había contabilizado en los balances hídricos nacionales. El agua verde disponible se convierte en una ventaja competitiva para Colombia, ya que parte de su producción agropecuaria se sustenta en el agua contenida en el suelo, a raíz de la precipitación, dependiendo así exclusivamente de las características biofísicas y climáticas del territorio. Esto constituye una ventaja, dado que el aprovechamiento del agua verde implica menor presión sobre las fuentes hídricas superficiales o subterráneas.



El análisis de flujos de agua virtual, derivado de los resultados de la huella hídrica, permite visibilizar y entender el impacto territorial generado por la producción agrícola dirigida a la exportación, y ofrece información relativa a la diferencia en el ámbito local relacionada con los flujos de agua azul y los flujos de agua verde; los primeros están estrechamente relacionados con la competencia por el agua y el potencial conflicto local por uso de agua, mientras que los segundos tienen que ver con la competencia hídrica por el agua necesaria para la conservación de ecosistemas estratégicos para la provisión de servicios ecosistémicos.

Este documento de carácter técnico está conformado por los siguientes capítulos:

• **Capítulo 1 - Conceptos generales**

Definición de los conceptos claves, como agua virtual, agua verde y azul, huella hídrica azul, verde y gris. Además de la descripción de las fases involucradas en un análisis de evaluación de huella hídrica.

• **Capítulo 2 – Marco metodológico**

Descripción metodológica para estimar la huella hídrica de cada uno de los sectores de análisis y su respectiva distribución espacial en las unidades de análisis definidas (316 SZH).

• **Capítulo 3 – Cuantificación multisectorial de la huella hídrica en Colombia**

Presentación de los resultados de la huella hídrica por sector, por área hidrográfica y por subzona hidrográfica.

• **Capítulo 4 – Evaluación multisectorial de la huella hídrica**

Análisis de los indicadores IARC e IPHE, los cuales permiten determinar las SZH que no tienen la capacidad de satisfacer las necesidades de agua azul y verde.

• **Capítulo 5 – Proyecciones de la huella hídrica agrícola periodo 2012–2022**

Análisis del comportamiento de la huella hídrica proyectada a partir del comportamiento de las áreas sembradas para doce cultivos.

• **Capítulo 6 – Análisis de flujo de agua virtual para el sector agrícola para el periodo 2012–2022**

Se determinó el comportamiento de las exportaciones para los siete principales cultivos aportantes a la balanza comercial, de acuerdo a los principales socios comerciales de Colombia, para definir el agua virtual asociada a dichos cultivos.

• **Capítulo 7 – Conclusiones**

INTRODUCTION

The Institute of Hydrology, Meteorology, and Environmental Studies (IDEAM), carries the National Water Study (NWS) every four years, which presents the general panorama of the water resource for all Colombia in its components of offer, demand, quality, and risks associated to water and the hydric resource.

In the NWS version of 2014, based on the monitoring done by IDEAM to the Evaluation of the Multisector Water Footprint of the Porce River Basin and the results contributed by this evaluation for the Integral Management of the Hydric Resource, the water footprint is included as one of the topic novelties of this version. For this work, there was a strategic alliance among IDEAM, the Switzerland Embassy through the Swiss Agency for Development and Cooperation (COSUDE), the Science and Technology Center of Antioquia (CTA), and the company Good Stuff International Latin America and the Caribbean (GSI-LAC), in order to nurture and complement the topics treated in previous versions of the NWS, through the application of the evaluation of the multisector water footprint for all Colombia.

From the conceptual point of view, the water footprint implied an extension of the conceptual base of the management of water resources at a national level, making the definition and inclusion of the green water and blue water concepts explicit and necessary. In this sense, in the frame of the NWS until now, in Colombia, there were studies only regarding blue water (hydric demand). As of this study, the hydric demand is complemented with the concepts of green water and green water footprint, as one of the most important conceptual novelties of the study. This enables to analyze topics that refer to the use of the rainwater contained in the soil and its relation with the ecosystems as suppliers and regulators of environmental services, for example, the hydric availability. This opens a new door for research regarding what green water means and the conservation of ecosystems in the frame of the territorial management.

The blue water footprint and the green water footprint were quantified for four economic sectors of great importance for Colombia: agricultural and farming, industrial, energetic, and oil, besides the domestic component of each one of the 316 HSZ established for the country.

The water footprint comprises the human appropriation of freshwater, as well as the alteration of the water quality or its contamination. Nevertheless, due to the important information limitations about the water quality at a national level, there was a decision to include the grey water footprint in a conceptual level, without accomplishing the calculation and analysis of results. This postpones the quantification and evaluation in a near scenario, expecting to have better information about the water quality at a national level.

The blue water footprint is complemented and related to the concept of hydric demand, enabling to visualize the difference between water extraction and effective consumption. The amount of water taken from a source is considered as extraction; and the portion of water extracted that does not return to the same source, is considered as consumption.

On the other hand, the green water footprint enables to visualize and quantify the impact of the agricultural



sector on the water that is in the subsoil; available both for natural coverage and for agricultural production, and that to date had not been accounted in the national hydric balances. The green water available becomes a competitive advantage for Colombia; since the water contained in the soil due to precipitation supports part of its agricultural production, it exclusively depends on the biophysical and climatic characteristics of the territory. This constitutes an advantage, since the use of the green water implies less pressure on the superficial or underground hydric sources.

The analysis of flow of virtual water, derived from the results of the water footprint, enables to visualize and understand the territorial impact generated by the agricultural production aimed to exportation, and offers information relative to the difference in the local environment related to the flows of blue water and the flows of green water; the first are closely related to the competition for water and the potential local conflict for the use of water, while the second have to do with the hydric competition for the water necessary for the conservation of strategic ecosystems for the supply of ecosystem services.

3. FINAL CONSIDERATIONS

This study evidences that the concept of water footprint goes beyond the evaluation of the sectorial use of water or the contamination of water sources associated to the anthropic activities of a territory. The concept of water footprint has enabled to introduce important elements in the national hydrological balance, enabling to complement and contributing to the analysis done to this date. It is considered as a tool that can contribute to the Integral Management of the Hydric Resource (IMHR), not only in one territory, but also in the productive sectors.

The following are the main conclusions of the multisector analysis of the water footprint in Colombia for the agricultural, domestic, industrial, energy, and oil sectors.

Conceptual aspect:

One of the most relevant contributions of the water footprints to the NWS 2014 is associated to the incorporation of the green water in the conceptual and methodological base of the national hydric analysis, considering that green water supports most of the agricultural activity of Colombia.

Previously, green water was not considered or accounted, therefore it is expected that as of this study it will be included in the national water accounts, in order to have a more realistic and complete panorama of the use of water in Colombia.

A good use of green water enables to potentiate the comparative advantage of Colombia as an agricultural country towards other countries that, due to their geographic and climatic characteristics, require the extraction of high volumes of water to satisfy the demands of their crops through watering.

On another side, the use of superficial freshwater sources (rivers, lakes, and others) and underground waters (aquifers) defines the blue water, a concept



that has been previously considered in the National Water Studies. To comprehend the meaning of blue water and its difference with green water is the base to complete the concept of hydric demand integrated in the NWS 2014.

The conceptualization of the flows of virtual water visualizes the water used for the cultivation of products for exportation and is estimated based on the national agricultural commercial balance. This enables to calculate and analyze the difference associated to the flows of virtual blue and green water, and its meaning in terms of local impacts related to a potential conflict for its use, in the case of blue water, or of potential hydric pressure on strategic ecosystems, in the case of green water.

From quantification:

According to the results obtained for each one of the analyzed sectors, the agricultural sector – as it was expected – is the biggest user of water in the national territory in terms of the blue and green water footprint. The result is coherent with other studies in which it is also reported that this sector has a greater water footprint than other sectors, such as the industrial or energetic sectors.

For the agricultural sector (22 permanent priority crops, 19 priority transitory crops, and 2 categories of pasture cultivation), the green water footprint estimated is of 54.915 million cubic meters/year (natural humidity of the soil transformed in water supply for the agricultural activity). This way, the green water footprint of this sector is around eight times the blue water footprint, estimated in 6.976 million cubic meters/year (effective watering of the crops). This relation shows the great potential of use of green water that exists in Colombia, where it is the main hydric support of the sector.

The main example of this situation in Colombia appears with the most representative crop at national level: Coffee. Even though this crop represent the greatest agricultural area of Colombia (close to one million hectares) and the largest green water footprint in the



country (11.822 million cubic meters/year), instead it has no blue water footprint, because it is a crop that does not require watering, according to the most used agricultural practice by the sector in Colombia.

For the quantification of the water footprint associated to the animal husbandry sector (three types of pastures associated to extensive livestock breeding), it starts with the premise that extensive livestock pastures (fields) do not require watering; therefore, to satisfy the agricultural demand, only green water is used. The water footprint is only generated by human appropriation of water; in this case, such appropriation is done indirectly, through the feeding of livestock that consumes pasture for an economic goal associated to the production of milk or meat. According to this scheme, the animal husbandry green water footprint is calculated by obtaining the relation between the potential availability of livestock pastures (close to 37 million hectares of pastures) and the municipal livestock inventory (close to 24 million livestock), both in 2012. The national result of green water footprint associated to the livestock sector ascends to 245.538 million cubic meters/year.

The green water footprint of the livestock sector is approximately five times the green water footprint of the agricultural sector. This coincides with the relation of areas at a national level that have a potential livestock



use (close to 37 million hectares of pastures) and with an agricultural use (close to 6 million hectares of crops, including pasture crops).

For the domestic component (water associated to the consumption of inhabitants), the blue water footprints is estimated in 385,8 million cubic meters/year; the value of the hydrographic subzones of the Bogota River and the Porce River are highlighted, with the two cities with the most population in Colombia (Bogotá and Medellín, respectively), that between both concentrate approximately 24% of the national domestic blue water footprint.

The estimate of the blue water footprint of the industrial sector ascends to the 65 million cubic meters/year. The estimate value of the national industrial blue water footprint is based on the information reported by the Environmental Record (ER in English - RUA in Spanish), that only has the records of a representative sample of the national companies, therefore the estimated value is considered a partial result for this sector, which must be analyzed in detail in the future.

The estimate of the blue water footprint of the energy generation sector was 297 million cubic meters/year, as a result of hydro electrical generation (22 dams with a blue water footprint of 286,7 million cubic meters/year) and thermo electrical generation (66

centrals with a blue water footprint of 10,6 million cubic meters/year. The water footprint of the sector is almost concentrated in 70% in the Magdalena-Cauca hydrographic area.

The blue water footprint of the mining sector was only concentrated in the oil extraction process, for which 392 extraction fields in 19 departments of Colombia were analyzed. The national sectorial value is estimated in 6,6 million cubic meters/year, with two thirds of the national total concentrated in the departments of Meta and Casanare.

It must be highlighted that other subsectors associated to mining were not included, because of the lack of information and the low availability of the existing information, which does not imply that they have a low representative impact at a national level in terms of blue water. Due to the aforementioned, it is recommended to identify this sector as one of the focal point with which it is highly pertinent to continue exploring the application of the water footprint.

The water transfers were analyzed from the water footprint, as an additional anthropic process that generates an important territorial impact in terms of water extraction to supply the sector's needs and that later is not returned to the supplying source. Considering the geographic unit of analysis of the study, only the large transfers that involve more than one hydrographic subzone were considered.

Six transfers were considered, that involve six supplying hydrographic subzones and four receptor hydrographic subzones, that represent a blue water footprint for these territories of close to 2.200 million cubic meters/year at a national level.

The grey water footprint is the third component of the water footprint that enables to complete the analysis about the effects of human activity in terms of quantity (green and blue water footprint) and quality (grey water footprint). This component was not included in the NWS 2014 or in this book, because of the lack of information and little availability of the existing information at the

moment of its elaboration; therefore, the application of this component is postponed for a next scenario, with more available trustworthy information to evaluate in a realistic manner, the effect of the water footprint in terms of water quality.

In this aspect, it is important to call the public and private institutions regarding the value of the information and the importance of its availability, since this is the only realistic path to evaluate the current state of the natural resources and to manage it from an scenario that enables fast and assertive decision-making, in favor of the sustainability of the collective natural patrimony; therefore, in favor of all.

From evaluation:

Based on the application of the water footprint, three new indicators are identified that contribute and complement the six indicators included and evaluated for the country in the National Water Study of 2010 and that continues in the 2014 version.

The evaluation of the blue and green water footprints was done based on two indicators: The Index of Unreturned Water to the Source (IUWS in English - IARC in Spanish) and Index of Hydric Pressure in the Ecosystems (IHPE in English - IPHE in Spanish). Besides these two indexes, a third indicator denominated Index of Efficiency in the Use of Water (IEUW in English - IEUA in Spanish) is also evaluated, which is obtained from the relation between the blue water footprint and the water demand; this last indicators was only included in the NWS 2014.

For the evaluation of the multisector blue water footprint, the Availability of Blue Water (ABW in English - DAA in Spanish) was analyzed, associated to the water offer available in a medium year; it was estimated at a national level in the NWS 2014 in 1.126.905 million cubic meters/year, which contrasts with the multisector blue water footprint estimated at a national level in 9.975 million cubic meters/year.

The result of the analysis at national level enables to estimate an availability of blue water approximately 100 times higher than the blue water footprint. Nevertheless, by doing the analysis in a hydrographic subzone scale, four hydrographic subzones were found that present a blue water footprint that is higher than the offer of available water ($IARC > 1$), reason why these are identified as sources of high hydric competence and potential conflict for the multisector use of water.

For the evaluation of the agricultural green water footprint, the "availability of green water" (AGW in English - DAV in Spanish) was analyzed, and was estimated in 1.221.346 million cubic meters/year, which is compared against the agricultural green water footprint estimated at national level in 300.451 million cubic meters/year.

The result of the analysis at national level enables to estimate an availability of green water that is four times higher than the national green water footprint. Nevertheless, by doing the analysis at hydrographic subzone scale, 22 hydrographic subzones were identified that present a green water footprint higher than the availability of green water in that source ($IHPE > 1$); therefore these are identified as sources with competition between the agricultural sector and the strategic ecosystems for the supply of ecosystem services; this competition for green water is a competition for the territory, and it appears due to the extension of the agricultural border.

This IHPE result is clearly related to the pasture areas of extensive livestock breeding, and with the denominated low performance fields that have a reduced livestock density in many zones of the country, a large part of them with the potential for the adaptation of lands for agriculture, without compromising the environmental sustainability of the strategic ecosystems in the sources.

Form the projections and the analysis of virtual water flows:

The exercise done with the projections of the water footprint for the twelve priority crops in the agricultural

sector (six permanent and six transitory) for the 2012-2022 period state a strong dominance of those crops associated to the production of bio-fuels (oil palm and sugarcane), mostly promoted by an economic and political environment that is favorable for the country in the last years. The case of the oil palm has a special relevance, since it reports a considerable value of blue water footprint (around 25% of the value of the national agricultural blue water footprint) associated to watering and closely related to the water offer available in the subzones where there is an extension foreseen for this crop.

The results of virtual water flow for the six main agricultural crops that contribute to the Colombian commercial balance enable to highlight the evidence of the national agricultural potential, by not being largely dependent on watering (blue water footprint) for the production of crops; this makes that most part of the virtual water flow is of green water, generating a lower local incidence in terms of a potential conflict generated by the use of water caused by the agro-industry with exportation purposes. The green virtual water flows could be understood as a potential generation of competition for green water between the agro-producing sector and the strategic ecosystems. Nevertheless, this situation especially associated to the areas with livestock use for extensive breeding and with lower probability for the agricultural sector.

At last, the virtual water flows enable to identify and understand the difference posed between zones that export blue water and green water for a same product, which can mean to understand the origin of social problems associated to the competition for water, that in some occasions find their origin in a demand generated by another country. An example of this situation happens with bananas, that in the Magdalena-Cauca hydrographic area has a relation of green water footprint/blue water footprint of 1,26; while in the Caribbean hydrographic area, the same relation has a value of 6,42. The second value evidences a lower dependence on watering and, therefore, a lower local hydric risk associated to a potential conflict for use

caused by an exporting activity, which responds to a demand generated thousands of kilometers from the production point.

By highlighting this analysis for each one of the 316 hydrographic subzones, some sources with a strong production and exportation vocation are identified, and that have a high blue water footprint and, therefore, and important dependence on watering; this situation is associated to an evidence of hydric risk for these territories.

It is important to highlight the uncertainties and limitations of this study that is presented as one of the stages of a research and application process of the water footprint in Colombia that started in 2009. It is considered pertinent to give continuity to these efforts, in order to maintain the continuous improvement process in the application methodological topics, and in the depth and detail about the zones of the country in which the results reflect critical points.

The collaboration of the public and private entities must be highlighted and thanked, for the supply of information and monitoring in its use. Nevertheless, this study is a clear evidence of tone of the large challenges of the public sector, in terms of doing an effective and efficient generation, gathering, systematization, and analysis of the sector information of the use of water in Colombia. And it also reflects the need to involve the private sector in terms of the report of information relative to the use of the collective patrimony that is water.

The gathering of representative, trustworthy, contrastable, and available information about the uses of water, constitutes the only possible path to advance in the complicated, but necessary, path for the management of the collective natural patrimony (land and water), from the individual perspective of many actors called to have a common view for the hydric sustainability of the sources.



CAPÍTULO 1

MARCO METODOLÓGICO

El concepto de la huella hídrica se presenta por primera vez en Wackernagel, M. y Rees, W. (1996) y en Hoekstra y Hung (2002); desde entonces ha sufrido una evolución y desarrollo continuos. Una de sus aplicaciones posibles es la implementación en cuencas hidrográficas, que se presenta como una oportunidad de complementar y enriquecer los análisis territoriales para la gestión del agua, con alcance local, regional o nacional. El objeto de la presente publicación es presentar la huella hídrica multisectorial por subzona hidrográfica como novedad temática, en el marco del Estudio Nacional del Agua de Colombia 2014 (ENA 2014).

En Colombia, desde el año 2010, la aplicación de la huella hídrica se ha fortalecido con el proyecto SuizAgua Colombia, liderado por la Embajada de Suiza a través del 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 huella hídrica a nivel empresarial y territorial.

A nivel territorial, se realizó la evaluación multisectorial de huella hídrica en la cuenca del río Porce en 2012, con la participación de quince entidades, públicas y privadas, del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA) y de la Good Stuff International Latinoamérica y Caribe (GSI-LAC). Como resultado de ese esfuerzo, en 2014 el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) invitó a la Embajada de Suiza a través de COSUDE, al CTA y al GSI a participar en el Estudio Nacional del Agua (ENA 2014) para incluir los conceptos asociados a la huella hídrica.

En el 2012, el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) desarrolló el primer estudio de huella hídrica agrícola a nivel nacional. Los resultados de este trabajo, sumados a los del proyecto SuizAgua Colombia, dieron lugar a la Evaluación de la huella hídrica en la cuenca del río Porce (CTA, et al., 2013a), que permitió tener una primera aproximación detallada a la aplicación multisectorial de la huella hídrica a nivel de cuenca hidrográfica.

1.1 El origen del concepto de huella hídrica - HH

La huella hídrica fue concebida inicialmente como una herramienta que permitía estimar el contenido de agua oculta en cualquier bien o servicio consumido por un individuo o grupo de individuos de un área específica (país, ciudad, continente), en analogía con la huella ecológica como concepto que permite analizar el impacto de los hábitos de vida y consumo de la población desde un escenario de recursos naturales finitos (Wackernagel y Rees, 1996). Actualmente, el desarrollo del concepto ha ampliado su rango de aplicación y ha llegado a ser una herramienta complementaria a las convencionales para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) en una cuenca. La huella hídrica se basa en el desarrollo amplio de tres conceptos previos: agua verde, agua azul y agua virtual, los cuales proveen la mayor parte de la base conceptual y metodológica.

1.1.1 Agua verde

El concepto de agua verde significaba originalmente la humedad del suelo; fue presentado por primera vez en 1993 por la profesora Malin Falkenmark (FAO, 2000), con el propósito de dar señales y concientizar respecto al agua disponible para el crecimiento de la biomasa y su participación en la evapotranspiración. Más tarde, 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 en seco 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 los ecosistemas naturales como usuarios visibles del agua, sometidos a una competencia por el recurso hídrico que es cuantificable por este medio.

1.1.2 Agua azul

La definición del agua verde generó, de manera natural, la definición del agua azul, que pasó a representar el flujo horizontal del agua, es decir, el agua de escorrentía,

las fuentes de agua superficial, ríos y lagos, y las fuentes de agua subterránea, acuíferos (FAO, 2000). El agua azul se presenta como un concepto que agrupa en una sola idea todo el recurso hídrico superficial y subterráneo que representa la visión convencional de la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

1.1.3 Agua virtual

El concepto de “agua virtual” fue introducido por el profesor John Anthony Allan a principios de los años noventa (Allan, 1993), y hace referencia al volumen de agua requerida o contaminada 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 dicho producto. El contenido de agua virtual de un producto es equivalente a su huella hídrica en términos cuantitativos. No obstante, aunque el agua virtual solo se refiere al volumen de agua contenido virtualmente en el producto, la huella hídrica ofrece la posibilidad de un análisis multidimensional, que es espacial y temporalmente explícito, orientado a entender la interacción de las actividades antrópicas y la relación del agua con la cuenca.

1.2 Componentes y cuantificación de la huella hídrica

La huella hídrica se relaciona con el uso del agua para un proceso antrópico; una parte del volumen usado no retorna a la cuenca de donde fue extraída o retorna con una calidad diferente a la original. Por lo tanto, la huella hídrica 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. Para profundizar en el componente de cantidad, el agua extraída y no retornada se presenta por uno o varios de los siguientes tres fenómenos:

- Agua que se incorpora a un producto (agua contenida en un jugo embotellado).
- Agua que se evapora en un proceso (agua que se evapora en procesos de enfriamiento).

- Agua que se trasvasa entre cuencas (agua que se lleva de una cuenca a otra para suplir necesidades de embalses).

Para la cuantificación de la huella hídrica, se parte de la identificación y caracterización de los procesos antrópicos que afectan la cantidad de agua verde o de agua azul, lo que da origen a dos huellas hídricas: la huella hídrica azul y la huella hídrica verde. Para la componente que muestra la afectación en términos de calidad del agua, se identifican los procesos antrópicos que devuelven parte del agua usada en forma de vertimiento con una calidad diferente al agua captada antes del proceso, dando origen a una reducción de la disponibilidad por afectación de la calidad del agua, lo que genera una huella hídrica gris.

1.2.1 Huella hídrica verde (HHV)

Hace referencia al agua almacenada en el suelo, y se cuantifica mediante la estimación del agua evapotranspirada por la vegetación asociada a un proceso antrópico (cultivos) que no tiene como origen el agua de riego (agricultura en secano). La huella hídrica verde permite una aproximación numérica a la competencia del sector agropecuario y los ecosistemas naturales a causa de la ampliación de la frontera agropecuaria.

1.2.2 Huella hídrica azul (HHA)

Es cuantificada mediante la estimación del volumen del agua asociada a una extracción o retención de fuente superficial y/o subterránea para satisfacer el requerimiento hídrico de un proceso antrópico y que no retorna a la cuenca de origen. La huella hídrica azul está presente en el sector agrícola como riego, y en todos los otros sectores, como la parte del agua usada que no retorna a la cuenca.

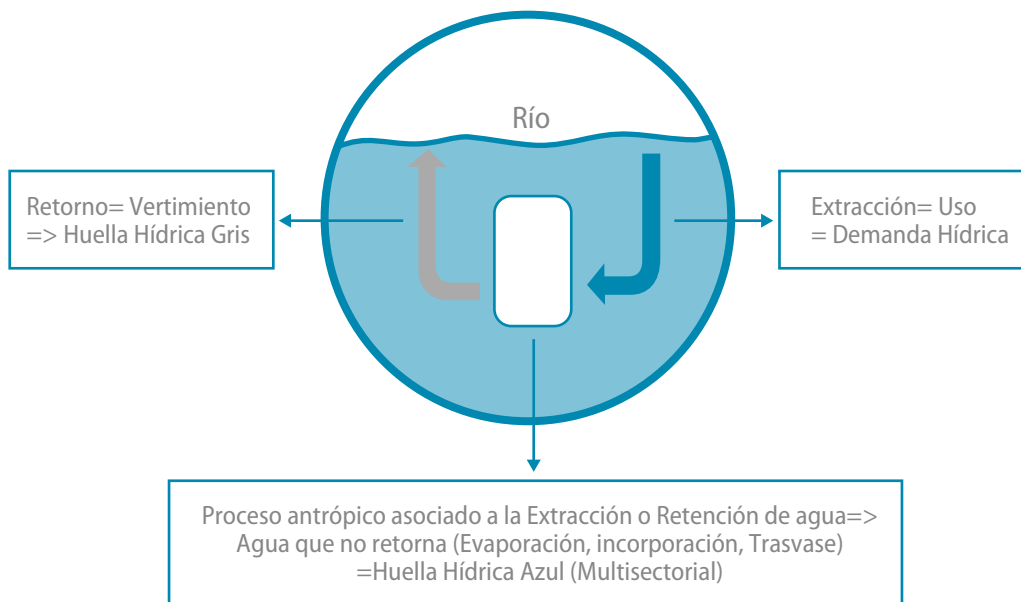
1.2.3 Huella hídrica gris (HHG)

Se define como el volumen teórico de agua dulce necesario para asimilar la carga contaminante vertida a

un cuerpo receptor con base en las normas de calidad ambiental; y se entiende que contiene los valores necesarios para garantizar agua de buena calidad para el ambiente y para las personas. Debido a las importantes limitaciones de la información sobre calidad del agua a nivel nacional, se tomó la decisión de incluir la huella hídrica gris a nivel de concepto, y excluirla en

términos de cálculo y análisis de resultados; de esta forma se posponen la cuantificación y la evaluación a un escenario futuro con mejor información de calidad del agua a nivel nacional. En la **Figura 1**, se observa el esquema general que representa la tanto la huella hídrica azul como la gris, y su diferencia conceptual respecto a la demanda hídrica.

Figura 1. Esquema conceptual de la demanda hídrica frente a la huella hídrica azul y la huella hídrica gris.



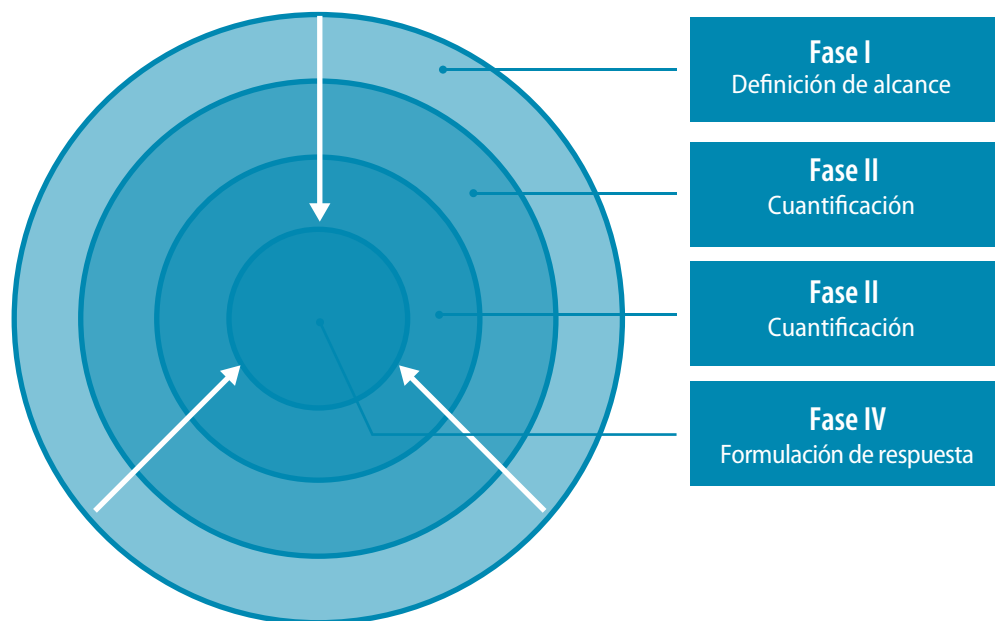
1.3 Evaluación y análisis de huella hídrica

Cuando se realiza una evaluación del indicador de huella hídrica, 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 se presenta como la herramienta analítica de la cuantificación y se compone de cuatro fases (Figura 2).

1.3.1 Definición del alcance

La definición del alcance es la etapa clave para la evaluación del indicador de huella hídrica, ya que es cuando se precisan los objetivos del estudio, los sectores de análisis, la resolución temporal y la escala espacial. Para el caso propio de este estudio, se decidió incluir los sectores económicos agropecuario, industrial, energético y petrolero, y el componente doméstico. Como periodo de análisis se estableció el año 2012, con una variación mensual; y la escala espacial corresponde a las 316 subzonas hidrográficas definidas para el ENA 2014. En esta etapa de definición del alcance también se determinan las fases que se van a incluir en el estudio.

Figura 2. Fases de la evaluación de la huella hídrica.



1.3.2 Cuantificación de la huella hídrica

Esta fase consiste en cuantificar el indicador de huella hídrica multisectorial; el proceso metodológico de cálculo se explica con detalle para cada uno de los sectores de estudio en el numeral 2.

1.3.3 Evaluación de sostenibilidad

La evaluación de sostenibilidad en un estudio de huella hídrica consiste básicamente en determinar si las características hídricas de la unidad de análisis tienen la capacidad de satisfacer los requerimientos de agua para el desarrollo de las actividades propias de cada unidad territorial; por lo tanto, se analiza desde dos componentes: la evaluación de la HHV y la de la HHA.

La huella hídrica verde HHV al interior de una cuenca se define como la suma de las huellas hídricas verdes de todos los procesos agropecuarios que se desarrollan en el interior de dicha cuenca. La evaluación de la huella

hídrica verde total de una cuenca hace referencia al agua verde total disponible en esa cuenca durante un periodo de tiempo determinado; se basa en la evapotranspiración real (ETR) de la cuenca en el periodo de estudio, así como en la evapotranspiración (ET) que debe asignarse a los ecosistemas naturales (áreas protegidas o de conservación) y en la ET de zonas no productivas para el sector agropecuario (por ejemplo, la ET en zonas con pendientes no aptas para producción agrícola). La diferencia entre la evapotranspiración real, la evapotranspiración de los ecosistemas naturales y la de las áreas no productivas para el sector agropecuario da como resultado la disponibilidad de agua verde para las actividades humanas agropecuarias. La evaluación de la huella hídrica verde se obtiene mediante la comparación del agua verde disponible para las actividades productivas, con la huella hídrica verde de estas actividades. El resultado del análisis permite identificar zonas en competencia por agua verde entre el sector agropecuario y los ecosistemas naturales.

Por su parte, la huella hídrica azul en una cuenca se define como la suma de las huellas hídricas azules de los procesos multisectoriales que se desarrollan al interior de esta. La evaluación de la huella hídrica azul se basa en la comparación de la huella hídrica azul con la oferta de agua disponible para cada cuenca en un periodo de tiempo determinado. Es importante hacer los análisis de comparación para la oferta natural y la oferta regulada (embalses y trasvases), debido a que la infraestructura hidráulica altera de manera importante la oferta y la demanda hídrica de una cuenca.

1.3.4 Análisis de flujos de agua virtual

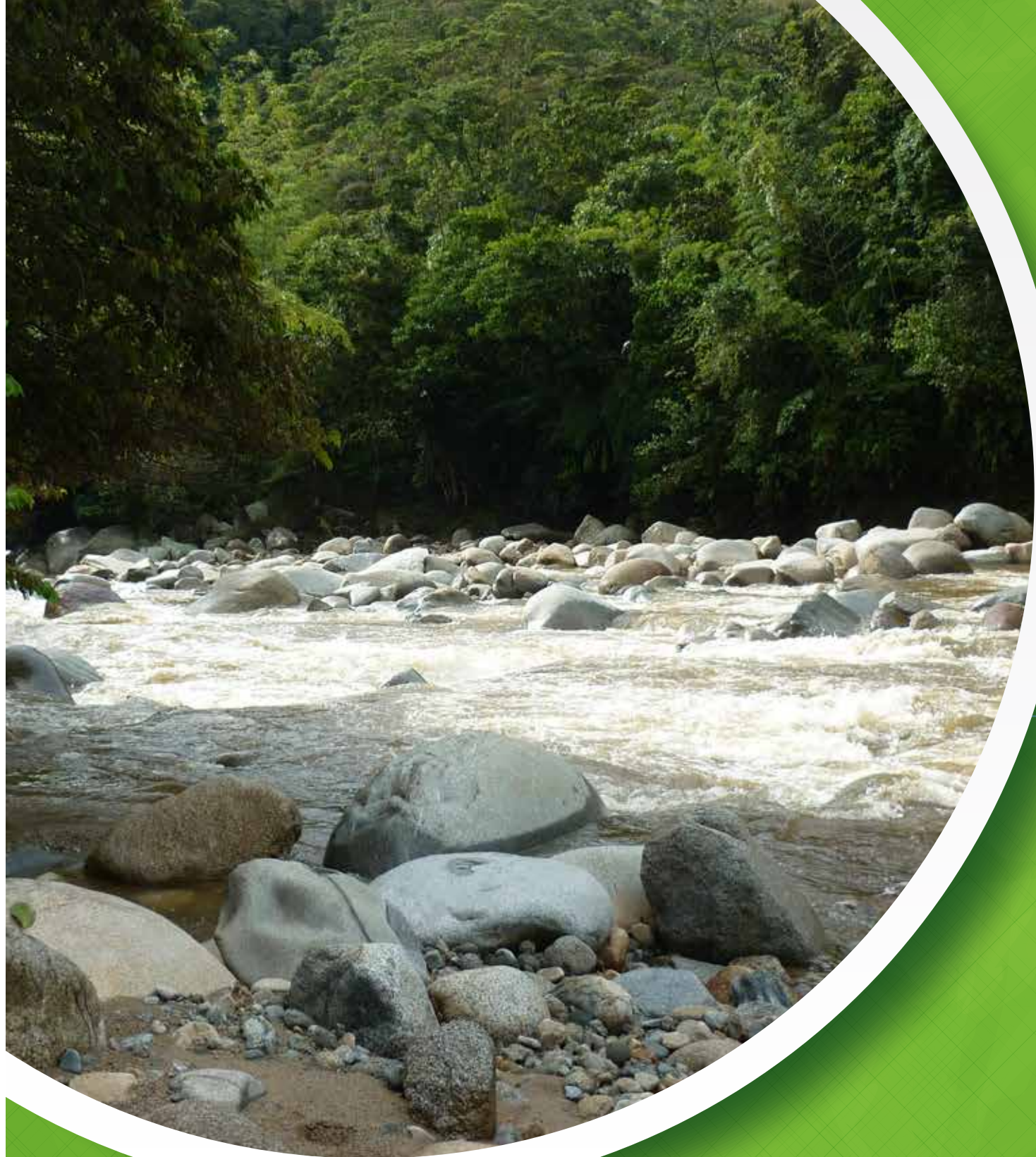
Para el análisis del comportamiento del agua virtual asociado al sector agrícola, se parte por analizar la huella hídrica agrícola con relación a la balanza comercial, y

sus implicaciones frente a la gestión del agua para el año de estudio y para el año horizonte, que es el 2022. Los resultados de este análisis identifican el volumen de agua virtual exportada, como parte de los principales productos agrícolas de exportación; adicionalmente, permiten estimar qué tipo de agua es el agua virtual, si es agua verde o agua azul, entendiendo que cada una de ellas tiene significados diferentes en términos de gestión y sostenibilidad territorial para las cuencas.

En la evaluación de la huella hídrica multisectorial en Colombia no se abarcaron todas las fases; en el alcance quedaron incluidas las dos primeras y parte de la tercera, mediante análisis puntuales que se describen metodológicamente a continuación y que están detallados en el análisis de resultados.







CAPÍTULO 2

MARCO METODOLÓGICO

A continuación, se hace una descripción general de la metodología aplicada para la cuantificación de la huella hídrica de los diferentes sectores.

2.1 Sector agropecuario

El sector agropecuario se presenta como el principal sector usuario de agua en el mundo, y Colombia no es la excepción. Colombia soporta un importante porcentaje de su economía en las actividades agropecuarias; cultivos como el café, las flores, el banano y el cacao, entre otros, son una fuente importante de ingresos y de generación de empleo en la mayoría de los departamentos. Además de la importancia de la actividad en términos económicos y de seguridad alimentaria, también es relevante este sector por su fuerte relación con el recurso hídrico, ya que los requerimientos de agua azul o verde tienen un importante impacto en el territorio.

2.1.1 Fuentes de información

Como fuentes de consulta figuran; el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, la FAO, el IDEAM, el DANE, y gremios como Asocaña, Fedearroz, Fenalce, Fedepalma y Fedecafé, entre otros. La información sobre las áreas de cultivo está por municipio para el año 2012.

2.1.2 Metodología de cálculo, sector agropecuario

El análisis de huella hídrica del sector agrícola y pecuario en Colombia implicó estudiar el requerimiento de agua de los cultivos, producto de su interrelación con las variables climáticas y de los suelos. Para este fin, se organizó y procesó la información tal como se describe a continuación.

Tabla 1. Áreas concertadas para los cultivos permanentes en Colombia, año 2012.

Código SZH/ Nombre SZH	Huella hídrica (Millones de m ³ /año)	Porcentaje (%)
2120 / río Bogotá	61,3	15,9
2701 / río Porce	28,6	7,4
2630 / ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo	17,2	4,5
2319 / río Lebrija y otros directos al Magdalena	11,9	3,1
2502 / Bajo San Jorge La Mojana	10,1	2,6

Tabla 2. Áreas concertadas para los cultivos transitorios en Colombia, semestre A del 2012 y semestre B del 2011.

Cultivo	Área sembrada (ha) Semestre A	Área sembrada (ha) Semestre B	Cultivo	Área sembrada (ha) Semestre A	Área sembrada (ha) Semestre B
Algodón	4.346,7	24.631,3	Papa	71.076,0	76.719,8
Arroz de riego	115.320,0	124.973,0	Sorgo	4.465,2	4.881,9
Arroz seco manual	8.386,8	3.262,3	Soya	4.031,8	18.640,8
Arroz seco mecanizado	143.231,0	32.528,0	Tabaco	5.615,5	2.937,3
Arveja	16.767,9	18.101,4	Tomate	2.903,0	4.120,8
Cebolla de bulbo	6.229,8	7.704,4	Trigo	3.943,3	1.305,2
Cebolla de rama	7.870,6	6.395,3	Yuca	57.731,3	22.637,1
Frijol	27.442,8	39.499,2	Zanahoria	4.572,3	3.569,5
Hortalizas	24.391,4	14.741,5	Otros transitorios	27.969,1	20.504,8
Maíz	176.829,78	191.354,3			

2.1.2.1 Información estadística de cultivos agrícolas para Colombia

La información de cultivos se tomó de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales – EVA (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2013a). Se definieron 21 cultivos permanentes (Tabla 1) y 20 cultivos transitorios (Tabla 2) como los más representativos para Colombia. Los cultivos permanentes se reportaron anualmente, y para las estimaciones se seleccionó el año base del estudio general, el 2012; los cultivos transitorios se reportaron semestralmente y se tomó la información de los semestres 2011B y 2012A, considerando la información que se encontraba disponible para la fecha del estudio.

Los cultivos seleccionados, tanto permanentes como transitorios, representan aproximadamente el 95% de las áreas sembradas para toda Colombia;

los demás cultivos se incluyeron en las categorías “otros permanentes” y “otros transitorios”. Para los cultivos transitorios, a diferencia de los permanentes, las áreas sembradas no se consideraron constantes, ya que estos cultivos son de periodos cortos y, por lo tanto, hay áreas nuevas sembradas durante todo el año. Las estadísticas para estas áreas sembradas están reportadas por semestre. Para su distribución mensual se emplearon los calendarios de siembra y cosecha (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2013c), y los tiempos totales teóricos de cada cultivo entre la siembra y la cosecha (Tabla 7).

2.1.2.2 Información estadística de pastos para ganadería en Colombia

La información de los pastos utilizados para la ganadería en Colombia se obtuvo de la base de datos de áreas de pastos de Colombia (Ministerio de

Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2013b), en donde se consolida el área en pastos para cada municipio en cinco categorías (Tabla 3).

Tabla 3. Áreas concertadas para pastos en Colombia 2012.

Categoría	Área sembrada (ha)
Pastos de corte	1.289.209,3
Forraje	526.620,9
Pastos mejorados	12.092.772,42
Pastos naturales	24.386.146,89
Sistema silvopastoril	576.756,59

Los pastos de corte y forraje se consideran parte del sector agrícola, dado que estos tipos de pastos son cultivados y cosechados con un propósito económico y siguiendo una dinámica muy similar a la de un cultivo, por lo que se estimó que se pueden regar siempre que el clima no sea favorable y la especie vegetal lo demande. Por otra parte, se considera que no existe la posibilidad de suministrar riego a los potreros utilizados para ganadería extensiva en Colombia (pastos mejorados, pastos naturales y sistemas silvopastoriles). Estos tres tipos de pastos y el sacrificio de aves, ganado bovino y porcino hacen parte del sector pecuario y se asumieron como los pastos potenciales que pueden ser usados por la ganadería extensiva (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2014).

2.1.2.3 Información de suelos para Colombia

El análisis de los suelos para el cálculo de la huella hídrica implicó realizar un balance completo de agua para deducir las necesidades de riego. La principal fuente de información para los suelos corresponde

al Mapa de Suelos de Colombia, en escala 1:500.000 (IGAC, 2003).

2.1.2.4 Distribución espacial del área sembrada en cultivos agrícolas para Colombia

La distribución espacial de los cultivos agrícolas se realizó como se detalla a continuación:

i. Del mapa de la zonificación climática para Colombia (IGAC, 2008), se definieron tres rangos de temperatura: C1 (clima cálido; temperaturas mayores de 24° C), C2 (clima templado; temperaturas entre 18 °C y 24 °C) y C3 (clima frío; temperaturas menores de 18 °C). Las áreas con temperaturas por debajo de 1,5 °C no se tomaron en cuenta en la distribución.

ii. Se realizó una recategorización del mapa de coberturas terrestres según Corine Land Cover (IGAC, 2010), de acuerdo con las áreas reportadas en la Tabla 4.

iii. Según los rangos de temperatura definidos, se identificó en qué clima es teóricamente probable que se presente cada cultivo (Tabla 5).

iv. El mapa de la zonificación climática se intersectó con el mapa de la división político-administrativa para Colombia, resultando un mapa con un máximo de tres polígonos de clima por municipio. En este se realizó una distribución porcentual de las áreas sembradas reportadas para cada municipio.

v. El mapa anterior se cruzó con el mapa de las unidades de suelos para Colombia, y se obtuvo un mapa con polígonos correspondientes a categorías de: municipio, clima y suelo; y en cada una de ellas, la distribución más probable de los cultivos agrícolas en el país.

2.1.2.5 Distribución espacial de pastos para ganadería en Colombia

La distribución de las áreas de pastos se realizó tal como se describe para los cultivos agrícolas en Colombia. El

³ El dato general de pasto forrajero presentado tiene una corrección incorporada a la base de datos original para el municipio de San Martín en el departamento del Meta.

mapa base fue el de coberturas terrestres Corine Land Cover (IGAC, 2010), de donde se tomaron las áreas catalogadas como pastos limpios y pastos arbolados (Tabla 4). Finalmente, se hizo una distribución

porcentual de las áreas reportadas en pastos (de corte, forraje, mejorados, naturales y sistemas silvopastoriles) para cada polígono identificado (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2013b).

Tabla 4. Categorías del mapa de coberturas terrestres consideradas para la distribución espacial de los cultivos agrícolas y pastos para la ganadería en Colombia.

Cobertura	Leyenda
Agrícola	2.1.1. Otros cultivos transitorios
	2.1.2. Cereales
	2.1.2.1. Arroz
	2.1.3.1. Algodón
	2.1.4.1. Cebolla
	2.1.5.1. Papa
	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos
	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos
	2.2.2.3. Cacao
	2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos
	2.2.3.2. Palma de aceite
	2.2.5. Cultivos confinados
	2.4.1. Mosaico de cultivos
	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
	2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales
	2.2.2.2. Café
	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos
	2.2.1.3. Plátano y banano
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	
Pecuario	2.3.1. Pastos limpios
	2.3.2. Pastos arbolados

Fuente: elaboración propia con base en IGAC, 2010.

Tabla 5. Categorías del mapa de coberturas terrestres consideradas para la distribución espacial de los cultivos agrícolas y pastos para la ganadería en Colombia.

Cultivo	Código FAO	Clima asociado			Cultivo	Código FAO	Clima asociado		
		C1 (cálido)	C2 (templado)	C3 (frío)			C1 (cálido)	C2 (templado)	C3 (frío)
Aguacate	572	1	1	1	Otros permanentes	9993	1	1	1
Banano	486	1	1	0	Algodón	328	1	0	0
Cacao	661	1	1	0	Arroz riego	2701	1	0	0
Café	656	0	1	1	Arroz seco mecanizado	2702	1	0	0
Caña	156	1	1	0	Arroz seco manual	2703	1	0	0
Caucho	836	1	0	0	Arveja	187	0	1	1
Cítricos	512	1	1	0	Cebolla de bulbo	4021	0	1	1
Coca	9991	1	1	1	Cebolla de rama	4022	0	1	1
Coco	249	1	0	0	Frijol	176	1	1	1
Fique	800	0	1	0	Hortalizas	463	1	1	1
Guayaba	5711	1	1	0	Maíz	56	1	1	1
Mango	5712	1	1	0	Papa	116	0	0	1
Mora	558	0	0	1	Sorgo	83	1	0	0
Naranja	490	1	1	0	Soya	236	1	0	0
Ñame	137	1	0	0	Tabaco rubio	826	1	1	0
Palma de aceite	254	1	0	0	Tomate	388	0	1	1
Piña	574	1	1	0	Trigo	15	1	1	1
Plátano	489	1	1	0	Yuca	125	1	1	0
Tomate de árbol	6031	0	1	1	Zanahoria	426	0	1	1
Flores y follajes campo	99921	1	1	1	Otros transitorios	9994	1	1	1
Flores y follajes invernadero	99922	1	1	1					

Fuente: elaboración propia con base en (Bernal, y otros, 2008), (ANACAFÉ, 2004), (Rojas & Sánchez, 2013), (FEDECAFÉ, s.f.), (Osorio, 2007), (Amórtegui, 2001), (Alarcón & Lara, 2007), (Alfonso & Ramirez, 2008), (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural & Cadena Productiva Nacional del Fique, 2010), (García, 2010), (Rodríguez, Guerrero, & Sandoval, 2002), (Franco & Giraldo, s.f.), (Reina, 2012), (Sáenz, 2006), (Cerrato, 2013), (Palencia, Gómez, & Martín, 2006), (Calvo, 2009), (Augstburguer, Berger, Censkowsky, Heid, & Milz, 2000), (Secretaría de Agricultura y Ganadería, SAG; Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, DIC, 2003), (Villar, s.f.), (Lardizabal, 2007), (Cabrera & Reyes, s.f.), (Cruz, 2013), (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, MAVDT, 2004), (Zeledón, y otros, s.f.), (Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG, 1991), (Pérez, Hurtado, Aparicio, Agueta, & Larín, s.f.), (Zotyen, 2002) y (García, El Cultivo de Zanahoria, s.f.).

2.1.2.6 Información climática para Colombia

Los datos climáticos corresponden a precipitación y evapotranspiración potencial, suministrados por el IDEAM (IDEAM, 2014).

Precipitación y precipitación efectiva

Se considera como precipitación efectiva la fracción de la precipitación que realmente llega a la superficie del suelo, compuesta por las gotas de agua que caen o drenan al suelo desde el follaje y las ramas o que se escurren a través de los troncos (Tobón, 2009). La precipitación efectiva fue estimada con el método del número de curva (CN) del manual SCS, usando un número de curva $CN = 50$ y un $S = 10$ (S = retención potencial máxima, expresada en mm). Para la intensidad de lluvia, "la", se tomó el valor ajustado para Colombia como $la = 0.1 * S$ (Universidad Nacional de Colombia, 1998).

Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial fue obtenida con la ecuación de Penman. El procedimiento de estimación de la ET_p se presenta con detalle en la sección de evapotranspiración en el Estudio Nacional del Agua ENA 2014.

2.1.2.7 Estimación del requerimiento de agua de los cultivos

La estimación del requerimiento hídrico de los cultivos se realizó a través del cálculo de su evapotranspiración, y definiendo mes a mes el agua que el suelo retiene proveniente de la lluvia o del riego y que el cultivo puede extraer en su zona radicular. La evapotranspiración de los cultivos es proporcional a la evapotranspiración del cultivo de referencia, ET_0 (FAO, 2006), ajustada con un factor de cultivo (K_c), factor adimensional que representa la variación de la evapotranspiración de cada cultivo con respecto al cultivo de referencia. Adicionalmente, se ajusta la evapotranspiración de los cultivos con un factor de estrés hídrico, K_s (ver **Ecuación 1**).

Ecuación 1. Evapotranspiración ajustada

$$ETa = Ks * Kc * ETo$$

Donde:

ETa : es la evapotranspiración ajustada del cultivo, en mm.

Ks : coeficiente de estrés hídrico.

Kc : factor de cultivo. Para este estudio se simplificó el modelo considerando un único valor de Kc para cada cultivo.

ETo : evapotranspiración de referencia, en mm.

Para los cultivos transitorios, el Kc se toma como el valor ponderado según la duración de las etapas de los diferentes cultivos (**Tabla 7**); los cultivos permanentes se asumieron en etapa media de crecimiento y se tomó el valor de Kc correspondiente sin ponderar (**Tabla 6**).

Por su parte, el Ks es un factor de reducción de la evapotranspiración del cultivo por déficit de agua en la zona radicular, y está dado por la FAO (FAO, 2006) según la **Ecuación 2** y la **Ecuación 3**:

Ecuación 2. Coeficiente de estrés hídrico

$$K_{_s} = 1 \quad Si \quad Dr \leq AFA$$

Ecuación 3. Coeficiente de estrés hídrico

$$K_{_s} = \frac{(ADT - Dr)}{((1 - p) * ADT)} \quad Si \quad Dr > AFA$$

Donde:

ADT : agua disponible total; representa la cantidad de agua que el suelo puede retener en contra de las fuerzas de gravedad y que un cultivo puede extraer de su zona radicular (**Ecuación 4**).

Dr : representa el agotamiento de la humedad del suelo y p es la fracción de agotamiento, característica de cada cultivo (**Tabla 6** y **Tabla 7**).



Ecuación 4. Agua disponible total

$$ADT = Z_r \cdot H_u$$

Ecuación 5. Agua fácilmente aprovechable

$$AFA = p \cdot ADT$$

Donde:

H_u: es la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo, expresada en milímetros de agua por metro de profundidad del suelo.

Z_r: profundidad de las raíces (m) (ver **Tabla 6** y **Tabla 7**).

Según estas consideraciones, en el momento en que el agotamiento (*Dr*) es igual al AFA comienza el estrés hídrico. Cuando el agotamiento supera el AFA, se reduce la evapotranspiración en función de la cantidad de agua remanente en la zona radicular (*ADT-Dr*).

Tabla 6. Características de cultivos permanentes.

Cultivo permanente	Z _r (m)	p (%)	K _c	Cultivo permanente	Z _r (m)	p (%)	K _c
Aguacate	1,0	0,7	0,9	Mango	1,5	0,5	1,1
Banano	0,9	0,4	1,2	Mora	1,2	0,5	1,1
Cacao	1,0	0,3	1,0	Naranja	1,5	0,5	0,9
Café	1,5	0,4	1,0	Ñame	0,8	0,4	1,1
Caucho	1,5	0,4	1,0	Palma de aceite	1,1	0,7	1,0
Cítricos	1,5	0,5	0,9	Plátano	0,9	0,4	1,2
Coca	4,0	0,5	0,5	Piña	0,6	0,5	0,8
Coco	0,8	0,4	1,0	Tomate de árbol	1,5	0,4	1,1
Fique	0,5	0,4	0,7	Otros permanentes	1,4	0,5	1,0
Guayaba	1,0	0,6	0,9	Flores y follajes	1,0	0,5	0,5

Fuente: elaboración propia a partir de FAO, 2006; IDEAM, 2010.

Tabla 7. Características de cultivos transitorios y del cultivo de caña.

Cultivo	Kc i*	Kc m*	Kc f*	t _i (días)	t _d (días)	t _m (días)	t _f (días)	t total (días)	Z _r (m)	P (%)	Kc p
Caña	0,4	1,3	0,8	30,0	50,0	180,0	60,0	320,0	2,0	0,7	1,1
Algodón	0,4	1,2	0,6	30,0	60,0	60,0	60,0	210,0	1,5	0,7	0,9
Arveja	0,4	1,2	0,4	20,0	30,0	35,0	15,0	100,0	0,9	0,4	0,8
Cebolla de bulbo	0,7	1,1	1,0	25,0	30,0	10,0	5,0	70,0	0,6	0,3	0,9
Cebolla de rama	1,0	1,0	0,3	30,0	55,0	55,0	40,0	180,0	0,6	0,3	0,9
Fríjol	0,4	1,2	0,4	20,0	30,0	30,0	10,0	90,0	0,7	0,5	0,8
Hortalizas	0,7	1,1	1,0	30,0	30,0	30,0	30,0	120,0	0,9	0,4	0,9
Maíz	0,3	1,2	0,5	30,0	50,0	60,0	40,0	180,0	1,7	0,6	0,9
Papa	0,5	1,2	0,8	25,0	30,0	45,0	30,0	130,0	0,6	0,4	0,9
Sorgo	0,3	1,0	0,6	20,0	35,0	40,0	30,0	125,0	2,0	0,6	0,7
Soya	0,4	1,2	0,5	15,0	15,0	40,0	15,0	85,0	1,3	0,5	0,9
Tabaco rubio	0,5	1,2	0,8	20,0	30,0	30,0	30,0	110,0	0,8	0,4	0,9
Tomate	0,6	1,2	0,8	30,0	40,0	40,0	25,0	135,0	1,5	0,4	0,9
Trigo	0,3	1,2	0,3	15,0	30,0	65,0	40,0	150,0	1,5	0,6	0,9
Yuca	0,3	1,1	0,5	20,0	40,0	90,0	60,0	210,0	0,8	0,4	0,9
Zanahoria	0,7	1,1	1,0	30,0	40,0	60,0	20,0	150,0	1,0	0,4	0,9
Otros transitorios	0,6	1,1	0,6	25,0	34,0	53,0	31,0	143,0	1,1	0,4	0,9
Arroz	1,1	1,2	0,6	30,0	30,0	80,0	40,0	180,0	1,0	0,2	1,1

*i: inicial, m: medio, *f: final

Fuente: elaboración propia a partir de FAO, 2006; IDEAM, 2010.

Balace de agua en el suelo

El balance de agua en el suelo se emplea para determinar los requerimientos de riego del cultivo. El agotamiento (Dr) es la medida de la disminución del agua previamente disponible en la zona radicular del suelo y la variable principal del balance. El riego (I_p , por sus siglas en inglés) y la precipitación (P) agregan agua a la zona radicular, restando agotamiento. La evapotranspiración del cultivo, por otro lado, aumenta el agotamiento al restar humedad del suelo.

Parte de la P (precipitación) puede perderse por escurrimiento superficial (RO , por sus siglas en inglés) y por percolación profunda (DP , por sus siglas en inglés), la cual eventualmente recargará la capa

freática. El agua también puede ser transportada hacia la superficie mediante capilaridad (CR) desde la capa freática subsuperficial hacia la zona de raíces o ser incluso transferida horizontalmente por flujo subsuperficial hacia dentro ($FSin$) o hacia fuera ($FSout$) de la zona radicular (ΔFS). Sin embargo, en este modelo de balance simplificado se consideraron despreciables los valores de $FSin$, $FSout$ y de CR , y se consideran las pérdidas por exceso de precipitación como la suma de DP y RO .

El agotamiento al final del periodo i (Dr_i) depende de la condición de humedad inicial ($Dr_{(i-1)}$), de la precipitación ocurrida en el periodo i (P_i), del riego efectivo aplicado en el periodo i (I_p) y de la evapotranspiración ocurrida en el periodo i (ETA_i).

Ecuación 6. Agotamiento del agua disponible

$$Dr_i = Dr_{(i-1)} - P_i - I_i - CR_i + ETa_i + (DP_i + RO_i)$$

Donde: $0 \leq Dr_i \leq ADT$

El primer paso en la estimación del Dr_i consiste en definir la condición inicial de humedad en la zona radicular y el respectivo agotamiento ($Dr_{(i-1)}$) como condición de contorno para empezar la simulación en el modelo de balance. Se asumió como condición de contorno que el suelo se encuentra en capacidad de campo en el mes de octubre de 2011 ($Dr_{(09,2011)}=0$), considerando esto como altamente probable para Colombia por sus patrones climáticos y de precipitación. Por esta razón se inició el balance en octubre de 2011, para poder llegar a un contenido de humedad distribuido y no uniforme a principios del mes de enero de 2012.

Estimación del riego efectivo (I_i) y de las pérdidas ($DP_i + RO_i$)

Una vez definido el agotamiento inicial, se calcula el K_s del mes y luego se calcula la evapotranspiración ajustada (ETa). Al sumar P_i y restar ETa al contenido de humedad preexistente en el suelo ($ADT - Dr_{(i-1)}$), puede presentarse el caso de que se exceda la capacidad de campo generando pérdidas ($DP_i + RO_i$), o puede ocurrir que la humedad del suelo resultante esté por encima del umbral de estrés ($ADT - AFA$); en ambos casos, no hay necesidad de riego; y las pérdidas se pueden definir como se muestra en la **Ecuación 7**.

Ecuación 7. Pérdidas de agua

$$(DP_i + RO_i) = P_i - ETa + (ADT - Dr_{(i-1)}) - ADT$$

$$(DP_i + RO_i) = P_i - ETa - Dr_{(i-1)}$$

Para determinar el momento de riego y la cantidad de riego requerido, se asumió que:

- Los cultivos no sufren estrés; por lo tanto, el tiempo de riego estaría dado por un agotamiento igual al umbral de estrés ($ADT - AFA$) para evitar una reducción mayor de la humedad en el suelo.
- La cantidad de riego aplicada es la necesaria para alcanzar la capacidad de campo, o lo que es igual, para llevar el nivel de agotamiento a cero sin generar pérdidas.
- Para evitar el estrés hídrico, y considerando que en un balance mensual se pierde el detalle diario, se asume como altamente probable que la humedad del suelo en promedio al final del mes se mantiene en: $ADT - AFA/2$

Con las suposiciones antes descritas, se estima el riego según la **Ecuación 8**.

Ecuación 8. Riego

$$I_i + P_i - ETa + (ADT - Dr_{(i-1)}) = \frac{ADT - AFA}{2}$$

$$I_i = -P_i + ETa - (ADT - Dr_{(i-1)}) + \frac{ADT - AFA}{2}$$

$$I_i = Dr_{(i-1)} - P_i + ETa - \frac{AFA}{2}$$

La **Ecuación 8** responde únicamente a las suposiciones antes descritas, y a cultivos para los que se conoce que se hace riego o se asume que se riegan cuando no existe información que lo confirme. Una vez definidas las pérdidas ($DP_i + RO_i$) y el riego I_i , se estima el agotamiento al final del mes (Dr_i) según la **Ecuación 6**, y se inicia el balance para el mes siguiente considerando como condición inicial el agotamiento del mes anterior ($Dr_{(i-1)}$).

Finalmente, se busca diferenciar la parte de la evapotranspiración que se suple con el riego, relacionada con el agua azul (**Ver Capítulo 1**) y definida como la ETa_{azul} (**Ecuación 9**); y la parte que

se suple con agua de lluvia, que está relacionada con el agua verde (**Ver Capítulo 1**) y definida como la ETa_{verde} (**Ecuación 10**).

Ecuación 9. Evapotranspiración azul

$$ETa_{azul} = \text{mínimo}(I_i; ETa)$$

Ecuación 10. Evapotranspiración verde

$$ETa_{verde} = ETa - ETa_{azul}$$

2.1.2.8 Estimación de la huella hídrica del sector agropecuario

Los resultados de evapotranspiración se hallaron por mes, para cada cultivo posible contenido en los polígonos en que se distribuyeron los cultivos agrícolas y los pastos del país. Se asumió que: (1) las áreas sembradas de los cultivos permanentes no presentan variaciones en el año; (2) las áreas sembradas de los cultivos transitorios tienen una variación mensual definida según los calendarios de siembra y cosecha; (3) en el caso de los pastos, los únicos que generan huella hídrica azul son los de corte y forraje, estos valores fueron considerados en el sector agrícola; (4) en el sector pecuario, la huella hídrica azul corresponde a la actividad del sacrificio de aves, ganado bovino y ganado porcino, la cual fue calculada utilizando la metodología propuesta para el sector industrial; y (5) los pastos considerados en el sector pecuario (naturales, manejados y silvopastoriles) solo generan huella hídrica verde.

Estimación de la huella hídrica azul

Está asociada a la parte de la extracción de agua que se destina a satisfacer el requerimiento de agua de los cultivos y que no retorna a la cuenca porque es evapotranspirada por el cultivo. La huella hídrica azul se calculó según la **Ecuación 11** y con base en la evapotranspiración azul.

Ecuación 11. Huella hídrica azul sector agropecuario

$$HH_{azul} = 10 * ETa_{azul} * AS$$

Donde:

HHazul: huella hídrica azul (m³/unidad de tiempo).

ETa azul: corresponde a la evapotranspiración azul ajustada (mm).

AS: área sembrada (ha). El "10" representa el factor de conversión que permite incorporar la evapotranspiración en mm y el área sembrada en ha para obtener la huella hídrica azul en m³.

Estimación de la huella hídrica verde

La huella hídrica verde se refiere a la evapotranspiración del agua verde debida a los cultivos. Su cálculo se realizó según la **Ecuación 12**, para todo el sector agrícola y pecuario del país.

Ecuación 11. Huella hídrica azul sector agropecuario

$$HH_{azul} = 10 * ETa_{azul} * AS$$

Donde:

HHazul: huella hídrica azul (m³/unidad de tiempo).

ETa azul: corresponde a la evapotranspiración azul ajustada (mm).

AS: área sembrada (ha). El "10" representa el factor de conversión que permite incorporar la evapotranspiración en mm y el área sembrada en ha para obtener la huella hídrica azul en m³.

Huella hídrica por subzona hidrográfica

Finalmente, al contar con la huella hídrica calculada por polígono, se procedió a hallar la huella hídrica por subzona hidrográfica (SZH). Para esto se realizó un cruce entre las áreas agrícolas y pecuarias del país con las 316 SZH (IDEAM, 2014), identificando qué porcentaje de huella hídrica debía ser asignado a cada SZH de acuerdo con el porcentaje de área agrícola o pecuaria en cada una de ellas. Se obtuvieron entonces resultados de huella hídrica azul y verde en millones de metros cúbicos mensuales por SZH para el sector agropecuario del país.

2.2 Componente doméstico

El cálculo del indicador de HHA para el componente doméstico parte de entender las actividades cotidianas en las cuales la población utiliza agua, y cuanta de esta retorna a las fuentes hídricas de donde previamente fue extraída. Actividades como el aseo personal, la preparación de alimentos y el lavado de ropa, entre otras, son las que se consideran para el cálculo del indicador de HHA; se toma como base la información reportada ante las respectivas entidades de control o de acuerdo a criterios técnicos de diseño de los sistemas de acueducto y saneamiento.

2.2.1 Fuentes de información

La información utilizada para estimar la HHA del componente doméstico fue proporcionada principalmente por tres fuentes: el DANE (DANE, 2005), la Superintendencia de Servicios Públicos (2014) y los criterios técnicos definidos en el Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 (Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico 2000). La información reportada por estas fuentes fue dada para el año 2012, a escala anual y a nivel de municipio.

2.2.2 Metodología de cálculo, componente doméstico

Se adoptó como base conceptual y metodológica para el cálculo del indicador de HHA. El cálculo de la HHA se realizó a nivel municipal a partir de la **Ecuación 13**:

Ecuación 13. Huella hídrica azul por dotación

$$HHAd = P \times D \times FNR \times 0,365$$

Donde:

HHAd: huella hídrica azul municipal componente doméstico (m³/año).

P: población del municipio (habitantes).

D: dotación de agua por habitante correspondiente al municipio de análisis (L/hab-día).

FNR: factor de no retorno; porcentaje de agua que no retorna a la cuenca (es adimensional).

Es importante aclarar que el cálculo de HHA se realizó a escala municipal; para llevar los resultados a las 316 SZH definidas por el IDEAM para el ENA 2014, se cuantificó la distribución (área) de los municipios, incluida su cabecera, en cada SZH para distribuir proporcionalmente el valor de la HHA de acuerdo al área de ocupación del respectivo municipio en cada SZH. Adicional al valor de HHA estimado por medio de la dotación de la población, también se consideró la HHA de los embalses con uso doméstico; la metodología para cálculo de la HHA de embalses se describe en numerales siguientes. Por lo tanto, la HHA por SZH se calculó de la siguiente manera (**ver Ecuación 14**):

Ecuación 14. Huella hídrica azul industrial

$$HHAi = VolAE - VolAS$$

Donde:

HHAdszh: huella hídrica azul del componente doméstico distribuido por subzona hidrográfica (m³/año).

HHAdszh: huella hídrica azul distribuida por subzona hidrográfica correspondiente a las dotaciones (m³/año).

HHAdeszsh: huella hídrica azul distribuida por subzona hidrográfica correspondiente a los embalses de uso doméstico (m³/año).

2.3 Sector industrial

Aunque Colombia está lejos de ser un país que soporta su desarrollo económico en el sector industrial, existen algunos núcleos ubicados en las principales ciudades de Colombia en donde el sector industrial es un actor relevante para la economía en la generación de empleo y en los impactos ambientales que genera. Por tal motivo, se incorporó este sector en la evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia.

2.3.1 Fuentes de información

Para efectos de este estudio se utilizó la información del Registro Único Ambiental, RUA (IDEAM, 2012). Este

cuenta con aproximadamente 1674 registros para los cuales se reporta el volumen de agua utilizada por el establecimiento, el volumen total de agua vertida (m³/año), la ubicación (departamento, ciudad y coordenada geográfica), la producción y el código CIU (revisión 4) al que pertenece la empresa.

2.3.2 Metodología de cálculo, sector industrial

Para el cálculo de la HHA se determinó el volumen de agua que ingresa a un proceso productivo, que queda

contenido en el producto o que se evapora en su elaboración. Este indicador se estimó partiendo de los datos del volumen de agua que ingresa a la empresa y el volumen de agua vertido a los sistemas de saneamiento. Se asume que la diferencia en el volumen de agua de lo que entra y sale del proceso productivo corresponde al agua contenida en el producto y/o evaporada. En la **Ecuación 15** se presenta el modelo de cálculo:

Además, se realizó una revisión y verificación de los resultados, ya que, de acuerdo a la información



reportada en determinados casos, la HHA era negativa; o porque al comparar con otras fuentes de información se identificó que los datos no eran correctos, entre otros casos. Por lo tanto, se realizaron las siguientes acciones para validar y corregir la información:

- Asumir que la HHA es de un 10% del volumen captado cuando no se tuvieron datos de vertimiento o cuando el vertimiento era igual al volumen de agua utilizado.
- Asumir que la HHA es un 10% del volumen vertido cuando no se tuvieron datos del volumen de agua utilizado.
- Comparar los datos con otras fuentes de información o estudios específicos de las empresas.
- Ajustar los indicadores de HHA (m³/kg producido) con otros estudios.
- Calcular el indicador de HHA (m³/kg producido) para establecimientos con la misma actividad económica, para implementarlo en empresas sin información de volumen utilizado y vertido, pero con registros de producción.

Ecuación 15. Huella hídrica azul industrial

$$HHAi = VolAE - VolAS$$

Donde:

HHAi: huella hídrica azul por establecimiento (m³/año).

VolAE: volumen total de agua utilizada por establecimiento (m³/año).

VolAS: volumen total de agua residual generada por establecimiento (m³/año).

2.4 Sector energético

Uno de los sectores económicos más importantes de Colombia corresponde a la generación de energía tanto hidráulica como térmica, ambas con un uso importante del recurso hídrico. El uso de agua que hace este sector requiere la implementación de indicadores como el de huella hídrica, para así definir a futuro medidas que permitan no solo la generación de energía, sino también el desarrollo de otras actividades que requieren agua, tales como el consumo doméstico y los distritos de riego.

2.4.1 Fuentes de información

Para el cálculo de la HHA del sector energético, se consultaron diferentes fuentes de información: entidades como la Unidad de Planeación Minero Energética UPME (Ministerio de Minas y Energía de Colombia – Unidad de Planeación Minero Energética, 2012a), consultas directas a las empresas operadoras de los embalses e información climatológica del IDEAM (Rosero, 2014).

2.4.2 Metodología de cálculo para embalses

La ecuación general para estimar la HHA en un embalse se observa en la **Ecuación 16**:

Para estimar la evaporación mensual por embalse, se tuvieron en cuenta alternativas como consulta en el IDEAM de las estaciones de medición con tanques evaporímetros, acceso a bases de datos como el HidroSIG (Universidad Nacional de Colombia, 2014) y cálculo de la evaporación con las ecuaciones de Penman, Turc y Thornthwaite.

Para determinar el área inundada de los embalses, se definieron tres estrategias de acuerdo a la información consultada y/o suministrada por las empresas administradoras y/o propietarias de los embalses:

- Estimación del área a partir de la curva volumen-cota-área.

Ecuación 16. Huella hídrica azul embalses

$$HHA_e = \frac{(E \times AIE)}{(1000 \text{ (factor conversión de unidades)})}$$

Donde:

HHA_e: huella hídrica azul mensual por embalse (m3).

E: evaporación mensual en el embalse (mm).

AIE: área inundada mensual del embalse (m2).

- Estimación del área a partir de la curva volumen–cota.
- Consulta del área de inundación en fuentes secundarias.

Se identificó que no todos los embalses tienen como propósito la generación de energía; algunos de ellos tienen como uso el abastecimiento doméstico, para los sistemas de riego o para usos múltiples. Por tal motivo, a las empresas se les consultó el uso de los embalses y los respectivos porcentajes que corresponden a cada uno, con el fin de distribuir la HH en sus respectivos sectores. Los resultados de HHA se obtuvieron por embalse, pero fueron llevados a SZH.

2.4.3 Metodología de cálculo para las termoeléctricas

El primer paso para estimar la HHA de las centrales térmicas en Colombia fue identificar el tipo de combustible utilizado, ya que este incide en el consumo de agua. El segundo paso era determinar el consumo de agua en el proceso de generación. Para el caso específico de este estudio, se utilizaron los indicadores definidos en el estudio publicado por la River Network Report (Wilson et al., 2012). El modelo de cálculo utilizado fue el siguiente (ver **Ecuación 17**, **Ecuación 18** y **Ecuación 19**):

Los resultados de la HHA se realizaron por central termoeléctrica, pero fueron llevados a SZH.

Ecuación 17. Huella hídrica azul termoeléctricas

$$HH_{\text{Atermoeléctricas}} = HHA_{\text{carbón}} + HHA_{\text{gas}}$$

Ecuación 18. Huella hídrica azul termoeléctricas de carbón

$$HHA_{\text{carbón}} = \sum (\text{Indicador}_{\text{carbón}} \times \text{generación de energía})$$

Ecuación 19. Huella hídrica azul termoeléctricas de gas

$$HHA_{\text{gas}} = \sum (\text{Indicador}_{\text{gas}} \times \text{generación de energía})$$

Donde:

HH_{Atermoeléctricas}: huella hídrica azul mensual de las termoeléctricas (m3).

HH_{Acarbón}: huella hídrica azul mensual de las centrales térmicas de carbón (m3).

Indicador_{carbón}: m3 de agua consumidos por GWh (gigavatios por hora) de energía generada a partir del carbón.

generación de energía: generación mensual de energía de las termoeléctricas que utilizan carbón o gas (GWh).

HHA_{gas}: huella hídrica azul mensual de las centrales térmicas gas (m3).

Indicador_{gas}: m3 de agua consumidos por GWh de energía generada a partir del gas.

2.4.4 Metodología de cálculo consolidado

Posterior al cálculo por subzona hidrográfica de la HHA de los embalses y de las centrales termoeléctricas, se cuantificó el consolidado de HHA para el sector energético, el cual se realizó con la **Ecuación 20**:

2.5 Sector petrolero

Colombia es un país privilegiado en cuanto a sus recursos mineros; carbón, petróleo, oro y ferroníquel son algunos de los principales minerales que se extraen. Esta actividad se considera como una de las



principales promotoras del crecimiento económico del país, pero a la vez también es necesario analizar su relación con el uso y consumo de agua. Por tal motivo, se decidió estimar la huella hídrica azul para el petróleo, ya que para este mineral en particular se consolidó información base para realizar los cálculos, los cuales se explican a continuación.

2.5.1 Fuentes de información y escala espacio-temporal

La información para la estimación de la HHA del petróleo se obtuvo de fuentes como la Asociación

Ecuación 20. Huella hídrica azul sector energía

$$HHA_{(consolidado_szh)} = HHA_{(embalse_szh)} + HHA_{(termoelectricas_szh)}$$

Donde:

$HHA_{(consolidado_szh)}$: huella hídrica azul mensual consolidada por SZH (m3).

$HHA_{(embalse_szh)}$: huella hídrica azul mensual de embalses por SZH (m3).

$HHA_{(termoelectricas_szh)}$: huella hídrica azul mensual de las termoeléctricas por SZH (m3).



indicadores de consumo uso y disposición de agua por el sector de hidrocarburos (2012); en dicho estudio se especifican los usos y vertimientos para las diferentes etapas en el proceso de extracción del petróleo.

La distribución espacial de la huella hídrica para el petróleo se realizó articulando la información del Informe Estadístico Petrolero y la información espacial de la Agencia Nacional de Hidrocarburos. En total, se lograron distribuir por SZH los datos de huella hídrica para 156 campos, los cuales representan el 64,7% de la huella hídrica de los 392 campos identificados inicialmente.

Ecuación 21. Huella hídrica azul, extracción petróleo

$$HH_{\text{petróleo}} = \sum (\text{Indicador}_{\text{petróleo}} \times \text{Producción}_{(\text{campo petrolero})})$$

Donde:

$HH_{\text{petróleo}}$: huella hídrica azul de la extracción de petróleo (m3/mes).

$\text{Producción}_{(\text{campo petrolero})}$: producción mensual por campo petrolero (m3).

$\text{Indicador}_{\text{petróleo}}$: m3 de agua consumidos por barril de petróleo.

Colombiana del Petróleo (ACP, 2012) y la Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH (2014).

2.5.2 Metodología de cálculo, sector petrolero

La base conceptual y metodológica para el cálculo de la HHA tuvo como soporte la sistemática desarrollada por Hoekstra et al., (2011). De acuerdo a las características de la información de producción de petróleo, el modelo de cálculo fue el siguiente **(ver Ecuación 21)**:

Para obtener el indicador de HHA, se tomaron como base los datos reportados por la ACP en el Informe de



CAPÍTULO 3

CUANTIFICACIÓN MULTISECTORIAL DE LA HUELLA HÍDRICA EN COLOMBIA

3.1 Resultados de la huella hídrica del sector agropecuario

Se obtuvieron resultados de huella hídrica azul y verde para el sector agropecuario del país. Se presentan los resultados por cultivo y por SZH. Para el sector pecuario se asocia la huella hídrica azul solamente a la actividad de sacrificio de aves, ganado bovino y ganado porcino, debido a que los pastos de riego (corte y forraje) fueron tomados como cultivo, por lo cual su huella hídrica se asoció al sector agrícola. La HHV del sector pecuario se presenta por tipo de pasto y por SZH.

3.1.1 Huella hídrica azul del sector agrícola por cultivo

La HHA del sector agrícola se halló para cultivos permanentes, cultivos transitorios y para pastos (**ver Tabla 8**).

La huella hídrica azul de los cultivos permanentes corresponde a 3.918,4 millones de m³/año; el mayor valor se presentó para el cultivo de palma de aceite, seguido del plátano y la caña de azúcar. Por su parte, el cultivo de café no reportó HHA, debido a que se considera que este cultivo no se riega en Colombia. El

Tabla 8 . Huella hídrica azul anual del sector agrícola.

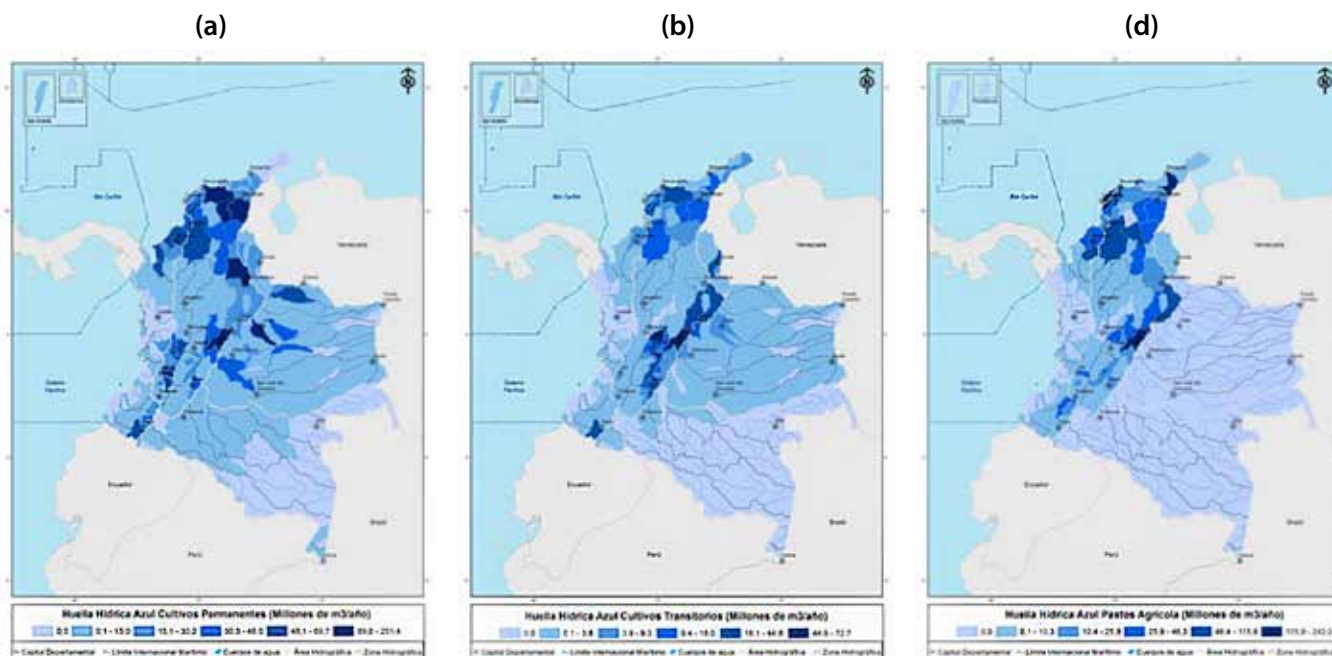
Cultivo Permanente	HHA (Millones de m ³)	Cultivo Transitorio	HHA (Millones de m ³)
Coca	0,01	Soya	0,6
Fique	11,2	Trigo	1,8
Piña	14,2	Tomate	3,2
Mora	15,6	Sorgo	4,8
Guayaba	16,3	Tabaco rubio	5,1
Flores y follajes de campo	21,9	Cebolla de bulbo	6,3
Aguacate	28,3	Zanahoria	6,6
Coco	29,2	Cebolla de rama	8,1
Tomate de árbol	32,9	Frijol	10,0
Naranja	33,3	Arveja	10,3
Flores y follajes de invernadero	34,1	Algodón	13,3
Cítricos	62,5	Hortalizas	27,9
Caucho	63,5	Otros transitorios	42,7
Cacao	119,4	Yuca	47,2
Mango	133,4	Maíz	103,2
Otros permanentes	163,3	Papa	111,7
Ñame	212,0	Arroz de riego	444,5
Banano	238,2	Total transitorios	847,1
Caña	774,9	Cultivo de pastos	HHA (Millones de m³)
Plátano	938,3	Pastos de forraje	432,1
Palma de aceite	975,7	Pastos de corte	1.744,8
Total permanentes	3.918,4	Total pastos	2.176,9

mapa de distribución de la HHA total de los cultivos permanentes por SZH se observa en la **Figura 3**.

Para los cultivos transitorios, la HHA anual es de 847,1 millones de m³; el mayor valor lo presentó el arroz de riego, seguido de la papa y el maíz. Por su parte, el cultivo con menor HHA es la soya. Estos valores de HHA

indican un requerimiento adicional de agua de riego para estos cultivos, caso contrario de lo que ocurre con el arroz seco manual y mecanizado, el cual no utiliza riego. Para los pastos de riego, el cultivo que mayor HHA presentó son los pastos de corte; en total, los pastos de corte y forraje presentaron una HHA de 2.176,9 millones de m³/año (**ver Figura 3**).

Figura 3. Distribución espacial de la HHA anual de los cultivos permanentes (a), transitorios (b) y pastos (c) en Colombia.



3.1.2 Huella hídrica azul del sector agrícola por unidades hidrográficas

La HHA agrícola por AH se muestra en **Figura 4**. Su distribución espacial anual se observa en la **Figura 5** y su distribución mensual en la **Figura 6**. Desde la **Tabla 9** hasta la **Tabla 13** se reportan los principales resultados por área hidrográfica.

Figura 4. Huella hídrica azul por área hidrográfica para el sector agrícola en Colombia..

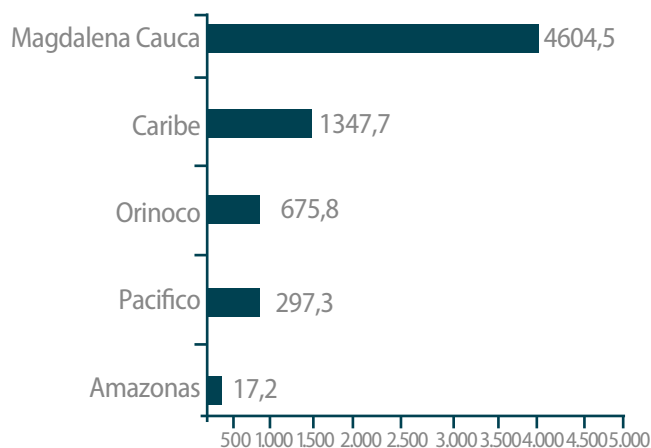


Tabla 9 . Principales resultados de huella hídrica azul agrícola en el AH Caribe.

SZH	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH (%)	Porcentaje nacional (%)	Principal aporte de HH azul	Temporada de mayor HHA
1206/Arroyos directos al Caribe	276,8	20,5	4,0	Pastos de corte y forraje (242,0 millones de m ³ /año)	Enero, febrero y marzo
1506/Río Ranchería	230,7	17,1	3,3	Pastos de corte y forraje (189,7 millones de m ³ /año)	Enero, febrero y marzo
1204/Río Canalete y otros arroyos directos al Caribe	120,1	8,9	1,7	Cultivos permanentes (88,8 millones de m ³ /año)	Enero, febrero y marzo
1303/Bajo Sinú	107,1	7,9	1,5	Cultivos permanentes (70,3 millones de m ³ /año)	Enero, febrero y marzo
1302/Medio Sinú	100,6	7,5	1,4	Pastos de corte y forraje (77,72 millones de m ³ /año)	Enero, febrero y marzo

Tabla 10 . Principales resultados de huella hídrica azul agrícola en el AH Magdalena - Cauca.

SZH	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH (%)	Porcentaje nacional (%)	Principal aporte de HH azul	Temporada de mayor HHA
2120/Río Bogotá	351,3	7,6	5,1	Pastos de corte y forraje (145,9 millones de m ³ /año)	Enero, julio y agosto
				Cultivos permanentes (134,9 millones de m ³ /año)	Enero, julio y agosto
2906/Ciénaga Grande de Santa Marta	293,8	6,4	4,2	Cultivos permanentes (251,4 millones de m ³ /año)	Enero, febrero y marzo
2903/Canal del Dique margen derecho	234,6	5,1	3,4	Pastos de corte y forraje (189,0 millones de m ³ /año)	Enero, febrero y marzo
2502/Bajo San Jorge - La Mojana	195,4	4,2	2,8	Pastos de corte y forraje (115,8 millones de m ³ /año)	Enero, febrero y marzo
2607/Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)	187,9	4,1	2,7	Cultivos permanentes (147,7 millones de m ³ /año)	Junio, julio y agosto
2802/Medio Cesar	178,2	3,9	2,6	Cultivos permanentes (123,7 millones de m ³ /año)	Enero, febrero y marzo
2804/Río Ariguani	163,7	3,6	2,4	Cultivos permanentes (112,4 millones de m ³ /año)	Enero, febrero y marzo
2319/Río Lebrija y otros directos al Magdalena	140,4	3,0	2,0	Cultivos permanentes (118,7 millones de m ³ /año)	Enero y febrero

Tabla 11. Principales resultados de huella hídrica azul agrícola en el AH Orinoco.

SZH	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH (%)	Porcentaje nacional (%)	Principal aporte de HH azul	Temporada de mayor HHA
3519/Río Cusiana	120,7	17,9	1,7	Cultivos permanentes (116,1 millones de m ³ /año)	Enero, febrero y marzo
3603/río Cravo Norte	58,48	8,7	0,8	Cultivos permanentes (57,7 millones de m ³ /año)	Enero, febrero y marzo
3522/Caño Guanápalo y otros directos al Meta	51,5	7,6	0,7	Cultivos permanentes (47,99 millones de m ³ /año)	Enero, febrero y marzo
3303/Río Muco	46,68	6,9	0,7	Cultivos permanentes (46,5 millones de m ³ /año)	Enero, febrero y marzo

NOTA: solo se tuvieron en cuenta los cultivos permanentes y transitorios; fue excluido el cálculo de la HHA de los pastos, debido a que según la práctica agrícola implantada en esta región del país, los pastos de cultivo son considerados cultivos transitorios que no son sometidos a riego.

Tabla 12. Principales resultados de huella hídrica azul agrícola en el AH Amazonas.

SZH	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH	Porcentaje nacional	Principal aporte de HH azul	Temporada de mayor HHA
4501/Alto Yarí	3,0	17,5	0,04	Cultivos permanentes (3,0 millones de m ³ /año)	Diciembre, enero y febrero
4602/Río Guayas	2,4	14,2	0,04	Cultivos permanentes (2,4 millones de m ³ /año)	Enero y febrero

NOTA: solo se tuvieron en cuenta los cultivos permanentes y transitorios; fue excluido el cálculo de la HHA de los pastos, debido a que según la práctica agrícola implantada en esta región del país, los pastos de cultivo son considerados cultivos transitorios que no son sometidos a riego.

Tabla 13. Principales resultados de huella hídrica azul agrícola en el AH Pacífico.

SZH	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH	Porcentaje nacional	Principal aporte de HH azul	Temporada de mayor HHA
5205/Río Guáitara	90,3	30,4	1,3	Cultivos permanentes (60,1 millones de m ³ /año)	Julio y agosto
5201/Río Patía Alto	45,6	15,4	0,7	Pastos de corte y forraje (30,8 millones de m ³ /año)	Julio, agosto y septiembre
5202/Río Guachicono	41,0	13,8	0,6	Pastos de corte y forraje (22,9 millones de m ³ /año)	Julio, agosto y septiembre
5203/Río Mayo	38,7	13,0	0,6	Cultivos permanentes (33,2 millones de m ³ /año)	Julio, agosto y septiembre

3.1.3 Huella hídrica azul del sector pecuario

La HHA del sacrificio de aves, ganado bovino y porcino asociado en el país es de 33,3 millones de m³/año. El sacrificio de ganado bovino es el que mayor HHA genera, con 20,5 millones de m³/año,

que corresponden al 62% del total nacional para esta actividad. Luego está el sacrificio de ganado porcino, que genera 8,2 millones de m³/año, mientras que el sacrificio de aves aporta con 4,6 millones de m³/año a este sector. En la **Figura 7** se observa la distribución espacial por SZH.

Tabla 14. Huella hídrica azul del sector pecuario asociada al sacrificio de aves, ganado bovino y ganado porcino por área hidrográfica.

Área hidrográfica	Huella hídrica azul (Millones de m ³ /año)	Porcentaje respecto a la HHA nacional pecuaria (%)
Caribe	2,5	7,5
Magdalena – Cauca	26,0	78,1
Orinoco	3,9	11,7
Amazonas	0,5	1,5
Pacífico	0,4	1,2
Total	33,3	

Figura 5. Distribución espacial de la huella hídrica azul anual para el sector agrícola en Colombia.

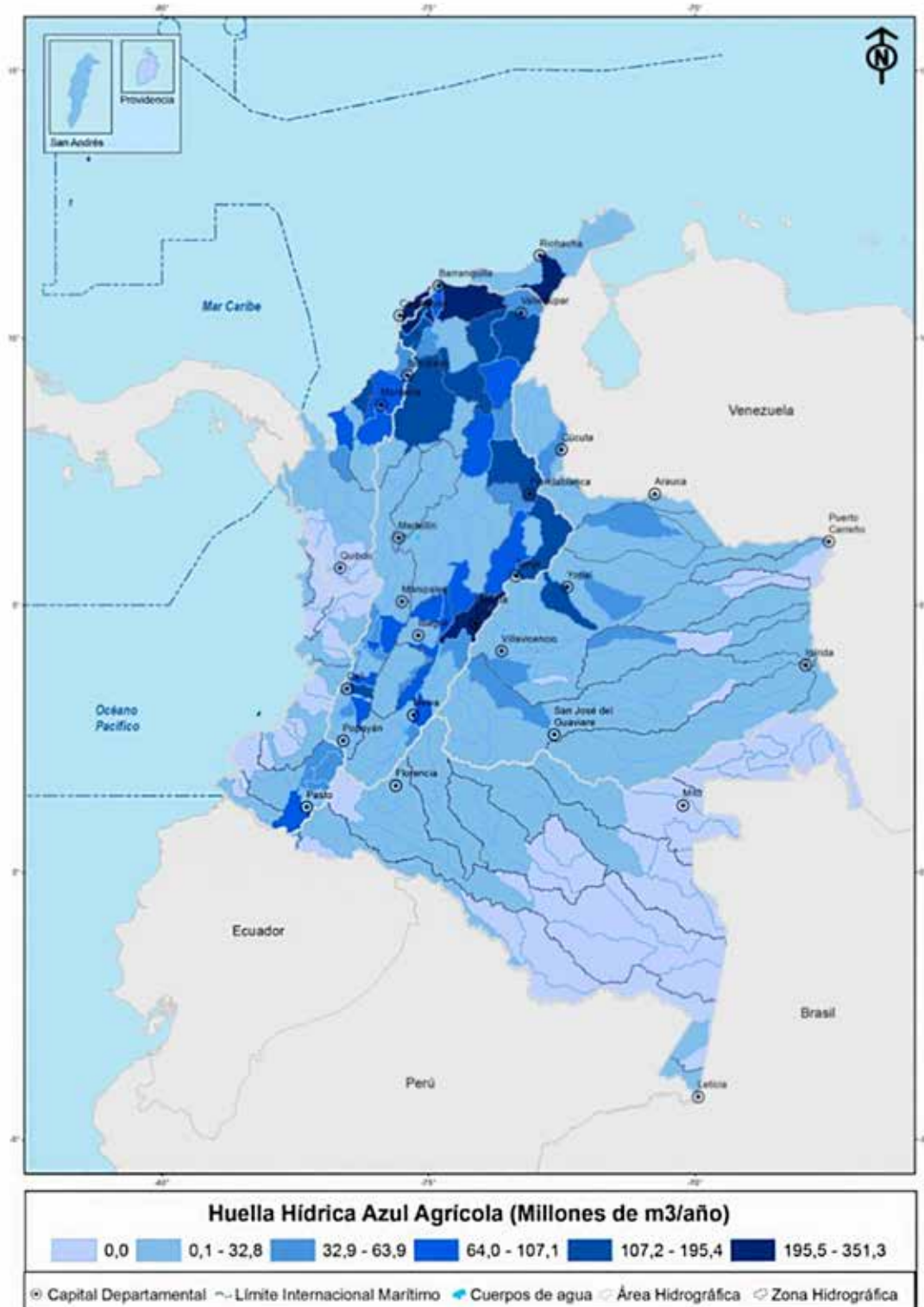


Tabla 15. Principales resultados de huella hídrica azul pecuaria por subzona hidrográfica.

SZH	AH	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH (%)	Porcentaje nacional (%)	Principal aporte de HH azul
2120/Río Bogotá	Magdalena Cauca	3,9	14,9	11,6	Ganado Bovino (2,6 millones de m ³ /año)
2701/Río Porce	Magdalena Cauca	3,6	13,7	10,7	Ganado Bovino (1,9 millones de m ³ /año)
					Ganado Porcino (1,4 millones de m ³ /año)
2319/Río Lebrija y otros directos al Magdalena	Magdalena Cauca	2,3	8,8	6,9	Ganado Bovino (1,1 millones de m ³ /año)
219/Río Sumapaz	Magdalena Cauca	1,7	6,5	5,1	Ganado Bovino (1,1 millones de m ³ /año)
3502/Río Guayuriba	Orinoco	1,5	36,4	4,4	Ganado Bovino (1,0 millones de m ³ /año)
2612/Río La Vieja	Magdalena Cauca	0,8	3,3	2,5	Ganado Bovino (0,41 millones de m ³ /año)

3.1.4 Huella hídrica verde del sector agrícola por cultivo

La HHV anual agrícola se estimó para los cultivos permanentes, transitorios y los pastos de riego. Es de aclarar que, al igual que para la HHA agrícola (**ver Tabla 16**), para el cálculo de la huella verde de los pastos no se consideraron las áreas hidrográficas Orinoco y Amazonas.

El mayor valor de HHV para los cultivos permanentes lo presenta el café (11.822,3 millones de m³/año), seguido por el cultivo de caña, palma de aceite y plátano. Este

requerimiento hídrico es suplido directamente por el agua almacenada en el suelo proveniente de la precipitación, por lo cual no hay extracción humana del recurso de una fuente superficial o subterránea. En cuanto a los cultivos transitorios, el de mayor HHV es el maíz, seguido del arroz de riego y el secano mecanizado. Por su parte, las menores HHV las presentan la zanahoria, el tomate y el trigo. Para los pastos contenidos en el sector agrícola, la HHV anual es de 10.826,0 millones de m³, los cuales son asociados a los pastos de corte y forraje que se encuentran en las áreas hidrográficas Magdalena-Cauca, Caribe y Pacífico (**ver Figura 8**).

Figura 7. Distribución espacial de la huella hídrica azul anual del sector pecuario en Colombia.

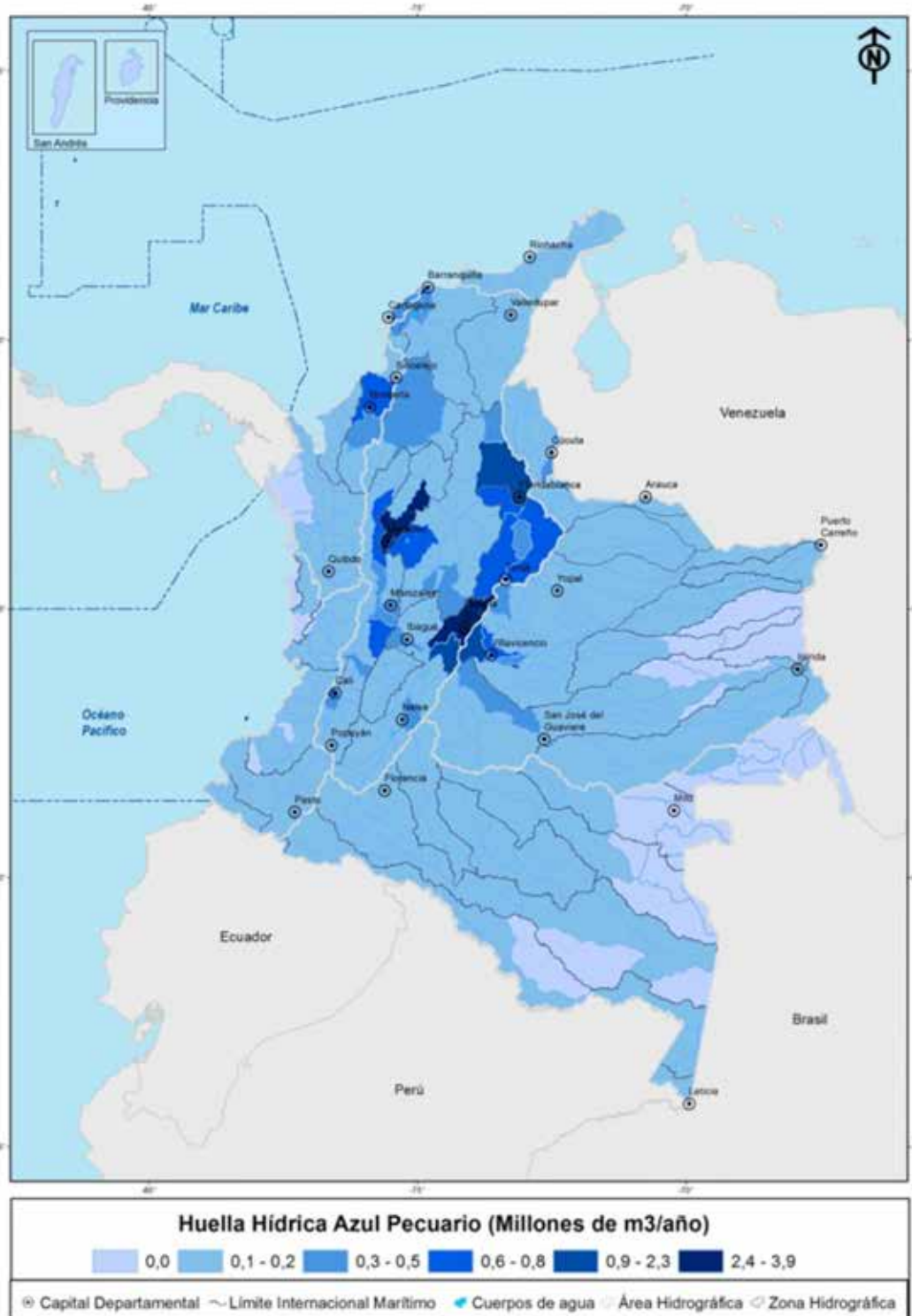
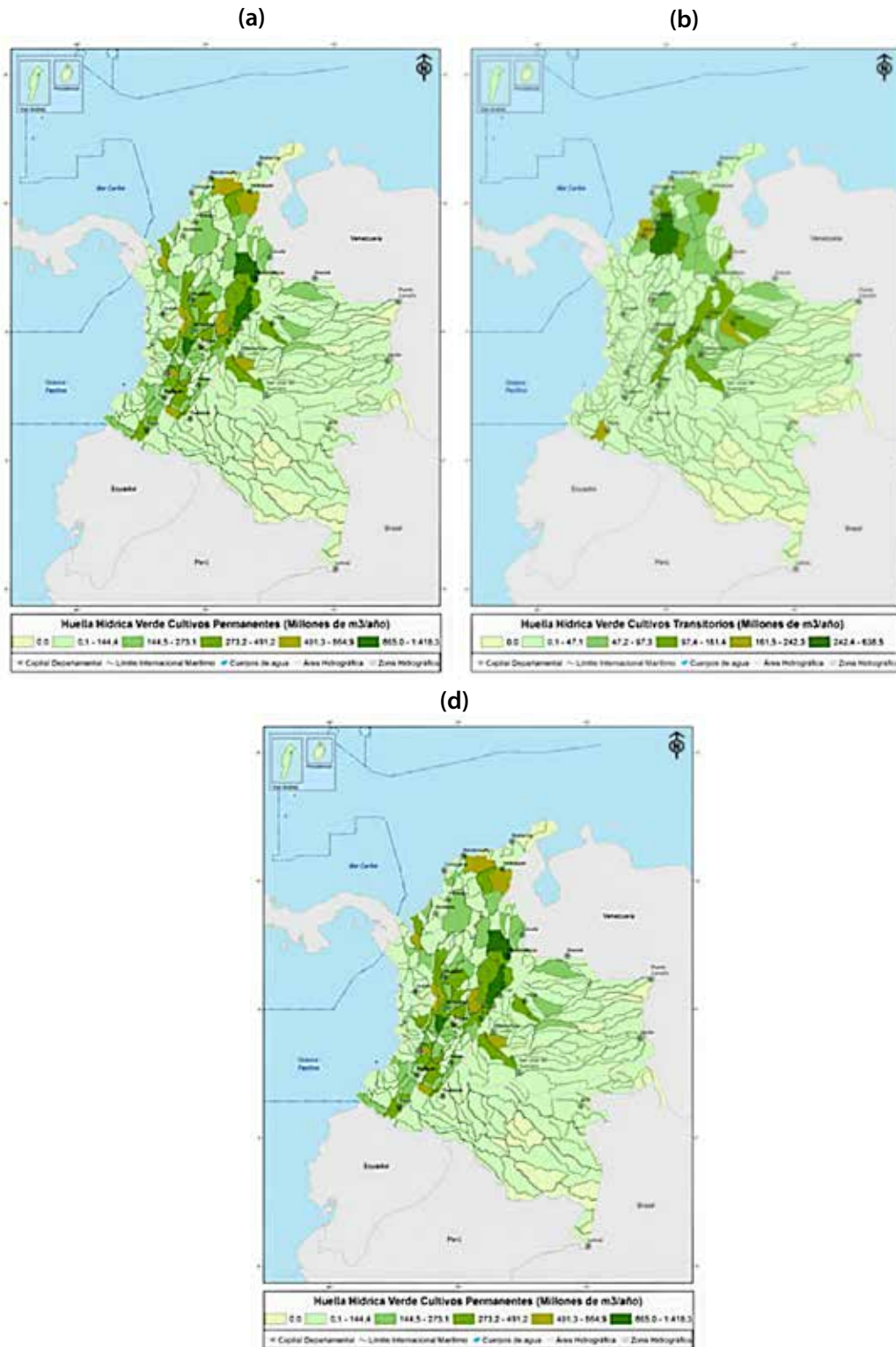


Tabla 16. Huella hídrica verde anual del sector agrícola.

Cultivo permanente	HHV (Millones de m ³)	Cultivo Transitorio	HHV (Millones de m ³)
Flores y follajes campo	39,2	Trigo	20,4
Mora	85,8	Tomate	29,7
Tomate de árbol	140,4	Zanahoria	30,2
Guayaba	171,7	Cebolla de bulbo	31,1
Fique	172,2	Tabaco rubio	32,5
Piña	202,7	Sorgo	41,0
Mango	280,6	Cebolla de rama	66,3
Coco	307,1	Soya	74,4
Coca	362,4	Arroz seco manual	96,9
Naranja	400,3	Arveja	102,1
Aguacate	417,0	Hortalizas	140,3
Ñame	444,0	Algodón	145,5
Caucho	641,0	Frijol	178,8
Cítricos	711,1	Otros transitorios	223,7
Banano	933,2	Papa	515,3
Otros permanentes	1.167,0	Yuca	556,2
Cacao	1.261,0	Arroz seco mecanizado	1.410,2
Plátano	5.381,5	Arroz de riego	1.427,9
Palma de aceite	5.928,9	Maíz	2.078,9
Caña	6.018,3	Total transitorios	7.201,2
Café	11.822,3	Pastos	HHV (Millones de m³)
Total permanentes	36.887,8	Pastos de riego (corte y forraje)	10.826,0
		Total pastos	10.826,0

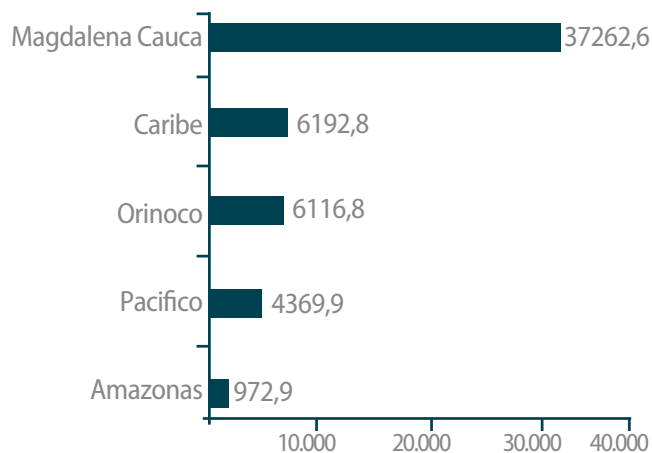
Figura 8. Distribución espacial de la HHV anual de los cultivos permanentes (a), transitorios (b) y pastos (c) en Colombia.



3.1.5 Huella hídrica verde del sector agrícola por unidades hidrográficas

La huella hídrica verde para el sector agrícola en Colombia es de 54.915,0 millones de m³/año. Las HHV por SZH se observan desde la **Tabla 17** hasta la **Tabla 21**, y su distribución espacial anual en la **Figura 10**; la distribución mensual se muestra en la **Figura 11**.

Figura 9. Huella hídrica verde por área hidrográfica para el sector agrícola en Colombia.



SZH	HHV (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH (%)	Porcentaje nacional (%)	Principal aporte de HH azul	Temporada de mayor HHV
1201/Río León	646,8	10,4	1,2	Cultivos permanentes (607,7 millones de m ³ /año)	Julio, agosto y septiembre
1206/Arroyos directos al Caribe	582,5	9,4	1,1	Pastos de corte y forraje (497,6 millones de m ³ /año)	Mayo, junio, julio y agosto
1202/Río Mulatos y otros directos al Caribe	465,6	7,5	0,8	Cultivos permanentes (382,5 millones de m ³ /año)	Julio, agosto, septiembre y octubre
1303/Bajo Sinú	460,7	7,4	0,8	Cultivos transitorios (242,3 millones de m ³ /año)	Septiembre y octubre
1302/Medio Sinú	456,2	7,4	0,8	Pastos de corte y forraje (310,0 millones de m ³ /año)	Julio y agosto
1602/Río Zulia	375,1	6,1	0,7	Cultivos permanentes (215,6 millones de m ³ /año)	Abril, mayo, septiembre y octubre
1204/Río Canalete y otros arroyos directos al Caribe	311,0	5,0	0,6	Cultivos permanentes (196,3 millones de m ³ /año)	Julio y agosto
1603/Río Nuevo Presidente - Tres Bocas (Sardinata, Tibú)	292,0	4,7	0,5	Cultivos permanentes (258,6 millones de m ³ /año)	Mayo y agosto

Tabla 17. Principales resultados de huella hídrica verde agrícola en el AH Caribe.

Tabla 18. Principales resultados de huella hídrica verde agrícola en el AH Caribe.

SZH	HHV (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH (%)	Porcentaje nacional (%)	Principal aporte de HH azul	Temporada de mayor HHV
2319/Río Lebrija y otros directos al Magdalena	1.641,8	4,4	3,0	Cultivos permanentes (1.418,3 millones de m ³ /año)	Mayo y agosto
2401/Río Suárez	1.549,8	4,2	2,8	Cultivos permanentes (978,0 millones de m ³ /año)	Mayo, julio, agosto y septiembre
2612/Río La Vieja	1.290,9	3,5	2,4	Cultivos permanentes (1.194,0 millones de m ³ /año)	Marzo, abril y octubre
2502/Bajo San Jorge - La Mojana	1.166,3	3,1	2,1	Cultivos transitorios (638,5 millones de m ³ /año)	Agosto y septiembre
2306/Río Negro	1.133,8	3,0	2,1	Cultivos permanentes (840,0 millones de m ³ /año)	Marzo, abril y mayo
2125/Río Lagunilla y otros directos al Magdalena	925,6	2,5	1,7	Cultivos permanentes (429,0 millones de m ³ /año)	Marzo, agosto y septiembre
				Pastos de corte y forraje (335,5 millones de m ³ /año)	Abril, mayo, septiembre y octubre
2607/Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)	827,1	2,2	1,5	Cultivos permanentes (625,1 millones de m ³ /año)	Enero, abril y octubre
2120/Río Bogotá	801,5	2,2	1,5	Cultivos permanentes (342,5 millones de m ³ /año)	Abril, mayo y octubre
				Pastos de corte y forraje (302,9 millones de m ³ /año)	Abril, mayo y octubre
2802/Medio Cesar	738,3	2,0	1,3	Cultivos permanentes (527,7 millones de m ³ /año)	Mayo, agosto y septiembre
2906/Ciénaga Grande de Santa Marta	734,0	2,0	1,3	Cultivos permanentes (620,7 millones de m ³ /año)	Mayo y agosto
2314/Río Opón	693,2	1,9	1,3	Cultivos permanentes (464,3 millones de m ³ /año)	Marzo y agosto
2617/Río Frío y otros directos al Cauca	667,6	1,8	1,2	Cultivos permanentes (650,0 millones de m ³ /año)	Marzo, julio y agosto

Tabla 19. Principales resultados de huella hídrica verde agrícola en el AH Orinoco.

SZH	HHV (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH (%)	Porcentaje nacional (%)	Principal aporte de HH azul	Temporada de mayor HHV
3501/Río Metica (Guamal - Humadea)	926,1	15,1	1,7	Cultivos permanentes (864,9 millones de m ³ /año)	Marzo, octubre y diciembre
3519/Río Cusiana	718,0	11,7	1,3	Cultivos permanentes (491,2 millones de m ³ /año)	Abril y octubre
3206/Río Ariari	545,5	8,9	1,0	Cultivos permanentes (420,4 millones de m ³ /año)	Marzo y octubre
3522/Caño Guanápalo y otros directos al Meta	315,8	5,2	0,6	Cultivos permanentes (178,8 millones de m ³ /año)	Abril y de agosto a diciembre
3603/río Cravo Norte	293,0	4,8	0,5	Cultivos transitorios (140,0 millones de m ³ /año)	Julio y agosto
				Cultivos permanentes (233,6 millones de m ³ /año)	Abril y agosto

Tabla 20. Principales resultados de huella hídrica verde agrícola en el AH Amazonas.

SZH	HHV (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH (%)	Porcentaje nacional (%)	Principal aporte de HH azul	Temporada de mayor HHV
3501/4701/Alto Río Putumayo	138,0	14,2	0,3	Cultivos permanentes (121,6 millones de m ³ /año)	Enero y de agosto a diciembre
4403/Río Orteguaza	107,4	11,0	0,2	Cultivos permanentes (98,1 millones de m ³ /año)	Marzo, septiembre y octubre
4404/Río Pescado	95,1	9,8	0,2	Cultivos permanentes (90,6 millones de m ³ /año)	Marzo y octubre



Tabla 21. Principales resultados de huella hídrica verde agrícola en el AH Pacífico.

SZH	HHV (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH (%)	Porcentaje nacional (%)	Principal aporte de HH azul	Temporada de mayor HHV
5205/Río Guáitara	574,7	13%	1%	Cultivos permanentes (341,1 millones de m ³ /año)	Marzo y abril
5202/Río Guachicono	420,8	10%	1%	Cultivos permanentes (260,3 millones de m ³ /año)	Marzo y abril
5201/Río Patía Alto	406,0	9%	1%	Cultivos permanentes (232,7 millones de m ³ /año)	Marzo y octubre
5403/Río Sipí	364,7	8%	1%	Cultivos permanentes (336,6 millones de m ³ /año)	Abril, mayo y octubre
5203/Río Mayo	322,7	7%	1%	Cultivos permanentes (293,5 millones de m ³ /año)	Marzo, abril y mayo

Figura 10. Distribución espacial de la huella hídrica verde anual para el sector agrícola en Colombia.

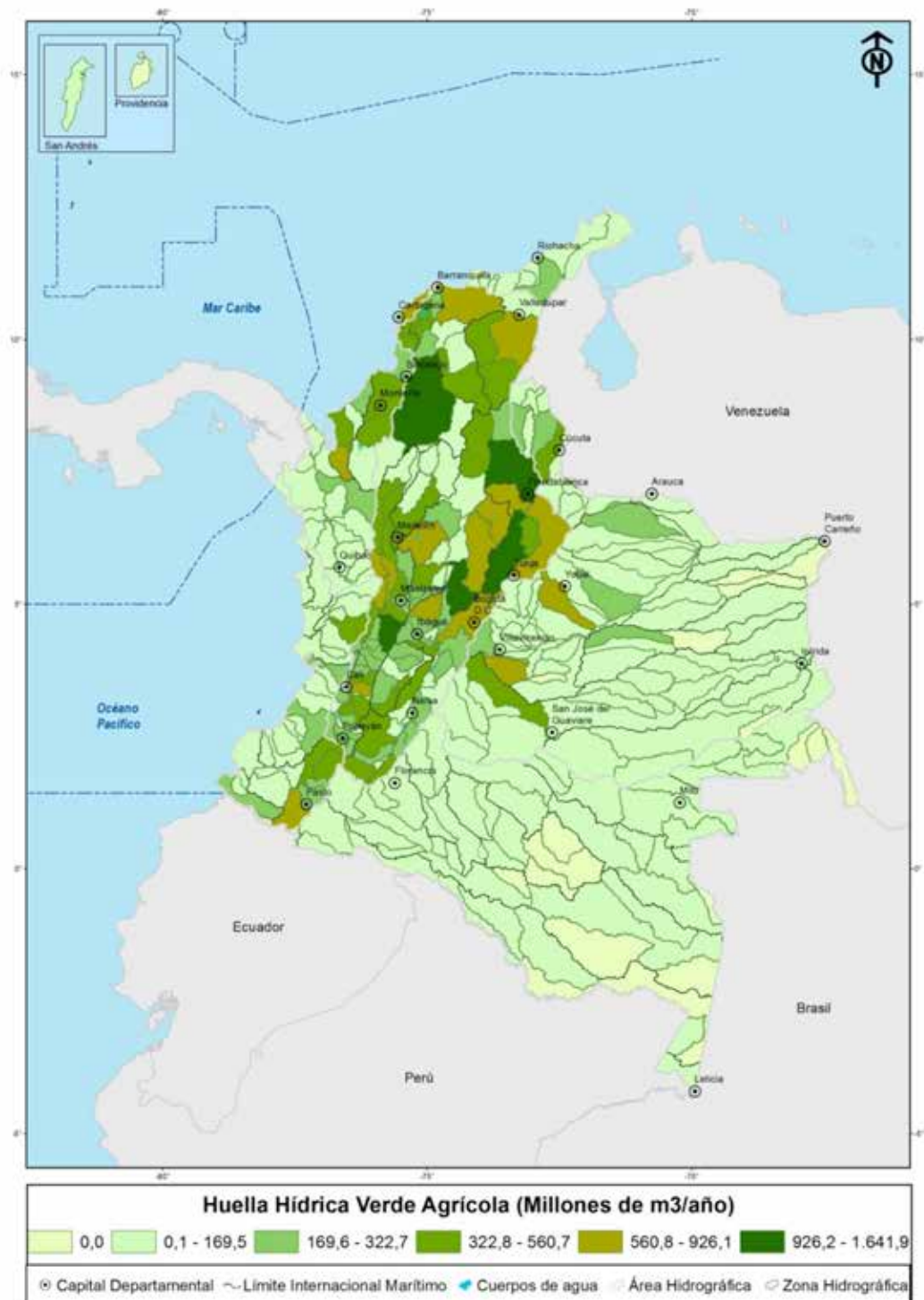
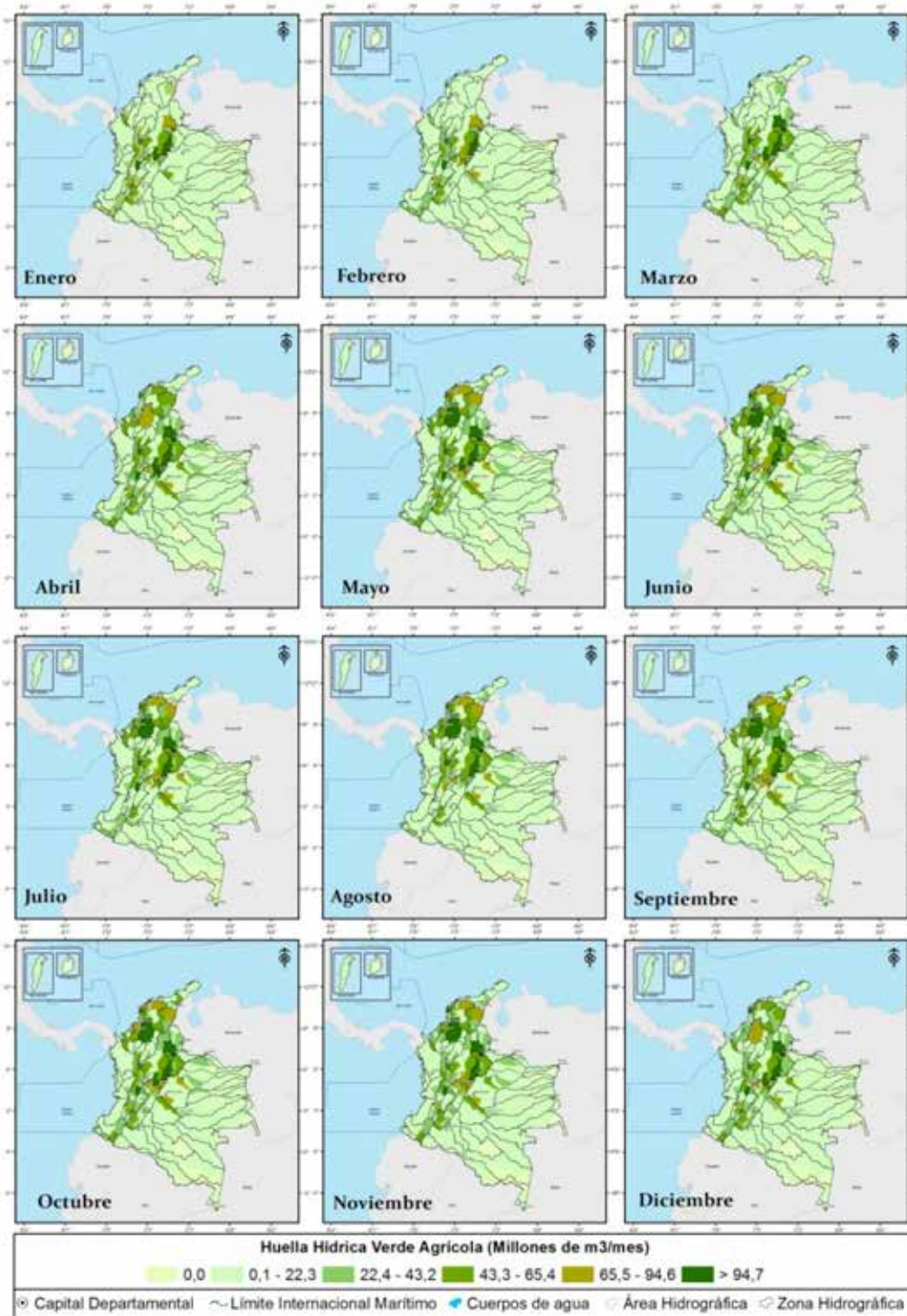


Figura 11. Distribución espacial de la huella hídrica verde mensual para el sector agrícola en Colombia.



3.1.6 Huella hídrica verde del sector pecuario

Para la cuantificación de la huella hídrica de los pastos asociados a ganadería extensiva se tomaron como base tres supuestos:

- De las cinco categorías de pastos reportados a nivel municipal por el Ministerio de Agricultura se toman tres categorías que quedan asociadas a la ganadería extensiva, pastos naturales, pastos mejorados y pastos en sistema silvopastoril. Lo anterior permite estimar que los pastos potenciales que pueden ser usados por la ganadería son 37.055.676 hectáreas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2014).
- Las dos categorías restantes, pastos de corte y pastos forrajeros, quedaron incluidas en el sector agrícola, dado que estos tipos de pastos son cultivados y cosechados con un propósito económico y siguiendo una dinámica muy similar a la de un cultivo agrícola. La sumatoria de los pastos de corte y forrajeros se estimó en 1.815.830 hectáreas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2014).
- Los pastos agrícolas (paso de corte y pasto forrajero) recibieron el tratamiento metodológico de un cultivo, por lo que se estimó que se pueden regar siempre que el clima no sea favorable y la especie vegetal lo demande. Para los pastos ganaderos: pastos naturales,



pastos mejorados y pastos en sistema silvopastoril, se considera que no existe la posibilidad de suministrar riego a los potreros, siendo esta la práctica cultural más arraigada en el territorio nacional, y una de las principales causas del empobrecimiento del suelo en estas zona y de la generación de grandes extensiones de territorios con potreros de bajo rendimiento con muy baja densidad ganadera.

Con estas premisas como parte de la conceptualización de la huella hídrica, se concluye que la ganadería extensiva no utiliza riego, por tanto, solo genera huella hídrica verde; y que la huella hídrica solamente se genera por apropiación humana de agua; y en este caso, la apropiación se da de manera indirecta, vía alimentación del ganado que consume pasto por

un fin económico asociado a la producción de leche o carne. Bajo este esquema, la huella hídrica verde pecuaria se calcula obteniendo la relación entre la disponibilidad potencial de pastos y el inventario ganadero municipal, que para 2012 fue de 24.340.148 cabezas de ganado vacuno (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2014).

En el inventario ganadero, sobresalen con respecto al valor total nacional los departamentos del Meta (7%), Casanare (8%), Antioquia (11%), Arauca (4%), Caquetá (6%), Santander (7%) y Córdoba (8%); estos siete departamentos consolidan casi la mitad de todo el inventario ganadero de Colombia.

Para establecer la relación entre el inventario ganadero y la disponibilidad de pastos para ganadería extensiva reportada, se utilizan los siguientes factores de producción del sector pecuario:

- Consumo materia seca/día x peso en pie – Propósito carne 10%
- Consumo materia seca/día x peso en pie – Propósito leche 15%
- Rendimiento potrero (ton/ha/cosecha) 2,2
- Periodo rotación de potreros (días) 45

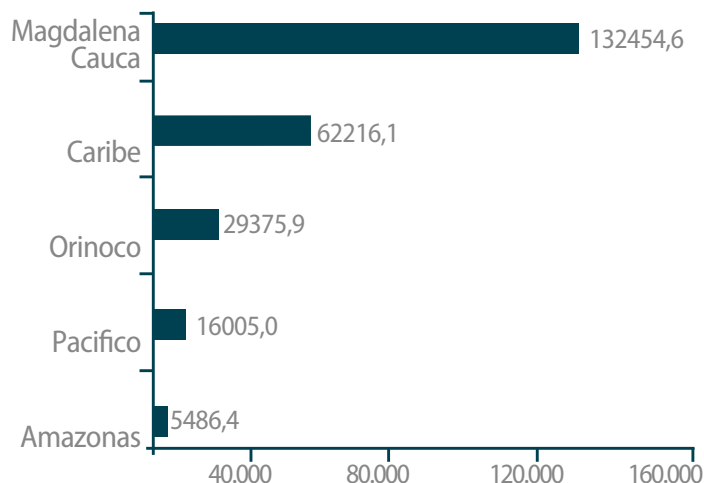
Considerando los datos antes citados, se obtiene una relación con el inventario bovino que permite estimar que con alrededor de 19,2 millones de hectáreas de pastos bajo esas condiciones, es suficiente para alimentar a la totalidad de las cabezas de ganado reportadas para el año 2012 a nivel nacional; esto implica que hay aproximadamente 18 millones de hectáreas de pastos que podrían ser susceptibles de transformación de uso, sin penalizar la producción del sector pecuario.

El resultado final de la huella hídrica verde del sector pecuario asciende a un total de 245.537 millones de m³/año, lo cual es cerca de cinco veces la huella hídrica verde del sector agrícola. Este resultado mantiene una relación esperada para Colombia, considerando que existen unos cinco millones de hectáreas agrícolas frente a casi 40 millones de hectáreas de pastos a nivel nacional.



Para el sector pecuario, la HHV se halló para los pastos asociados a la ganadería extensiva sin riego, es decir, para los pastos manejados, naturales y los sistemas silvopastoriles (**ver Figura 12**).

Figura 12. Distribución espacial de la huella hídrica verde mensual para el sector agrícola en Colombia.



En la **Figura 13**, se observa la distribución espacial de la HHV por SZH; y desde la **Tabla 22** hasta la **Tabla 26** se presentan los principales resultados por AH.

Tabla 22. Principales resultados de huella hídrica verde pecuaria en el AH Caribe.

SZH	HHV (Millones de m³/año)	Porcentaje en el AH (%)	Porcentaje nacional (%)
1303 / Bajo Sinú	5.239,6	17,8	2,1
1302 / Medio Sinú	3.971,0	13,5	1,6
1205 / Directos Caribe Golfo de Morrosquillo	2.248,0	7,7	0,9
1204 / Río Canalete y otros arroyos directos al Caribe	2.070,3	7,0	0,8
1202 / Río Mulatos y otros directos al Caribe	1.927,0	6,6	0,8
1111 / Río Sucio	1.627,7	5,5	0,7
1506 / Río Ranchería	1.408,6	4,8	0,6

Tabla 23. Principales resultados de huella hídrica verde pecuaria en el AH Magdalena–Cauca.

SZH	HHV (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH (%)	Porcentaje nacional (%)
2502 / Bajo San Jorge - La Mojana	13.906,2	10,5	5,7
2319 / Río Lebrija y otros directos al Magdalena	6.611,6	5,0	2,7
2802 / Medio Cesar	5.879,1	4,4	2,4
2804 / Río Ariguaní	4.928,5	3,7	2,0
2312 / Río Carare (Minero)	4.781,2	3,6	1,9
2401 / Río Suárez	4.573,5	3,5	1,9
2907 / Directos Bajo Magdalena entre El Banco y El Plato (md)	4.249,4	3,2	1,7
2805 / Bajo Cesar	4.194,2	3,2	1,7
2908 / Ríos Chimuica y Corozal	4.002,7	3,0	1,6
2701 / Río Porce	3.771,4	2,8	1,5

Tabla 24. Principales resultados de huella hídrica verde agrícola en el AH Amazonas.

SZH	HHV (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH (%)	Porcentaje nacional (%)
3501 / Río Metica (Guamal - Humadea)	7.303,0	11,7	3,0
3206 / Río Ariari	4.584,9	7,4	1,9
3603 / Río Cravo Norte	4.091,5	6,6	1,7
3519 / Río Cusiana	3.086,7	5,0	1,3
3523 / Río Pauto	3.047,0	4,9	1,2
3522 / Caño Guanápalo y otros directos al Meta	2.602,8	4,2	1,1

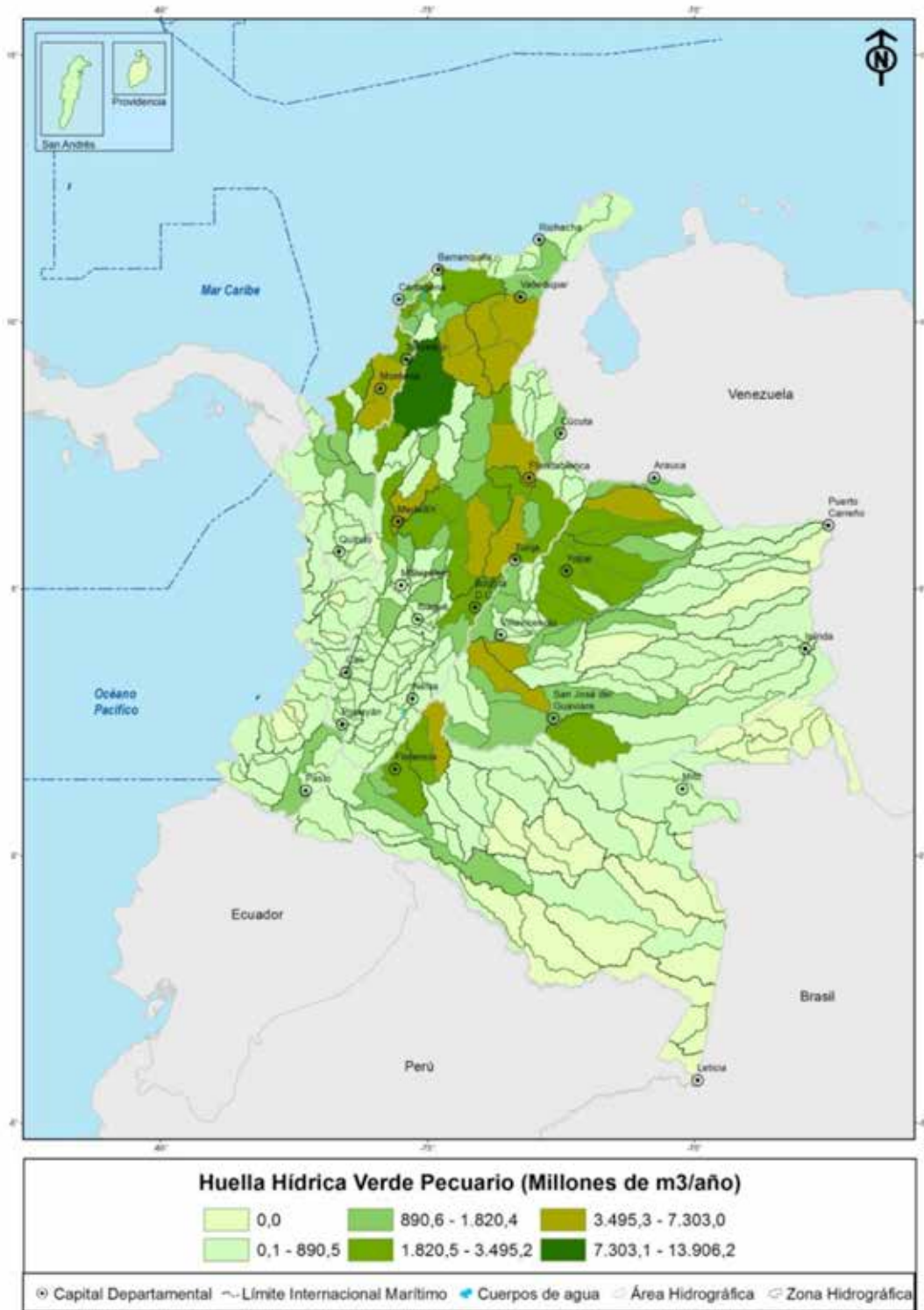
Tabla 25. Principales resultados de huella hídrica verde pecuaria en el AH Amazonas.

SZH	HHV (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH (%)	Porcentaje nacional (%)
4601 / Río Caguán Alto	3.969,0	24,8%	1,6%
4403 / Río Orteguzaza	3.495,2	21,8%	1,4%
4602 / Río Guayas	2.281,5	14,3%	0,9%
4402 / Río Caquetá Medio	1.282,5	8,0%	0,5%

Tabla 26. Principales resultados de huella hídrica verde pecuaria en el AH Pacífico.

SZH	HHV (Millones de m ³ /año)	Porcentaje en el AH (%)	Porcentaje nacional (%)
5205/Río Guáitara	1.637,9	29,9	0,7
5201/Río Patía Alto	950,7	17,3	0,4

Figura 13. Distribución espacial de la huella hídrica verde anual para el sector pecuario en Colombia.



3.2 Resultados de la huella hídrica azul en el componente doméstico

Para Colombia se reporta una HHA de 385,8 millones de m³/año; dicho valor incluye la huella generada por los consumos directos de la población y el consumo de agua dado por el proceso de evaporación en los embalses que tienen como finalidad el abastecimiento doméstico.

Por SZH, las que mayor HHA representan son las correspondientes al río Bogotá y al río Porce; en ambas se ubican las dos ciudades con mayor población (Bogotá y Medellín, respectivamente); entre ambas SZH

suman una HHA de 90,0 millones de m³/año, lo que representa el 23,3% de la HHA para este componente. En la Tabla 27, se presentan los resultados para las cinco SZH con mayor HHA.

Las SZH 1703 (Roncador y Quitasueño), 5701 (Malpelo) y 5702 (La Gorgona) presentan una HHA de 0,0 millones de m³/año, ya que son islas deshabitadas. En la Tabla 28, se presentan los resultados por AH y cuáles son las SZH más representativas en cada una de ellas. En la Figura 14, se puede observar la distribución espacial de la HHA para el componente doméstico en las 316 SZH.

Tabla 27. Huella hídrica azul doméstica para las cinco principales subzonas hidrográficas.

Código SZH/ Nombre SZH	Huella hídrica (Millones de m ³ /año)	Porcentaje (%)
2120 / río Bogotá	61,3	15,9
2701 / río Porce	28,6	7,4
2630 / ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo	17,2	4,5
2319 / río Lebrija y otros directos al Magdalena	11,9	3,1
2502 / Bajo San Jorge La Mojana	10,1	2,6



Tabla 28. Resultados de huella hídrica azul doméstica por área hidrográfica.

Área hidrográfica / Código	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje de HHA del total nacional (%)	SZH más representativas	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje de HHA del total nacional (%)
Caribe (1)	47,1	12,2	1206 / Arroyos directos al Caribe	8,1	17,2
			1303 / Bajo Sinú	7,2	15,3
			1601 / río Pamplonita	6,1	13,0
Magdalena Cauca (2)	279,2	72,4	2120 / río Bogotá	61,3	22,0
			2701 / río Porce	28,7	10,3
			2319 / río Lebrija y otros directos al Magdalena	11,9	4,3
Orinoco (3)	25,6	6,6	3503 / río Guatiquía	7,8	30,6
			3507 / río Garagoa	1,8	7,3
			3206 / río Ariari	1,6	6,3
Amazonas (4)	9,9	2,6	4701 / río Alto Putumayo	2,1	21,3
			4403 / río Orteguaza	1,7	17,1
			4702 / río San Miguel	8,5	8,6
Pacífico (5)	24,0	6,2	5205 / río Guáitara	4,0	16,7
			5204 / río Juanambú	3,5	14,7
			5311 / Dagua – Buenaventura – Bahía Málaga	2,8	11,8

Para realizar los cálculos de huella hídrica azul para el componente doméstico, se tuvieron en cuenta algunos supuestos y limitantes de acuerdo a la información disponible. Estos aspectos tienen una incidencia directa en el cálculo y por ende en los resultados, que solo serán resueltos cuando se tenga la información completa y validada.

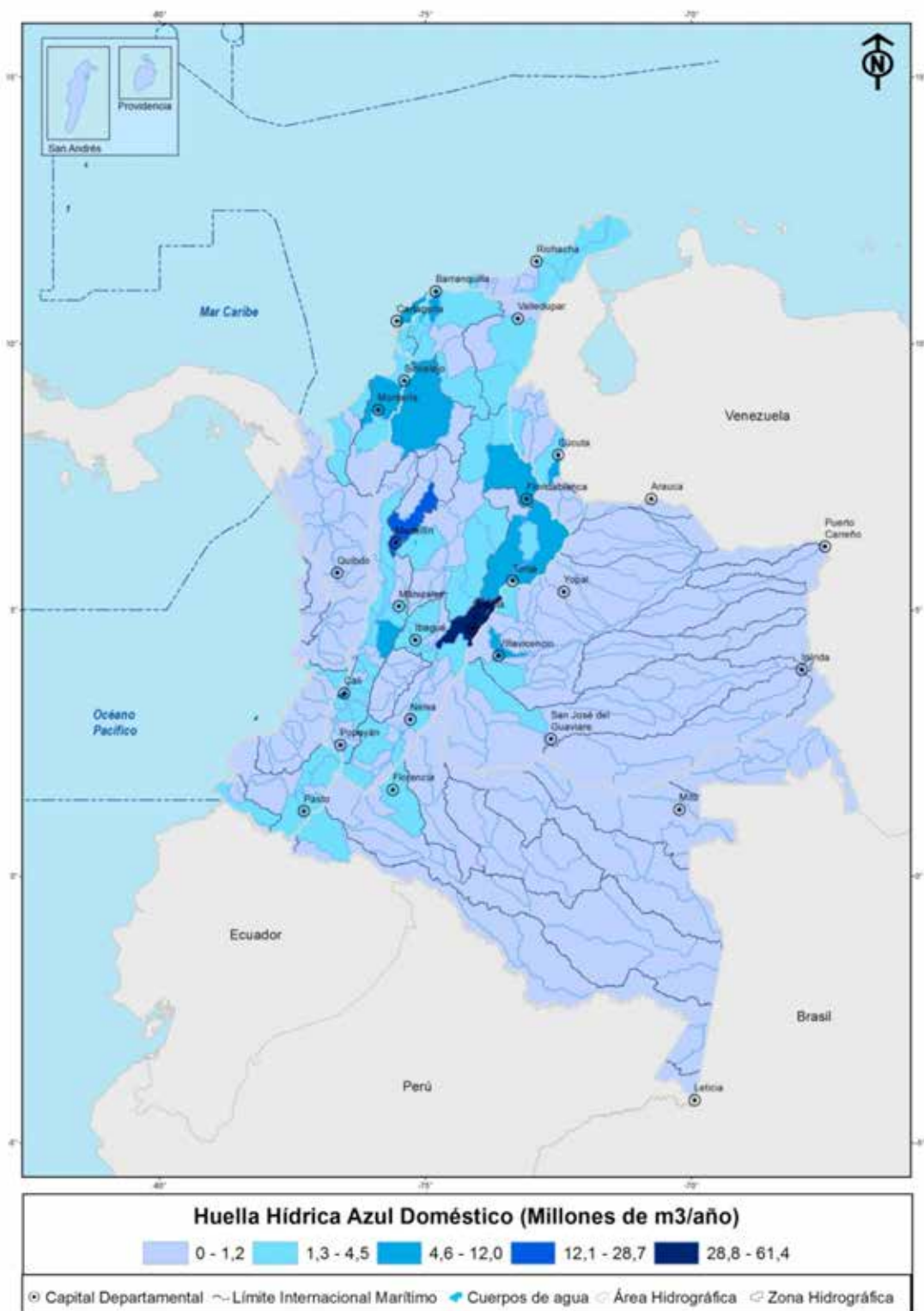
- La información del SUI (Sistema Único de Información) no está para todos los municipios de Colombia; por lo tanto, las dotaciones se calcularon a partir de los criterios técnicos del RAS 2000. Sin embargo, estos

son solo criterios de diseño y las dotaciones en los municipios pueden ser diferentes a los propuestos en dicha norma.

- Los datos que se reportan en el SUI son autodeclarados, por lo que no se tiene certeza que la información registrada sí corresponda a los consumos reales de agua en los sistemas de acueducto.
- Para hacer la distribución de la huella hídrica por subzona hidrográfica, se asume que la población rural se distribuye de manera uniforme en el área del municipio.



Figura 14. Resultados de huella hídrica azul anual para el componente doméstico por subzona hidrográfica.



Fuente: elaboración propia.



3.3 Resultados de la huella hídrica azul del sector industrial

La HHA del sector industrial es de 65,4 millones de m³/año. Las SZH con mayor HHA corresponden a la del río Arroyohondo–Yumbo y la del río Bogotá. Entre

ambas subzonas suman 15,9 millones de m³/año, que representan el 24,4% de la HHA estimada para este sector. En la Tabla 29, se presenta la HHA nacional de las actividades económicas más representativas; en la Tabla 30, se reportan los valores por AH; y en la Figura 15, se observa la distribución espacial por SZH.

Tabla 29. Resultados de huella hídrica azul anual para el componente doméstico por subzona hidrográfica.

Código CIU	Descripción de la actividad	Huella hídrica azul (Millones de m ³ /año)
1071	Elaboración y refinación de azúcar	22,7
1701	Fabricación de pulpas (pastas) celulósicas; papel y cartón	5,8
1089	Elaboración de otros productos alimenticios n. c. p. (no clasificados previamente)	4,4
1104	Elaboración de bebidas no alcohólicas, producción de aguas minerales y de otras aguas embotelladas	4,4
1103	Producción de malta, elaboración de cervezas y otras bebidas malteadas	3,6
2410	Industrias básicas de hierro y de acero	2,1
1709	Fabricación de otros artículos de papel y cartón	2,0
1011	Procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos	1,7
2012	Fabricación de abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados	1,6
2394	Fabricación de cemento, cal y yeso	1,5

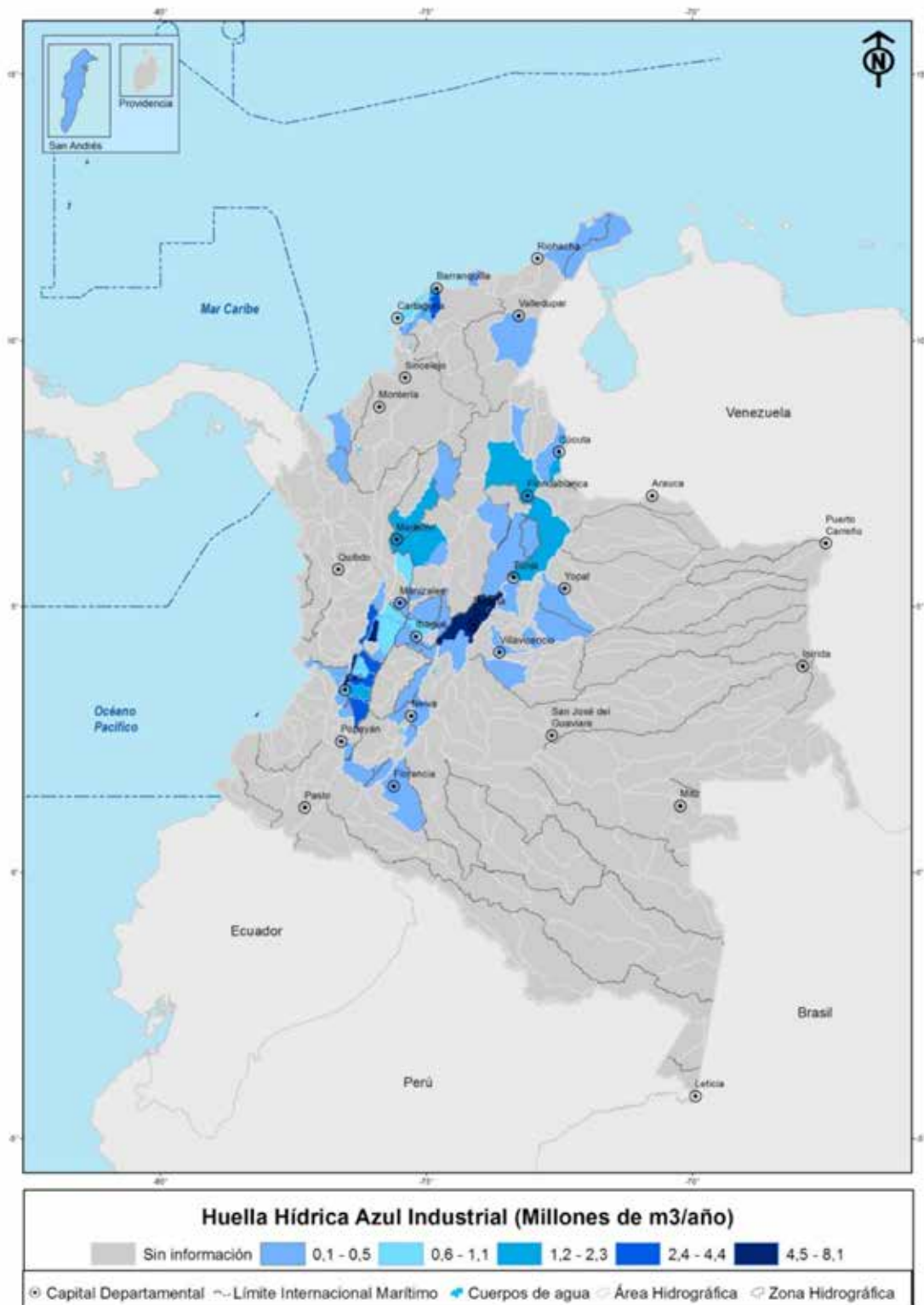
Tabla 30. Resultados de huella hídrica azul por área hidrográfica para el sector industrial.

AH / Código	Huella hídrica azul		SZH mayor HH en el AH	Huella hídrica azul		Actividad económica más representativa	% en la ZSH
	Millones de m ³ /año	% nacional		Millones de m ³ /año	% nacional		
Caribe (1)	2,8	4,3	1601 / río Pamplonita	1,5	54,3	1104	83,2
						2392	8,8
			1206 / Arroyos directos al Caribe	1,1	40,0	2013	67,4
						1921	12,9
Magdalena Cauca (2)	61,7	94,3	2631 / ríos Arroyohondo – Yumbo – Mulato – Vijes – Mediacanoa y Piedras	8,1	13,1	1701	44,4
						1071	21,9
			2120 / río Bogotá	7,9	12,8	1104	21,6
						1089	18,1
Orinoco (3)	0,8	1,2	3503 / río Guatiquía	0,4	57,3	1030	90,5
						1104	6,0
			3501 / río Metica	0,2	26,8	1030	100,0
Amazonas (4)	0,0	0,0	4403 / río Orteguaza	0,0006	100,0	1104	100,0
Pacífico (5)	0,06	0,1	5311 / Dagua – Buenaventura – Bahía Málaga	0,061	100,0	1089	91,3
						1051	8,3

Es importante aclarar que los resultados subestiman la magnitud de la HHA del sector industrial. Esta situación se presenta porque el número de registros con los cuales se obtiene el cálculo es de solo 1674 establecimientos, mientras que en el DANE se tiene un reporte aproximado de 150.000 empresas en Colombia. También se desconoce si las empresas con información para el cálculo corresponden a las más

representativas en consumo de agua, lo que genera mayor incertidumbre en los resultados. Otro factor importante es que la información que figura en el RUA (Registro único ambiental) tiene inconsistencias en los datos para determinados registros, lo que puede subestimar o sobredimensionar los resultados de huella hídrica.

Figura 15. Resultados de huella hídrica azul anual para el sector industrial por subzona hidrográfica.



3.4 Resultados de la huella hídrica azul del sector energético

3.4.1 Huella hídrica azul de los embalses

Para el análisis de la HHA en este sector, se identificaron cuarenta embalses, los cuales tienen diferentes usos,

como generación de hidroenergía, y abastecimiento para el consumo humano y para el riego. De estos embalses, se logró obtener información de 35, para los cuales se calculó la HHA. En la **Tabla 31**, se presenta el consolidado de la HHA de acuerdo a los usos de los embalses.

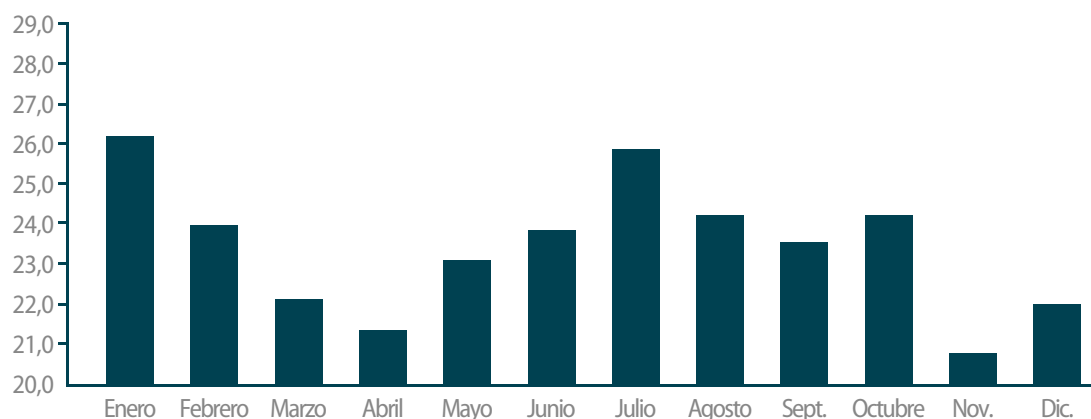
Tabla 31. Resultados de huella hídrica azul anual para el sector industrial por subzona hidrográfica.

Uso del embalse	Huella hídrica azul (Millones de m ³ /año)	Porcentaje respecto a la HHA de los embalses (%)
Energía	286,7	86,4
Doméstico	14,6	4,4
Riego	1,1	0,3
Otros usos	0,4	0,1
Sin información de uso	29,1	8,8
TOTAL	331,9	100,0

Como resultados para Colombia, la HHA anual de los 22 embalses que generan energía es de 286,7 millones

de m³. En la Figura 16, se presenta el comportamiento mensual de la HHA en los embalses.

Tabla 16. Comportamiento mensual de la HHA de los embalses.



Se destacan los embalses de Betania y Urrá I como los de mayor HHA para cada uno de los meses del año.

En la **Tabla 32**, se presentan los resultados por área hidrográfica y sus subzonas más representativas.

Tabla 32. Resultados de huella hídrica azul anual para el sector industrial por subzona hidrográfica.

Área Hidrográfica / Código	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje de la HHA nacional (%)	Subzonas hidrográficas más representativas	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje de la HHA nacional (%)
Caribe (1)	68,8	24,0	1301	68,8	100,0
Magdalena Cauca (2)	192,0	66,9	2108	79,1	41,2
			2308	49,3	25,7
			2116	18,5	9,6
Orinoco (3)	14,5	5,1	3506	10,0	69,1
			3507	4,5	30,9
Amazonas (4)	0,0	0,0			
Pacífico (5)	11,5	4,0	5407	11,2	100,0

En cuanto a la HHA distribuida espacialmente, se tiene que la SZH con mayor huella corresponde a la del río Yaguará y el río Iquira (código 2108) en el departamento

del Huila; en esta SZH se ubica el embalse Betania. También se destacan las subzonas 1301 (Alto Sinú - Urrá), 2308 (Río Nare) y 2116 (río Prado).

Tabla 33. Huella hídrica azul anual de las termoeléctricas por área hidrográfica.

Área Hidrográfica / Código	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje de la HHA nacional (%)	Subzonas hidrográficas más representativas	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje de la HHA nacional (%)
Caribe (1)	2,9	27,3	1601 / río Pamplonita	1,5	51,9
			1503 / río Ancho y otros directos al Caribe	1,1	36,1
			1206 / Arroyos directos al Caribe	0,4	11,9
Magdalena Cauca (2)	7,3	68,6	2909 / Ciénaga Mallorquín	2,7	36,3
			2403 / río Chicamocha	2,1	28,1
			2906 / Cga Grande de Magdalena	1,0	13,3
Orinoco (3)	0,4	4,0	3521 / río Cravo Sur	0,4	86,4
			3519 / río Cusiana	0,006	13,6
Amazonas (4)	0,0	0,0			
Pacífico (5)	0,0	0,0			

3.4.2 Huella hídrica azul de las termoeléctricas

El inventario inicial de termoeléctricas consultado en la UPME indica que para el año 2012 se tenían 35 centrales, las cuales utilizaban gas y carbón como fuentes principales de abastecimiento, y representaron el 97,5% de la generación de las termoeléctricas para el año 2012. Los resultados obtenidos para Colombia indican que la HHA anual de las termoeléctricas de gas y carbón es de 5,9 millones de m³ y 4,8 millones de m³, respectivamente, para un consolidado nacional anual de 10,7 millones de m³.

En cuanto a los resultados por SZH, la que presenta mayor HHA corresponde al código 2909 (Ciénaga Mallorquín), con una huella anual de 2,7 millones de m³. En la Tabla 33, se reportan los resultados por área hidrográfica.

3.4.3 Consolidado de resultados del sector energético

En la **Tabla 34**, se presenta el consolidado de la HHA energética por SZH; en la **Tabla 35**, en la **Figura 17** y en la **Figura 18** se presentan el consolidado nacional por AH para el año 2012 y los resultados mensuales para el mismo año.

Tabla 34. Huella hídrica azul anual del sector energético por subzona hidrográfica.

SZH	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje nacional (%)	SZH	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje nacional (%)
2108 / río Jaguar y río Iquira	79,1	26,6	1503 / río Ancho y otros directos al Caribe	1,1	0,4
1301 / Alto Sinú – Urrá	68,8	23,1	2906 / Cga Grande de Magdalena	1,0	0,3
2308 / río Nare	49,3	16,6	2311 / Directos am Magdalena Medio entre ríos Negro y Carare (md)	0,7	0,2
2116 / río Prado	18,5	6,2	2305 / río La Miel	0,6	0,2
2120 / río Bogotá	17,3	5,8	3521 / río Cravo Sur	0,4	0,1
2627 / río Piendamó	11,7	3,9	1206 / Arroyos directos al Caribe	0,3	0,1
2701 / río Porce	11,3	3,8	5310 / río Anchicayá	0,3	0,1
5407 / ríos Calima y Bajo San Juan	11,2	3,8	2314 / río Opón	0,1	0,0
3506 / río Guavío	10,0	3,4	3519 / río Cusiana	0,1	0,0
2702 / Alto Nechí	4,9	1,6	2904 / Directos al Bajo Magdalena entre Calamar y desembocadura al mar Caribe (mi)	0,0	0,0
3507 / río Garagoa	4,5	1,5	2609 / ríos Amaime y Cerrito	0,0	0,0
2909 / Ciénaga Mallorquín	2,7	0,9	2304 / Directos Magdalena entre ríos Guarín y La Miel (mi)	0,0	0,0
2403 / río Chicamocha	2,1	0,7	2607 / río Guachal	0,0	0,0
1601 / río Pamplonita	1,5	0,5	2125 / río Lagunilla y otros directos al Magdalena	0,0	0,0



Tabla 34. Huella hídrica azul anual del sector energético por área hidrográfica.

Área hidrográfica / Código	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje de HHA nacional (%)	SZH más representativas	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje de la HHA del AH (%)
Caribe (1)	71,7	24,1	1301 / Alto Sinú – Urrá	68,8	95,5
Magdalena Cauca (2)	199,2	67,0	2108 / río Yaguará y río Iquira	79,1	39,7
			2308 / río Nare	49,3	24,7
			2116 / río Prado	18,4	9,3
			2120 / río Bogotá	17,2	8,7
Orinoco (3)	15,0	5,0	3506 / río Guavio	10,0	67,1
			3507 / río Garagoa	4,5	30,0
Amazonas (4)	0,0	0,0			
Pacífico (5)	11,5	3,9	5407 / ríos Calima y Bajo San Juan	11,2	97,6

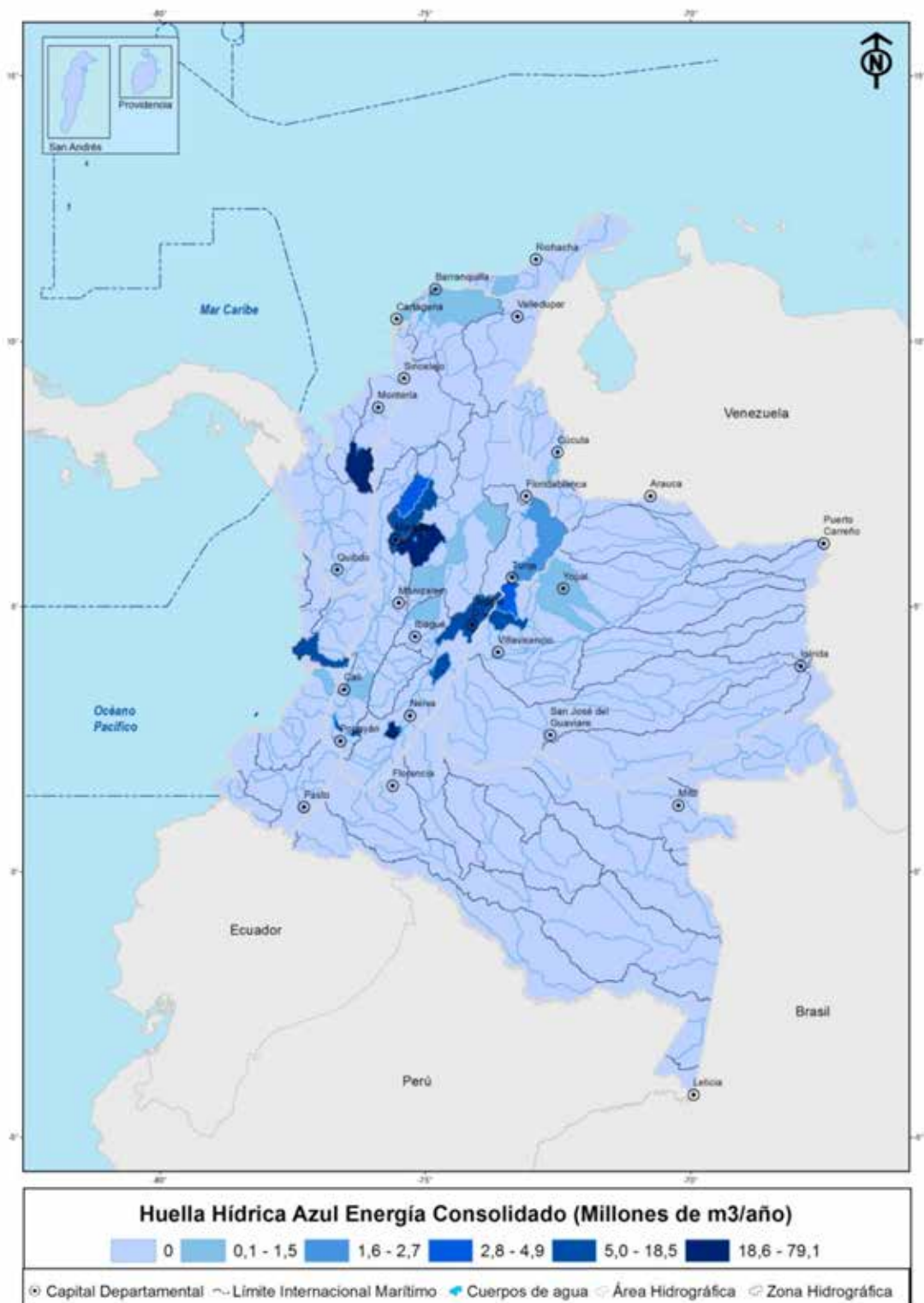
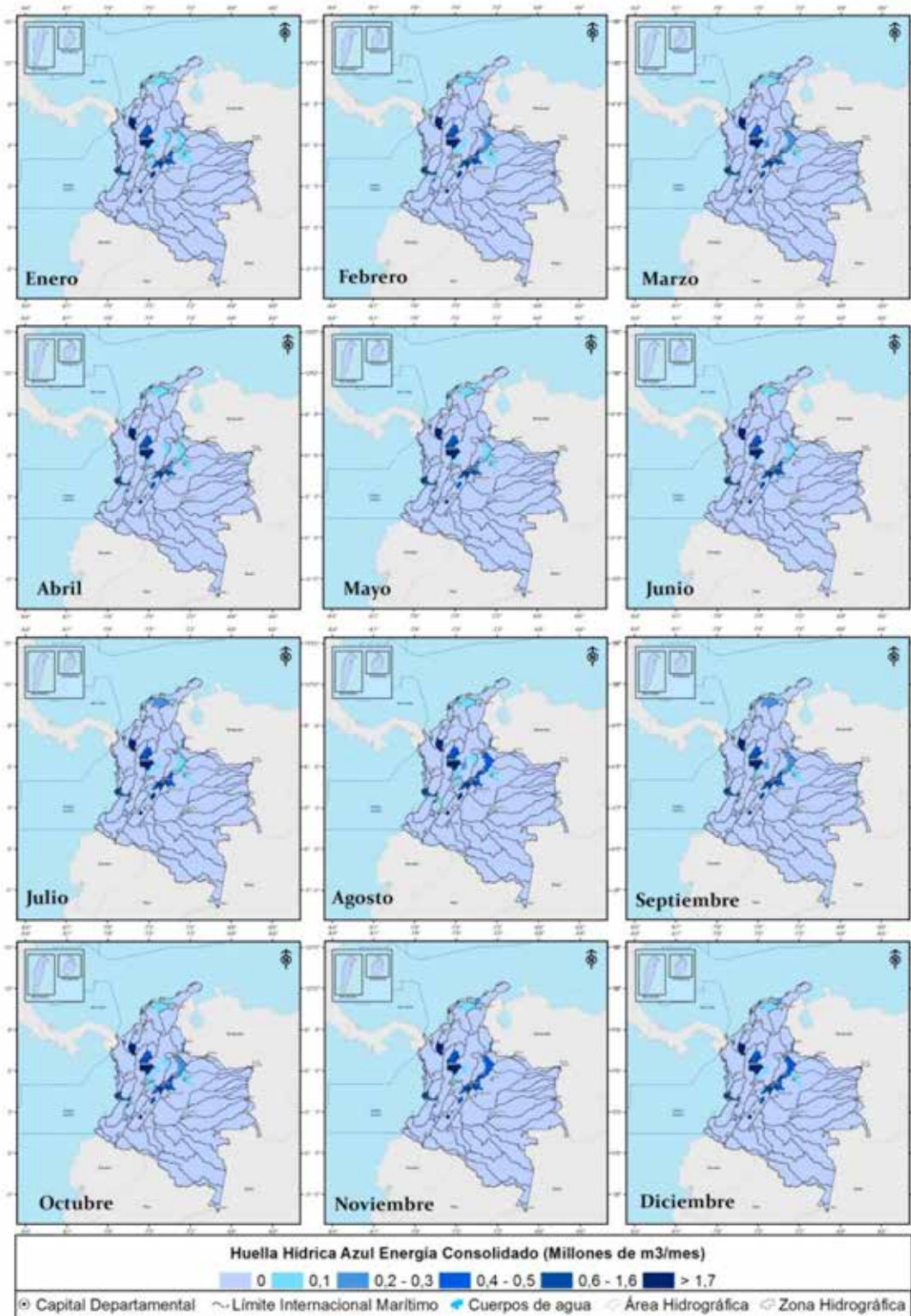
Figura 17. Distribución espacial y mensual de la huella hídrica azul del sector energético.


Figura 18. Distribución espacial y mensual de la huella hídrica azul del sector energético.





En el caso del cálculo de la HHA de los embalses, se presenta como principal limitante el que para algunos de ellos las empresas encargadas de su administración no suministraron datos sobre el volumen útil del embalse y las curvas de volumen–cota–área. Por lo tanto, fue necesario buscar en otras fuentes el área inundada de estos embalses, pero sin variabilidad temporal, lo que no representa de manera adecuada el comportamiento dinámico de estos sistemas. En otros casos, no se cuenta con estaciones de medición de evaporación, por lo que fue necesario recurrir a ecuaciones para estimar estos valores. Para la huella hídrica de las centrales térmicas, no se tiene información del uso y consumo de agua; por lo tanto, se consultaron indicadores en fuentes confiables del consumo (huella hídrica azul) por unidad de generación de energía.

Tabla 36. Huella hídrica azul anual de la extracción de petróleo de las principales subzonas hidrográficas.

SZH	Huella hídrica azul (Millones de m ³ /año)
3301 / Alto Vichada	1.245.556,6
3501 / río Metica	446.777,7
3521 / río Cravo Sur	349.838,2
3519 / río Cusiana	230.820,6
3603 / río Cravo Norte	204.183,4

3.5 Resultados de la huella hídrica del sector petrolero

La producción de petróleo en Colombia se distribuye espacialmente en 19 departamentos y en 392 campos de extracción. La producción anual es de aproximadamente 345,5 millones de barriles de petróleo. El departamento del Meta representa el 48,9% de la producción del país, que equivale a 169 millones de barriles de petróleo; está seguido por el departamento del Casanare, con el 17,7% de la producción. La HHA nacional generada por la extracción de petróleo es de 6,6 millones de m³/año;

entre Meta y Casanare suman 4,4 millones de m³/año y representan el 66,6% del total nacional.

Del cruce de información entre el Informe Estadístico Petrolero y el mapa de áreas en producción de la ANH, se logró distribuir espacialmente la HHA de 156 campos petroleros, los cuales se distribuyen en 77 SZH. De la HHA generada por la extracción del petróleo que es de 6,6 millones de m³/año, estos 156 campos representan el 64,7%, equivalentes a 4,3 millones de m³/año. En la Tabla 36, se presentan las cinco SZH con la mayor HHA que se logró distribuir espacialmente; y en la Tabla 37, se observan los resultados por área hidrográfica. En la Figura 19 y en la Figura 20 se presentan la distribución espacial anual y mensual, respectivamente.

Tabla 37. Huella hídrica azul anual de la extracción de petróleo por área hidrográfica

Área hidrográfica / Código	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje de HHA nacional (%)	SZH más representativas	HHA (Millones de m ³ /año)	Porcentaje de la HHA del AH (%)
Caribe (1)	0,02	0,5	1603 / río Nuevo Presidente – Tres Bocas	8.282,0	42,8
			1602 / río Zulia	5.439,1	28,1
Magdalena Cauca (2)	0,6	15,5	2314 / río Opón	121.517,9	18,5
			2119 / río Sumapaz	84.507,8	12,8
Orinoco (3)	3,4	79,1	3301 / Alto Vichada	1.245.556,6	37,0
			3501 / río Metica	446.777,7	13,3
Amazonas (4)	0,2	5,0	4701 / Alto río Putumayo	170.570,1	80,4
			4401 / Alto Caquetá	23.946,4	11,3
Pacífico (5)	No se reporta				

Figura 19. Distribución espacial por subzona hidrográfica de la huella hídrica azul anual de la extracción de petróleo.

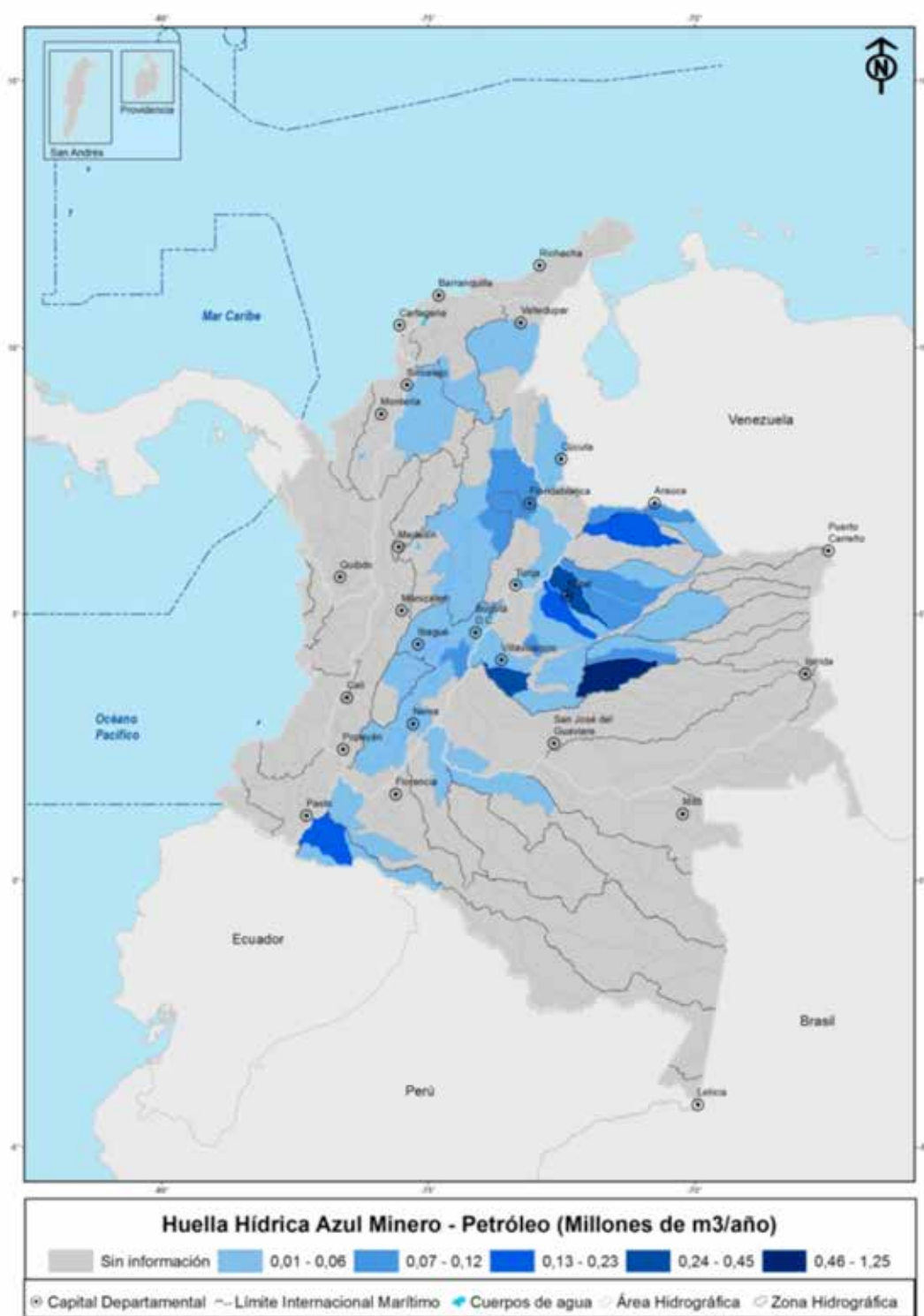
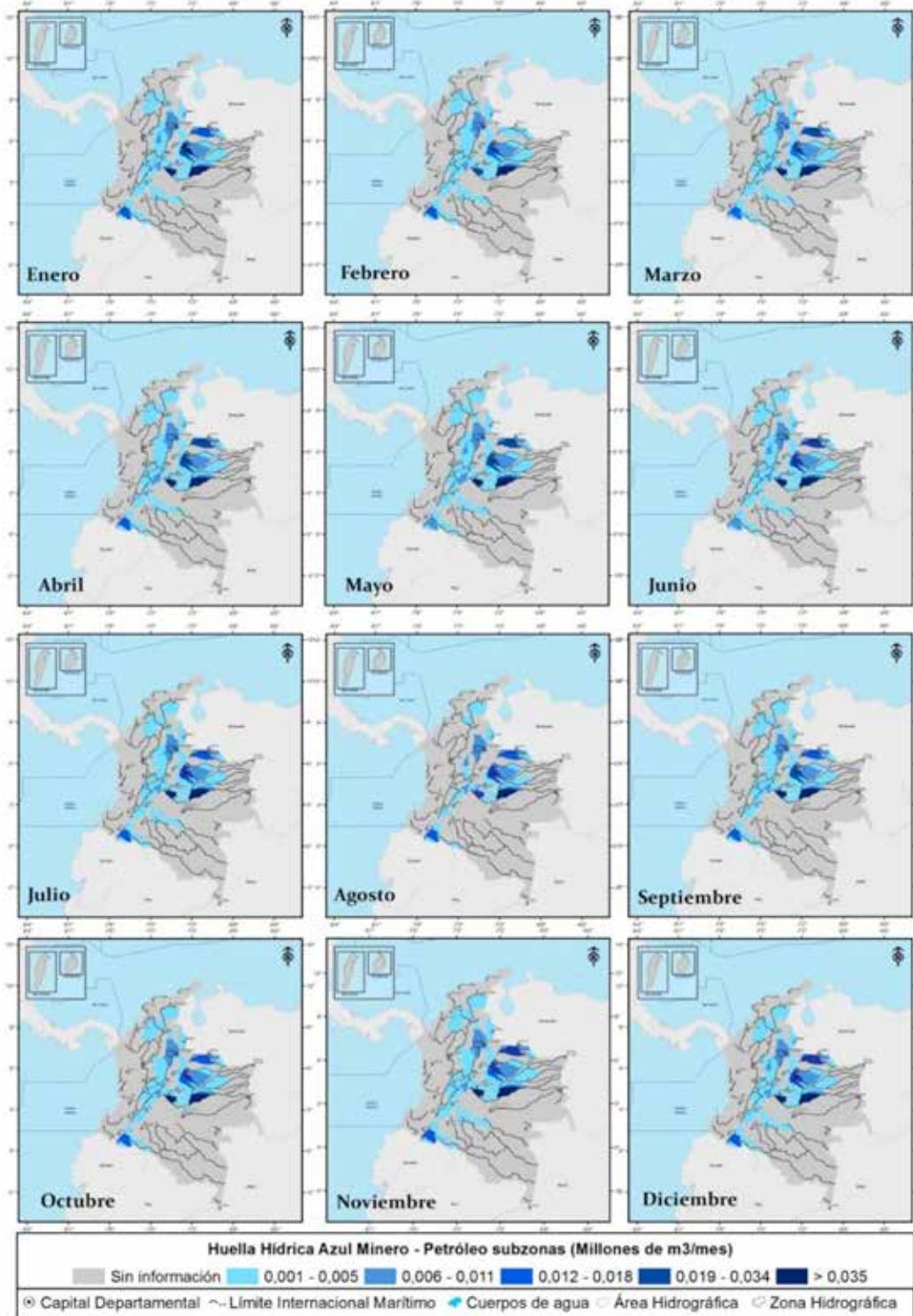
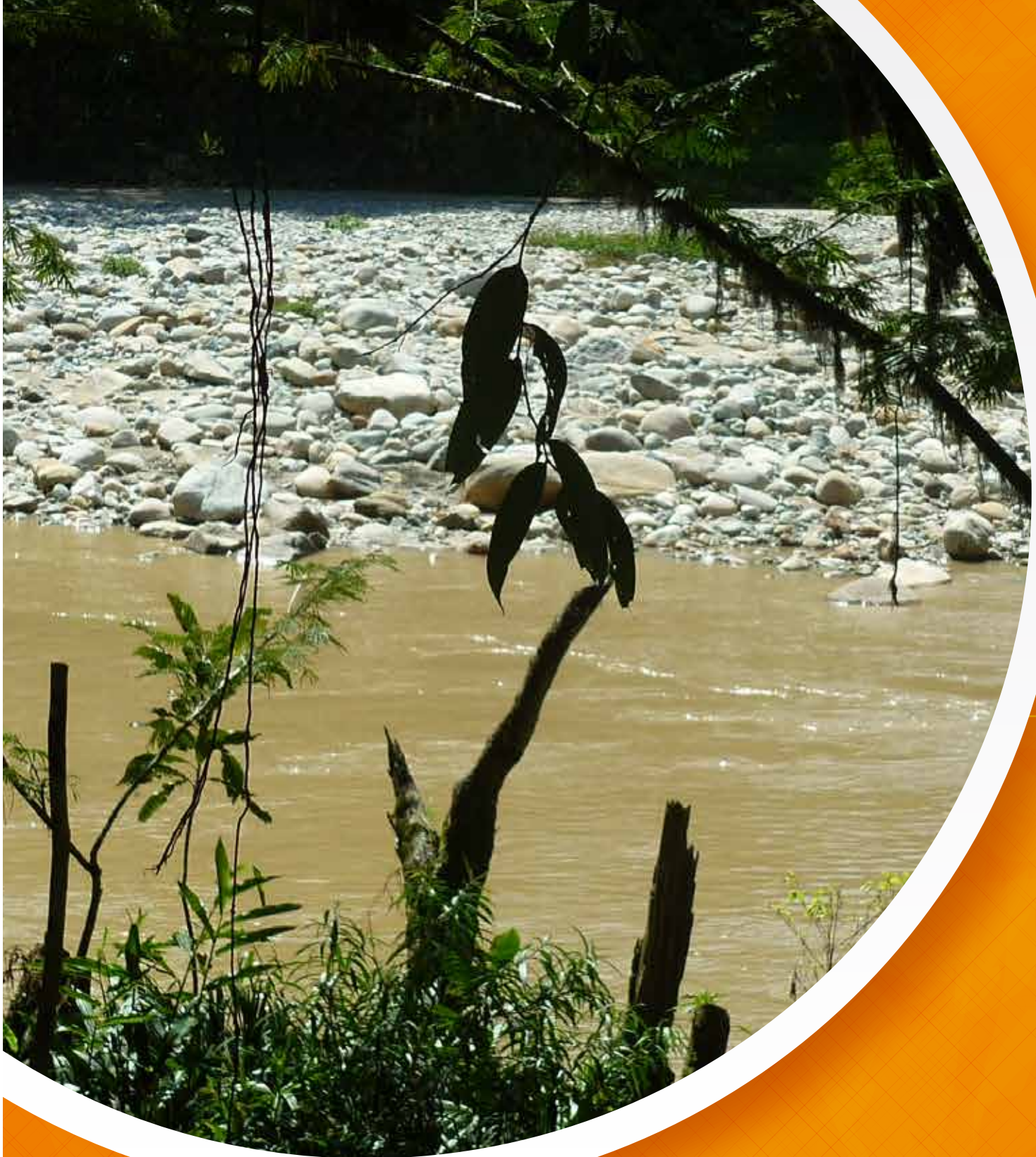


Figura 20. Distribución espacial subzona hidrográfica mensual de la huella hídrica azul de la extracción de petróleo.





CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN MULTISECTORIAL DE LA HUELLA HÍDRICA

4.1 Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica azul en Colombia

La evaluación ambiental de la huella hídrica azul en una cuenca se basa en la comparación entre la HHA multisectorial —que refleja el agua demandada (extraída del sistema) y no retornada— y la disponibilidad de agua superficial a nivel de cuenca. En las unidades de análisis donde la HHA multisectorial es mayor que la disponibilidad de agua superficial (oferta), se presenta insostenibilidad para la HHA; esto significa que la oferta de agua superficial no satisface los consumos de agua de los sectores para esa unidad de análisis.

A continuación, se presenta la evaluación de la cuantificación de la HHA multisectorial para 314 SZH de Colombia⁷ mediante la comparación con la oferta de agua azul, representada por la oferta hídrica disponible en año medio para cada SZH. A través de este cálculo, se identificó en qué SZH se presenta competencia por agua azul.

4.1.1 Metodología

4.1.1.1 Datos empleados

Para la evaluación de la sostenibilidad con relación a la HHA, se determinaron valores anuales de la disponibilidad de agua azul (DAA) y la HHA multisectorial (sectores agropecuario, doméstico, industrial, energético y minero). A continuación se hace una breve descripción de la información utilizada:

- *Disponibilidad de agua azul*

La disponibilidad de agua azul mensual (DAA) está dada por la oferta hídrica disponible en año medio que se desarrolla de manera detallada en el Estudio Nacional del Agua ENA 2014, y cuyo resultado consolidado nacional da una oferta total de 1.964.850,4 millones de m³/año y una oferta disponible de 1.126.905,0 millones de m³/año. Esta diferencia entre la oferta total y la oferta disponible corresponde al caudal ecológico y es el agua mínima requerida por los ecosistemas. En la **Tabla 38**, se observa la oferta total y disponible por AH; y en la **Tabla 39**, se presentan las SZH con mayor oferta disponible por AH.

Tabla 38. Oferta total y disponible de agua azul por área hidrográfica.

Área hidrográfica	Oferta total año medio (Millones de m ³ /año)	Porcentaje Oferta total año medio (%)	Oferta disponible año medio (Millones de m ³ /año)	Porcentaje Oferta total año medio (%)
Caribe (1)	182.077,00	9,3	87.051,00	7,7
Magdalena Cauca (2)	263.131,30	13,4	140.981,30	12,5
Orinoco (3)	497.522,00	25,3	335.671,50	29,8
Amazonas (4)	733.014,70	37,3	408.153,10	36,2
Pacífico (5)	289.105,40	14,7	155.048,00	13,8

Fuente: ENA 2014 (IDEAM)

⁷ No se realizaron los cálculos para las SZH de Malpelo y La Gorgona

Tabla 39. Subzonas hidrográficas con la mayor oferta de agua disponible por área hidrográfica.

AH	SZH	Oferta disponible año medio (Millones de m ³ /año)	Porcentaje Oferta disponible año medio en el AH (%)	Porcentaje Oferta disponible año medio a nivel nacional (%)
Caribe (1)	1104 / Río Bebaramá y otros Directos Atrato (md)	6870,4	7,9	0,3
	1103 / Río Quito	5580,8	6,4	0,3
	1105 / Directos Atrato entre ríos Quito y Bojayá (mi)	5485,4	6,3	0,3
Magdalena Cauca (2)	2308 / Río Nare	7293,4	5,2	0,4
	2312 / Río Carare (Minero)	6440,3	4,6	0,3
	2317 / Río Cimitarra y otros directos al Magdalena	5995,3	4,3	0,3
Orinoco (3)	3104 / Río Inírida Medio	23497,3	7	1,2
	3210 / Medio Guaviare	15437,8	4,6	0,8
	3101 / Río Inírida Alto	11642,6	3,5	0,6
Amazonas (4)	4415 / Río Caquetá Bajo	30256,8	7,4	1,5
	4207 / Bajo Vaupés	20793,1	5,1	1,1
	4305 / Bajo Río Apaporis	20589	5	1
Pacífico (5)	5102 / Río Mira	14897,8	9,6	0,8
	5501 / Río Baudó	11805,4	7,6	0,6
	5307 / Río San Juan del Micay	11795,5	7,6	0,6

Fuente: ENA 2014 (IDEAM)

- *Huella hídrica azul*

La HHA tiene una perspectiva multisectorial que abarca: el uso de agua agrícola de riego efectivo⁸ a los cultivos permanentes y transitorios, incluidos pastos de corte y forrajeros, y consumos efectivos del sector pecuario por sacrificio de ganado; la HHA doméstica; la HHA industrial; la HHA de la generación de energía hidroeléctrica y termoeléctrica; la HHA de la extracción

de hidrocarburos; y por último, la HHA multisectorial generada por los siete grandes trasvases que involucran más de una SZH. El total de la HHA multisectorial nacional es 9.956,8 millones de m³/año. En la **Tabla 40**, se observa el porcentaje de participación de cada uno de los sectores frente al consolidado nacional de HHA.

⁸ El riego efectivo hace referencia al volumen evapotranspirado por la vegetación, y está dado por la demanda hídrica agrícola (riego total) multiplicado por el coeficiente de eficiencia según el sistema de riego aplicado.

Tabla 40. Distribución de la huella hídrica azul por sector.

Sector	Huella Hídrica Azul (Millones de m ³ /año)	Porcentaje de participación en el consolidado nacional (%)
Agropecuario	6.975,60	70,1
Doméstico	385,8	3,9
Industrial	65,4	0,7
Energético	297,4	3
Minero (extracción de hidrocarburos)	4,3	0
Trasvases	2.228,30	22,4

4.1.1.2 Estimación del Índice de agua no retornada a la cuenca (IARC) por subzona hidrográfica

Una vez determinada la disponibilidad de agua azul, se realizó la evaluación de la HHA, para lo cual se obtuvo la relación entre la HHA multisectorial y la disponibilidad de agua azul para cada SZH.

En el contexto del Estudio Nacional del Agua 2014, para designar esta relación se tomó el Índice de agua no retornada a la cuenca (IARC)⁹. El IARC es un indicador que tiene estrecha relación con el Índice de uso de agua (IUA), definido en el ENA 2014. El primero está basado en la relación de la HHA con la oferta; y el segundo, en la relación entre la demanda y la oferta. El cálculo del IARC se realiza a partir de la **Ecuación 22**:

Ecuación 22. Índice de agua no retornada a la cuenca

$$IARC = \frac{\sum HH_{Azul}}{OHD_{Año_Medio}}$$

Donde:

IARC: índice de agua no retornada a la cuenca (SZH).

$\sum HH_{Azul}$: huella hídrica azul multisectorial al interior de la SZH en un periodo de tiempo "t", en volumen/tiempo.

$OHD_{Año_Medio}$: oferta hídrica disponible en año medio, que determina la disponibilidad de agua azul en la SZH para el periodo de tiempo "t", en volumen/tiempo.

Para facilitar la comprensión del resultado de este indicador, se establecieron seis categorías de valores, que son coherentes con las categorías definidas para el IUA y permiten estimar el estado del indicador en cada una de las SZH a nivel nacional. Los rangos de las categorías varían: el estado **crítico**, para valores mayores que 1, que indican una HHA que excede la oferta, por lo que solo se puede explicar considerando que son áreas que tienen una fuente de agua alterna,

⁹ En todo lo relativo a la huella hídrica, este estudio sigue la metodología y definiciones presentadas en el Manual de Huella Hídrica (Hoekstra et al., 2011) publicado por la Red de Huella Hídrica (Water Footprint Network). Con respecto al término "Índice de escasez de agua azul", denominado en el manual "Blue Water Scarcity Index", IDEAM ha estimado conveniente proponer para el contexto nacional una modificación al nombre, con la finalidad de conseguir coherencia y armonía con el trabajo previo desarrollado sobre índices relativos al agua en estudios nacionales de agua anteriores, quedando incluido en el grupo de indicadores de presión al recurso hídrico bajo la denominación de "Índice de Agua No Retornada a la Cuenca (IARC)".

por ejemplo, subterránea. La categoría **muy alto**, para valores entre 0,5 y 1 que evidencian una situación límite en términos de competencia por agua azul. **Alto**, para valores entre 0,2 y 0,5 donde existe una alerta, ya que la demanda de agua azul multisectorial supera el 20% del total disponible. **Moderado**, 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. Y categoría **bajo y muy bajo**, para valores inferiores a 0,1 donde se considera que existe una situación favorable en términos de oferta-demanda de agua azul.

4.1.2 Resultados

Los resultados del indicador evidencian cuatro SZH que presentan valores superiores a 1 (Crítico; ver Tabla 41), lo que significa que en estos territorios existe una disponibilidad limitada de agua azul y la HHA multisectorial da un resultado superior a la oferta; por lo cual, existe una situación crítica de competencia por el agua superficial, la que solo puede estar soportada por fuentes de agua alternas o por trasvases no registrados.

Tabla 41. Subzonas hidrográficas con IARC en valor crítico.

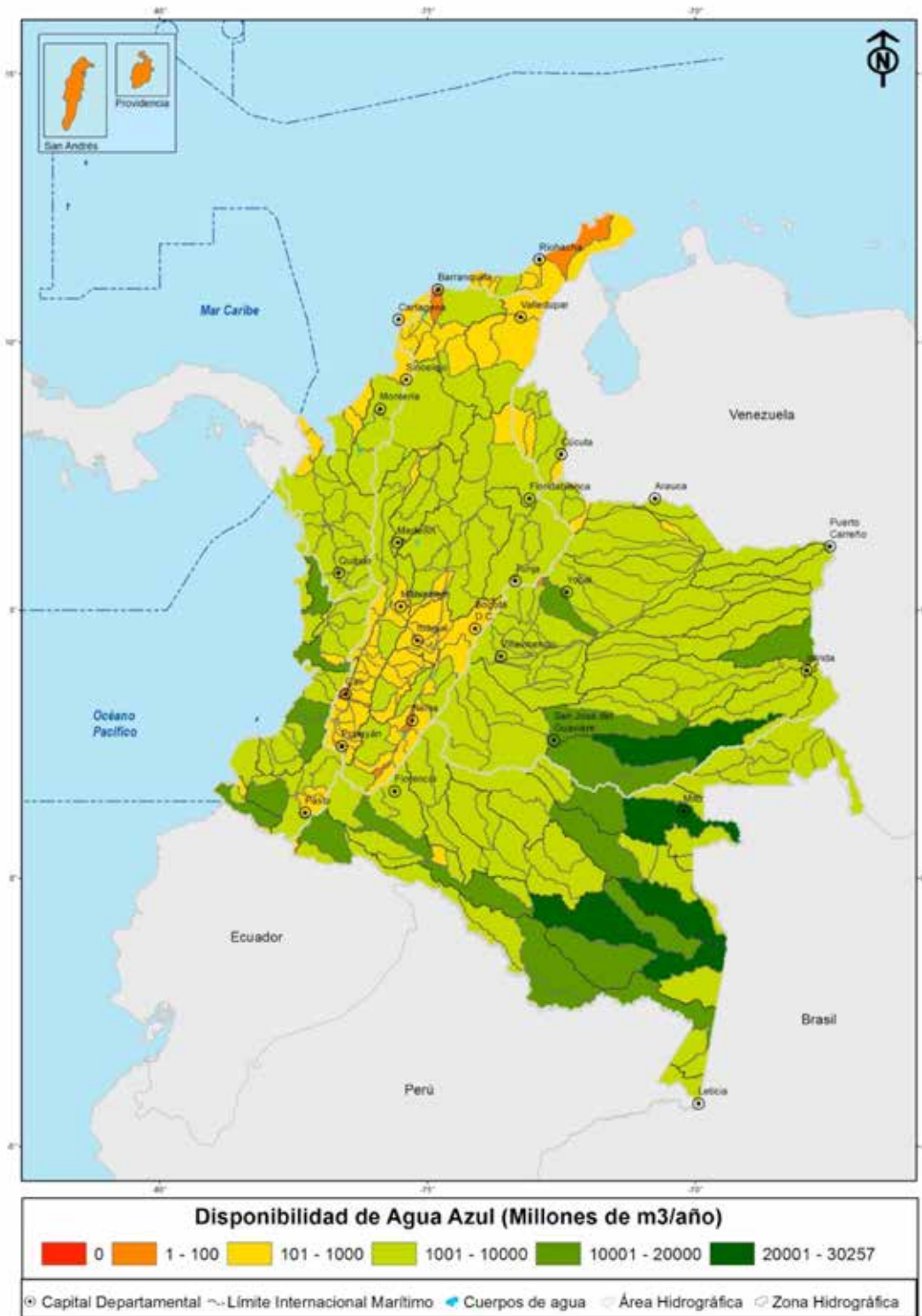
SHZ	Nombre SHZ	Área Hidrográfica	Índice de agua no retornada a la cuenca (IARC)
1206	Arroyos Directos al Caribe	Caribe	1,05
2903	Canal del Dique margen derecho	Magdalena - Cauca	1,38
2904	Directos al Bajo Magdalena entre Calamar y desembocadura al mar Caribe (mi)	Magdalena – Cauca	1,31
2909	Ciénaga Mallorquín	Magdalena - Cauca	1,54

Adicional a lo anterior, existen otras cuatro SZH que presentan valor muy alto (**Tabla 42**), trece SZH con valor alto y dieciocho SZH con valor moderado.

Tabla 42. Subzonas hidrográficas con IARC en valor muy alto.

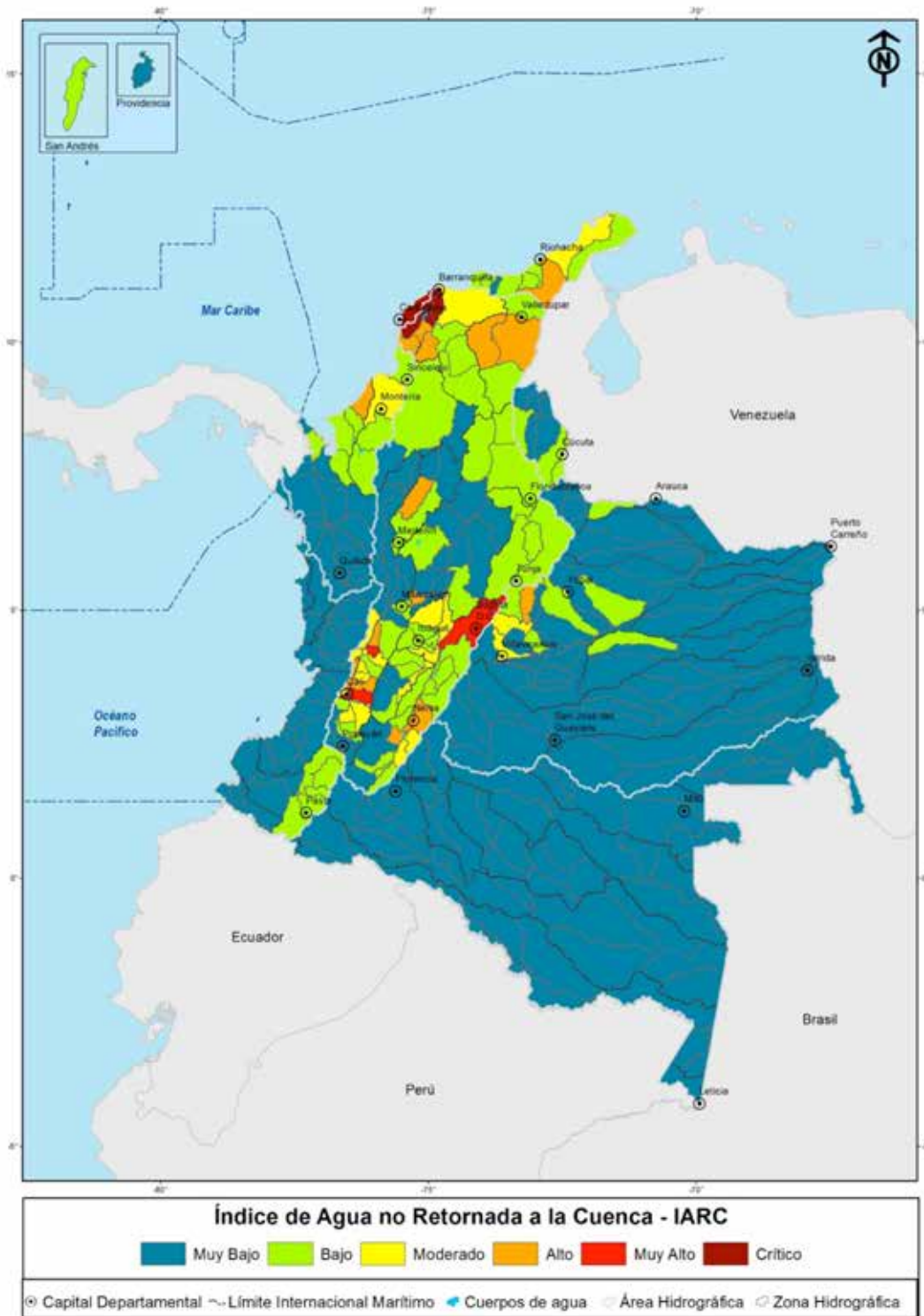
SHZ	Nombre SHZ	Área Hidrográfica	Índice de agua no retornada a la cuenca (IARC)
2120	Río Bogotá	Magdalena – Cauca	0,51
2607	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)	Magdalena – Cauca	0,5
2630	Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo	Magdalena – Cauca	0,54
2636	Río Paila	Magdalena – Cauca	0,59

Figura 21. Oferta de agua disponible en año medio por subzona hidrográfica.



Fuente: Estudio Nacional del Agua 2014

Figura 22. Índice de agua no retornada a la cuenca (IARC) por subzona hidrográfica en Colombia.



4.2 Evaluación de la disponibilidad de agua verde y de la sostenibilidad de la huella hídrica verde en Colombia

La evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica verde en una cuenca se basa en la comparación entre la HHV multisectorial y la disponibilidad de agua verde (DAV) a nivel de cuenca. Si se consume más de lo que se ha determinado como disponible para uso humano o para una misma unidad geográfica, se declara que esta huella hídrica no es sostenible. La premisa básica aquí consiste en que no toda el agua verde presente en un área determinada se encuentra disponible para usos productivos, pues una parte debe dejarse para el ambiente y otra no se puede hacer productiva por razones físicas, como la topografía o los asentamientos urbanos.

A continuación, se presentan la metodología y los resultados de la evaluación de la sostenibilidad de la HHV para 311 SZH continentales en Colombia, mediante el cálculo del Índice de presión hídrica a los ecosistemas (IPHE)¹⁰ según la metodología propuesta por Hoekstra et al. (2011). A través de este cálculo, se identificó qué SZH tienen potenciales competencias por el agua verde en relación a conflictos por uso del suelo, entre las actividades existentes del sector agropecuario y las zonas de protección de ecosistemas estratégicos requeridas para la provisión y mantenimiento de servicios ecosistémicos.

4.2.1 Metodología

4.2.1.1 Datos empleados

Se determinaron valores anuales de todas las variables necesarias para el cálculo de la disponibilidad de agua verde (DAV) y para el IPHE, para las 311 SZH continentales de Colombia. A continuación se hace una breve descripción de la información utilizada:



- *Zonificación hidrológica para Colombia*

En el país existen 316 SZH; sin embargo, para este análisis no se tuvieron en cuenta cinco subzonas pertenecientes a la zona hidrográfica ZH 17 (Islas Caribe) y a la ZH 57 (Islas Pacífico). En total, este análisis se realizó para 311 SZH continentales.

- *Cobertura terrestre y uso actual del suelo*

A partir del mapa de coberturas terrestres 1:100.000, adaptado para Colombia según la metodología Corine Land Cover (IDEAM 2010), se realizó una reclasificación de las coberturas terrestres según cinco categorías de interés específico (**Tabla 43**).

¹⁰ En todo lo relativo a la huella hídrica, este estudio sigue la metodología y definiciones presentadas en el Manual de Huella Hídrica (Hoekstra et al., 2011) publicado por la Red de Huella Hídrica (Water Footprint Network). Con respecto al término “Índice de escasez de agua verde”, denominado en el manual “Green Water Scarcity Index”, el IDEAM ha estimado conveniente proponer para el contexto nacional una modificación al nombre con la finalidad de conseguir coherencia y armonía con el trabajo previo desarrollado sobre índices relativos al agua en estudios nacionales de agua anteriores, quedando incluido en el grupo de indicadores de presión al recurso hídrico bajo la denominación de “Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas (IPHE)”.

Tabla 43. Reclasificación del mapa de coberturas terrestres para Colombia.

Categoría	Área (ha)	Área (%)
Áreas productivas ⁽¹¹⁾	24.496.027,00	21,50%
Áreas naturales ⁽¹²⁾	83.689.985,10	73,40%
Áreas intervenidas ⁽¹³⁾	416.677,30	0,40%
No aplica ⁽¹⁴⁾	1.940.737,20	1,70%

Fuente: elaboración propia

- *Áreas protegidas*

Las áreas protegidas se identificaron a partir del mapa de límites cartográficos de los Complejos de Páramos de Colombia (Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012) y de las áreas consideradas en el Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN), entre ellas, los Parques Nacionales Naturales de Colombia (Parques Nacionales Naturales de Colombia 2013) y las Reservas Naturales de la Sociedad Civil (Parques Nacionales Naturales de Colombia 2014).

Las áreas de páramo en las SZH del país analizadas suman 2.905.156,7 ha y las otras áreas protegidas suman 14.262.221,4 ha. En total, las áreas protegidas

corresponden al 15,1% del territorio colombiano. Existen áreas que, pese a encontrarse protegidas, presentan una cobertura “no natural” en el mapa de coberturas terrestres. Esto significa que ocurren actividades productivas o actividades humanas importantes en estas zonas designadas como protegidas.

- Evapotranspiración distribuida geográficamente

Para este análisis se empleó el mapa de Evapotranspiración Real Anual – ET, estimado por el método de Budyko y distribuido geográficamente para todo el país en celdas de 2 km x 2 km (IDEAM 2014). La ET total del país expresada en volumen (teniendo en cuenta el área total para Colombia)¹⁵ es de 1.442.013,7 millones de m³/año; su distribución según las cinco categorías de cobertura predeterminadas y según las áreas protegidas del país se presenta en la **Tabla 44**.

¹¹ Se consideran en esta categoría todas las áreas con fines productivos, sean agrícolas, pecuarias o de explotación forestal.

¹² Se consideran tanto las áreas con vegetación natural como las áreas sin vegetación, pero que provienen de procesos naturales.

¹³ Las áreas intervenidas se refieren a las áreas que han sido modificadas o construidas por el ser humano, que no corresponden a áreas agrícolas, pecuarias o forestales. Pueden tener ET verde, como por ejemplo, la evapotranspiración que ocurre en zonas de recreación; pero es ET que no se considera productiva desde el punto de vista agropecuario.

¹⁴ Se consideran en esta categoría las áreas que no son de interés para el análisis de la huella hídrica verde, como aquellas cuya evapotranspiración es únicamente azul (ejemplo, los cultivos confinados o la evapotranspiración de ríos) o que corresponden a zonas oceánicas en las cuales no se calcula la huella hídrica.

¹⁵ Se asumen los páramos como áreas naturales de protección, según lo dicta la Constitución Política de Colombia, la Ley del Sistema Nacional Ambiental (99 de 1993), la Sentencia C-339 de 2002 de La Corte Constitucional y la Ley del Plan Nacional de Desarrollo (1450 de 2011). Además del Decreto 2372 de 2010 y la Ley 1450 de 2011, en donde los páramos hacen parte de los ecosistemas estratégicos que deben gozar de protección especial, por lo cual son objeto de conservación y manejo (AIDA 2014), y por tanto, no se permite en ellos usos agropecuarios o mineros.

Tabla 44. Distribución de la ET en Colombia por cobertura terrestre y en las áreas protegidas.

Cobertura terrestre	ET (Millones de m ³ /año)	(%)	Áreas protegidas	ET (Millones de m ³ /año)
Áreas naturales	1.086.488,10	75,30%	Páramos	28.047,90
Áreas productivas	285.844,20	19,80%	Otras áreas protegidas	188.186,60
Áreas intervenidas	4.541,80	0,30%	Subtotal áreas protegidas	216.234,40
Sin información	41.036,00	2,80%	Áreas no protegidas	1.225.779,20
No aplica	24.103,60	1,70%		
Total general	1.442.013,70	100%	Total general	1.442.013,70

Fuente: elaboración propia. NOTA: La ET de las categorías “sin información” y “no aplica” se dejó por fuera de los cálculos en las Ecuación 23 y Ecuación 24.

4.2.1.2 Estimación de la disponibilidad de agua verde (DAV) e Índice de presión hídrica a los ecosistemas (IPHE), por subzona hidrográfica

La disponibilidad de agua verde mensual está dada por la ET total por SZH menos la ET de la vegetación natural y menos la ET de las zonas no productivas (Ecuación 23). Según Hoekstra et al. (2011), la huella hídrica verde de una cuenca puede conformar un punto crítico ambiental cuando excede esta disponibilidad de agua verde para usos productivos.

Ecuación 23. Disponibilidad de agua verde

$$DAV_{mensual} = ET_{x,t(verde,mensual)} - ET_{x,t(natural,mensual)} - ET_{x,t(no_prod,mensual)}$$

Donde:

$DAV_{mensual}$: disponibilidad de agua verde para una SZH “x” en un periodo de tiempo “t” en volumen/tiempo.

$ET_{x,t(verde,mensual)}$: evapotranspiración total verde al interior de la SZH, en volumen/tiempo.

$ET_{x,t(natural,mensual)}$: evapotranspiración total verde al interior de la SZH, en volumen/tiempo.

$ET_{x,t(no_prod,mensual)}$: evapotranspiración del suelo en volumen/tiempo que no es posible hacer productiva; por ejemplo, por la topografía o por estar en zonas de asentamientos humanos y otras áreas intervenidas. Para este caso, se calcula únicamente como la suma de la ET obtenida para la categoría “áreas intervenidas” por fuera de las áreas protegidas.

La **Ecuación 23** asume que, en una SZH dada, ya se han predefinido áreas que deben ser protegidas, y que esta definición se ha realizado con miras a la sostenibilidad ambiental de la SZH. Adicionalmente, implica que una parte de la ET no se puede hacer físicamente productiva y, por tanto, debe excluirse de la contabilidad de agua verde disponible para uso humano productivo.

Una vez determinada la DAV, se evaluó la sostenibilidad de la HHV por SZH, la cual se obtiene de la relación entre la HHV total (sector agrícola y pecuario) y la DAV. Hoekstra et al. (2011) proponen nombrar a esta relación como “índice de escasez de agua verde”; sin embargo, para el caso colombiano será nombrado “Índice de presión hídrica a los ecosistemas o IPHE”, el cual denota la fracción de apropiación de los recursos de agua verde disponibles (**Ecuación 24**).

Ecuación 24. Índice de presión hídrica al ecosistema

$$IPHE = \frac{\sum HH_{verde}}{DA_{verde}}$$

Donde:

IPHE : Índice de presión hídrica a los ecosistemas.

$\sum HH_{verde}$: sumatoria de la huella hídrica verde por SZH en un periodo de tiempo "t", en volumen/tiempo.

DAV : disponibilidad de agua verde en la SZH para el periodo de tiempo "t", en volumen/tiempo.

4.2.2 Resultados de disponibilidad de agua verde

La DAV se calculó según la **Ecuación 23** y su resultado por AH se observa en la **Tabla 45**. El agua verde total disponible en el país es de 1.221.345,9 millones de m³/año. Este valor es interesante si se compara con la precipitación total a nivel nacional, que es de 3.153.754,2 millones de m³/año (valores medios mensuales de las series de 2046 estaciones del IDEAM para el periodo 1974-2012; IDEAM, 2014). Esto muestra que el 38,7% de la precipitación en Colombia está disponible para fines productivos como agua verde. Por su parte, la ET verde destinada a áreas protegidas es de 216.234,4 millones de m³/año) y corresponde a un 15,0 % de la ET verde del país y a un 6,9 % de la precipitación anual.

Tabla 45. Disponibilidad de agua verde por área hidrográfica, según los cálculos y suposiciones en este estudio.

Área hidrográfica	DAV (Millones de m ³ /año)	Porcentaje del total nacional (%)
Caribe	98.330,5	8,1
Magdalena–Cauca	272.254,0	22,3
Orinoco	397.465,6	32,5
Amazonas	363.478,2	29,8
Pacífico	89.817,7	7,4
Total	1.221.345,9	

El análisis de DAV indica que la zona hidrográfica (ZH) Caquetá presenta la mayor DAV, caso contrario a la ZH Apure, que presenta una DAV igual a cero, debido a que toda su área se encuentra en el Parque Nacional Natural (PNN) Tamá, el cual es considerado área protegida fronteriza de carácter binacional. Es decir, en Apure no existe agua verde disponible para usos productivos, según los resultados obtenidos.

El análisis de la DAV por SZH muestra que sus valores varían desde 0 hasta 28.764,3 millones de m³/año (**Figura 23**). Los casos en que esta disponibilidad es "cero" corresponden a dos SZH: la de Alto río Apure (3901), localizada en la ZH Apure, y la SZH del río Cuñare (4509), localizada en la ZH Yarí del Amazonas (**Tabla 46**). Esta última subzona se encuentra sobre el PNN Serranía del Chiribiquete, considerada área de conservación y preservación de los recursos naturales.

Se presentan, además, algunas SZH con una DAV muy baja; estas son la del río Luisa, el río Puré, el río Cali y el río Anchicayá (**Tabla 46**). La primera de estas se encuentra localizada sobre el PNN Serranía del Chiribiquete. La segunda, sobre el PNN Río Puré, área declarada estratégica debido a su importancia para asegurar la supervivencia de los pueblos indígenas que allí se encuentran; además, por su localización sobre los ecosistemas amazónicos. Las SZH del río Cali y del río Anchicayá corresponden a Reservas forestales protectoras; además, se encuentran en áreas del PNN Farallones de Cali, lo cual incide en su baja DAV.



Tabla 46. Subzonas hidrográficas con menor disponibilidad de agua verde.

SZH	Subzona hidrográfica	Zona hidrográfica	Área hidrográfica	DAV (Millones de m ³ /año)
3901	Alto Río Apure	Apure	Orinoco	-
4509	Río Cuñare	Yarí	Amazonas	-
4505	Río Luisa	Yarí	Amazonas	8,7
4420	Río Puré	Caquetá	Amazonas	14,2
2634	Ríos Cali	Cauca	Magdalena Cauca	43,7
5310	Río Anchicayá	Tapaje - Dagua - Directos	Pacífico	46,9

Fuente: elaboración propia

Las SZH de mayor DAV corresponden al río Caquetá Bajo y al río Caquetá Medio de la zona Caquetá (**Tabla 47** y **Figura 23**). Estas subzonas presentan una alta evapotranspiración total verde, y parte de su evapotranspiración es destinada a áreas protegidas, como el PNN río Puré y el PNN Cahuinarí para el río Caquetá Bajo; y el PNN La Paya, el PNN Alto Fragua-Indiwasi y el PNN Serranía de los Churumbelos para el río Caquetá Medio. Sin embargo, en estas subzonas existen áreas naturales que, según la metodología empleada, tienen ET que está siendo contabilizada en la DAV. Con este tipo de análisis se debe tener especial cuidado, ya que algunas de esas áreas naturales, pero no protegidas, pueden ser de gran importancia para su conservación.

Tabla 47. Subzonas hidrográficas con mayor disponibilidad de agua verde.

SZH	Subzona hidrográfica	Área hidrográfica	DAV (Millones de m ³ /año)
4415	Río Caquetá Bajo	Amazonas	28.764,3
4402	Río Caquetá Medio	Amazonas	20.436,0
2502	Bajo San Jorge - La Mojana	Magdalena Cauca	19.818,6
4706	Río Putumayo Bajo	Amazonas	19.257,3
3104	Río Inírida Medio	Orinoco	19.140,6

La competencia por agua verde en una cuenca se puede entender como una consecuencia de la ampliación de la frontera agropecuaria, que afecta de manera directa la sostenibilidad de la provisión de servicios ecosistémicos.

Para el país, el cálculo del IPHE se realizó con base en la HHV del sector agrícola y pecuario, la cual incluye el uso de agua del suelo por parte de cultivos y pastos (no incluye el agua de riego que está cuantificada en la huella hídrica azul); además, en el sector agrícola abarca los cultivos permanentes y transitorios, incluidos pastos de corte y forrajeros (HHV = 54.914,8 millones de m³/año), y en el sector pecuario, incluye los pastos utilizados en ganadería extensiva, pastos naturales, pastos mejorados y pastos en sistema silvopastoril (HHV = 245.536,7 millones de m³/año)¹⁶.

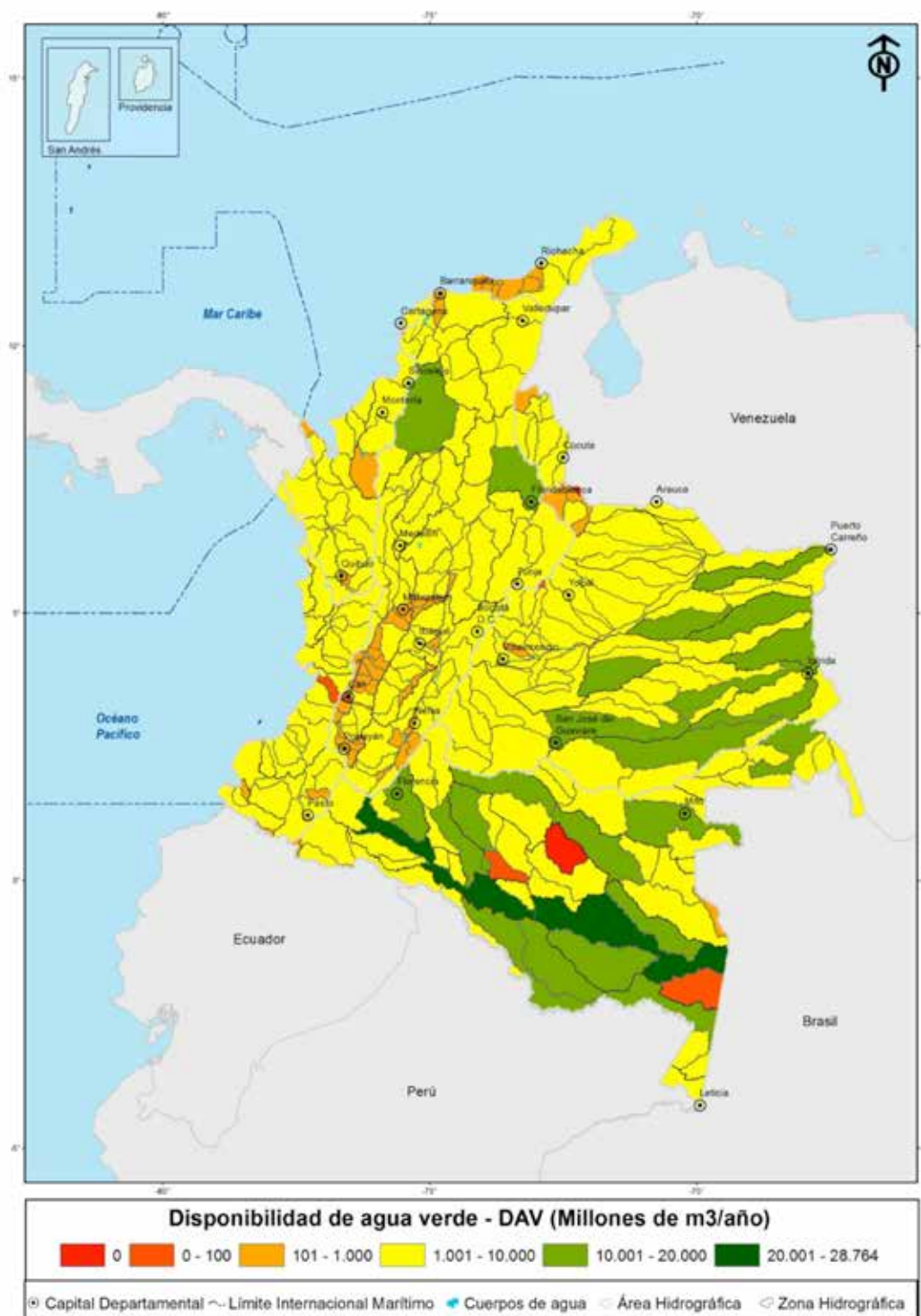
Para facilitar la comprensión del resultado de este indicador, se han establecido seis categorías que permiten estimar su estado en cada una de las SZH: **crítico**, para valores mayores que 1,0 que denotan que existe clara competencia por agua verde entre el uso del suelo vinculado al sector agropecuario y las áreas de protección asociadas a ecosistemas estratégicos en las cuencas; el nivel **muy alto** para valores entre 0,8 y 1,0 donde existe evidencia de una situación límite en términos de competencia por agua verde; **alto**, para valores entre 0,5 y 0,8 donde existe evidencia de una situación de competencia por agua verde; **moderado**, para valores entre 0,3 y 0,5 en subzonas donde existe

¹⁶ La huella hídrica verde de los pastos de ganadería extensiva solo se presenta como una relación de la disponibilidad de pastos con el inventario ganadero, lo que genera solo la huella hídrica verde proporcional al consumo de materia seca por parte del ganado.

una alerta de demanda de agua verde por parte del sector agropecuario que supera el 30% del total disponible; **bajo**, para IPHE entre 0,1 y 0,3; y **muy**

bajo, para valores inferiores a 0,1 donde se considera que existe una situación favorable para ecosistemas estratégicos en las SZH.

Figura 23. Disponibilidad de agua verde en las 311 subzonas hidrográficas en Colombia.



4.2.3 Resultados del Índice de presión hídrica a los ecosistemas, IPHE

Del análisis del indicador se evidenciaron 22 SZH que presentan IPHE "crítico" (Tabla 48), lo que significa que en estos territorios convergen una o varias de las siguientes situaciones: (1) Disponibilidad nula de agua verde ($DAV = 0$), lo que significa que la SZH está totalmente contenida en una zona de protección y con una huella hídrica verde agropecuaria mayor que cero, lo que significa que existe reporte de producción agrícola o de pastos ganaderos en una zona de protección donde no debería existir actividad productiva agropecuaria ni de ningún tipo. (2) Disponibilidad limitada de agua verde ($DAV > 0$, pero limitada), con huella hídrica verde agropecuaria mayor que cero y superior a la

disponibilidad de agua verde, por lo que existen zonas de protección en competencia por el agua verde.

La SZH con IPHE más alto corresponde a la del río Metica (Guamal-Humadea). En esta, la presencia de áreas protegidas es muy poca y corresponde a una pequeña parte del complejo de páramos Cruz Verde–Sumapaz. Sin embargo, en esta SZH la HHV es de 8.229,1 millones de $m^3/año$, asociada principalmente al sector pecuario (ganadería extensiva). Así mismo, se encontró en estado "crítico" la SZH del río Luisa; esta es la SZH con menor DAV, debido a su localización sobre áreas protegidas; en ella se estimó una HHV de 12,7 millones de $m^3/año$, dada por cultivos agrícolas y que contrasta con los 8,7 millones de $m^3/año$ de DAV.

Tabla 48. Subzonas hidrográficas con IPHE crítica.

SZH	Subzona hidrográfica	Área hidrográfica	IPHE
3501	Río Metica (Guamal-Humadea)	Orinoco	1,77
4505	Río Luisa	Amazonas	1,47
2634	Río Cali	Magdalena Cauca	1,44
2405	Río Sogamoso	Magdalena Cauca	1,34
2314	Río Opón	Magdalena Cauca	1,26
2903	Canal del Dique margen derecho	Magdalena Cauca	1,22
1204	Río Canalete y otros Arroyos Directos al Caribe	Caribe	1,21
2613	Río Otún y otros directos al Cauca	Magdalena Cauca	1,21
2303	Directos al Magdalena entre Ríos Seco y Negro (md)	Magdalena Cauca	1,20
1303	Bajo Sinú	Caribe	1,19
1206	Arroyos Directos al Caribe	Caribe	1,18
2637	Ríos Las Cañas, Los Micos y Obando	Magdalena Cauca	1,16
2120	Río Bogotá	Magdalena Cauca	1,14
2607	Río Guachal (Bolo, Fraile y Párraga)	Magdalena Cauca	1,13
2904	Directos al Bajo Magdalena entre Calamar y desembocadura al mar Caribe (mi)	Magdalena Cauca	1,10
2609	Ríos Amaime y Cerrito	Magdalena Cauca	1,09
2615	Río Chinchiná	Magdalena Cauca	1,07
1116	Río Tolo y otros Directos al Caribe	Caribe	1,07
2601	Alto Río Cauca	Magdalena Cauca	1,04
2632	Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso	Magdalena Cauca	1,04
2612	Río La Vieja	Magdalena Cauca	1,02
5310	Río Anchicayá	Pacífico	1,00

Existen 22 SZH que presentan IPHE “muy alto” (**Tabla 49**). Estos valores envían una señal de alerta sobre la DAV en comparación con los usos productivos que se están dando en estas subzonas, que si bien no son

valores “críticos”, se están presentando HHV que podrían llegar a exceder los límites de la SZH. Además, existen 61 SZH con valor “alto” y 47 subzonas hidrográficas con valor “moderado”.

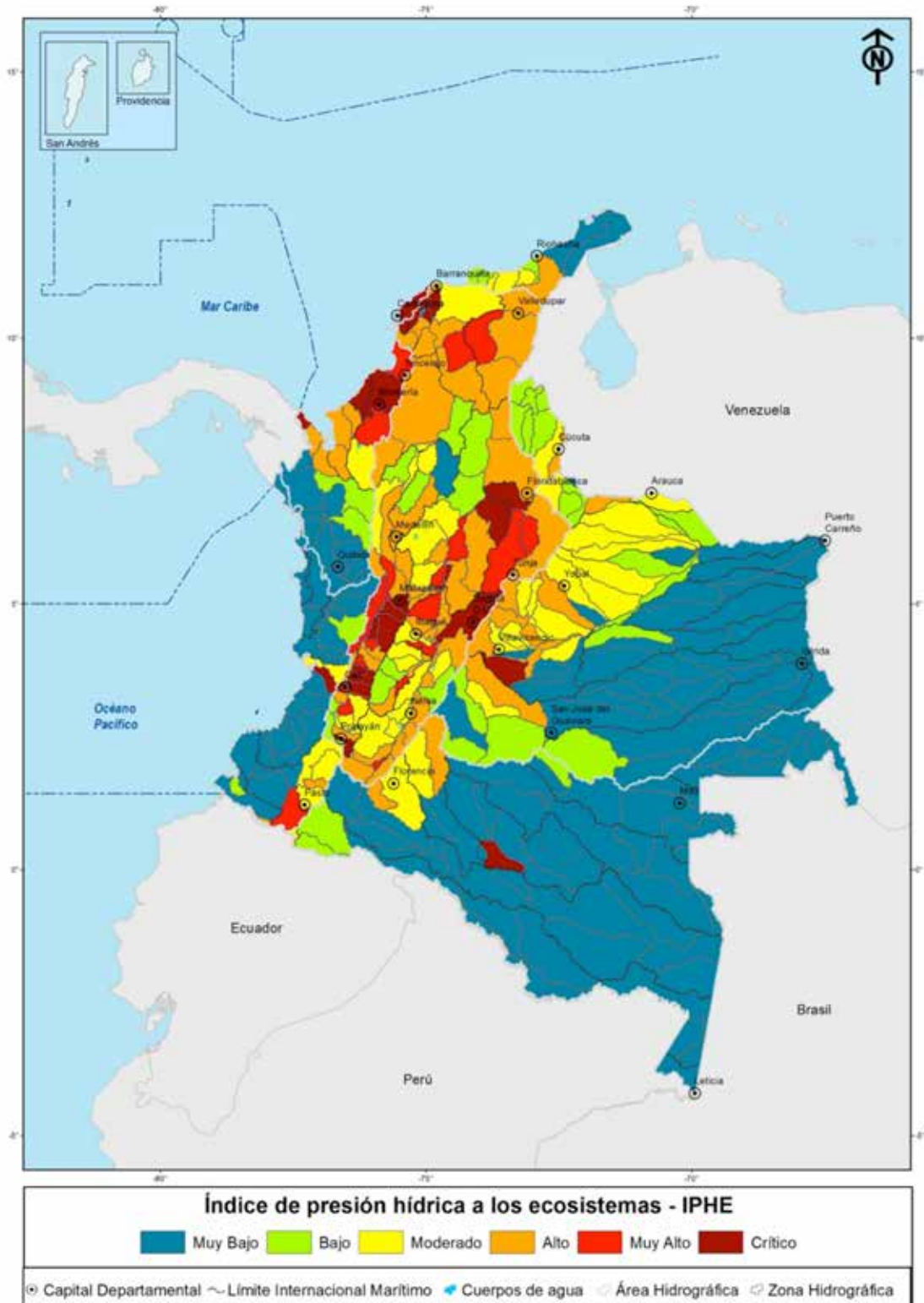
Tabla 49. Subzonas hidrográficas con IPHE *muy alto*.

SZH	Subzona hidrográfica	Área hidrográfica	IPHE
1205	Directos Caribe Golfo de Morrosquillo	Caribe	0,94
1302	Medio Sinú	Caribe	0,97
2102	Río Timaná y otros directos al Magdalena	Magdalena Cauca	0,94
2118	Río Luisa y otros directos al Magdalena	Magdalena Cauca	0,81
2125	Río Lagunilla y otros directos al Magdalena	Magdalena Cauca	0,86
2203	Medio Saldaña	Magdalena Cauca	0,87
2304	Directos Magdalena entre Ríos Guarinó y La Miel (mi)	Magdalena Cauca	0,98
2311	Directos al Magdalena Medio entre ríos Negro y Carare (md)	Magdalena Cauca	0,82
2401	Río Suárez	Magdalena Cauca	0,99
2402	Río Fonce	Magdalena Cauca	0,81
2608	Ríos Pescador, RUT, Chanco, Catarina y Cañaverál	Magdalena Cauca	0,87
2611	Río Frío	Magdalena Cauca	0,81
2614	Río Risaralda	Magdalena Cauca	0,87
2617	Río Frío y Otros Directos al Cauca	Magdalena Cauca	0,98
2622	Río Desbaratado	Magdalena Cauca	0,86
2628	Río Quinamayo y otros directos al Cauca	Magdalena Cauca	0,86
2630	Ríos Lilí, Meléndez y Cañaveralejo	Magdalena Cauca	0,81
2633	Ríos Guadalajara y San Pedro	Magdalena Cauca	0,84
2636	Río Paila	Magdalena Cauca	0,96
2804	Río Ariguani	Magdalena Cauca	0,91
2908	Ríos Chimuica y Corozal	Magdalena Cauca	0,98
5205	Río Guáitara	Pacífico	0,90

Las SZH con IPHE “bajo” corresponden a 38, mientras que 119 SZH presentaron índices “muy bajo”. Estas últimas se localizan principalmente en el AH Amazonas

(39%), seguida por Orinoco (29%), Pacífico (19%), Caribe (12%) y por último Magdalena-Cauca, con solo una subzona en estado “muy bajo” de presión hídrica a los ecosistemas.

Figura 24. Índice de presión hídrica a los ecosistemas IPHE para 311 subzonas hidrográficas en Colombia.





Al comparar los resultados de este análisis, específicamente la DAV anual para el país (1.221.345,9 millones de m³), con los resultados de los análisis de HHA anual para el sector agropecuario (6.975,7 millones de m³) se puede dilucidar la importancia del agua verde como recurso productivo en Colombia. Aunque el valor de DAV debe manejarse con cautela, pues es un estimativo en el cual ya han sido tenidos en cuenta los requerimientos de agua verde del ambiente (según legislación actual), los órdenes de magnitud demuestran que los volúmenes de agua verde disponible para usos productivos son significativamente superiores en comparación con la demanda de agua azul. Con este resultado se busca concientizar sobre la importancia de este recurso como factor productivo, y sobre la necesidad de conocer con mayor detalle sus volúmenes para realizar la mejor asignación posible.

Algunos de los resultados más importantes del análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica verde son:

- Visibilizan la importancia del agua verde en Colombia. Es estratégico conocer los recursos de agua verde del país, y lo será aún más teniendo en cuenta los efectos del cambio climático.
- Este estudio evidenció que existen 22 subzonas hidrográficas que sufren presión hídrica sobre sus ecosistemas (IPHE > 1) y otras 22 con valores muy altos. Además, que existe competencia entre los usos productivos y las áreas declaradas como protegidas, aun en subzonas que según el índice no presentan presión sobre sus ecosistemas.
- Este análisis permitió identificar que Colombia tiene gran potencial para hacer un aprovechamiento productivo del agua verde. Pero esto debe hacerse de manera estratégica, sin olvidar la importancia de las áreas de conservación en términos de garantía para la provisión de servicios ecosistémicos.
- El análisis y resultados hacen un llamado a la necesidad de continuar con el proceso de ampliación de las áreas protegidas en Colombia. En la actualidad, existen 90 SZH que no tienen ningún tipo de área protegida, contrario a las recomendaciones globales de asignar entre un 12% y un 30% del suelo por cuenca (en este caso, por SZH) al ambiente. Una vez realizado este proceso, podría estimarse el agua verde efectivamente disponible para usos productivos, sin comprometer el agua verde requerida por el ecosistema y para preservar la biodiversidad.
- La planeación de las actividades productivas, como la expansión ganadera o agrícola, debería llevarse a cabo en armonía con la expansión de las áreas protegidas, de modo que se respeten los ecosistemas estratégicos a favor de obtener una real sostenibilidad hídrica en cuenca.



CAPÍTULO 5

PROYECCIONES DE LA HUELLA HÍDRICA AGRÍCOLA, PERIODO 2012-2022

En el marco del Estudio Nacional del Agua 2010, se realizaron proyecciones de demanda hídrica para los diferentes sectores económicos; esto con el fin de dimensionar los impactos que a futuro se pueden presentar con relación a la disponibilidad del recurso hídrico. En este capítulo, se presentan los cálculos de las proyecciones de la huella hídrica para el sector agrícola, tomando como año base el 2012 y como año horizonte el 2022, específicamente para doce cultivos que concentran alrededor del 85% del área sembrada en Colombia.

5.1 Caracterización de la producción agrícola al 2012

La proyección futura de la huella hídrica del sector agrícola requiere, en primer lugar, hacer una caracterización presente, ya que la trayectoria que tome este sector en los 10 años siguientes al año base del estudio dependerá de la situación actual (dinámicas del sector, las instituciones, y las políticas comerciales internas y externas), pues los procesos de crecimiento son altamente histórico-dependientes (Arthur, 2013). Debido a lo anterior, se realizó un análisis de las siguientes características para tener un mayor entendimiento de las dinámicas asociadas al sector agrícola.

- Distribución de las áreas agrícolas y de la producción para los doce cultivos priorizados.
- Comportamiento del sector agrícola con relación al PIB nacional.
- Caracterización de los productores (tenencia de la tierra).
- Caracterización del comercio exterior, que incluye la balanza comercial, los tratados de libre comercio y los acuerdos comerciales.
- Política interna asociada a la producción de los cultivos priorizados.

A continuación se muestra un resumen de las políticas públicas activas para cada sector, es decir, las políticas públicas de incentivos al sector agropecuario que al 2013 se encontraban vigentes, las cuales tienen gran

relevancia al momento de hacer las proyecciones de las áreas cultivadas para el periodo 2012-2022:

a) El programa de asistencia técnica del sector agropecuario del Departamento Nacional de Planeación (DNP) y la resolución 178 del 2012 del Ministerio de Agricultura plantean programas de investigación y desarrollo para la papa, la palma, el sector pecuario y el cacao.

b) En el año 2013 se lanzó el “Plan de impulso a la productividad y el empleo” (PIPE), el cual contempla un paquete de incentivos para el sector agrícola colombiano entre los cuales se destacan: el aumento de recursos para las salvaguardas arancelarias del cacao, la papa, el arroz, el maíz y la soya, y la transferencia de recursos para la recapitalización agropecuaria para los cultivos de palma, banano, arroz y cacao (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2014).

c) El Ministerio de Agricultura y Fenalce pusieron en marcha el “Plan País Maíz”, el cual contempla la ampliación de las áreas de cultivo de maíz en los departamentos de Córdoba, Meta, Magdalena Medio y la zona cafetera; además, consolidaron el programa maíz-palma y maíz-café, beneficiando así tanto el cultivo de maíz como los de palma y café.

d) Para los biocombustibles están la Ley 693 y la Ley 939, las cuales crean la demanda para los biocombustibles (etanol a base de caña y biodiesel a base de aceite de palma, respectivamente). Adicionalmente, se destacan políticas como la reducción de impuestos —de un 16% a un 7%— sobre las ventas de aceite de palma y de caña destinado a la generación de biocombustibles, a la vez que se desgravaba totalmente la renta generada por el aprovechamiento del cultivo de palma y caña (García y Calderón, 2012).

e) Se encontró que de las doce zonas francas agroindustriales seis están destinadas al cultivo de palma y tres para el cultivo de la caña de azúcar. Para la palma, estas zonas agroindustriales se encuentran en los municipios de San Pablo y Regidor (Bolívar), Sabana de Torres (Santander), Barrancabermeja (Santander),



Facatativá (Cundinamarca), la Gloria (Cesar), Puerto Rico (Meta), Santa Marta (Magdalena) y Zarzal (Valle del Cauca).

Para finalizar esta sección, cabe resaltar que desde el Ministerio de Agricultura y el Departamento Nacional de Planeación se priorizaron seis cadenas productivas agrícolas, que comprenden los cultivos de caucho, palma, cacao, maíz y soya, los cultivos hortofrutícolas y las plantaciones forestales;¹⁷ se tiene contemplado como objetivo tener 1'000.000 de hectáreas de cada uno de los cultivos en los próximos cinco años (Fedepalma, 2014).

5.2 Metodología de las proyecciones de áreas agrícolas para el periodo 2012-2022 de los doce cultivos priorizados

Las proyecciones se realizaron siguiendo cuatro modelos, con el fin de encontrar el más adecuado de acuerdo a la revisión bibliográfica; los modelos analizados fueron los siguientes:

- Proyección tendencial de las áreas sembradas.
- Proyecciones a partir de las tasas de crecimiento del PIB para el sector agrícola establecidas por el Departamento Nacional de Planeación (DNP).
- Proyecciones de crecimiento de acuerdo a los reportes de los gremios.
- Modelo de dinámica de sistemas; por sus características de interacción entre las variables, este modelo fue seleccionado para hacer las proyecciones de huella hídrica.

Las proyecciones de la huella hídrica se realizaron a partir de la formulación y cálculo del modelo de dinámica de sistemas, a través del software VENSIM. Sobre la teoría de dinámica de sistemas, este programa permite construir las interacciones que surgen entre las partes que conforman el sistema a través del tiempo creando relaciones no lineales (Sterman, 2000). Por lo tanto, las tasas de crecimiento de las áreas de los cultivos son endógenas al sistema, ya que estas se van generando dependiendo, no solo del comportamiento del mismo cultivo, sino también de los demás. En este sentido, el modelo con base en la dinámica de sistemas permite modelar y proyectar la competencia por las tierras.

¹⁷ http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/Ministro_agricultura_opt.pdf

Por otro lado, la influencia de las variables utilizadas sobre la tasa de crecimiento de los cultivos es estimada a través de modelos de series de tiempo y son la base para lograr las proyecciones. Cabe resaltar que la realización de este modelo tiene como base el documento “Propuesta de acuerdo para que el desarrollo agropecuario se produzca en armonía con la gestión integral del recurso hídrico de la macrocuenca Magdalena-Cauca”.

5.2.1 Modelo de dinámica de sistemas

Los sistemas dinámicos complejos son aquellos en los cuales las interacciones entre los agentes que conforman el sistema crean un patrón o una estructura, la cual está siempre modificándose debido a la respuesta a estos patrones de cada uno de los agentes (Arthur, 2013). Es decir, las acciones o estados de cada agente que conforma el sistema dependen, a su vez, de las acciones o estados de los otros agentes, creando espacio para que estos reaccionen ante los cambios que se presenten. Este proceso se conoce como

“feedback” (o retroalimentación) y es el mecanismo endógeno que hace que el sistema esté en constante cambio a través del tiempo.

5.2.1.1 Estructura del modelo

El análisis de las interacciones entre variables se hace a partir de una serie de “cluster”, que toman unas variables definidas por los factores naturales, los factores de oferta y demanda, y los factores hídricos, y cuyo eje central es la variable crecimiento en hectáreas de los cultivos.

5.2.1.2 Estimaciones econométricas insumo para el modelo

El objetivo del ejercicio econométrico es la estimación de la influencia que ejercen las variables del PIB, la población, los precios internacionales, los precios internos y la productividad sobre la tasa de crecimiento de las hectáreas por cultivo. Para determinar esta influencia, se utilizó un modelo dinámico multivariado



¹⁸ “Retardos” hace referencia a la variable en el periodo t-1

de retardos autorregresivos con retardos distribuidos (ADL), el cual permite estimar la variable dependiente y las independientes en función de sus retardos¹⁸. Para realizar las estimaciones econométricas, se definieron los siguientes pasos:

- Series de tiempo de cada una de las variables para el periodo 2000-2012.
- Análisis gráfico y técnico de las variables para cada cultivo en su nivel, primera diferencia y segunda diferencia.
- Definición de seis modelos lineales: en niveles, niveles con rezago, primeras diferencias, primeras diferencias con rezagos, segundas diferencias y segundas diferencias con rezagos.

5.3 Resultados

Mediante el software Vensim se realizaron simulaciones de las áreas cultivadas para los doce cultivos priorizados en el periodo 2013-2022. De acuerdo con las proyecciones y teniendo en cuenta las limitaciones propias de estos modelos, se destaca una tendencia al rápido crecimiento del cultivo de palma, que podría llegar a tres millones de hectáreas en el 2022. Por otro

lado, el café alcanzaría un área de unos dos millones de hectáreas para el 2022. También se tendrá un potencial y significativo crecimiento de las hectáreas de caña de azúcar, las cuales triplicarían su área sembrada para este mismo periodo, llegando a 1.505.965 de hectáreas. Los cultivos de palma y caña se consideran fuertemente influenciados por un incremento en la demanda y producción de biocombustibles, y por una política pública que genera un entorno favorable para la ampliación de estos cultivos.

Para el 2022, la participación de cada uno de los cultivos cambiaría frente a la encontrada en el 2012, ya que, según la proyección, la palma será el cultivo dominante, al representar el 33,3% de las áreas proyectadas. La siguen el café, con el 21,2%; la caña, con el 16,3%; y el cacao, con el 8,2%. Se resalta que los cultivos más representativos para el 2022 coinciden con los cultivos para los cuales se han diseñado un mayor número de políticas de incentivos desde el Gobierno nacional. La palma es el cultivo con mayores beneficios en las políticas públicas, seguida por el café, la caña, el arroz y el cacao. En la **Tabla 50**, la **Tabla 51** y la **Tabla 52**, se observan las hectáreas proyectadas para cada uno de los cultivos desde el 2013 hasta el 2022.

Tabla 50. Áreas (hectáreas) proyectadas del 2012 al 2022 para los cultivos transitorios.

Año	Área sembrada (ha)					
	Arroz	Frijol	Maíz	Papa	Soya	Yuca
2012	42.701	42.701	368.184	147.796	22.673	80.368
2013	459.884	459.884	345.065	133.892	25.596	90.461
2014	494.489	494.489	323.398	121.297	28.897	101.822
2015	531.698	531.698	303.092	109.886	32.623	114.609
2016	571.707	571.707	284.060	99.549	36.830	129.002
2017	614.726	614.726	266.224	90.184	41.579	145.202
2018	660.982	660.982	249.508	81.700	46.941	163.437
2019	710.719	710.719	233.841	74.014	52.994	183.962
2020	764.198	764.198	219.158	67.051	59.827	207.064
2021	821.702	821.702	205.396	60.744	67.542	233.067
2022	883.533	883.533	192.499	55.029	76.251	262.337



Tabla 51. Áreas (hectáreas) proyectadas del 2012 al 2022 para los cultivos permanentes.

Año	Área sembrada (ha)					
	Banano	Cacao	Café	Caña de azúcar	Palma	Plátano
2012	63.486	95.307	931.060	418.063	455.805	354.552
2013	65.850	117.270	1.002.918	475.225	551.524	351.170
2014	68.301	144.294	1.080.322	540.202	667.344	347.820
2015	70.844	177.545	1.163.700	614.064	807.486	344.502
2016	73.482	218.459	1.253.512	698.025	977.059	341.216
2017	76.217	268.802	1.350.257	793.466	1.182.241	337.961
2018	79.055	330.745	1.454.468	901.957	1.430.511	334.737
2019	81.998	406.963	1.566.722	1.025.281	1.730.919	331.544
2020	85.051	500.745	1.687.640	1.165.468	2.094.412	328.382
2021	88.217	616.138	1.817.889	1.324.822	2.534.238	325.249
2022	91.502	758.122	1.958.192	1.505.965	3.066.428	322.147

Tabla 52. Área (hectáreas) proyectadas del 2013 al 2022 para los pastos (forrajero y corte), flores y follajes.

Año	Área sembrada (ha)		
	Pasto forrajero	Pastos corte	Flores y follajes
2013	544.312,9	1.330.231,5	205.704,0
2014	562.599,2	1.372.559,1	208.204,0
2015	581.499,8	1.416.233,5	210.736,0
2016	601.035,4	1.461.297,6	213.298,0
2017	621.227,3	1.507.795,6	215.891,0
2018	642.097,5	1.555.773,2	218.515,0
2019	663.668,9	1.605.277,5	221.172,0
2020	685.965,0	1.656.356,9	223.860,0
2021	709.010,1	1.709.061,6	226.582,0
2022	732.829,4	1.763.443,4	229.337,0

Tomando como base la metodología y los resultados de la huella hídrica del sector agrícola, se procedió a estimar y proyectar la huella hídrica de cada uno de los doce cultivos para el periodo 2012-2022 en función de

las áreas sembradas cada año. En la **Tabla 53** y la **Tabla 54** se observan las proyecciones de huella hídrica azul para cada uno de los cultivos desde el 2013 hasta el 2022.

Tabla 53. Huella hídrica azul proyectada del 2012 al 2022 para los cultivos transitorios.

Año	Huella hídrica azul (Millones de m ³)					
	Arroz de riego	Frijol	Maíz	Papa	Soya	Yuca
2012	444,5	10,0	103,2	111,7	0,6	47,2
2013	492,7	10,1	98,2	104,7	0,7	57,8
2014	540,8	10,1	93,3	97,7	0,8	68,5
2015	589,0	10,1	88,4	90,7	1,0	79,2
2016	637,1	10,1	83,5	83,7	1,1	89,9
2017	685,3	10,2	78,6	76,6	1,2	100,6
2018	733,4	10,2	73,6	69,6	1,4	111,2
2019	781,5	10,2	68,7	62,6	1,5	121,9
2020	829,7	10,2	63,8	55,6	1,6	132,6
2021	877,8	10,3	58,9	48,6	1,8	143,3
2022	926,0	10,3	53,9	41,6	1,9	154,0

Tabla 54. Huella hídrica verde proyectada del 2012 al 2022 para los cultivos transitorios.

Año	Huella hídrica verde (Millones de m ³)							
	Arroz riego	Arroz seco manual	Arroz seco mecanizado	Frijol	Maíz	Papa	Soya	Yuca
2012	1.427,9	96,9	1.410,2	178,8	2.078,9	515,3	74,4	556,2
2013	1.582,0	107,2	1.560,3	179,2	1.979,7	483,0	92,0	682,2
2014	1.736,1	117,5	1.710,5	179,7	1.880,5	450,6	109,6	808,1
2015	1.890,2	127,7	1.860,6	180,1	1.781,3	418,3	127,1	934,0
2016	2.044,3	138,0	2.010,8	180,6	1.682,1	385,9	144,7	1.060,0
2017	2.198,4	148,3	2.160,9	181,0	1.582,9	353,6	162,3	1.185,9
2018	2.352,5	158,6	2.311,0	181,5	1.483,7	321,2	179,9	1.311,8
2019	2.506,6	168,9	2.461,2	181,9	1.384,5	288,9	197,5	1.437,8
2020	2.660,7	179,2	2.611,3	182,4	1.285,3	256,6	215,0	1.563,7
2021	2.814,8	189,4	2.761,4	182,9	1.186,1	224,2	232,6	1.689,6
2022	2.968,9	199,7	2.911,6	183,3	1.086,9	191,9	250,2	1.815,6

Con base en la **Tabla 53** y la **Tabla 54**, se proyecta una potencial disminución en la huella hídrica de cultivos como el maíz y la papa, mientras que el arroz de riego podría llegar a duplicarse; los de mayor aumento proyectado son la soya y la yuca. Estos resultados están directamente influenciados por el comportamiento de las áreas sembradas año a año.

En el caso del maíz, el potencial descenso proyectado de la huella hídrica se debe a que se presentan unas disminuciones en el área sembrada proyectada al 2022; este descenso se puede explicar en parte por la baja en la demanda interna del maíz nacional frente al maíz importado, debido a que en los últimos años el precio internacional del grano ha sido menor que el precio nacional (Asociación de Biotecnología Vegetal Agrícola, 2011). Esto tiene su raíz en que la producción

nacional enfrenta grandes costos de producción y comercialización por precio de fertilizantes y de tierras, poca tecnificación del cultivo y deficiencias en la infraestructura vial para movilización del producto.

Al igual que con el cultivo de maíz, la huella hídrica proyectada del cultivo de papa decrece por el descenso proyectado en las hectáreas cultivadas (ver **Tabla 53** y **Tabla 54**). Este descenso se puede relacionar con tres aspectos: el primero tiene que ver con el decrecimiento del consumo per cápita de papa, el cual bajó un 18% del año 1998 al 2008 (Fedepapa, 2010); la segunda razón se relacionaría con una tendencia de baja en el precio de la papa a largo plazo (Fedepapa, 2010); y la tercera razón tiene que ver con una sobreoferta en los últimos años (Portafolio, mayo del 2014), lo que desincentiva la siembra del producto.

Tabla 55. Huella hídrica azul proyectada del 2012 al 2022 para los cultivos permanentes.

Año	Huella hídrica azul (Millones de m ³)					
	Banano	Cacao	Caña de azúcar	Palma de aceite	Plátano	Flores y follajes
2012	238,2	119,4	774,9	975,7	938,3	56,1
2013	247,0	146,9	880,8	1180,6	929,4	60,2
2014	256,2	180,7	1001,3	1428,6	920,5	64,3
2015	265,8	222,4	1138,2	1728,5	911,7	68,4
2016	275,7	273,7	1293,3	2091,5	903,0	72,5
2017	285,9	336,7	1461,2	2529,8	893,9	76,6
2018	296,6	414,3	1668,5	3062,2	885,9	80,8
2019	307,6	509,8	1900,3	3705,3	877,4	84,9
2020	319,1	627,2	2203,2	4483,4	869,1	89,0
2021	330,9	771,8	2558,9	5424,9	860,8	93,1
2022	343,3	949,6	2968,9	6564,1	852,5	97,2



Tabla 56. Huella hídrica verde proyectada del 2012 al 2022 para los cultivos permanentes.

Año	Huella hídrica verde (Millones de m ³)						
	Banano	Cacao	Café	Caña de azúcar	Palma de aceite	Plátano	Flores y follajes de campo
2012	933,2	1261,0	11822,3	6018,3	5928,9	5381,5	39,2
2013	968,0	1551,5	12734,8	6841,2	9324,7	5330,2	40,2
2014	1004,0	1909,1	13717,6	7776,6	12750,5	5279,3	41,2
2015	1041,4	2349,0	14764,9	8763,6	16116,3	5229,0	42,1
2016	1080,2	2890,3	15915,6	10094,0	19512,1	5179,1	43,1
2017	1120,4	3556,4	17111,9	11432,0	22907,9	5130,2	44,1
2018	1162,1	4375,9	18467,7	12987,6	26303,7	5080,8	45,1
2019	1205,4	5384,3	19878,5	14639,4	29699,5	5032,3	46,0
2020	1250,2	6625,1	21412,6	16641,9	33095,2	4984,3	47,0
2021	1296,8	8151,8	23065,3	18922,0	36491,0	4936,8	48,0
2022	1345,1	10030,3	24845,4	21501,9	39886,8	4889,7	49,0





En cuanto a las proyecciones de huella hídrica para los cultivos permanentes, se observa que, en general, aumentaría, excepto en el caso del plátano. Sin embargo cultivos como la palma y la caña se destacan sobre los demás porque su crecimiento esperado es mucho mayor, condicionado por factores favorables desde el ámbito político y económico.

Es importante resaltar el valor nulo de la proyección de la huella hídrica azul del café, la cual tiene valor positivo en la proyección del área sembrada; la razón de este valor se basa en las prácticas agrícolas del cultivo de café en ladera en Colombia, las cuales no incluyen riego para los cafetales; no obstante, presenta la mayor huella hídrica verde de todo el sector agrícola a nivel nacional.

En el caso de la palma de aceite, el incremento en la huella hídrica proyectado al 2022 se debería al aumento de las áreas sembradas, y a la existencia de incentivos hacia este tipo de cultivos a través del programa de “Incentivos a la Capitalización Rural” (ICR)¹⁹. Adicionalmente, el crecimiento de las hectáreas de palma se puede fundamentar en la creciente demanda interna y externa de biodiesel (realizado a base de aceite de palma) (Reina, Zuluaga & Oviedo, 2011).

En cuanto al cultivo de la caña de azúcar —al igual que la palma—, la huella hídrica proyectada se relaciona con un potencial aumento en las áreas sembradas; además, cuenta con subsidios y se espera una demanda creciente, tanto interna como externa de etanol, que podría tener un déficit de no aumentarse la producción en el largo plazo (Reina, Zuluaga & Oviedo, 2011).

Es importante mencionar que tanto el etanol como el biodiesel son considerados estratégicos por el Plan Nacional Energético, el cual definió una serie de políticas entre las que se destacan: la reducción de impuestos sobre las ventas de palma de aceite y caña destinadas a la generación de biocombustibles de un 16% a un 7%, a la vez que se desgrava totalmente la

¹⁹Los incentivos de capitalización rural tienen por objetivo incentivar la realización de inversiones nuevas dirigidas a la modernización, competitividad y sostenibilidad de la producción agropecuaria. Estos incentivos los administra Finagro (Contraloría General de la Nación, 2010).

renta generada por el aprovechamiento del cultivo de palma y caña (García y Calderón, 2012).

En el caso del plátano, la disminución en la huella hídrica proyectada se debería principalmente a la potencial disminución en el área cultivada (ver **Tabla 51**). Además, puede explicarse por la especialización de la producción nacional en la exportación, mientras que la demanda interna es suplida con plátano importado, en especial proveniente de Ecuador, cuyas exportaciones de este producto a Colombia han aumentado en forma considerable llegando a representar el 100% de las importaciones colombianas de plátano (Economic Research Service, 2009).

Tabla 57. Huella hídrica azul **proyectada del 2012 al 2022 para los pastos de corte y forraje.**

Año	Huella hídrica azul (Millones de m ³)	
	Pastos de corte	Pastos de forraje
2012	933,2	432
2013	968,0	449
2014	1004,0	466
2015	1041,4	483
2016	1080,2	500
2017	1120,4	517
2018	1162,1	534
2019	1205,4	551
2020	1250,2	567
2021	1296,8	584
2022	1345,1	601

Tabla 58. Huella hídrica verde proyectada del **2012 al 2022 para los pastos de corte y forraje.**

Año	Huella hídrica azul (Millones de m ³)	
	Pastos de corte	Pastos de forraje
2012	15.430,88	6.185,44
2013	15.998,50	6.427,64
2014	16.566,12	6.669,84
2015	17.133,75	6.912,04
2016	17.701,37	7.154,25
2017	18.268,99	7.396,45
2018	18.836,62	7.638,65
2019	19.404,24	7.880,85
2020	19.971,86	8.123,06
2021	20.539,49	8.365,26
2022	21.107,11	8.607,46

En lo relativo a los pastos de cultivo agrícola, no se identifica una situación de potencial crecimiento de áreas sembradas ni de huella hídrica que se aleje del crecimiento tendencial reportado en la información oficial del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. En las **Figura 25 - Figura 30** se presenta la distribución espacial de la huella hídrica azul y verde proyectada por zona hidrográfica para los cultivos de cacao, café, caña de azúcar, palma de aceite, plátano y flores y follajes.

Figura 25. Proyección de la huella hídrica azul y verde del cultivo de café para los años 2012 y 2022.

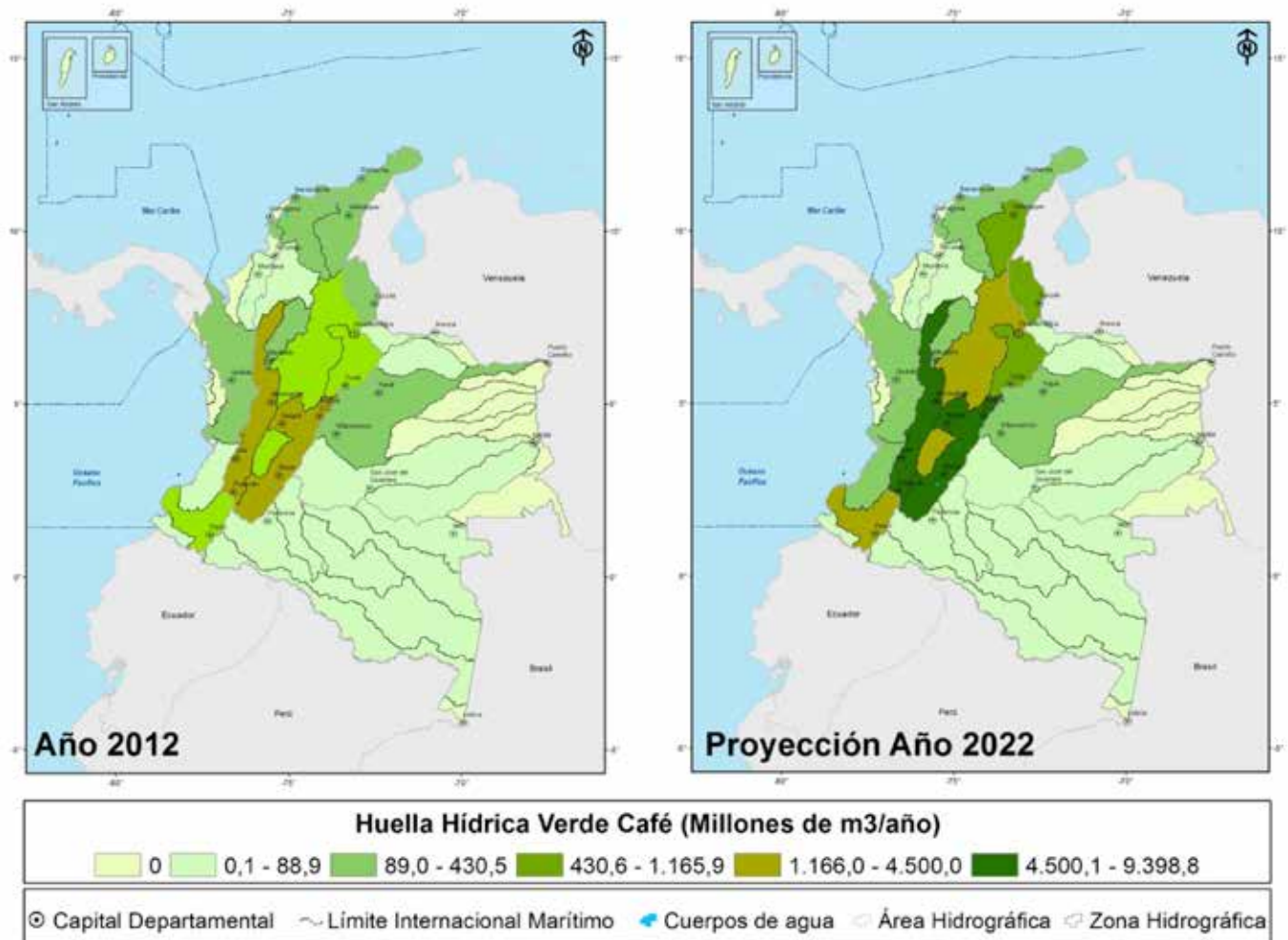


Figura 26. Proyección de la huella hídrica azul y verde del cultivo de cacao para los años 2012 y 2022.

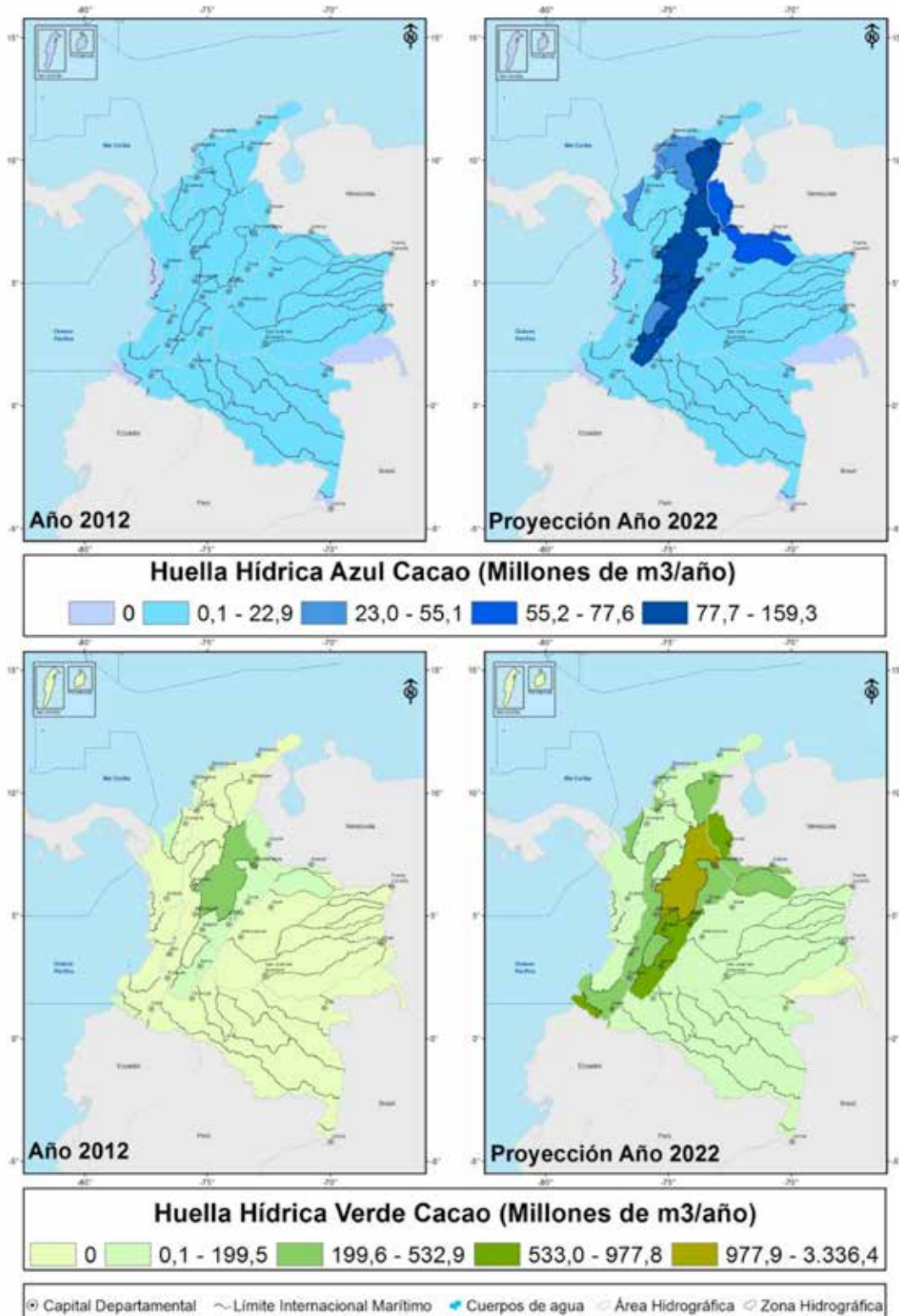


Figura 27. Proyección de la huella hídrica azul y verde del cultivo de la caña de azúcar para los años 2012 y 2022.

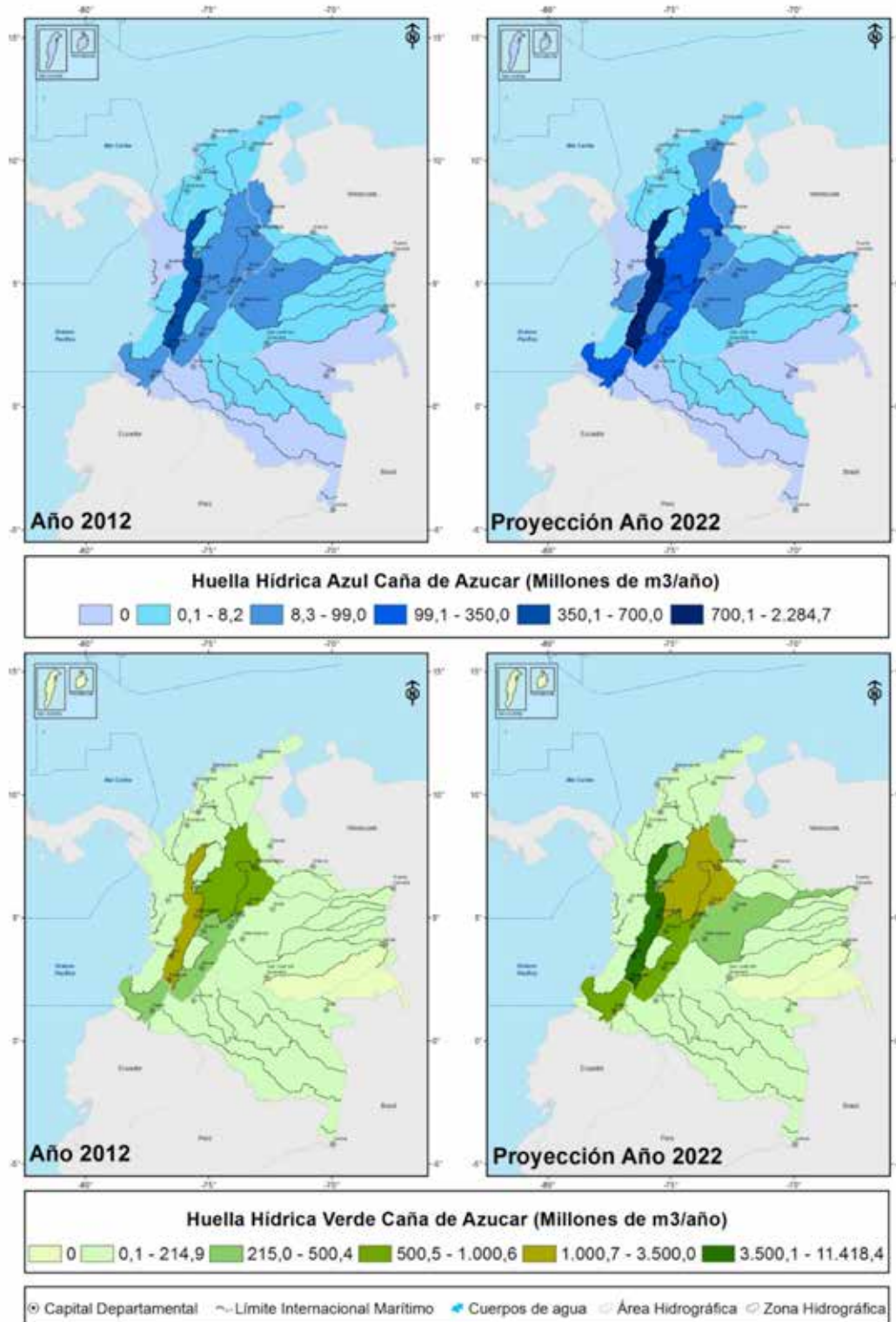


Figura 28. Proyección de la huella hídrica azul y verde del cultivo de la palma de aceite para los años 2012 y 2022.

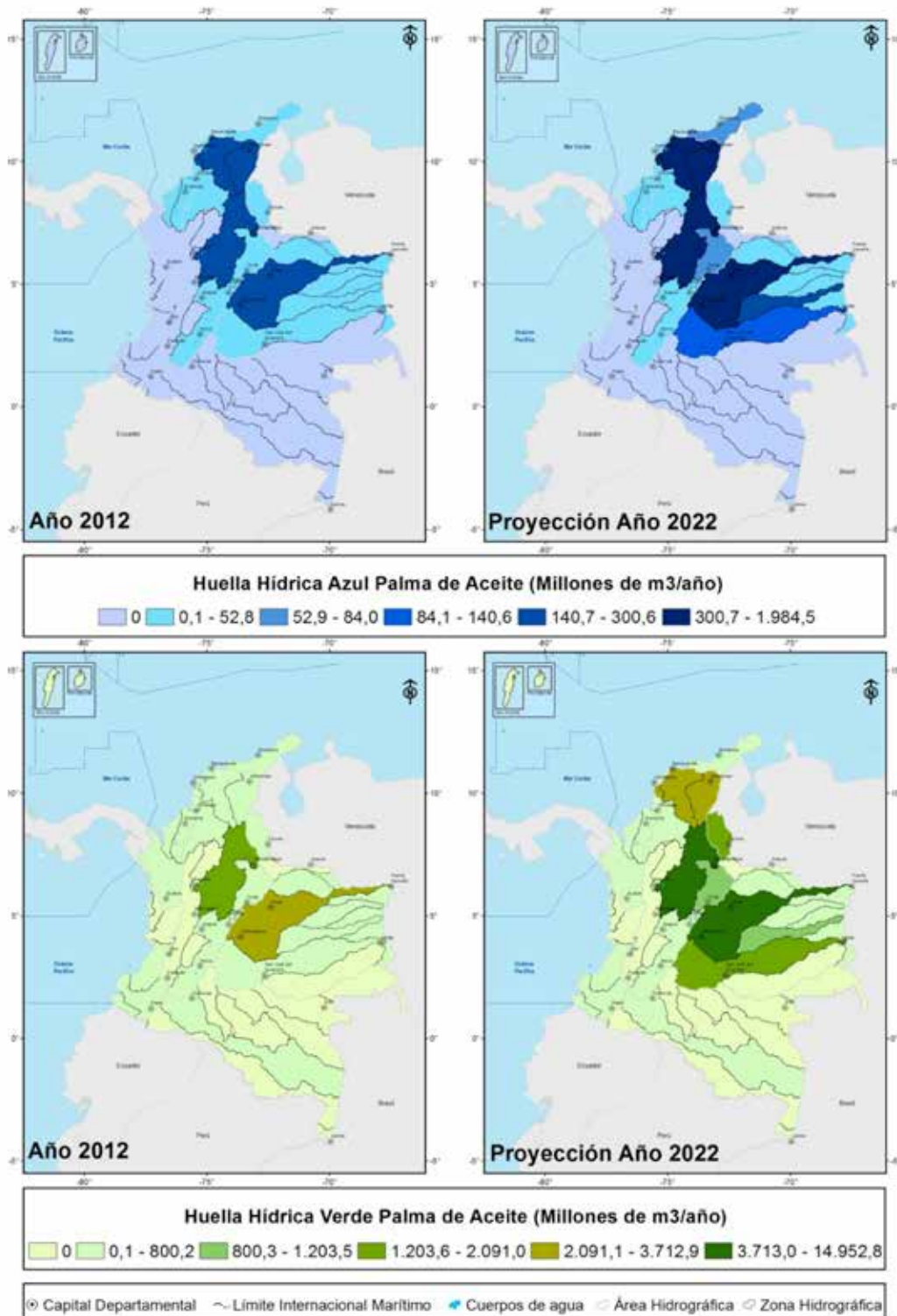


Figura 29. Proyección de la huella hídrica azul y verde del cultivo de plátano para los años 2012 y 2022.

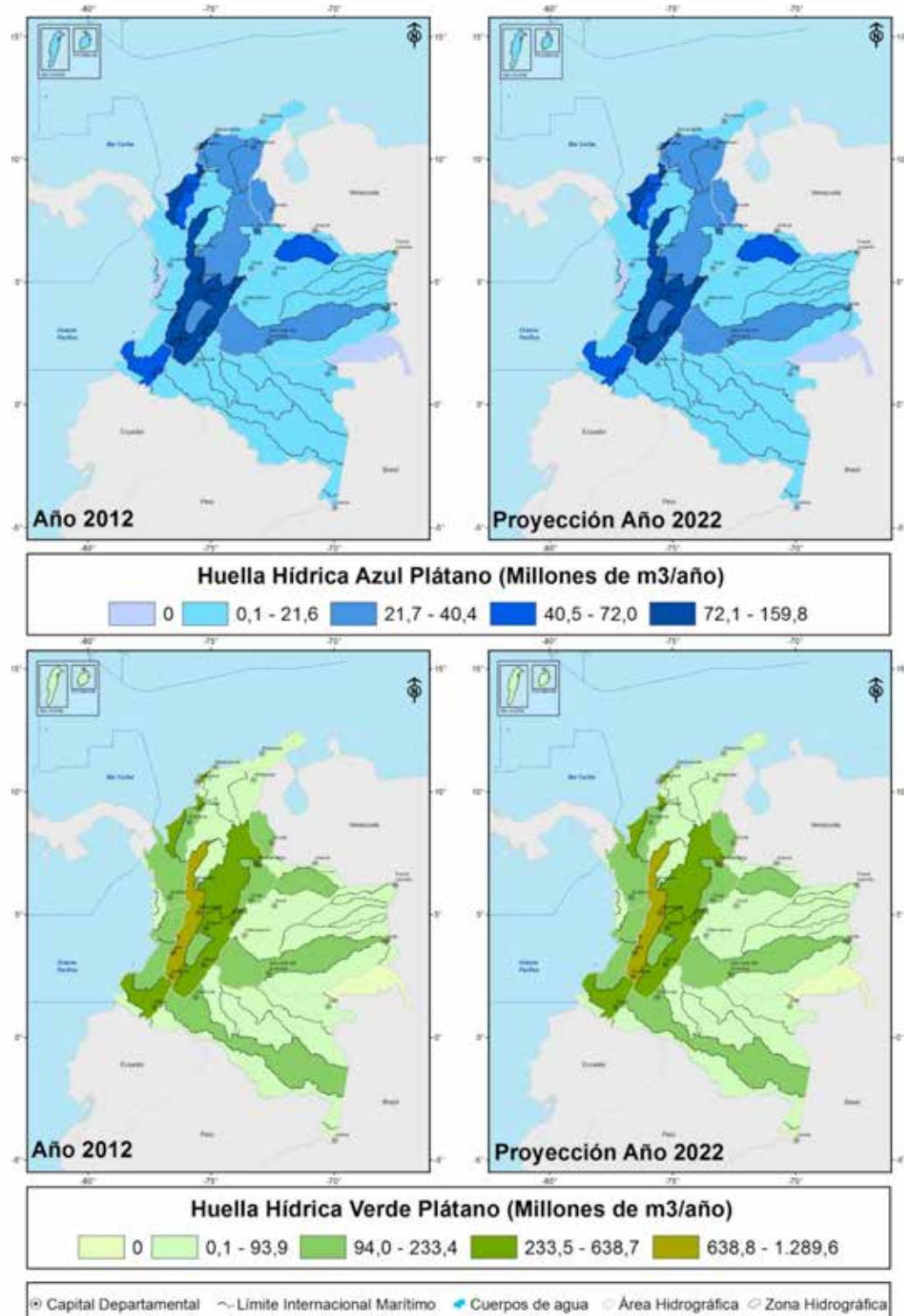
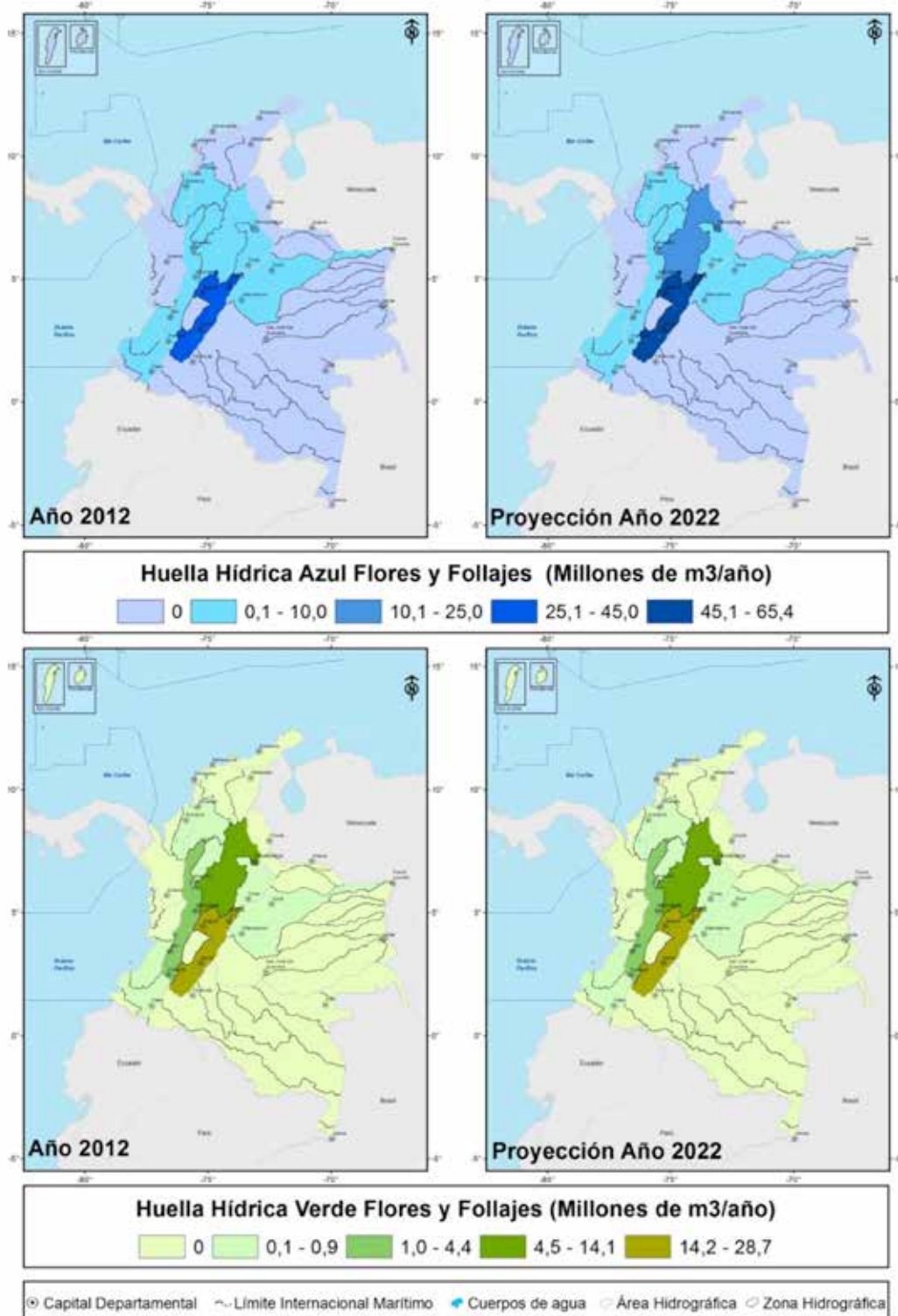


Figura 30. Proyección de la huella hídrica azul y verde del cultivo de flores y follajes para los años 2012 y 2022.





CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE FLUJO DE AGUA VIRTUAL PARA EL SECTOR AGRÍCOLA, PERIODO 2012-2022

El análisis y reflexión sobre el comercio mundial de bienes básicos o materias primas (commodities)—que representan el 70% del flujo virtual del agua mundial (Hoekstra y Hung, 2005)— se constituye en una fuente para solucionar los crecientes problemas de escasez de agua en algunos lugares del mundo (Clark et al., 2014). Esto se debe a que, a través de los bienes y servicios, se “traslada” el agua de unas zonas geográficas a otras; en algunos casos, de zonas relativamente abundantes en agua hacia otras con menor dotación de este recurso (Delbourg y Dinar, 2014).

Sin embargo, a pesar de las propiedades distributivas del comercio internacional de bienes básicos, al ser los productos de origen agrícola los bienes que consumen la mayor parte del agua del mundo (Hoekstra y Chapagain, 2004; Suweis et al., 2011), también se deben tener en cuenta los impactos en términos del recurso hídrico que deja la producción de estos bienes en su país de origen. En este orden de ideas, los conceptos de huella hídrica azul y huella hídrica verde adquieren gran relevancia, ya que permiten evaluar dicho impacto, lo que posibilita diferenciar el tipo y la cantidad agua virtual que contiene cada producto.

6.1 Caracterización de los flujos comerciales asociados al sector agrícola

Para poder establecer el flujo de agua virtual (FAV), es necesario analizar y entender las dinámicas de los productos de exportación de Colombia y, en este caso en particular, del sector agrícola. Este análisis conlleva una revisión de los siguientes aspectos:

- Caracterización del comercio exterior, que incluye la balanza comercial, los tratados de libre comercio y los acuerdos comerciales.
- Análisis de los socios comerciales.

6.2 Metodología de estimación de las exportaciones de Colombia para el sector agrícola

Para proyectar las exportaciones de los principales productos agrícolas de Colombia y, por ende, definir su huella hídrica, también en este caso se implementó el “modelo de dinámica de sistemas”; como se explicó antes (5.2.1), este modelo tiene la capacidad de analizar diferentes variables, como la producción, los precios internacionales de cada producto, el producto interno bruto de cada país y la población, que interactúan entre sí creando una dinámica en donde las variables involucradas reaccionan a los patrones que ellas mismas crean a través del tiempo (Arthur, 2013).

6.2.1 Conceptualización

Para realizar las proyecciones de los siete principales productos exportables colombianos —exceptuando las flores²⁰—, el modelo proyecta la tasa de crecimiento de las exportaciones de cada producto por socio comercial, la cual dependerá del impacto de los precios internacionales, del aumento de la población de cada socio comercial y del ingreso per cápita sobre ella. Con esta tasa de crecimiento, se calculan las exportaciones para el periodo 2013-2022 teniendo en cuenta, como variable techo de estas, la producción colombiana proyectada para cada uno de los años del periodo mencionado por producto.

6.2.2 Modelo econométrico

Debido a la naturaleza de la variable por estimar, se utilizó un modelo dinámico multivariado de retardos autorregresivos con retardos distribuidos (ADL); este se puede consultar con más detalle en el numeral 5.2.1.2. En ese sentido, para el cálculo de las proyecciones de los flujos de agua virtual, se utilizaron las series de tiempo de las tasas de crecimiento asociadas a cada variable para el periodo 2000-2012. Posteriormente, se

²⁰Para las flores fue aplicado un modelo tendencial alterno que se ajustó mejor a la información sectorial disponible para este estudio.

²¹Variable de nivel: ace referencia a aquellas variables que no han sufrido una diferenciación en la estimación econométrica, porque cumplen el supuesto de estacionariedad, el cual garantiza que el modelo se comporta de forma normal.

²²Variables en primera diferencia: hace referencia a aquellas variables que han sido diferenciadas, restando a la variable del periodo t, la misma variable en el periodo t-1, con el fin de volver la serie de tiempo una seria estacionaria, para que tenga un comportamiento normal.

realizó un análisis gráfico y técnico de las variables para cada cultivo en su nivel²¹, primera diferencia²² y segunda diferencia²³, para establecer si las variables cumplen con los supuestos de no autocorrelación, si el proceso que genera los datos es estacionario, y también analizar los datos atípicos en la serie.

Después, para cada uno de los socios comerciales de Colombia por producto, se plantea un modelo econométrico particular que tiene como base un análisis técnico de las variables estudiadas.

6.2.3 Estructura del modelo

El modelo de dinámica de sistemas se dividió en cuatro “cluster”: el de las variables globales, el de la tasa de crecimiento, el de las exportaciones y el de la producción.

6.2.4 Cálculo de agua virtual azul y verde, y distribución espacial de los flujos de agua virtual y exportaciones

Los flujos de agua virtual representan la HHA y HHV contenidas en los productos de exportación. Para estimarlos es necesario establecer el valor de huella hídrica por unidad de producto y su respectiva

producción. Ambos indicadores dependen de la ubicación del cultivo, por lo que la estimación se hizo a partir de los polígonos empleados para la estimación de huella hídrica para el sector agrícola.

6.3 Resultados del análisis de flujo de agua virtual

En esta sección se analizaron los flujos de agua virtual para el 2012, con el objetivo de identificar los productos que mayor cantidad de agua aportan al comercio mundial hídrico y los productos cuya dinámica de comercio internacional tengan una mayor influencia en la presión sobre el recurso hídrico; esto lleva también a identificar los productos con menor costo de oportunidad del uso del agua.

La **Tabla 59** muestra la huella hídrica azul y verde, así como los flujos de agua virtual verde y azul por producto. En esta Tabla se destaca que la huella hídrica azul más grande la ocupó la palma de aceite, mientras que la menor fue la de las flores; y se observa también que, para la huella hídrica verde, el cultivo con mayor volumen fue el del café.



²³Variables en segunda diferencia: hace referencia a aquellas variables de primera diferencia que han sido nuevamente diferenciadas.

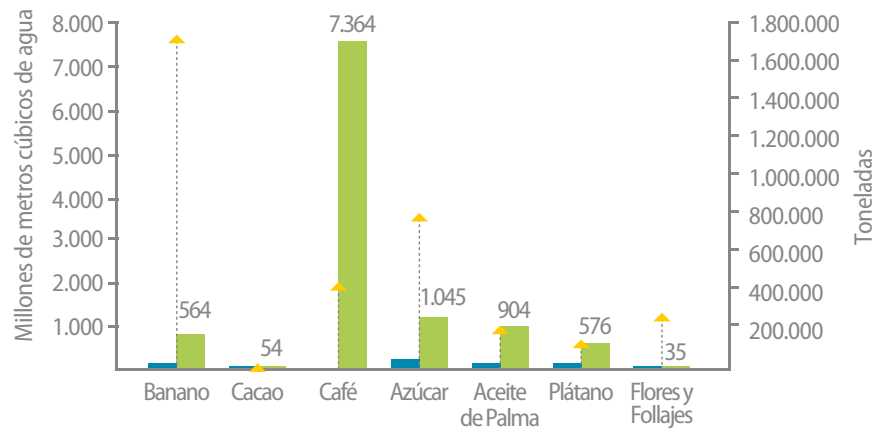
Tabla 59. Huella hídrica azul y verde, y agua virtual azul y verde en millones de metros cúbicos por año para el 2012.

	Banano	Cacao	Café	Azúcar	Aceite de palma	Plátano	Flores y follajes
HH azul	238,2	119,4	-	774,9	975,7	938,3	56
Agua virtual azul	144,1	2,7	-	214,3	139,7	90,1	50
HH verde	933,2	1.261,0	11.822,3	6.018,3	5.928,9	5.381,5	39
Agua virtual verde	564,3	53,6	7.363,8	1.044,8	903,6	575,8	35
Exportaciones (Ton)	1.706.494	4.321	400.651	753.367	174.376	128.446	201.949

Para los flujos de agua virtual azul para el año 2012, también la **Figura 32** muestra que el producto con mayor volumen de agua exportada fue el azúcar, que alcanzó un valor de 214 millones de metros cúbicos de agua azul por año (Agua de riego directamente relacionada con la demanda multisectorial del agua de ríos, lagos y acuíferos), mientras que el cacao, las flores y el plátano tuvieron un menor flujo.

Los cálculos de los flujos de agua virtual al 2012 muestran que Colombia —con sus exportaciones de banano, azúcar, café, aceite de palma, cacao, plátano y flores— sigue la tendencia de Suramérica de exportar en gran mayoría agua verde (Konar et al., 2011), la cual al 2012 representaba el 92% del flujo virtual de agua total exportada a través de los siete productos agrícolas mencionados, lo que se puede observar en la **Figura 31**.

Figura 31. Agua virtual verde y azul, y exportaciones del banano, cacao, café, azúcar, aceite palma, plátano y flores y follajes para el 2012.

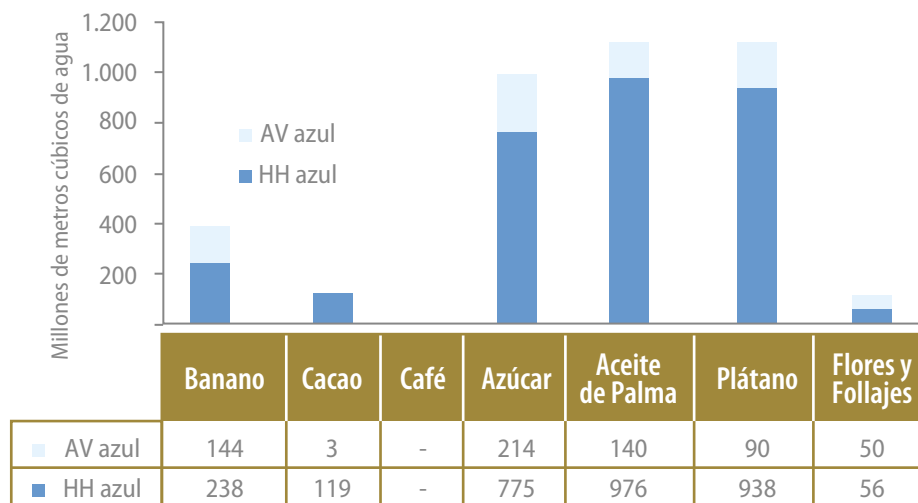


Lo anterior implica una menor presión y mayor eficiencia en el uso del recurso hídrico, ya que es agua almacenada en el suelo de las zonas en donde se encuentran los cultivos que se exportan, y no aguas de riego que proceden directamente de las cuencas, las cuales también abastecen las necesidades humanas.

Debido a esto, el costo de oportunidad del uso de agua con fines agrícolas de Colombia es menor que

en otras regiones del planeta, en donde se requiere un mayor volumen de agua azul para producir los mismos bienes (en Asia, por ejemplo). Esto le otorga a Colombia una ventaja comparativa en la producción de bienes agrícolas, en términos de uso eficiente del recurso hídrico y de costos asociados a la construcción de infraestructura destinada a la irrigación de las áreas para la producción de estos bienes.

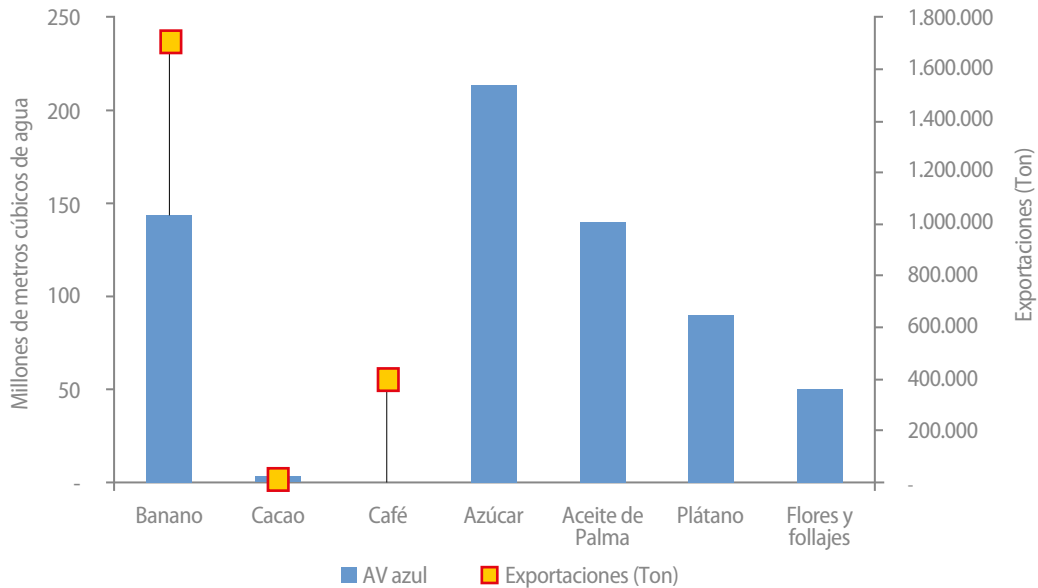
Figura 32. Huella hídrica azul y agua virtual azul del banano, cacao, café, azúcar, aceite de palma, plátano, y flores para el 2012.



Los flujos de agua virtual azul evidencian un mayor costo de oportunidad de la producción de aceite de palma en términos de uso del recurso hídrico, mientras que el comercio internacional del cacao y el banano son los de menor costo de oportunidad.

La Figura 33 confirma lo descrito antes; permite ver que mientras que el volumen de exportaciones del aceite de palma es relativamente bajo, el volumen de agua azul que se exporta es mayor; mientras que productos como el banano o el café poseen un mayor volumen de exportaciones, pero tienen un menor flujo virtual de agua azul.

Figura 33. Agua virtual azul, y exportaciones de banano, cacao, café, azúcar, aceite de palma, plátano, y flores para el 2012.



Para los flujos de agua virtual verde se destaca el papel del café, que debido a que no necesita riego, presenta el mayor volumen de agua verde exportada; mientras que el cacao, el plátano y el banano tienen el menor volumen de agua verde exportada (ver Figura 34). La baja contribución del cacao se debe a los valores bajos de exportaciones, mientras que la del banano y el plátano es consecuencia de los relativamente bajos valores de su huella hídrica verde.

Lo descrito anteriormente implica una menor presión por parte del comercio internacional de estos productos sobre el recurso hídrico, a la vez que les otorga cualidades redistributivas, pues logan trasladar el agua de países del trópico con mayor dotación de agua hacia lugares con menor dotación del líquido, como los países integrantes de la Unión Europea y Estados Unidos, quienes son los principales socios comerciales de Colombia para el banano, el plátano y el café.

Figura 34. Huella hídrica verde y agua virtual verde del banano, el cacao, el café, el azúcar, el aceite de palma, el plátano, y las flores para el 2012.

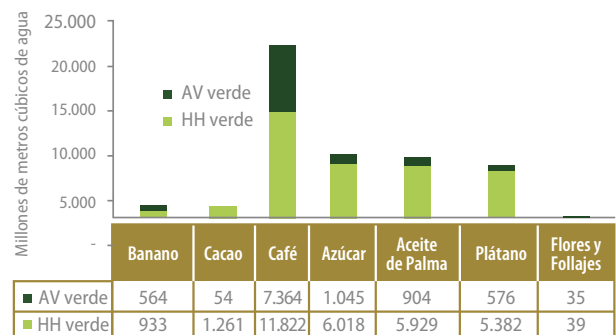
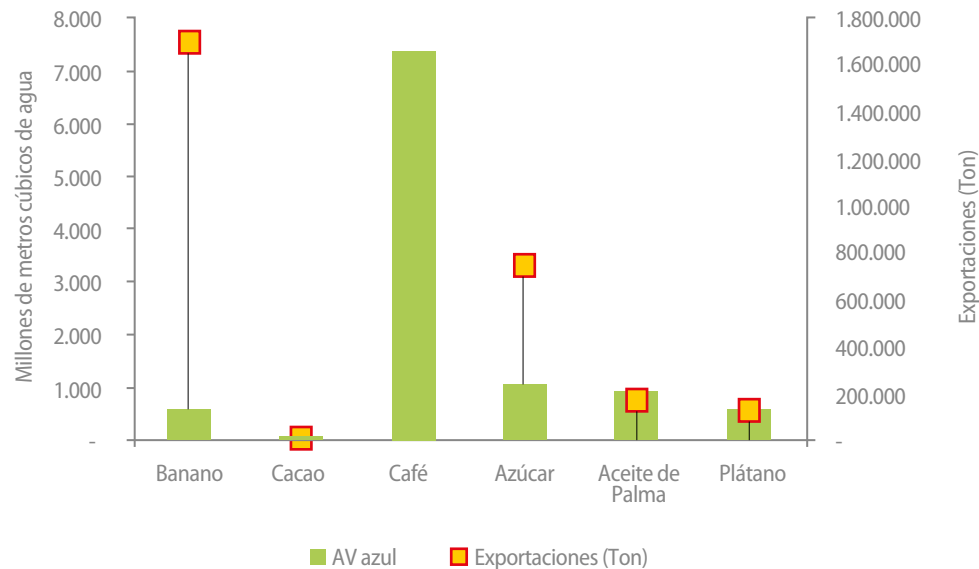


Figura 35. Agua virtual verde y exportaciones de banano, cacao, café, azúcar, aceite de palma, plátano, y flores para el 2012.



6.4 Resultados del análisis de agua azul y verde por área hidrográfica, por subzona hidrográfica y por producto

Para la identificación del agua virtual azul y verde por subzona hidrográfica, se procedió a distribuir por municipio y por polígono las exportaciones identificadas para el 2012, de acuerdo al peso de cada uno de estos en la producción. Es decir, que a aquellos municipios que tenían mayor participación en la producción se les asignó un mayor porcentaje en la exportación. Para el cálculo del banano y plátano se tuvieron en cuenta los datos de la producción exportada.

La Tabla 60 muestra el origen geográfico del agua virtual azul involucrada en el flujo de comercio internacional por área geográfica y por cultivo. De esta tabla se

obtiene que del total de agua azul para el banano, el cacao, el azúcar el aceite de palma, el plátano y las flores, el 65% se extrae de la cuenca Magdalena-Cauca, el 25% del Caribe, el 9% del Orinoco y del Pacífico se extrae menos del 1%.

El análisis del agua virtual azul hace referencia directa al agua de riego, por lo que establece la relación entre los impactos locales generados por la demanda de riego en un punto determinado y la parte de esta agua azul, con potencial de competencia humana, asociada al comercio internacional; por tanto, genera un impacto ambiental, social y económico local que responde a la demanda de un producto originado a miles de kilómetros del punto de producción.

Tabla 60. Flujos de agua virtual azul (Millones de m³) por área hidrográfica de origen por cultivo²⁴ para el 2012

	Caribe	Magdalena-Cauca	Orinoco	Pacífico	FAV azul (Millones de m ³)
Banano	73,7	70,4	-	-	144,1
Cacao	0,2	0,7	1,9	-	2,7
Azúcar	-	213,9	-	0,5	214,3
Aceite de palma	0,2	80,8	58,7	-	139,7
Plátano	90,0	0,1	-	-	90,1
Flores y follajes	0,1	55,5	0,5	0,1	50,5

La **Tabla 61** muestra el origen geográfico del agua virtual verde involucrada en el flujo de comercio internacional por área geográfica y por cultivo, la cual evidencia que para el total de agua virtual verde para los productos: banano, cacao, café, azúcar, aceite de

palma, plátano y flores, el 77% proviene de la zona hidrográfica del Magdalena-Cauca, seguida por la del Caribe con el 12%, luego el Orinoco con el 5% y por último el Pacífico con el 6%.



²⁴Para el área hidrográfica Amazonas no se reportan datos. Para el cultivo de café, no hay datos de agua virtual azul, porque su huella hídrica azul es cero.

Tabla 61. Flujos de agua virtual verde (millones de m³) por área hidrográfica por cultivo para el 2012

	Amazonas	Caribe	Magdalena Cauca	Orinoco	Pacífico	FAV verde (Millones de m ³)
Banano	-	475,3	89,0	-	-	564,3
Cacao	-	5,3	26,9	10,5	11,0	53,6
Café	22,3	242,1	6.480,5	22,0	596,9	7.363,8
Azúcar	-	-	1.042,4	-	2,4	1.044,8
Aceite de palma	-	49,2	389,1	444,1	21,2	903,6
Plátano	-	517,6	58,3	-	-	575,8
Flores y follajes	-	0,0	38,3	0,7	0,2	35,3

Adicionalmente, en la **Tabla 61** se observa que para el área hidrográfica Magdalena-Cauca el 80% del agua virtual verde está asociada al café, con alrededor de 6.500 millones de m³ de agua; está seguida por el azúcar, con el 13%, con alrededor de 1.000 millones de m³ de agua; y luego por el aceite de palma, con el 5% y con cerca de 400 millones de m³ de agua.

Es importante entender la implicación que tiene el FAV verde sobre el FAV azul; el primero permite entender cuáles son los impactos territoriales locales en términos de uso del suelo y de competencia de agua verde con los ecosistemas estratégicos y áreas de protección, generados por una demanda comercial asociada a comercio internacional. En el segundo caso, el impacto se refiere a la demanda directa de agua, pues el riego agrícola compite por el agua superficial con otros usos en una cuenca; de forma que implícitamente el agua azul da información relativa a una potencial competencia humana y a un potencial conflicto por el uso de agua.

Para los siete cultivos estudiados se encontró que, en el 2012, el FAV azul estaba liderado por la exportación

del azúcar con el 33%, seguido por el 22% de la exportación del aceite de palma, luego el banano con el 22%, el plátano con el 14%, las flores con el 9% y el cacao con el 0,4%.

Para el FAV verde, el 70% provino de la exportación del café, seguido por la exportación del azúcar con el 10%, el aceite de palma con el 9%, el banano y el plátano con el 5% cada uno, el cacao con el 1%, y las flores y follajes con el 0,3%.

6.5 Análisis de flujos de agua virtual para proyecciones agrícolas a 2022

Tomando como base las proyecciones presentadas en el capítulo 5, se presentan a continuación las proyecciones de las exportaciones (**Figura 36 - Figura 42**) y de los flujos de agua virtual para los años 2012 y 2022 (**Figura 43 - Figura 49**), que se basan en la aplicación del modelo de proyección de dinámica de sistemas y que están basadas en una hipótesis de crecimiento agrícola bajo un escenario de estabilización de la movilidad geográfica de los cultivos, lo que significa que este modelo, se considera la posibilidad

de que en el año horizonte, se mantenga la ubicación de los cultivos y se amplíe en área agrícola para 2022, dentro de las mismas zonas donde se cultiva en 2012.

Para reducir la incertidumbre en la aplicación del modelo de proyección, los resultados se presentan por agrupaciones de las 311 subzonas hidrográficas a un grado inferior de especificidad geográfica, por cada una de las 41 Zonas hidrográficas.

Son de resaltar los datos de cacao, caña de azúcar y aceite de palma, para los cuales se identifican crecimientos muy importantes en los próximos años y que dado este crecimiento se convierten en cultivos importantes en otras zonas hidrográficas donde en 2012 tienen reportada una participación marginal.

Se presentan a continuación los planos correspondientes a los FAV verde y azul, para cada uno de los siete cultivos priorizados y mostrando la comparación entre 2012 y 2022.

Figura 36. Proyección de las exportaciones del cultivo de banano, para los años 2012 y 2022.

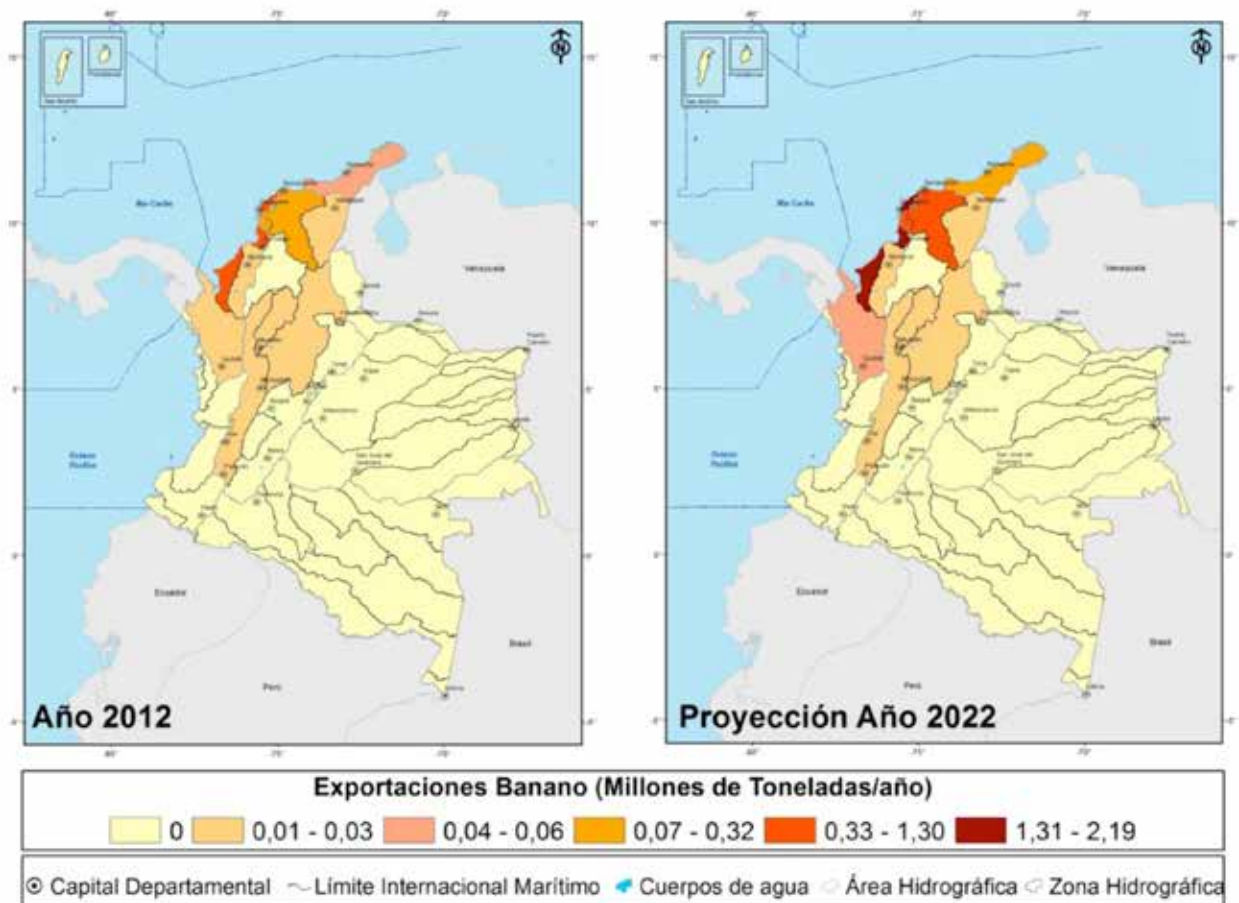


Figura 37. Proyección de las exportaciones del cultivo de cacao, para los años 2012 y 2022.

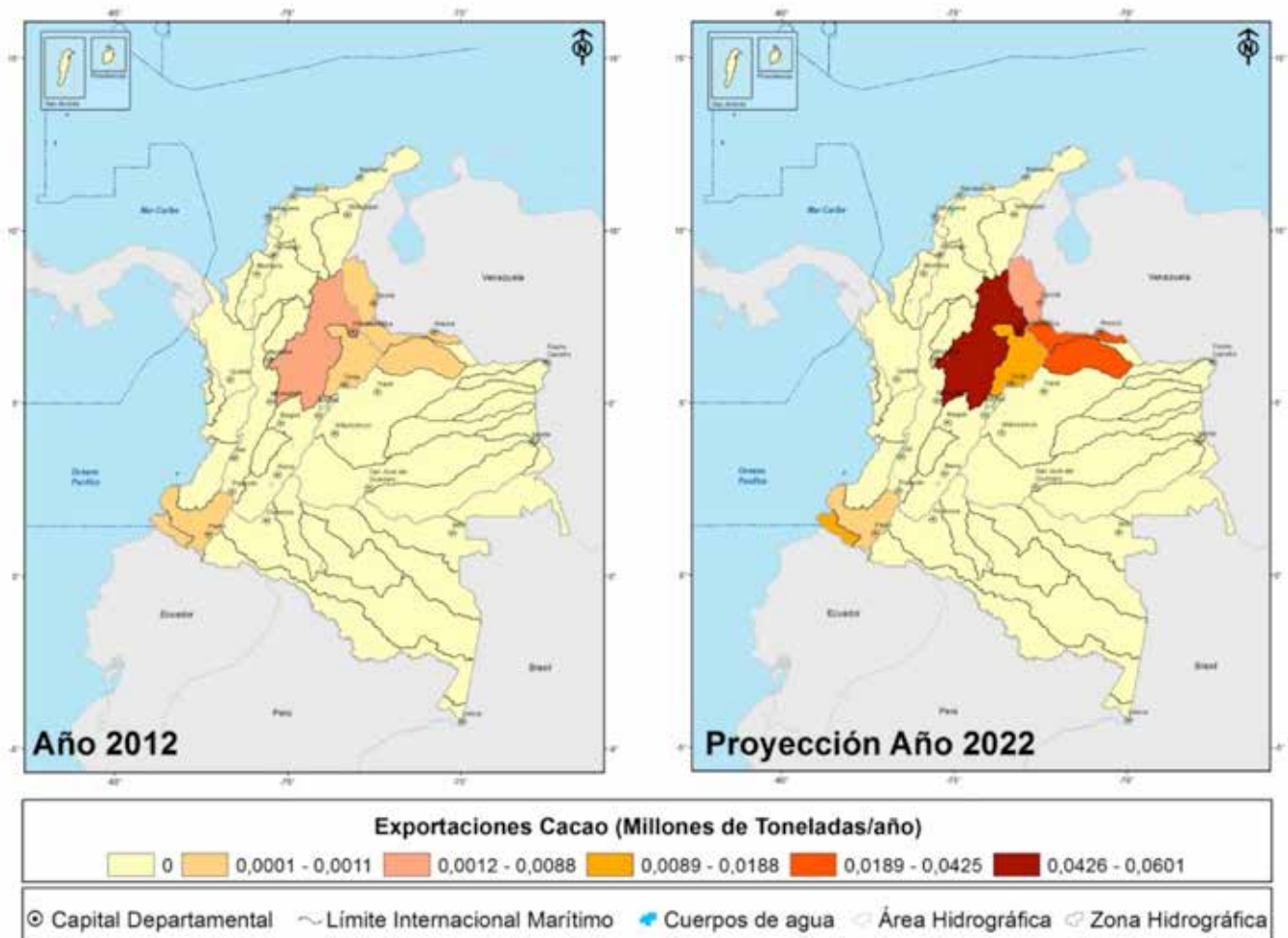


Figura 38. Proyección de las exportaciones del cultivo de café, para los años 2012 y 2022.

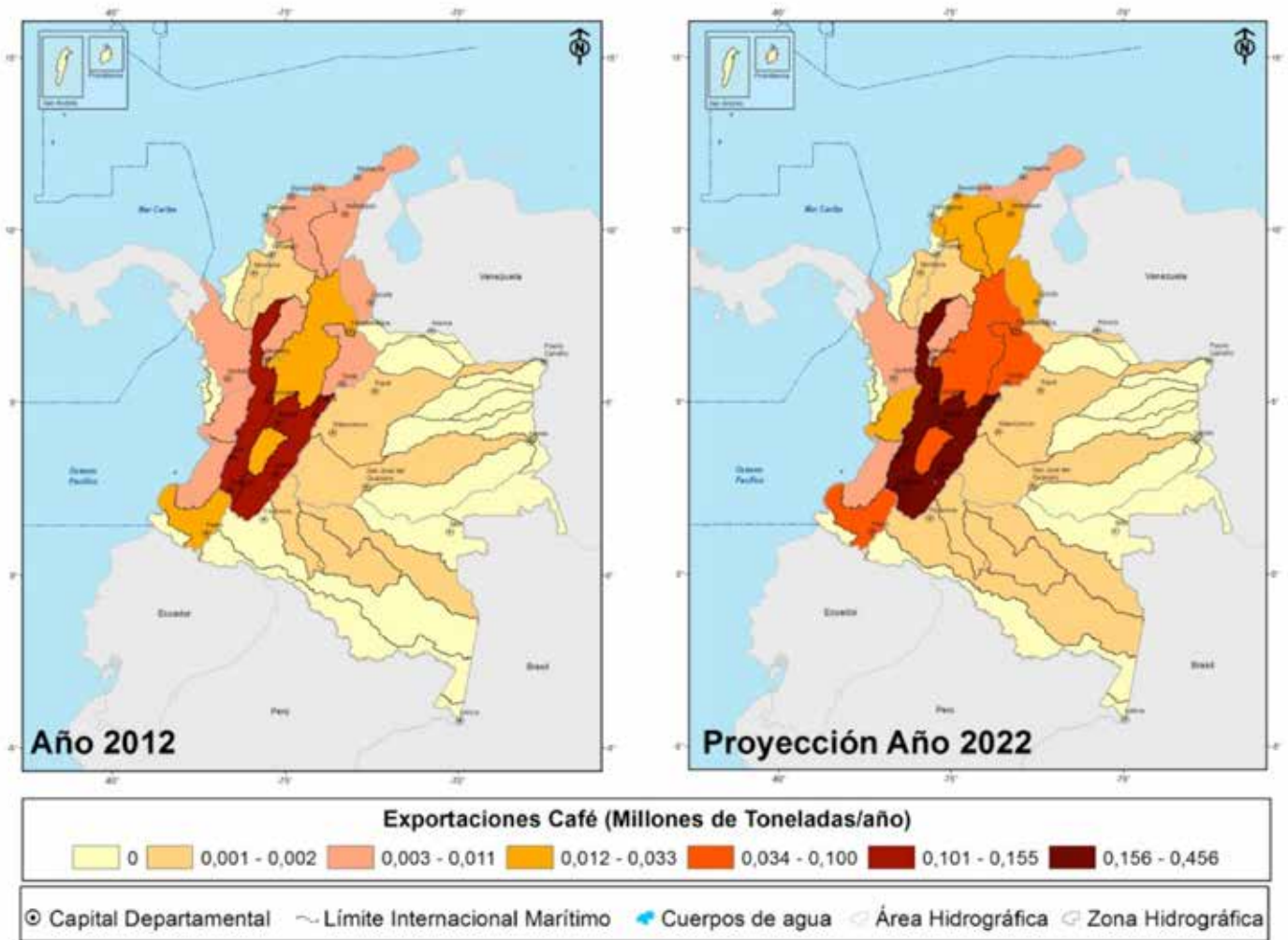


Figura 39. Proyección de las exportaciones del cultivo de caña de azúcar, para los años 2012 y 2022.

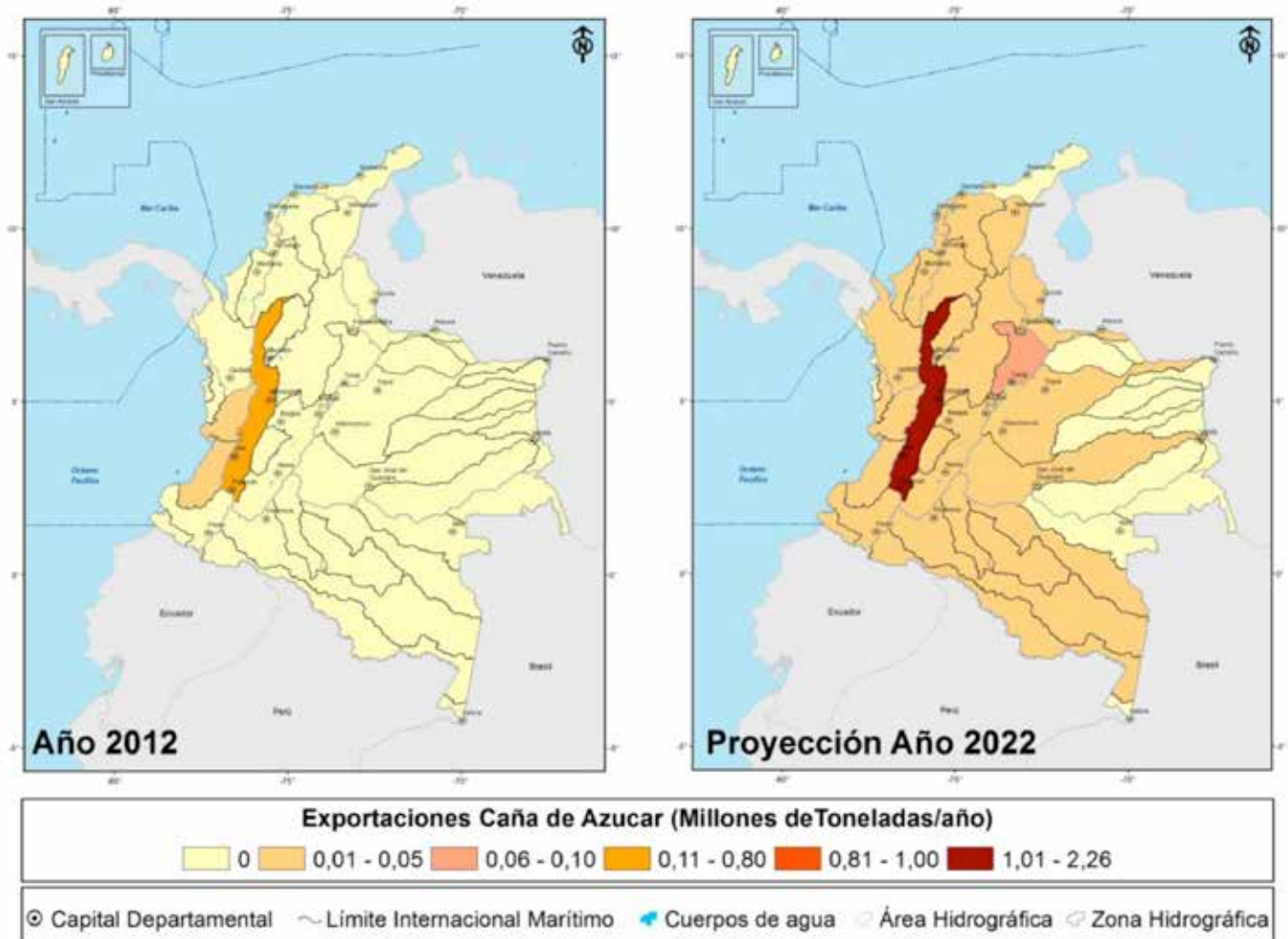


Figura 40. Proyección de las exportaciones del cultivo de la palma de aceite, para los años 2012 y 2022.

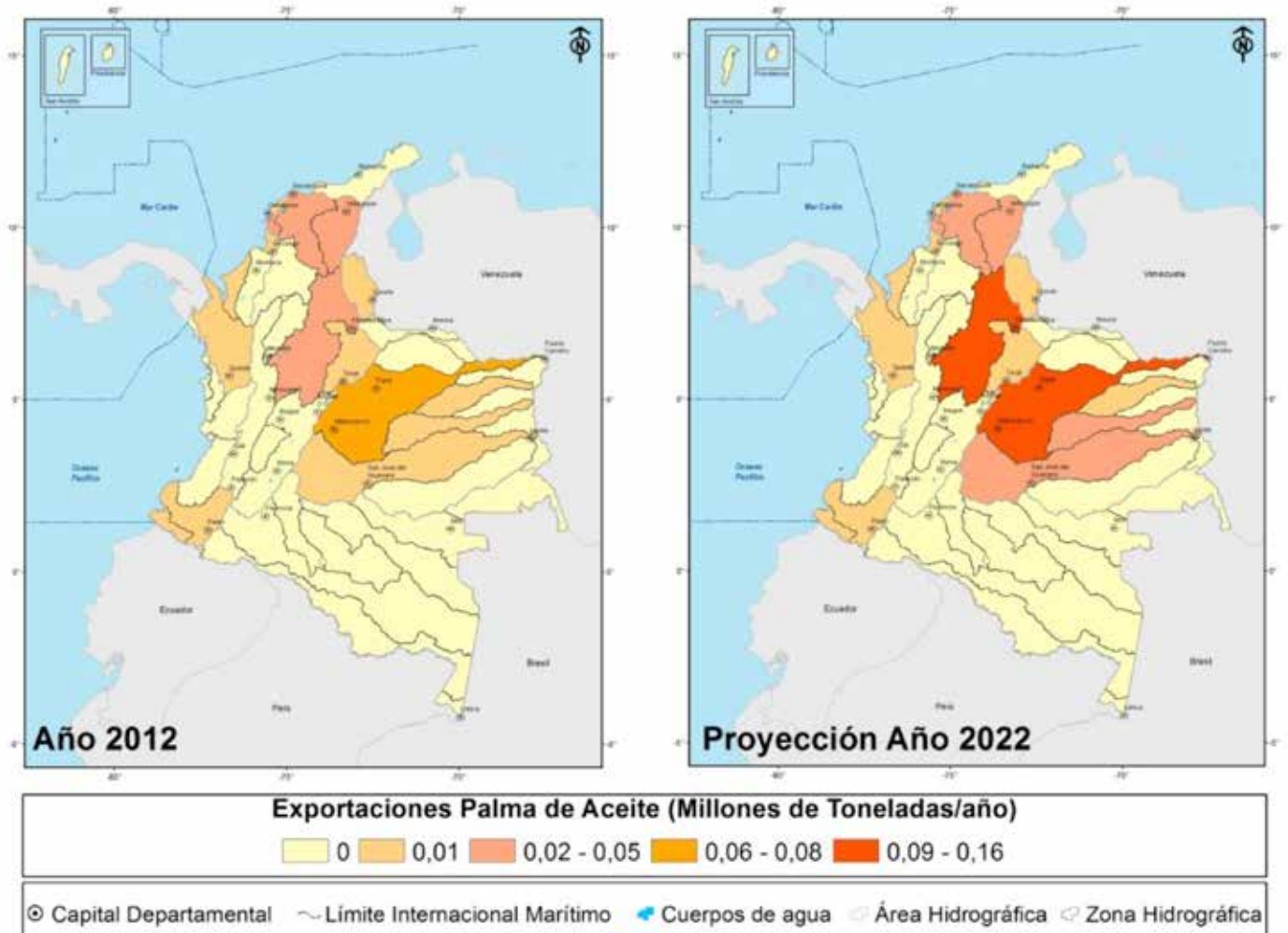


Figura 41. Proyección de las exportaciones del cultivo de plátano, para los años 2012 y 2022.

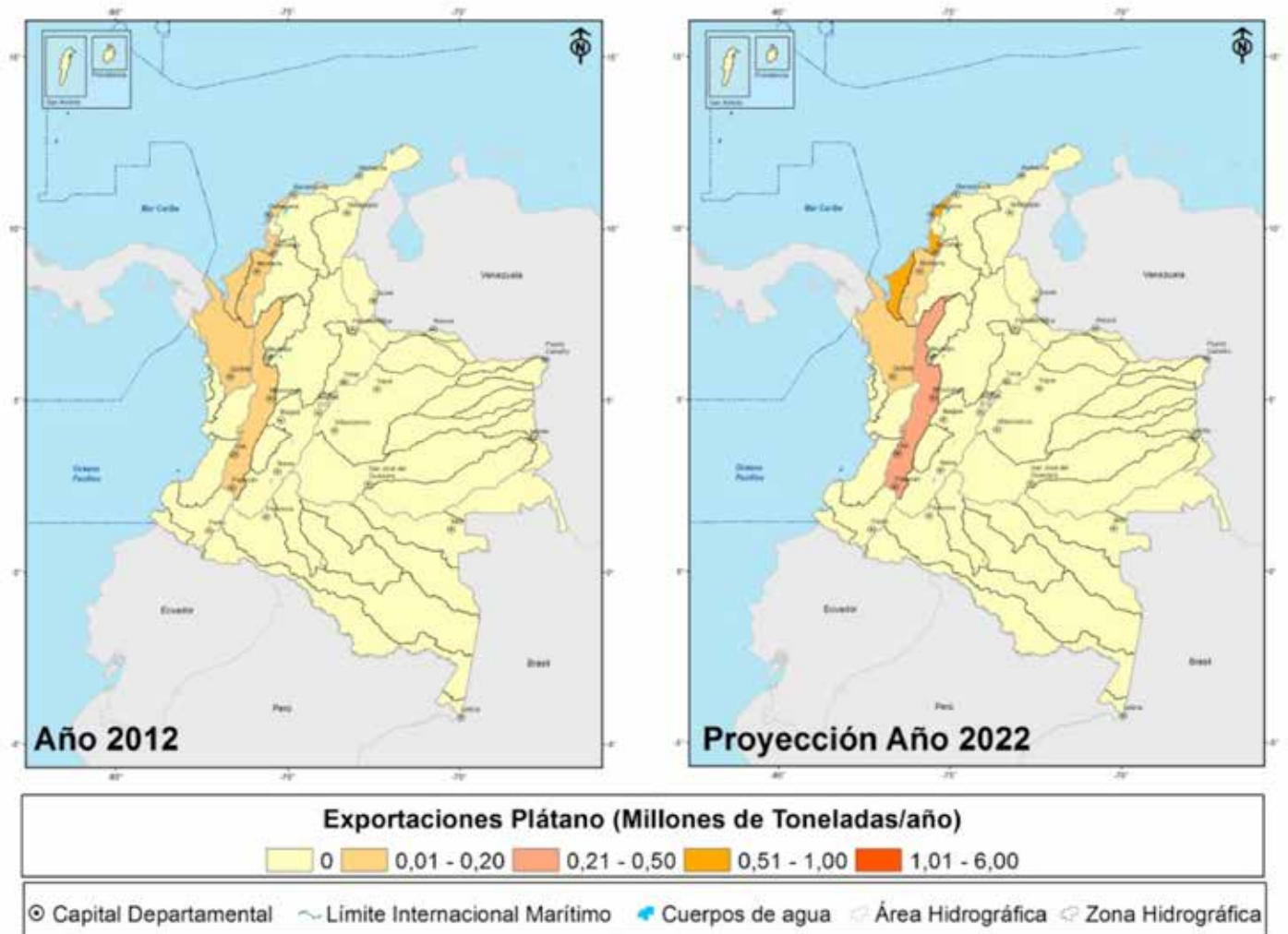


Figura 42. Proyección de las exportaciones del cultivo de flores y follajes, para los años 2012 y 2022.

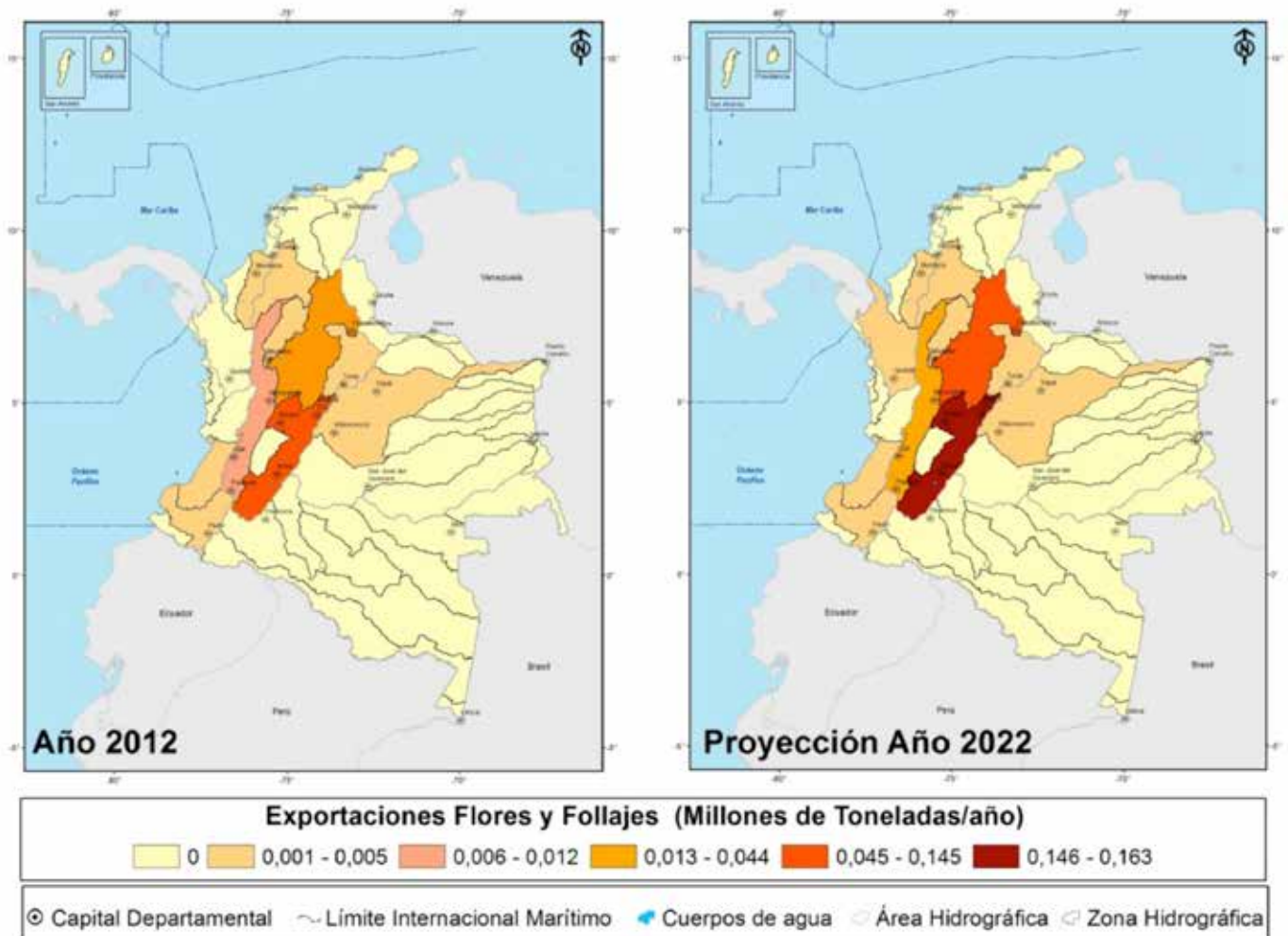


Figura 43. Proyección de los flujos de agua virtual azul y verde del cultivo de banano, para los años 2012 y 2022.

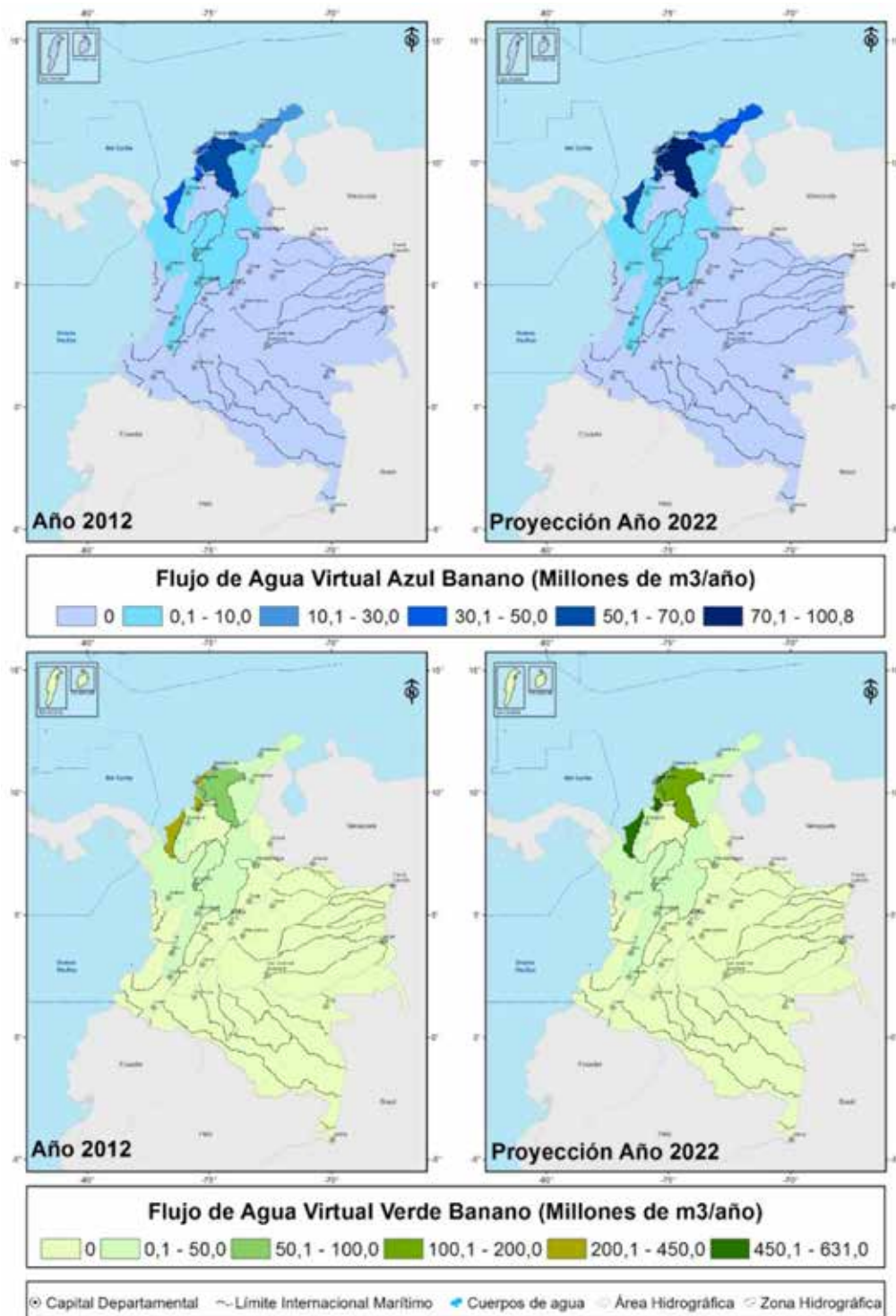


Figura 44. Proyección de los flujos de agua virtual azul y verde del cultivo de cacao, para los años 2012 y 2022.

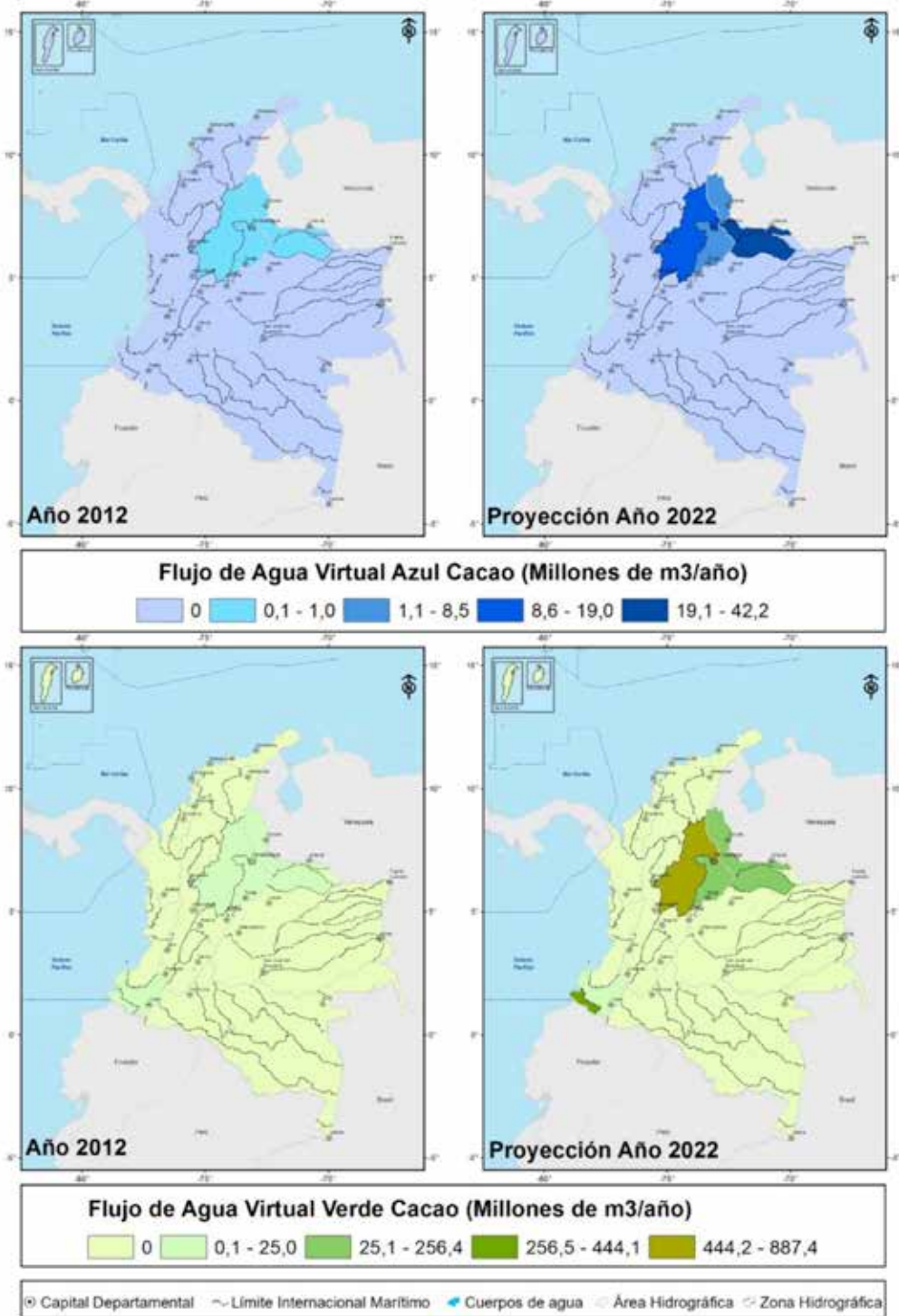


Figura 45. Proyección de los flujos de agua virtual verde del cultivo de café, para los años 2012 y 2022.

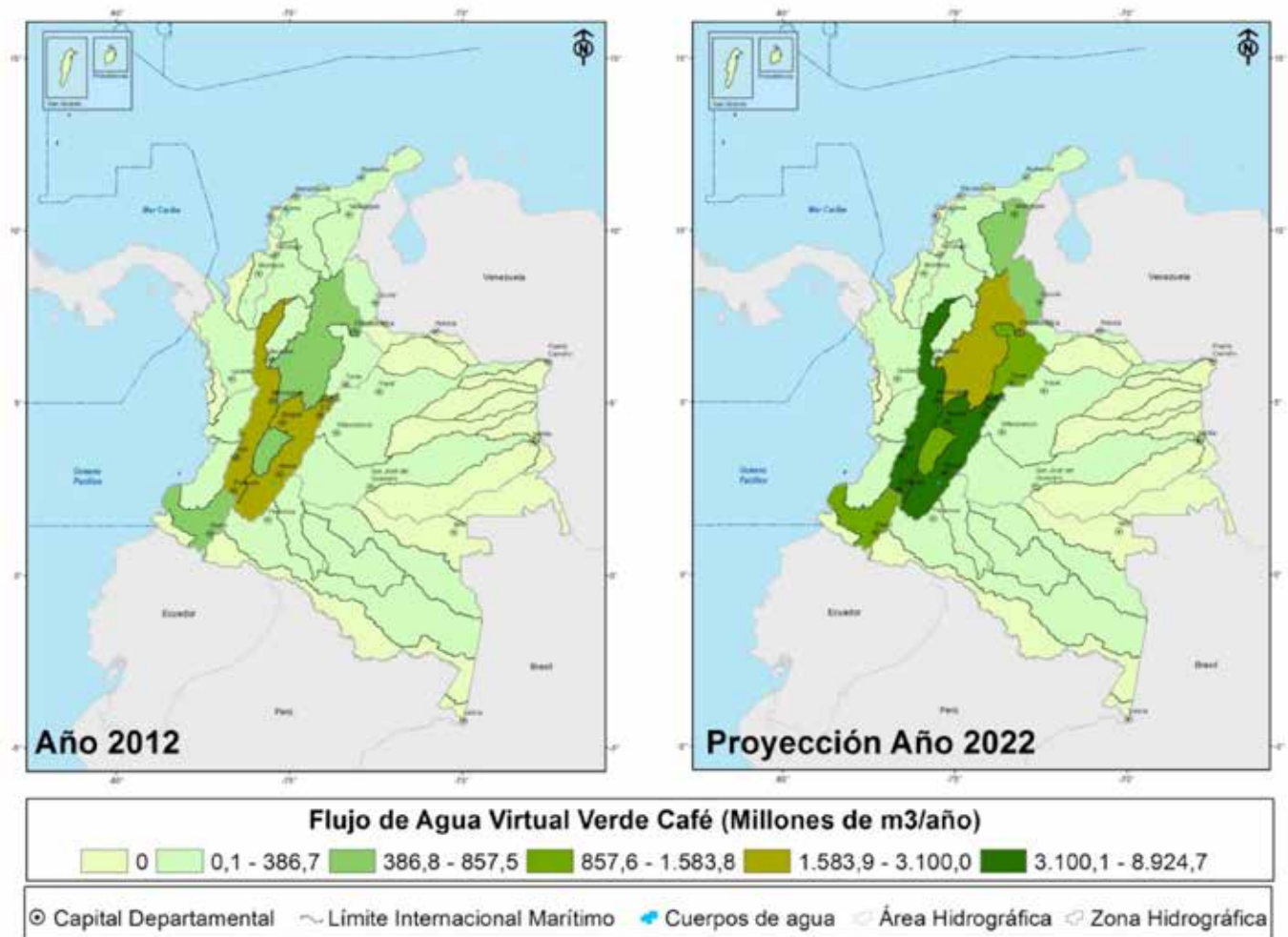


Figura 46. Proyección de los flujos de agua virtual azul y verde del cultivo de caña de azúcar, para los años 2012 y 2022.

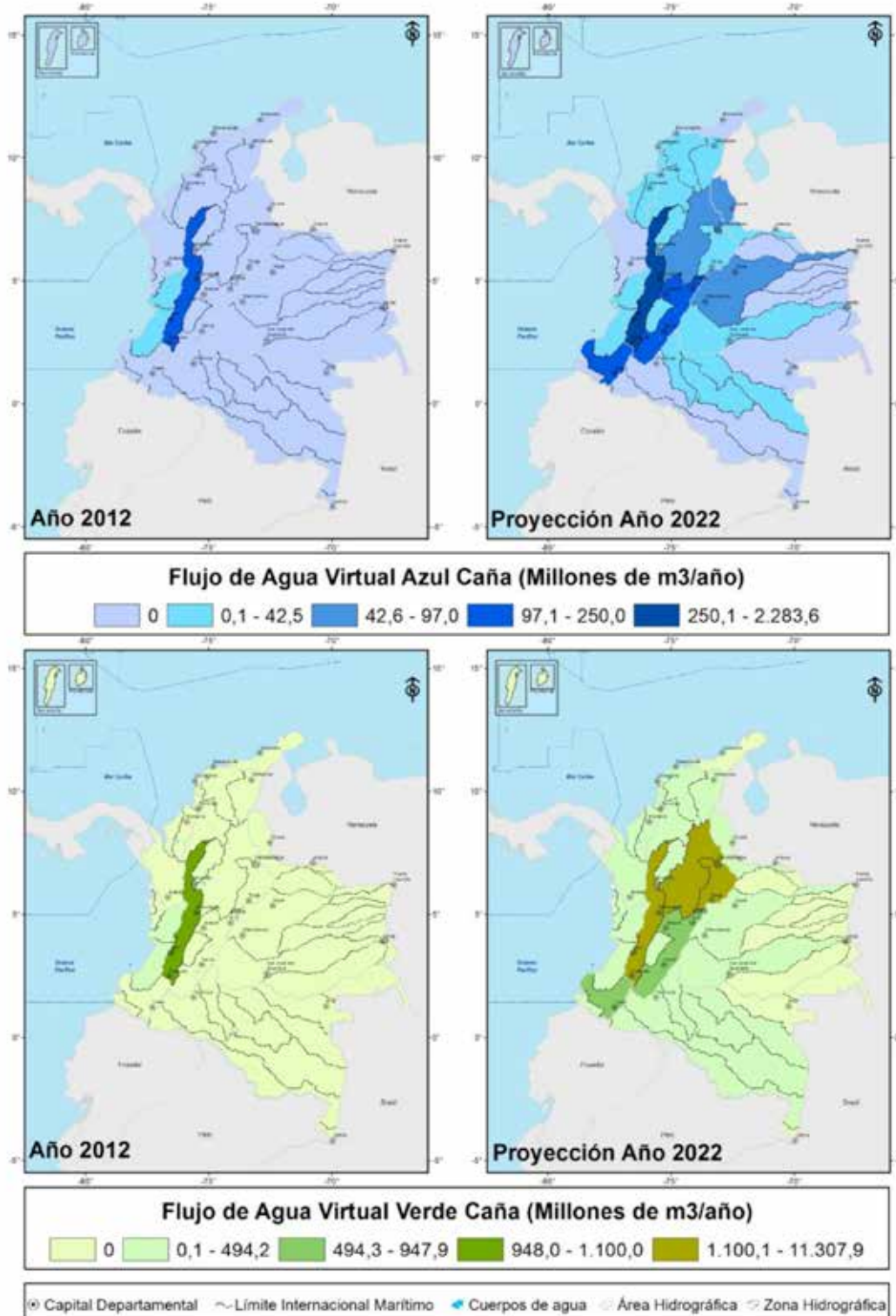


Figura 47. Proyección de los flujos de agua virtual azul y verde del cultivo de la palma de aceite, para los años 2012 y 2022.

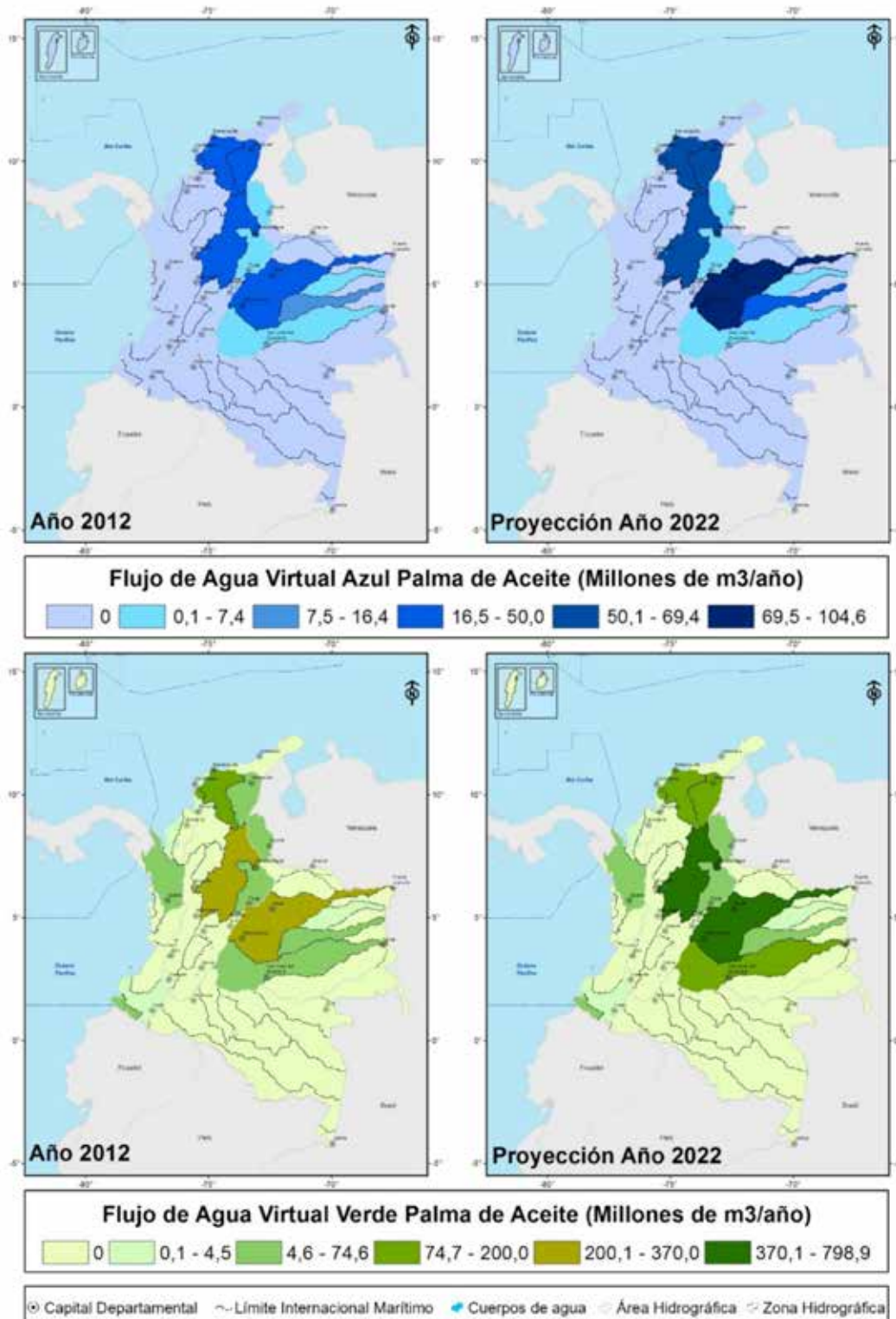


Figura 48. Proyección de los flujos de agua virtual azul y verde del cultivo de plátano, para los años 2012 y 2022.

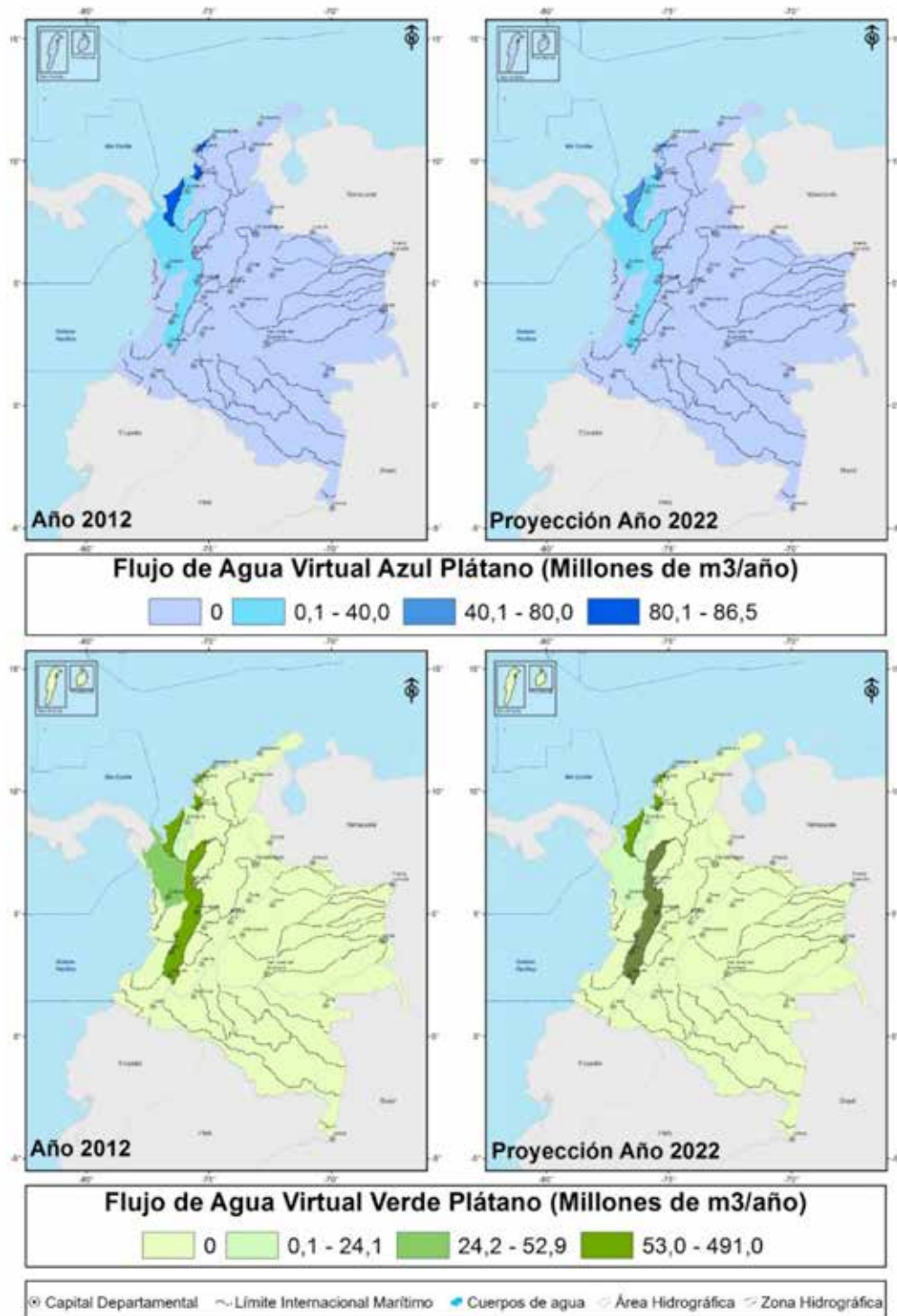
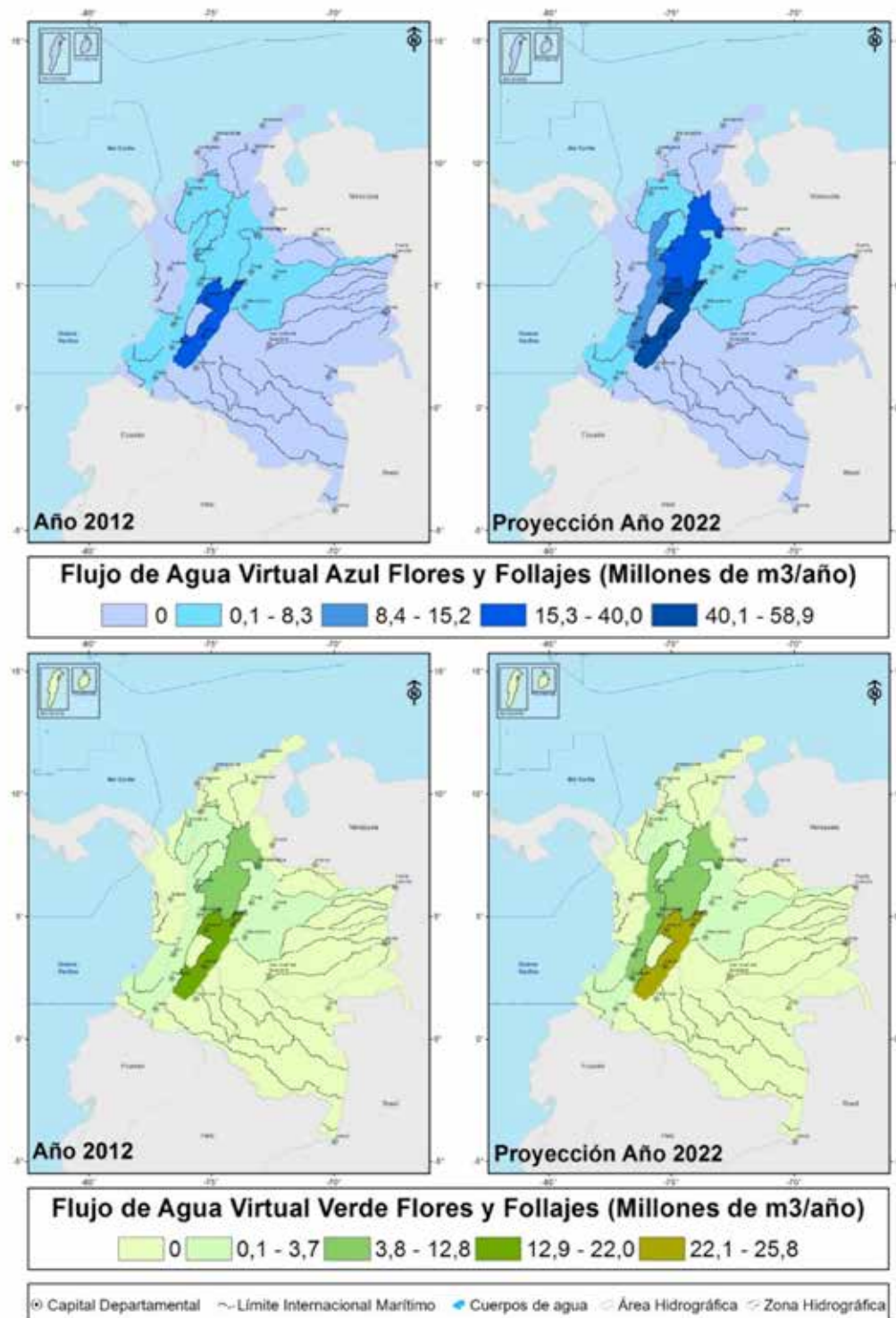


Figura 49. Proyección de los flujos de agua virtual azul y verde del cultivo de flores y follajes, para los años 2012 y 2022.





CAPÍTULO 7

CONSIDERACIONES FINALES

El presente estudio evidencia que el concepto de huella hídrica va más allá de la evaluación del uso sectorial del agua o de la contaminación de las fuentes hídricas asociada a las actividades antrópicas de un territorio. El concepto de huella hídrica ha permitido introducir importantes elementos en el balance hidrológico nacional, que permiten complementar y enriquecer los análisis realizados hasta fecha. Se considera una herramienta que puede contribuir con la Gestión Integral del Recursos Hídrico (GIRH), no solo en un territorio, sino en los sectores productivos.

A continuación se presentan las principales conclusiones de la evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia para los sectores agropecuario, doméstico, industrial, energético y petrolero.

Desde lo conceptual:

- Uno de los aportes más relevantes de la huella hídrica al ENA 2014 está asociado con la incorporación del **agua verde** en la base conceptual y metodológica del análisis hídrico nacional, teniendo en cuenta que el agua verde soporta la mayor parte de la actividad agropecuaria de Colombia.

Anteriormente, el agua verde no había sido considerada ni contabilizada, por lo que se espera que a partir de este estudio sea incluida en las cuentas nacionales del agua, con el fin de tener un panorama más realista y completo del uso del agua en Colombia.

Un buen uso del agua verde permite potenciar la ventaja comparativa de Colombia como país agrícola frente a otros países que, por sus características geográficas y climáticas, requieren la extracción de altos volúmenes de agua para satisfacer las demandas de sus cultivos mediante riego.

- Por otro lado, el uso de fuentes de agua dulce superficial (ríos, lagos, otros) y de aguas subterráneas (acuíferos) define la denominada **agua azul**, concepto que ya ha sido considerado antes en los Estudios Nacionales del Agua. Comprender el significado



de agua azul y su diferencia con el agua verde es la base para completar el concepto de demanda hídrica integrado en el ENA 2014.

- La conceptualización de los **flujos de agua virtual** visibiliza el agua usada para el cultivo de productos de exportación y se estima con base en la balanza comercial agrícola nacional. Esto permite calcular y analizar la diferencia asociada a los flujos de agua virtual azul y verde, y su significado en términos de impactos locales vinculados a potencial conflicto por uso, en el caso del agua azul, o de potencial presión hídrica a ecosistemas estratégicos, en el caso del agua verde.



Desde la cuantificación:

- De acuerdo con los resultados obtenidos para cada uno de los sectores analizados, el sector agropecuario —como era de esperarse— es el mayor usuario del agua en el territorio nacional en términos de huella hídrica azul y verde. El resultado es coherente con otros estudios en los que también se reporta que este sector tiene mayor huella hídrica que otros sectores, como el industrial o el energético.
- Para el **sector agrícola** (22 cultivos permanentes priorizados, 19 cultivos transitorios priorizados y 2 categorías de pasto de cultivo), la huella hídrica verde

estimada es de 54.915 millones de m³/año (humedad natural del suelo transformada en sustento hídrico para la actividad agrícola). Así, la huella hídrica verde de este sector es alrededor de ocho veces la huella hídrica azul, estimada en 6.976 millones de m³/año (riego efectivo de los cultivos). Esta relación demuestra el enorme potencial de uso del agua verde que existe en Colombia, donde es el principal sustento hídrico del sector.

El principal ejemplo de esta situación se presenta en Colombia con el cultivo más representativo a nivel nacional: el café. Aunque este cultivo representa la mayor área agrícola de Colombia (cerca de un millón

de hectáreas) y la huella hídrica verde más alta del país (11.822 millones de $m^3/año$), tiene en cambio una huella hídrica azul nula, al ser un cultivo de secano (sin irrigación), según la práctica agrícola más utilizada por el sector en Colombia.

- Para la cuantificación de la huella hídrica asociada al **sector pecuario** (tres categorías de pasto asociadas a la ganadería extensiva), se parte de la premisa que los pastos de ganadería extensiva (potreros) no utilizan riego; por tanto, para satisfacer su demanda agrícola solo se utiliza el agua verde. La huella hídrica solamente se genera por apropiación humana de agua; en este caso, dicha apropiación se da de manera indirecta, vía alimentación del ganado que consume pasto por un fin económico asociado a la producción de leche o carne. Según este esquema, la huella hídrica verde pecuaria se calcula obteniendo la relación entre la disponibilidad potencial de pastos ganaderos (cerca

de 37 millones de hectáreas de pastos) y el inventario ganadero municipal (alrededor de 24 millones de cabezas de ganado), ambos en 2012. El resultado nacional de huella hídrica verde asociada al sector pecuario asciende a los 245.538 millones de $m^3/año$.

- La huella hídrica verde del sector pecuario es aproximadamente cinco veces la huella hídrica verde del sector agrícola. Esto coincide con la relación de áreas a nivel nacional que cuentan con un potencial uso ganadero (alrededor de 37 millones de hectáreas de pastos) y con un uso agrícola (cerca de 6 millones de hectáreas de cultivos, incluidos los pastos de cultivo).

- Para el componente **doméstico** (agua asociada al consumo por parte de los habitantes), se estima una huella hídrica azul de 385,8 millones de $m^3/año$; se resalta el valor de las subzonas hidrográficas del río Bogotá y el río Porce, con las dos ciudades con



mayor población de Colombia (Bogotá y Medellín, respectivamente), que concentran entre ambas aproximadamente el 24% de la huella hídrica azul doméstica nacional.

- La estimación de **huella hídrica azul del sector industrial** asciende a los 65 millones de m³/año. El valor estimado de huella hídrica azul industrial nacional se basa en la información reportada por el Registro Único Ambiental (RUA), que cuenta con registros solo de una muestra representativa de las empresas nacionales, por lo que el valor estimado se considera un resultado parcial del sector, que debe ser analizado de manera detallada en el futuro.

- La estimación de **huella hídrica azul del sector de generación de energía** se estimó en 297 millones de m³/año, como sumatoria de la generación hidroeléctrica (22 embalses con una huella hídrica azul de 286,7 millones de m³/año) y generación termoeléctrica (35 centrales con una huella hídrica azul de 10,6 millones de m³/año). La huella hídrica del sector se encuentra concentrada casi en un 70% en el área hidrográfica Magdalena-Cauca.

- La huella hídrica azul del **sector minero** se concentró únicamente en el proceso de extracción de petróleo, para el cual se analizaron 392 campos de extracción en 19 departamentos de Colombia. El valor sectorial nacional se estima en 6,6 millones de m³/año, con dos tercios del total nacional concentrados en los departamentos de Meta y Casanare.

Cabe resaltar que otros subsectores asociados con la minería no fueron incluidos, a causa de la carencia de información y de la poca disponibilidad de la información existente, lo cual no implica que tengan un impacto poco representativo a nivel nacional en términos de agua azul. Por lo anterior, se recomienda identificar este sector como uno de los puntos focales con los cuales es altamente pertinente continuar explorando la aplicación de la huella hídrica.

- Se analizaron los **trasvases de agua** desde la huella hídrica, como un proceso antrópico adicional que

genera un importante impacto territorial en términos de extracción de agua para suplir una necesidad sectorial y de no retorno posterior a la cuenca proveedora. Teniendo en cuenta la unidad geográfica de análisis del estudio, solo fueron considerados los grandes trasvases que involucran más de una subzona hidrográfica.

Se consideraron siete trasvases, que involucran seis subzonas hidrográficas proveedoras y cuatro subzonas hidrográficas receptoras, que representan una huella hídrica azul para estos territorios de cerca de 2.200 millones de m³/año a nivel nacional.

- La huella hídrica gris es la tercera componente de la huella hídrica que permite completar el análisis sobre los efectos de la actividad humana en términos de cantidad (huella hídrica verde y azul) y calidad (huella hídrica gris). Esta componente no fue incluida en el ENA 2014 ni en este libro, a causa de los vacíos y poca disponibilidad de la información existente en el momento de su elaboración; por ello, la aplicación de esta componente se pospone para un escenario próximo, con mayor información confiable disponible que permita evaluar de manera realista el efecto de la huella hídrica en términos de calidad del agua.

En este aspecto, es importante hacer un llamado a las instituciones públicas y privadas respecto al valor que tiene la información y la importancia de su disponibilidad, ya que este es el único camino realista para evaluar el estado actual de los recursos naturales y conseguir gestionarlo desde un escenario que permita tomar decisiones rápidas y acertadas, en favor de la sostenibilidad del patrimonio natural colectivo; por tanto, en favor de todos.

Desde la evaluación:

- A partir de la aplicación de la huella hídrica, se identifican tres nuevos indicadores que enriquecen y complementan los seis indicadores incluidos y evaluados para el país en el Estudio Nacional del Agua 2010 y que continúan en la versión 2014.



La evaluación de las huellas hídricas azul y verde²⁵ se realizó a partir de dos indicadores: *Índice de Agua no Retornada a la Cuenca*²⁶ (**IARC**) e *Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas*²⁷ (**IPHE**). Adicional a estos dos índices, se evalúa un tercer indicador denominado *Índice de Eficiencia en el Uso del Agua* (**IEUA**), que se obtiene de la relación entre la huella hídrica azul y la demanda hídrica; este último indicador solo se encuentra incluido en el ENA 2014.

- Para la evaluación de la huella hídrica azul multisectorial, se analizó la “disponibilidad de agua azul” (**DAA**) asociada a la oferta hídrica disponible en año medio; esta fue estimada a nivel nacional en el

ENA 2014 en 1.126.905 millones de m³/año, lo cual contrasta con la huella hídrica azul multisectorial estimada a nivel nacional en 9.975 millones de m³/año.

El resultado del análisis a nivel nacional permite estimar una disponibilidad de agua azul aproximadamente 100 veces superior a la huella hídrica azul. No obstante, al realizar el análisis a escala de subzona hidrográfica, se encontraron cuatro subzonas hidrográficas que presentan una huella hídrica azul superior a la oferta de agua disponible (**IARC > 1**), por lo que se identifican como cuencas de alta competencia hídrica y potencial conflicto por uso multisectorial del agua.

²⁵ En todo lo relativo a la huella hídrica, este estudio sigue la metodología y definiciones presentadas en el Manual de Huella Hídrica (Hoekstra et al., 2011) publicado por la Red de Huella Hídrica (Water Footprint Network).

²⁶ Con respecto al término “Índice de escasez de agua azul”, denominado en el manual “Blue Water Scarcity Index”, el IDEAM ha estimado conveniente proponer para el contexto nacional una modificación al nombre con la finalidad de conseguir coherencia y armonía con el trabajo previo desarrollado sobre índices relativos al agua en estudios nacionales de agua anteriores, quedando incluido en el grupo de indicadores de presión al recurso hídrico bajo la denominación de “Índice de Agua no Retornada a la Cuenca (IARC)”.

²⁷ Con respecto al término “Índice de escasez de agua verde”, denominado en el manual “Green Water Scarcity Index”, el IDEAM ha estimado conveniente proponer para el contexto nacional una modificación al nombre con la finalidad de conseguir coherencia y armonía con el trabajo previo desarrollado sobre índices relativos al agua en estudios nacionales de agua anteriores, quedando incluido en el grupo de indicadores de presión al recurso hídrico bajo la denominación de “Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas (IPHE)”.

- Para la evaluación de la huella hídrica verde agropecuaria, se analizó la “disponibilidad de agua verde” (**DAV**), estimada en 1.221.346 millones de m³/año, la cual se compara frente a la huella hídrica verde agropecuaria estimada a nivel nacional en 300.451 millones de m³/año.

El resultado del análisis a nivel nacional permite estimar una disponibilidad de agua verde que es unas cuatro veces superior a la huella hídrica verde nacional. No obstante, al realizar el análisis a escala de subzona hidrográfica, se identificaron 22 subzonas hidrográficas que presentan una huella hídrica verde superior a la disponibilidad de agua verde en esa cuenca (**IPHE>1**); por ello se identifican como cuencas de competencia entre el sector agropecuario y los ecosistemas estratégicos para la provisión de servicios ecosistémicos; esta competencia por el agua verde es una competencia por el territorio, y se da por la ampliación de la frontera agrícola.

Este resultado de **IPHE** se encuentra claramente relacionado con las áreas de pastoreo de la ganadería extensiva, y con los denominados potreros de bajo rendimiento que tienen reducida densidad ganadera en muchas zonas del país, gran parte de ellas con potencial de adecuación de las tierras para la agricultura, sin necesidad de comprometer con esto la sostenibilidad ambiental de los ecosistemas estratégicos en las cuencas.

Desde las proyecciones y el análisis de flujos de agua virtual:

- El ejercicio realizado con las proyecciones de huella hídrica para los doce cultivos priorizados en el sector agrícola (seis permanentes y seis transitorios) para el periodo 2012-2022 indican un fuerte dominio de aquellos cultivos asociados a la producción de biocombustibles (palma de aceite y caña), jalonados más que todo por un entorno económico y político bastante favorable en el país durante los últimos años. El caso de la palma de aceite es de especial relevancia, ya que reporta un valor considerable de huella hídrica azul (alrededor del 25% del valor de huella hídrica

azul agrícola nacional) asociado al riego y relacionado estrechamente con la oferta de agua disponible en las subzonas donde hay prevista ampliación agrícola de este cultivo.

- Los resultados de flujos de agua virtual para los seis principales cultivos agrícolas aportantes a la balanza comercial de Colombia permiten resaltar la evidencia del potencial agrícola nacional, al no depender de una gran cantidad de riego (huella hídrica azul) para la producción de cultivos; esto hace que la mayor parte del flujo de agua virtual sea de agua verde, lo que genera una menor incidencia local en términos de potencial conflicto generado por el uso del agua a causa de agroindustria con vocación de exportación. Los flujos de agua virtual verde podrían entenderse como una potencial generación de competencia por agua verde entre el sector agroproductor y los ecosistemas estratégicos. No obstante, esta situación se encuentra asociada en especial a las áreas con uso pecuario para ganadería extensiva, y con menor probabilidad al sector agrícola.

- Por último, los flujos de agua virtual permiten identificar y entender la diferencia que se plantea entre zonas que exportan agua azul y agua verde para un mismo producto, lo que puede significar entender el origen de problemas sociales asociados a la competencia por el agua, que en algunas ocasiones encuentran su origen en una demanda generada en otro país. Un ejemplo de esta situación se presenta con el banano, que en el área hidrográfica Magdalena-Cauca tiene una relación de huella hídrica verde/huella hídrica azul de 1,26; mientras que en el área hidrográfica Caribe, la misma relación tiene un valor de 6,42. El segundo valor evidencia una menor dependencia de riego y, por tanto, un menor riesgo hídrico local asociado a potencial conflicto por uso a causa de una actividad exportadora, que responde a una demanda generada a miles de kilómetros del punto de producción.

Al realizar este análisis por cada una de las 316 subzonas hidrográficas, se pueden identificar algunas cuencas con una acentuada vocación productora y exportadora, que tienen una alta huella hídrica azul

y, por tanto, una importante dependencia de riego; esta situación está asociada a una evidencia de riesgo hídrico para estos territorios.

Es importante resaltar las incertidumbres y limitaciones de este estudio, que se presenta como una de las etapas de un proceso de investigación y aplicación de la huella hídrica en Colombia que comenzó en 2009. Se considera pertinente dar continuidad a estos esfuerzos, con el fin de mantener el proceso de mejora continua en los temas metodológicos de aplicación, y en la profundización y detalle acerca de las zonas del país en las que los resultados reflejan puntos críticos.

Es de resaltar y agradecer la colaboración de las entidades públicas y privadas, por el suministro de información y acompañamiento en el uso de esta. No obstante, este estudio es evidencia clara de uno de los grandes retos que tiene el sector público, en términos de hacer una efectiva y eficiente generación, recopilación, sistematización y análisis de la información sectorial del uso del agua en Colombia. Así como también refleja la necesidad de involucrar al sector privado en términos de reporte de información relativa al uso del patrimonio colectivo que es el agua.

La obtención de información representativa, confiable, contrastable y disponible sobre los usos del agua constituye el único camino posible para avanzar en el complicado, pero necesario, camino de la gestión del patrimonio natural colectivo (tierra y agua), desde la perspectiva individual de muchos actores llamados a tener una mirada común por la sostenibilidad hídrica de las cuencas.





BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía citada

- Agencia Nacional de Hidrocarburos (2014). Mapa de Tierras. Bogotá: Recuperado en <http://www.anh.gov.co/Asignacion-de-areas/Paginas/Mapa-de-tierras.aspx> [2014, 30 de diciembre].
- Alarcón, D., & Lara, D. (2007). Establecimiento y Manejo de Cultivos de Cítricos en la Altillanura Colombia. (57). Villavicencio, Meta, Colombia.
- Alfonso, J., & Ramirez, T. (2008). Manual Técnico del Cocotero (Cocos nucifera L.). (FHIA, Ed.) La lima, Cortés, Honduras: Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola.
- Allan, J.A. (1993) 'Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible' In: ODA, Priorities for water resources allocation and management, ODA, London, pp. 13-26.
- Amórtegui, I. (2001). El Cultivo del Caucho. Modelo Educativo para el Desarrollo Técnico de la Comunidad. Corporación para la Promoción del Desarrollo Rural y Agroindustrial del Tolima PROHACIENDO., Ibagué, Tolima, Colombia.
- ANACAFÉ. (2004). Cultivo De Banano. Programa de Diversificación de Ingresos en la Empresa Cafetalera. Asociación Nacional del Café, Guatemala.
- Arthur, W. B. (2013). Complexity Economics: A New Framework for Economic Thought . Working Paper Santa Fe Institute.
- Asociación Colombiana del Petroleo ACP (2012). Informe estadístico petrolero. Bogotá: Recuperado en <http://www.acp.com.co/index.php/es/informe-estadistico-petrolero-iep> [2014, 30 de julio].
- Augstburguer, F., Berger, J., Censkowsky, U., Heid, P., & Milz, J. (2000). Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico Algodón. Guías de 18 cultivos. 1. Asociación Naturland.
- A. Valenzuela (avalenzuela@vatia.com.co) (2014, 24 julio). Respuesta Requerimiento IDEAM – 20143000003311. Correo electrónico enviado a: Nelson Vargas (nvargas@ideam.gov.co).
- Bernal, A., Díaz, A., Tamayo, A., Córdoba, O., Londoño, M., Tamayo, P., y otros. (2008). Tecnología para el Cultivo del Aguacate. CORPOICA, Antioquia, Colombia. , Rio Negro.
- Cabrera, C., & Reyes, C. (s.f.). Guía Técnica para el Manejo de Variedades de Fríjol. Costa Rica.: Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG.
- Calvo, I. (2009). Cultivo de Tomate de Árbol (Cyphomandra betaceae). Boletín Técnico(8). San José, Costa Rica.
- Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia CTA, et al. (2013a). Evaluación de la Huella Hídrica en la cuenca del río Porce. Medellín: CTA.
- Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia CTA, et al. (2013b). Guía metodológica de aplicación de Huella Hídrica en cuenca. Medellín: CTA.
- Centro de Monitoreo Hidrológico y del Clima (redhidrometeorologica@car.gov.co) (2014, 23 julio). Respuesta radicado 20143000003291. Correo electrónico enviado a: Nelson Vargas (nvargas@ideam.gov.co).
- Cerrato, L. (2013). Manual de Producción de Piña. Nicaragua: USDA.
- Clark, S., Sarlin, P., Sharma, A., & A., S. S. (2014). Increasing dependence on foreign water resources? An assesment of trends in global virtual water flow using a self-organizing time map . Ecological Informatics, 1-11.
- Contraloría General de la Nación. (2010). Apoyos

económicos en el sector Agropecuario Colombiano. Bogotá: Contraloría General de la Nación.

Cruz, O. (2013). El Cultivo de Maíz. . Manual para el Cultivo del Maíz. Honduras: Secretaria de Agricultura y Ganadería. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria DICTA.

Delbourg, E., & Dinar, S. (2014). The Globalization of Virtual Water Flows: Explaining the Trade Patterns of a Scarce resource. 1-46.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2005). Bogotá: Recuperado en <https://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/proyecciones-de-poblacion> [2014, 10 de marzo].

D. Naranjo (ambiental1@urra.com.co) (2014, 25 julio). Información requerida por IDEAM. Correo electrónico enviado a: Nelson Vargas (nvargas@ideam.gov.co).

Economic Research Service. (2009). Situación Actual y Perspectivas del Mercado del Plátano. Programa Midas.

E. Álvarez (elizabeth.alvarez@epm.com.co) (2014, 20 octubre). Solicitud de información. Correo electrónico enviado a: Nelson Vargas (nvargas@ideam.gov.co).

E. Kerguelen (ekerguelen@urra.com.co) (2014, 28 julio). Comunicación IDEAM con Radicado No.:2014300003281 de Fecha: 17-06-2014. Correo electrónico enviado a: Nelson Vargas (nvargas@ideam.gov.co).

Fedecafé. (s.f.). Descripción del Proceso Productivo y del Beneficio del Café. Guía Tecnológica del cultivo. En F. N. Colombia, Guía Ambiental para el Sector Cafetero. Segunda Edición. Bogotá D.C.

Fedepalma. (2014). Memorias XLII Congreso de cultivadores de Palma de Aceite. Cali.

Fedepapa. (2010). Acuerdo de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia.

Obtenido de Fedepapa: <http://www.fedepapa.com/wp-content/uploads/pdf/ACUERDO-COMPETITIVIDAD-CADENA-AGROALIMENTARIA-PAPA.pdf>

Franco, G., & Giraldo, M. (s.f.). El Cultivo de la Mora. Proyecto de Transferencia de Tecnología sobre el cultivo de la Mora. . Colombia: CORPOICA.

F. Murcia (fjmurcia@epsa.com.co) (2014, 6 octubre). Solicitud de información IDEAM. Correo electrónico enviado a: Nelson Vargas (nvargas@ideam.gov.co).

García, M. (2010). Guía Técnica Del Cultivo de la Guayaba. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova". Costa Rica.

García, M. (s.f.). El Cultivo de Zanahoria. Curso de Horticultura. Uruguay: Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Departamento de producción Vegetal.

García R, H., & Calderón E, L. (2012). Evaluación de la Política de Biocombustibles en Colombia. Bogotá: Fedesarrollo.

G. Becerra (german.becerra@aes.com) (2014, 8 julio). Solicitud de Información para el Estudio Nacional del Agua 2014. Correo electrónico enviado a: Nelson Vargas (nvargas@ideam.gov.co).

Hoekstra, A.Y. y Hung, P.Q. (2002). Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series No. 11. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, Holanda.

Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2004). Water Foodprints of Nations.

Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. (2005). Globalisation of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade. Global Environmental Change , 45-56.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. y

Mekonnen, M.M. (2011) The water footprint assessment manual: Setting the global standard. United Kingdom: Earthscan.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2010). Estado y Dinámica del Agua en Áreas Hidrográficas de Colombia. En Estudio Nacional del Agua 2010 (págs. 322-361).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM (2012). Registro Único Ambiental RUA. Bogotá: IDEAM

IDEAM. (2014). Estudio Nacional del Agua - ENA. Bogotá.

Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt, and Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2012. "Actualización del Atlas de Páramos de Colombia."

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2003). Mapa de suelos de Colombia. Bogotá: IGAC

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover. Adaptada para Colombia. Escala 1:100.000. Bogotá: IGAC

Lardizabal, R. (2007). El Cultivo de la Cebolla. Manual de Producción. Honduras: Entrenamiento y Desarrollo de Agricultura EDA.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Cadena Productiva Nacional del Fique, C. (2010). Guía Ambiental del Subsector Fiquero. Colombia.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2013a). Evaluaciones Agropecuarias Municipales - EVA. Bogotá.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2013b). Inventario Pecuario Municipal. Bogotá.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2013c). Calendarios de siembra y cosecha. Bogotá.

Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG. (1991). Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Costa Rica: Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT. (2004). Guía Ambiental para el Cultivo de la Papa. Colombia: Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible. En Colaboración con FEDEPAPA.

Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000. Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico.

Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (17 de Junio de 2014). Plan de Impulso a la Productividad y el Empleo. Obtenido de <http://www.minhacienda.gov.co/portal/pls/portal/docs/1/9248602.PDF>

M. Rosero (mrosero@ideam.gov.co) (2014, 11 junio). Red de estaciones con información de evaporación. Correo electrónico enviado a: González J. (juangp83@gmail.com).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2000). New Dimensions in Water Security. Report AGL/MISC/25/2000. Rome. Consultado 05/31/2013 de <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/misc25.pdf>.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO, riego y drenaje(56).

Osorio, G. (2007). Buenas Prácticas Agrícolas BPA y Buenas Prácticas de Manufactura BPM en la producción de Caña y Panela. Primera Edición. En CORPOICA.,

Manual Técnico. Medellín.

O. Rengifo (odrengifo@isagen.com.co) (2014, 8 septiembre). ISAGEN. Radicado No 2014300003271. Correo electrónico enviado a: Nelson Vargas (nvargas@ideam.gov.co).

Palencia, G., Gómez, R., & Martín, J. (2006). Manejo Sostenible del Cultivo del Plátano. Colombia.: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA.

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2013). "Limite de los Parques Nacionales Naturales de Colombia Versión 4 de 2013."

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2014). "Reservas Naturales de la Sociedad Civil versión 2 de 2014."

Pérez, J., Hurtado, G., Aparicio, V., Agueta, Q., & Larín, M. (s.f.). Cultivo de Tomate. Guía Técnica. El Salvador.

Portafolio. (4 de mayo de 2014). Paro agrario, pese a cifras positivas del sector. Portafolio.

Reina, M., & Zuluaga, S. (2011). Elementos para modificar el fondo de estabilización de precios para el palmiste, el aceite de palma y sus fracciones. Fedesarrollo.

Reina, Y. (2012). El Cultivo de Ñame en el Caribe Colombia. Documentos de trabajo sobre Economía Regional(168). Colombia: Banco de la Republica.

Rodríguez, M., Guerrero, M., & Sandoval, R. (2002). Cultivo de Mango. Guía Técnica. San Salvador, El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal CENTA.

Rojas, F., & Sánchez, E. (2013). Guía Ambiental para el Cultivo del Cacao. Segunda Edición. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Federación Nacional de Cacaoteros y Fondo Nacional del Cacao., Bogotá D.C.

Sáenz, L. (2006). Cultivo de la Palma Africana. Guía

Técnica. Nicaragua: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA.

Secretaría de Agricultura y Ganadería, SAG; Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (2003). Manual Técnico para el Cultivo de Arroz (*Oryza sativa*). Programa de Arroz. Comayagua, Honduras.

Sterman, J. D. (2000). Learning in and about complex systems. En J. D. Sterman, Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World (págs. 1-39). Boston: McGraw-Hill.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2012). Sistema Único de Información SUI. Bogotá: Recuperado en http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=acu_com_107 [2014, 10 de marzo]

Suweis, S., Konar, M., Dalin, C., Hanasaki, N., Rinaldo, A., & Rodrigues-Iturbe, I. (2011). Structure and controls of the virtual water trade network. *Geophysical Research Letters*, 1-5.

Tobón, C. (Mayo de 2009). Los bosques andinos y el agua. Serie de Investigación y Sistematización #4. Quito, Quito, Ecuador: Programa Regional ECOBONA - INTERCOOPERATION, CONDESAN.

Universidad Nacional de Colombia. (1998). Caracterización Hidrológica de la cuenca alta del río Bogotá (Sector de Villapinzón). Bogotá: Facultad de Ingeniería, postgrado en Recursos Hidráulicos.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín (2012), [base de datos]. Medellín: UNAL Medellín. Recuperado en <http://www.medellin.unal.edu.co/~hidrosig/> [2014, 5 de mayo].

Villar, L. (s.f.). Cultivo de Arveja. Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG.

Wackernagel, M. and Rees, W. (1996) Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth New Society Publishers, Gabriola Island, B.C., Canada.

Wilson, W. Leipzig, T. y Griffiths, B. (2012). Burning our rivers: The water footprint of electricity: Portland: River Network Report.

WWF. (2012). Una Mirada a la Agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica. Bogotá D.C. Obtenido de <http://wwf.panda.org/>: http://awsassets.panda.org/downloads/hh_colombia_12c_isbn.pdf

Zotyen, C. (2002). Cultivo de la Yuca *Manihot esculenta* Crantz. El Salvador

Z. Méndez (zmendez@endesacolombia.com.co) (2014, 1 julio). solicitud de información. Correo electrónico enviado a: Nelson Vargas (nvargas@ideam.gov.co).

Bibliografía consultada

AIDA. 2014. "La protección de los páramos en Colombia: Algo más que normas." <http://www.aida-americas.org/es/blog/la-protección-de-los-páramos-en-colombia-algo-más-que-normas> (Accessed November 19, 2014).

Alianza del Pacífico. (2014). Documentos VIII Cumbre de la Alianza del Pacífico . Cartagena.

Allan, J. A. (1998). Virtual Water: A Strategic Resource: Global Solutions to Regional Deficits. *Groundwater*, 545-546.

Allen, Richard G et al. 1998. "Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56." *Irrigation and Drainage*: 1-15.

Anderson, K., & Alberto, V. (2008). Distortions to Agricultural Incentives in Latin America and the Caribbean . Working Paper.

Asocaña. (2014). Aspectos Generales del Sector Azucarero Colombiano 2013-2014. Bogotá.

Asociación de Biotecnología Vegetal Agrícola. (2011). Los beneficios de la adopción del maíz genéticamente

modificado en Colombia. Biotecnología y Alimentación.

Avances en el manejo y aprovechamiento acuícola de embalses en América Latina y el Caribe (1993, junio). México D.F.: Documento preparado por el proyecto GCP/RLA/102/ITA

"Apoyo a las actividades regionales de acuicultura en América Latina y el Caribe" — Aquila II. Recuperado el 10 de junio de 2014, de <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S00.htm#TOC>.

Banco de Iniciativas para el Desarrollo de Antioquia BIRD. (2008). Potencial de Biocombustibles en Antioquia. Medellín.

Bentzen, J., & Engsted, T. (2001). A revival of the autoregressive distributed lag model in estimating energy demand relationships. *Energy*, 45-55.

Bozbas, K. (2005). Biodiesel as an Alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 1-12.

Cabezas D., Carrasco F., Mafla E. (2002). El Riego, La producción y el mercado. Programa de capacitación a promotoras y promotores campesinos. Coordinación CESA. Consorcio CAMAREN.

Cano Sanz, C. G., Vallejo Mejía, C., Caicedo García, E., Amador Torres, J. S., & Tique Calderón, E. Y. (2012). El Mercado Mundial del Café y su Impacto en Colombia. *Borradores de Economía* , 1-56.

Carmona, Alejandra, German Poveda, and Eddy Bustamante. 2014. "A scaling approach to Budyko's framework and the complementary relationship of evapotranspiration." in press.

Castiblanco, C., Ettl, A., & Aide, M. (2013). Oil palm plantations in Colombia: A model of Future Expansion . *Environmental Science and Policy*, 172-183.

Coenen, G., & Vega, J. L. (1999). The Demand of M3 in the Euro Area. European Central Bank working papers

series .

Corporación Para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y Producción Limpia (CORPOBID). (15 de Junio de 2014). Plan Agrícola para la Implementación del Programa de Biodiesel. Obtenido de <http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/Biodiesel/Capitulo%204.pdf>

Departamento Nacional de Planeación. (23 de Septiembre de 2014). Asistencia Técnica al Desarrollo Tecnológico del Sector Agropecuario a Nivel Nacional . Obtenido de https://spi.dnp.gov.co/App_Themes/SeguimientoProyectos/ResumenEjecutivo/1024001599999.pdf.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2011). Levantamiento de Información y Evaluación de Los Resultados de la Ejecución del Programa Agro Ingreso Seguro – AIS. Bogotá.

ECOFYS. (2013). UK Biofuels Industry Overview. Londres.

European Biodiesel Board. (2009). 2008-2009: EU Biodiesel Industry shows resilience amid unfair international competition and degraded market conditions. Bruselas.

Falkenmark, M. 2003. "Water cycle and people: water for feeding humanity." *Land Use and Water Resources Research* 3: 1–4. <http://www.luwrr.com/uploads/paper03-01.pdf>.

Fenalce. (2010). El Cultivo del Fríjol, Historia e Importancia . *El Cerealista*, 30-31.

Federación Nacional de Arroceros y Fondo Nacional del Arroz. (2008). III Censo Nacional Arrocerero Cubrimiento Cosechas A y B 2007. Bogotá.

Federación Nacional de Cafeteros. (19 de Septiembre de 2014). Federación Nacional de Cafeteros. Obtenido de http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/nuestros_caficultores

Gobernación del Huila. (30 de Julio de 2014). Distrito de Riego Tesalia-Paicol. Obtenido de http://www.huila.gov.co/documentos/distritos_riego/tesalia_paicol/generalidades_tesalia_paicol.pdf

Gómez, H. J., Restrepo, J. C., Nash, J., Valdés, A., Reina, M., Zuluaga, S., . . . Perfetti, J. J. (2011). *La Política Comercial del Sector Agrícola en Colombia*. Bogotá: La Imprenta Editores S.A.

Haque, Amin. 2003. "Estimating actual areal evapotranspiration from potential evapotranspiration using physical models based on complementary relationships and meteorological data." *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 62: 57–63.

Hernández, G. (2014). Una Revisión de los efectos del Tratado de Libre Comercio entre Colombia y Estados Unidos. *Lecturas de Economía*, 49-77.

Hombres R, R., & Umaña A, C. M. (2005). Colombia en los próximos 20 años. El país que queremos. *Archivos de Economía*.

Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. (2007). *Distritos de riego*. Bogotá: INCODER

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2010). "Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000." In Area, Commission of the European Communities OPOCE (Office for official publications of the european communities) © ECSC-EEC-EAEC, p. 16.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2010). *Estudio Nacional del Agua - ENA* . Bogotá: IDEAM

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ideam (2013). 46 *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. Bogotá D.C.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2008). *Zonificación climática*. Bogotá: IGAC

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2012). Atlas de la Distribución de la Propiedad Rural en Colombia . Bogotá.

International Coffee Organization. (2011). Outlook for Coffee Market 2010-2019. Londres.

International Coffee Organization. (2012). Monthly Coffee Market Report . Londres.

International Coffee Organization. (2014). World Coffee Trade (1963- 2013): A review of the markets, challenges and opportunities facing the sector . Londres.

Islam, N., & Subramanian, A. (2008). Agricultural Exports of Developing Countries: Estimates of Income and Price Elasticities of Demand and Supply. *Journal of Agricultural Economics*, 221-231.

Johnstone, J., & Dinardo, J. (2001). Métodos de Econometría. Barcelona: Vicens-Vices.

Leight, J. (2008). The Political Dynamics of Agricultural Liberalisation in the US-Chile Free Trade Agreement. *Journal of Latin American Studies*, 225-249.

Lenzen, M., Moran, D., Bhaudiri, A., Kanemoto, K., Beckchanov, M., Geshke, A., & Foran, B. (2013). International Trade of Scarc Water. *Ecological Economics*, 78-85.

Mesa D, J. (2000). La Palmicultura Colombiana de Cara al 2020. Palmas.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2005). La Cadena del Plátano en Colombia una Mirada Global a su Estructura y Dinámica 1991-2005. Bogotá.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (30 de Julio de 2014). Plan "País Maíz". Obtenido de http://www.fenalce.org/archivos/Plan_P_M.pdf

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR . (2005). La Cadena de la Plátano en Colombia una Mirada Global a su Estructura y Dinámica 1991-2005.

Bogotá.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR. (2005). Apuesta Exportadora Agropecuaria 2006-2020. Bogotá. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR. (2005). La Cadena de la Banano en Colombia una Mirada Global a su Estructura y Dinámica 1991-2005. Bogotá.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR. (2005). La Cadena de la Papa en Colombia una Mirada Global a su Estructura y Dinámica 1991-2005. Bogotá.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR. (2005). La Cadena de las Oleoginosas en Colombia Una Mirada Global a su Estructura y Dinámica 1991-2005. Bogotá.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR. (2009). Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena de Oleaginosas, Grasas y Aceites en Colombia con Énfasis en la Oleina Roja. Bogotá.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR. (2009). Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena del Caucho Natural y su Industria en Colombia. Bogotá.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR. (2010). Informe Rendición de cuentas Gestión 2002-2010. Bogotá.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR. (2011). Informe de Rendición de Cuentas. Gestión 2010-2011. Bogotá.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Comunicación personal]. (2014). Bogotá.

Ministerio de Industria y Comercio. (2008). Exportaciones Colombianas. Bogotá.

Ministerio de Minas y Energía de Colombia – Unidad de Planeación Minero Energética UPME (2012a).

Sistema de Información Eléctrico Colombiano SIEL. Bogotá: Recuperado en

[http://www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%2fSIEL+UPME%2fGeneraci%u00f3n%2fEmbalses+\(SIN\)](http://www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%2fSIEL+UPME%2fGeneraci%u00f3n%2fEmbalses+(SIN)) [2014, 10 de marzo].

Ministerio de Minas y Energía de Colombia – Unidad de Planeación Minero Energética UPME (2012b). Sistema de Información Eléctrico Colombiano SIEL. Bogotá: Recuperado en [http://www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%2fSIEL+UPME%2fGeneraci%C3%B3n%2fConsumo+de+Combustible+\(SIN\)](http://www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%2fSIEL+UPME%2fGeneraci%C3%B3n%2fConsumo+de+Combustible+(SIN)) [2014, 1 de agosto].

Motoya, J. J. (2008). Desarrollo de un modelo conceptual de producción, transporte y depósito de sedimentos. Valencia.

M. Pradilla (maria.pradilla@upme.gov.co) (2014, 17 octubre). Escenarios oil and gas sep 2014.xlsx. Correo electrónico enviado a: Consuelo Onofre (conofre@yahoo.com).

M. Toro (2014, 10 julio). Su comunicación 20143000003291. Correo electrónico enviado a: Nelson Vargas (nvargas@ideam.gov.co).

Nacional de Chocolates. (2008). El cacao, una apuesta ganadora para los pequeños productores.

OECD/FAO. (2011). OECD - FAO Agricultural Outlook 2011-2020.

Oficina de Estudios y de Política Agraria. (2010). Mercados Agropecuarios. Santiago de Chile.

Parlamento Europeo. (2009). Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo. Bruselas.

Proexport Colombia. (2012). Sector Agroindustrial Colombiano. Bogotá.

Restrepo R, S., & Bedoya Uribe, D. (2014). El Uso del Agua en el Cultivo de Caña de Azúcar. Una Mirada desde la Huella Hídrica. Working Paper.

Revista Semana. (2014). Explosión de zonas francas. Semana.

Sociedad de Agricultores de Colombia. (2014). Memorias XXXVII Congreso Agrario Nacional: La Visión Renovada del Campo. Bogotá.

Superintendencia de Industria y Comercio. (2012). Cadena Productiva del Maíz. Bogotá.

Superintendencia de Industria y Comercio. (15 de Octubre de 2014). Cadena productiva del Cacao. Diagnóstico de Libre Competencia. Obtenido de <http://www.sic.gov.co/drupal/sites/default/files/files/Cacao.pdf>

Superintendencia de Industria y Comercio. (5 de Noviembre de 2014). Cadena productiva de Las Hortalizas en Colombia: Diagnóstico de libre competencia (2009-2011). Obtenido de <http://www.sic.gov.co/drupal/masive/>

datos/estudios%20economicos/Documentos%20%20elaborados%20por%20la%20Delegatura%20de%20Protecci%C3%B3n%20de%20la%20Competencia/2011/Hortalizas2012.pdf

Thornthwaite, C.W. 1948. "An Approach Toward a Rational Classification of Climate." *Soil Science* 66(1): 77.

Thornthwaite, C.W., and B. Holzman. 1939. "The determination of evaporation from land and water surfaces." *Monthly weather Rev.* 67: 4–11.

Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. (2007). *Plan Energético Nacional 2006-2025 Contexto y Estrategias*. Bogotá.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. (19 de Septiembre de 2014). Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. Obtenido de https://www.minagricultura.gov.co/Documents/UPRA_Oferta_Institucional.pdf

United States Department of Agriculture. (2014). *Coffee: World Markets and Trade*.

Valoración Económica Ambiental. (2012). *Propuesta de acuerdo para que el desarrollo Agropecuario se Produzca en Armonía con la Gestión Integral del recurso Hídrico de la Macrocuenca Magdalena Cauca*. Bogotá.

Wilson, W. Leipzig, T. y Griffiths, B. (2012). *Burning our rivers: The water footprint of electricity: Portland: River Network Report*.

Zapata V, M. E., & Espinosa, D. C. (8 de Octubre de 2013). Régimen de Zonas Francas. Obtenido de Ministerio de Industria y Comercio: www.mincit.gov.co/descargar.php?id=65897

Zeledón, H., Hernández, M., Ayala, J., Guzmán, R., Borja, C., Alvarado, M., y otros. (s.f.). *Guía Técnica del Sorgo (Sorghum bicolor, L. Moench)*. Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG.



EVALUACIÓN MULTISECTORIAL DE LA HUELLA HÍDRICA EN COLOMBIA

RESULTADOS POR SUBZONAS
HIDROGRÁFICAS EN EL MARCO DEL
ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2014



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza
Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE



Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia

