



UNIÓN EUROPEA



EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS: EXPERIENCIAS PILOTO EN LATINOAMÉRICA

MÉXICO
CUENCA: RÍO YAQUI

GUATEMALA
CUENCA: RÍO POLOCHIC

COSTA RICA
CUENCA: RÍO REVENTAZÓN

PERÚ
CUENCA: RÍO MANTARO

CHILE
CUENCA: RÍO CACHAPOAL





EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS: EXPERIENCIAS PILOTO EN LATINOAMÉRICA

Equipo EUROCLIMA - IICA

Ronny Cascante
Díddier Moreira
Claudio Castro

Director de proyecto GSI

Diego Arévalo Uribe

Autores GSI

Diego Arévalo Uribe
Juan E. González Valencia
Andrés Estrada Urrea
Gabriela Parada Puig
Verónica Valencia Gallego
Paola Mancilla Echeverry

ENERO, 2017

Este documento fue preparado por GSI-LAC S.A.S, representada por el Ing. Diego Arévalo Uribe, para el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) en el marco de las actividades del Programa EUROCLIMA (CEC/10/001), con financiamiento de la Comisión Europea. Ni la Comisión Europea ni ninguna persona que actúe en nombre del IICA es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en esta publicación. Los puntos de vista expresados en este estudio son de los autores, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Comisión Europea. Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la organización.



Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2017



Evaluación de la huella hídrica en cuencas hidrográficas: experiencias piloto en Latinoamérica por IICA se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-Compartir igual 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO)

(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>)

Creado a partir de la obra en www.iica.int

El Instituto promueve el uso justo de este documento. Se solicita que sea citado apropiadamente cuando corresponda.

Esta publicación también está disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio Web institucional en <http://www.iica.int>

Coordinación editorial: Ronny Cascante Ocampo
Corrección de estilo: María Teresa Bolaños
Diagramación: Ingenio, Arte y Comunicación, S.A.
Diseño de portada: Ingenio, Arte y Comunicación, S.A.
Impresión: Imprenta del IICA

Evaluación de la huella hídrica en cuencas hidrográficas: experiencias piloto en Latinoamérica / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Good Stuff International. – San José, C.R.: IICA, 2017.

128 p.; 21,59 cm X 27,94 cm.

ISBN: 978-92-9248-679-2

1. Recursos hídricos 2. Uso del agua 3. Sostenibilidad 4. Ordenación de aguas 5. Cuencas hidrográficas 6. Evaluación del impacto 7. Adaptación al cambio climático 8. Sector agrario 9. Metodología I. IICA II. Good Stuff International III. Título

AGRIS
P10

DEWEY
333.912

Agradecimientos

El Proyecto EUROCLIMA-IICA agradece a los puntos focales de los países participantes por permitir y ser parte de la aplicación del concepto de huella hídrica en una cuenca hidrográfica.

A los técnicos de las instituciones contrapartes, quienes facilitaron y validaron la información que sirvió para el desarrollo de este estudio:

- **México:** Roberto Ramírez de la Parra; Luis Felipe Alcocer Espinosa; Salomón Abedrop López, Víctor Javier Bourguett Ortiz, Álvaro Saturnino Román Velasco y Gerencia de Cooperación Internacional, Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- **Guatemala:** Edwin Rojas, del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA); y David Estuardo Barrera García, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).
- **Costa Rica:** Leonel Sanabria Méndez, de la Dirección de Agua del Ministerio de Ambiente y Energía.
- **Perú:** Fernando Chiock Chang, de la Autoridad Nacional del Agua (ANA); y Alejandro Maita Gómez y Honnan Ponte Saldaña, del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI).
- **Chile:** Jacqueline Angelina Espinoza Oyarzun y José Ramírez Cabello, de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Ministerio de Agricultura.

A los técnicos del IICA por sus revisiones y aportes durante la ejecución del estudio: Díddier Moreira, Claudio Castro, Lourdes Ortiz, Gaby Rivera y Jonathan Castro.

El presente trabajo de Evaluación de huella hídrica en cinco cuencas piloto para Latinoamérica es el resultado de la aplicación a partir de la metodología base de Evaluación de la huella hídrica, publicada en 2011 por Water Footprint Network y sus investigadores liderados por el profesor Arjen Y. Hoekstra, por lo cual se da un reconocimiento especial a todas las instituciones y co-autores que han hecho parte de la evolución del concepto de la huella hídrica y de su aplicación en América Latina, entre ellos se resalta el rol de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), y a su proyecto Suizagua, en el marco del cual se han desarrollado las principales aplicaciones a nivel de cuencas en Colombia, que han servido como base a este proyecto y que han contado con el apoyo y participación de variadas instituciones públicas y privadas, que han demostrado con estos proyectos su compromiso con el agua y las cuencas.



Contenido

1. Introducción	11
2. Marco conceptual y metodológico	13
2.1. Introducción a la evaluación de huella hídrica	13
2.2. Huella hídrica azul, verde y gris	13
2.3. Evaluación de huella hídrica a nivel geográfico: la cuenca hidrográfica.....	15
3. Descripción de cuencas de estudio	17
3.1. Características generales de los países	18
4. Evaluación de huella hídrica en cuencas piloto en Latinoamérica	25
4.1. Fase 1 – Definición del alcance.....	25
4.1.1. Alcance de información base	25
4.1.2. Alcance geográfico general	25
4.1.3. Alcance temporal.....	26
4.1.4. Alcance metodológico.....	26
4.1.5. Limitaciones e incertidumbre	26
4.1.6. Alcance geográfico específico	27
4.2. Fase 2 – Cuantificación multisectorial de la huella hídrica azul y verde por cuenca	38
4.2.1. Línea base para la cuantificación de la huella hídrica agrícola en cuencas piloto.	38
4.2.2. Cuantificación de la huella hídrica del sector agropecuario	41
4.2.3. Cuantificación de la huella hídrica azul de otros sectores.....	55
4.2.4. Cuantificación de la huella hídrica azul de infraestructura hidráulica con comportamiento singular frente al uso del agua	76
4.2.5. Cuantificación multisectorial de la huella hídrica en las cuencas piloto	86
4.3. Fase 3 – Análisis de sostenibilidad.....	108
4.3.1. Evaluación de sostenibilidad ambiental del agua azul a nivel de cuenca	108
4.3.2. Evaluación de sostenibilidad ambiental del agua verde a nivel de cuenca.	109
4.4. Fase 4 – Generación de respuesta.....	112
4.4.1. Respuesta cuenca río Yaqui	113
4.4.2. Respuesta cuenca río Polochic.....	114
4.4.3. Respuesta cuenca río Reventazón	115
4.4.4. Respuesta cuenca río Mantaro	116
4.4.5. Respuesta cuenca río Cachapoal.....	117
5. Consideraciones finales y oportunidades	119
BIBLIOGRAFÍA	123



Lista de Cuadros

Cuadro 1.	Subdivisión de la cuenca del río Yaqui, México.	29
Cuadro 2.	Subdivisión de la cuenca del río Polochic, Guatemala.	31
Cuadro 3.	Subdivisión de la cuenca del río Reventazón, Costa Rica.....	33
Cuadro 4.	Subdivisión de la cuenca del río Mantaro, Perú.....	35
Cuadro 5.	Subdivisión de la cuenca del río Cachapoal, Chile.	37
Cuadro 6.	Resultados de huella hídrica agrícola por cuenca.....	39
Cuadro 7.	Análisis de vocación agrícola de las cuencas.	42
Cuadro 8.	Resumen de resultados de huella hídrica por cuenca.	42
Cuadro 9.	Distribución geográfica de los principales cultivos en la cuenca del Yaqui – México.....	43
Cuadro 10.	Relación de información por cultivo priorizado para aplicación de Cropwat 8.0; Cuenca del Yaqui – México	44
Cuadro 11.	Resultados de huella hídrica para los cultivos priorizados; Cuenca del Yaqui – México.....	44
Cuadro 12.	Distribución geográfica de los principales cultivos en la cuenca del Polochic – Guatemala.	46
Cuadro 13.	Relación de información por cultivo priorizado para aplicación de Cropwat 8.0; Cuenca del Polochic – Guatemala.	46
Cuadro 14.	Resultados de huella hídrica para los cultivos priorizados; Cuenca del Polochic – Guatemala.	47
Cuadro 15.	Distribución geográfica de los principales cultivos en la cuenca del Reventazón – Costa Rica.	48
Cuadro 16.	Relación de información por cultivo priorizado para aplicación de Cropwat 8.0; Cuenca del Reventazón – Costa Rica.....	49
Cuadro 17.	Resultados de huella hídrica para los cultivos priorizados; Cuenca del Reventazón – Costa Rica.	49
Cuadro 18.	Distribución geográfica de los principales cultivos en la cuenca del Mantaro – Perú.	51
Cuadro 19.	Relación de información por cultivo priorizado para aplicación de Cropwat 8.0; Cuenca del Mantaro – Perú.....	52
Cuadro 20.	Resultados de huella hídrica para los cultivos priorizados; Cuenca del Mantaro – Perú.....	52
Cuadro 21.	Distribución geográfica de los principales cultivos en la cuenca del Cachapoal – Chile.....	54
Cuadro 22.	Relación de información por cultivo priorizado para aplicación de Cropwat 8.0; Cuenca del Cachapoal – Chile.	54
Cuadro 23.	Resultados de huella hídrica para los cultivos priorizados y la cuenca; Cuenca del Cachapoal – Chile.	54
Cuadro 24.	Resultados de HHA por sector por cuenca.....	56
Cuadro 25.	Resultados de HHA por sector por cuenca.....	77
Cuadro 26.	Huella hídrica azul. Sector trasvases de cuencas – Cuenca del río Yaqui.	79
Cuadro 27.	Huella hídrica azul. Sector trasvases de cuencas – Cuenca del río Mantaro.	85
Cuadro 28.	Huella hídrica multisectorial de cuencas de estudio.....	86
Cuadro 29.	Resumen resultados de huella hídrica multisectorial.	87
Cuadro 30.	Evaluación de huella hídrica azul.....	109
Cuadro 31.	Evaluación de huella hídrica verde	111



Lista de Figuras

Figura 1.	Fases de la evaluación de la huella hídrica.	13
Figura 2.	Componentes básicos de la huella hídrica y su comparación con la visión tradicional de la gestión del agua.	14
Figura 3.	Ubicación de las cuencas seleccionadas	17
Figura 4.	Esquema metodológico para el cálculo de la HH del sector agrícola por cultivo.	41
Figura 5.	Principales cultivos en la cuenca del Yaqui – México.	43
Figura 6.	Resultado mensual de las huellas hídricas azul y verde para el sector agrícola en la cuenca del río Yaqui, México.	44
Figura 7.	Principales cultivos en la cuenca del río Polochic, Guatemala.	45
Figura 8.	Resultado mensual de huellas hídricas azul y verde para el sector agrícola en la cuenca del río Polochic, Guatemala.	47
Figura 9.	Principales cultivos en la cuenca del río Reventazón, Costa Rica.	48
Figura 10.	Resultado mensual de huellas hídricas azul y verde para el sector agrícola en la cuenca del río Reventazón, Costa Rica.	49
Figura 11.	Principales cultivos en la cuenca del Mantaro – Perú.	50
Figura 12.	Resultado mensual de huellas hídricas azul y verde para el sector agrícola en la cuenca del río Mantaro, Perú.	52
Figura 13.	Principales cultivos en la cuenca del río Cachapoal, Chile.	53
Figura 14.	Resultado mensual de huellas hídricas azul y verde para el sector agrícola en la cuenca del río Cachapoal, Chile.	55
Figura 15.	Esquema metodológico por sector económico para el cálculo de la HHA.	55
Figura 16.	Información de entrada del sector doméstico – cuenca del río Yaqui.	57
Figura 17.	Huella hídrica del sector doméstico – cuenca del río Yaqui.	57
Figura 18.	Información de entrada del sector industrial – cuenca del río Yaqui.	58
Figura 19.	Huella hídrica del sector industrial – cuenca del río Yaqui.	59
Figura 20.	Información de entrada del sector minero – cuenca del río Yaqui.	60
Figura 21.	Huella hídrica azul del sector minero – cuenca del río Yaqui.	61
Figura 22.	Información de entrada del sector doméstico – cuenca del río Polochic.	62
Figura 23.	Huella hídrica del sector doméstico – cuenca del río Polochic.	63
Figura 24.	Información de entrada del sector minero – cuenca del río Polochic.	64
Figura 25.	Huella hídrica azul del sector minero – cuenca del río Polochic.	65
Figura 26.	Información de entrada del sector doméstico – cuenca del río Reventazón.	66
Figura 27.	Huella hídrica del sector doméstico – cuenca del río Reventazón.	67
Figura 28.	Información de entrada del sector doméstico – cuenca del río Mantaro.	68
Figura 29.	Huella hídrica del sector doméstico – cuenca del río Mantaro.	69
Figura 30.	Información de entrada del sector minero – cuenca del río Mantaro.	70
Figura 31.	Huella hídrica azul del sector minero – cuenca del río Mantaro.	71
Figura 32.	Información de entrada del sector doméstico – cuenca del río Cachapoal.	72
Figura 33.	Huella hídrica del sector doméstico – cuenca del río Cachapoal.	73
Figura 34.	Información de entrada del sector industrial – cuenca del río Cachapoal.	74
Figura 35.	Huella hídrica del sector industrial – cuenca del río Cachapoal.	75
Figura 36.	Información de entrada del sector minero – cuenca del río Cachapoal.	76
Figura 37.	Esquema metodológico por sector económico para el cálculo de la HHA.	77
Figura 38.	Información de entrada del sector de embalses – cuenca del río Yaqui.	78
Figura 39.	Huella hídrica azul del sector de embalses – cuenca del río Yaqui.	79
Figura 40.	Información de entrada del sector de embalses – cuenca del río Polochic.	80



Figura 41. Huella hídrica azul del sector de embalses – cuenca del río Polochic.	81
Figura 42. Información de entrada del sector de embalses – cuenca del río Reventazón.	82
Figura 43. Huella hídrica azul del sector de embalses – cuenca del río Reventazón.	83
Figura 44. Información de entrada del sector de embalses – cuenca del río Mantaro.	84
Figura 45. Huella hídrica azul del sector de embalses – cuenca del río Mantaro.	85
Figura 46. Escalas de análisis para la generación de respuestas, fase 4.	112



Lista de Mapas

Mapa 1.	División de subcuencas – cuenca del río Yaqui.	28
Mapa 2.	División de subcuencas – cuenca del río Polochic.	30
Mapa 3.	División de subcuencas – cuenca del río Reventazón.....	32
Mapa 4.	División de subcuencas – cuenca del río Mantaro.....	34
Mapa 5.	División de subcuencas – cuenca del río Cachapoal.....	36
Mapa 6.	Mapas de aproximación inicial a la huella hídrica verde agrícola de cuencas de estudio	39
Mapa 7.	Mapas de aproximación inicial a la huella hídrica azul agrícola de cuencas de estudio.....	40
Mapa 8.	Huella hídrica verde multisectorial anual – cuenca del río Yaqui.	88
Mapa 9.	Huella hídrica azul multisectorial anual – cuenca del río Yaqui.....	89
Mapa 10.	Huella hídrica verde multisectorial mensual – cuenca del río Yaqui.....	90
Mapa 11.	Huella hídrica azul multisectorial mensual – cuenca del río Yaqui.	91
Mapa 12.	Huella hídrica verde multisectorial anual – cuenca del río Polochic.	92
Mapa 13.	Huella hídrica azul multisectorial anual – cuenca del río Polochic.	93
Mapa 14.	Huella hídrica verde multisectorial mensual – cuenca del río Polochic.	94
Mapa 15.	Huella hídrica azul multisectorial mensual – cuenca del río Polochic.....	95
Mapa 16.	Huella hídrica verde multisectorial anual – cuenca del río Reventazón.	96
Mapa 17.	Huella hídrica azul multisectorial anual – cuenca del río Reventazón.....	97
Mapa 18.	Huella hídrica verde multisectorial mensual – cuenca del río Reventazón.....	98
Mapa 19.	Huella hídrica azul multisectorial mensual – cuenca del río Reventazón.	99
Mapa 20.	Huella hídrica verde multisectorial anual – cuenca del río Mantaro.....	100
Mapa 21.	Huella hídrica azul multisectorial anual – cuenca del río Mantaro.	101
Mapa 22.	Huella hídrica verde multisectorial mensual – cuenca del río Mantaro.	102
Mapa 23.	Huella hídrica azul multisectorial mensual – cuenca del río Mantaro.	103
Mapa 24.	Huella hídrica verde multisectorial anual – cuenca del río Cachapoal.....	104
Mapa 25.	Huella hídrica azul multisectorial anual – cuenca del río Cachapoal.	105
Mapa 26.	Huella hídrica verde multisectorial mensual – cuenca del río Cachapoal.	106
Mapa 27.	Huella hídrica azul multisectorial mensual – cuenca del río Cachapoal.....	107



1. Introducción

Cada día se tiene mayor certeza científica sobre las alteraciones que la actividad antrópica ha generado en el sistema climático global. En principio, las medidas se enfocaban en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para disminuir el proceso acelerado del calentamiento global, sin embargo, hoy el problema es tan crítico, que las medidas ya no se orientan para reducir los efectos del cambio climático, sino que se enfocan en la adaptación de los sistemas sociales, económicos y naturales ante los escenarios futuros que los científicos han proyectado en el mediano y largo plazo.

En consecuencia, con el apoyo financiero de la Unión Europea se desarrolla el Programa EUROCLIMA, un programa de cooperación regional para 18 países de América Latina, que tiene por objetivo central facilitar la integración de las estrategias y medidas de mitigación y de adaptación frente al cambio climático, en las políticas y planes públicos de los países latinoamericanos que son miembros de EUROCLIMA.

Este Programa ejecuta sus acciones en coordinación con los Puntos Focales, quienes son representantes que los gobiernos de los Países Miembros han designado para apoyar esta iniciativa. A través del trabajo en equipo, el Programa busca, entre otros, los siguientes resultados:

1. El intercambio de información y experiencias sobre el cambio climático, el cual ha sido un esfuerzo constante por parte del Programa, y que ha permitido aumentar la sensibilidad política y el fortalecimiento de la capacidad institucional, así como también el conocimiento y la visibilidad del tema en los niveles nacional, subregional y regional.
2. La seguridad alimentaria en América Latina se ha reforzado, contribuyendo a una agricultura sostenible, con una mayor capacidad para mitigar los efectos y adaptarse al cambio climático, incluyendo medidas contra la desertificación y la degradación de la tierra.

En el marco de este Programa se desarrolla el Proyecto EUROCLIMA – IICA¹, el cual ha considerado el concepto de la huella hídrica, entendida como un indicador de impacto de las actividades antrópicas sobre el agua, en términos de cantidad y calidad. Este indicador se basa en la estimación del volumen de apropiación humana de agua y se ha venido trabajando en la aplicación de la metodología de evaluación de la huella hídrica. Esta herramienta provee nueva información que aporta a una mejor adaptación al cambio climático de los agricultores y productores, mejorando su entendimiento y uso del recurso hídrico y fortaleciendo las capacidades para que puedan desarrollar y evaluar estrategias para la gestión de cuencas, como camino hacia el aumento de la sostenibilidad hídrica.

El contenido de este documento técnico se enmarca como un aporte del Proyecto EUROCLIMA – IICA a estos resultados, mediante la aplicación de la metodología de *Evaluación de la huella hídrica* en cinco cuencas hidrográficas piloto a nivel regional, ubicadas en cinco países latinoamericanos, miembros del Programa.

La selección de las cuencas de estudio tomó en consideración el interés de los Países Miembros

1. El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) se centra en la ejecución del componente 3 del Programa EUROCLIMA: Agricultura Sostenible, Seguridad Alimentaria y Cambio Climático, en el cual también trabaja de manera coordinada con el Centro Común de Investigación (JRC) de la Unión Europea (UE).



en proponer cuencas que, por sus características sociales, económicas y naturales, fueran relevantes para que se implementara la evaluación de huella hídrica y se lograra analizar la pertinencia de la aplicación de este indicador, como herramienta clave para tomar decisiones de adaptación frente al cambio climático.

El resultado final de esta definición de alcance es la selección de las cinco cuencas que permitieron abordar el estudio piloto que incorpora la diversidad regional de Latinoamérica, considerando la factibilidad y oportunidad identificada por los países interesados en participar y apoyar el proceso durante su fase de formulación y análisis. Las cuencas incluidas en este estudio son:

- Cuenca del río Yaqui, México
- Cuenca del río Polochic, Guatemala
- Cuenca del río Reventazón, Costa Rica
- Cuenca del río Mantaro, Perú
- Cuenca del río Cachapoal, Chile

El objetivo de esta publicación es acercar el concepto de la huella hídrica y su metodología de evaluación a todos los interesados en la gestión de cuencas en la Región y proveer una herramienta de gran utilidad en el trabajo hacia la adaptación de la agricultura al cambio climático.

La metodología aplicada en este ejercicio piloto se detalla en el documento Guía Metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica, desarrollada de manera complementaria en el marco del Proyecto EUROCLIMA-IIICA ; esta guía metodológica se basa en la publicación del Manual de evaluación de huella hídrica, y se encuentra enriquecida y ajustada por las principales experiencias desarrolladas en los últimos años en países de Latinoamérica y en especial en las de Colombia, donde se han desarrollado varios estudios de evaluación de huella hídrica en cuenca a escala local y nacional, permitiendo llevar el indicador a un nivel de documento técnico base para la política pública nacional, a partir de la inclusión del concepto de la huella hídrica y su evaluación para 316 cuencas a nivel nacional en el Estudio Nacional del Agua (ENA 2015).

Los capítulos siguientes contemplan una especificación de las definiciones y de los aspectos metodológicos más importantes, remitiendo al lector a la *Guía metodológica de evaluación de huella hídrica en cuenca*. Posteriormente, se da una descripción de las cuencas de estudio, y se sintetiza el desarrollo de las fases de evaluación de huella hídrica, presentando los resultados obtenidos y las consideraciones finales.



2. Marco conceptual y metodológico

2.1. Introducción a la evaluación de la huella hídrica

La evaluación de huella hídrica consta de cuatro fases (Figura 1) que buscan, de forma secuencial, informar sobre los impactos asociados con la apropiación del agua dulce, generada por procesos humanos, así como el grado de sostenibilidad de esos procesos y los territorios donde se realizan, con el fin de apoyar la formulación de las estrategias de respuesta para alcanzar un uso sostenible del agua.



Figura 1. Fases de la evaluación de la huella hídrica.

Fuente: Adaptada de Hoekstra et al. 2011.

Esta metodología puede aplicarse para una gran variedad de usos, como se puede consultar en el Manual de huella hídrica (Hoekstra et al. 2011). Particularmente, el caso de aplicación geográfica en cuenca se detalla en la Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca, que ha permitido enriquecer el documento base con las experiencias más recientes de aplicación para Latinoamérica y el mundo.

2.2. Huella hídrica azul, verde y gris

La huella hídrica se refiere al consumo humano de agua dulce y a la contaminación del agua asociada a un proceso antrópico (apropiación humana de agua dulce). La apropiación del agua se define, en este caso, como un uso consuntivo que se entiende como un uso de agua que, tras una extracción de la fuente natural, no retorna a ella, por lo tanto, no está disponible para otros usos, bien sea porque el agua usada: (1) se ha evaporado, (2) se ha transferido a otra cuenca, (3) se ha incorporado a un producto o (4) se ha contaminado. La FAO (2000) establece que el agua dentro de una unidad territorial, como el caso de una cuenca, puede estar disponible como agua que proviene de la lluvia y que se almacena



como humedad del suelo (agua verde) o como escorrentía en cuerpos de agua superficial o subterránea (agua azul). Esta definición de los colores del agua, define los colores de apropiación o uso consuntivo de agua como huella hídrica azul y huella hídrica verde.

La **huella hídrica azul**, entonces, se refiere al uso consuntivo de aguas superficiales (como por ejemplo ríos, lagos) y aguas subterráneas. Su contabilidad tiene en cuenta agua azul evaporada, transferida a otra cuenca o incorporada a un producto.

La **huella hídrica verde**, por su parte, se refiere al uso consuntivo de agua almacenada en el suelo, como humedad proveniente de la precipitación, que se evapora, usualmente en la agricultura.

La **huella hídrica gris** se define como el volumen teórico de agua limpia requerida para asimilar o diluir un volumen de cierta carga de contaminantes vertidos a un cuerpo de agua.



Figura 2. Componentes básicos de la huella hídrica y su comparación con la visión tradicional de la gestión del agua.

Fuente: Adaptada de Hoekstra et al. 2011.

La huella hídrica complementa, de manera significativa, la visión tradicional de la contabilidad del uso del recurso hídrico, proporcionando información integral para formular estrategias de gestión más eficientes (Figura 2): (1) la extracción de agua se separa en dos: uso consuntivo y uso no consuntivo, o fracción de la extracción que retorna a la cuenca; (2) se incorpora la contabilidad del agua verde a las cuantificaciones sobre uso de recursos



hídricos, poniendo de manifiesto las necesidades hídricas de agua verde por parte de los ecosistemas, y la competencia por el agua verde que a veces ocurre entre estos y los usos productivos como agricultura y ganadería; y (3) las cargas contaminantes se expresan en unidades de volumen de agua, al tener las tres huellas (verde, azul y gris); en las mismas unidades es posible visualizar rápidamente cuál de ellas representa el mayor reto.

2.3. Evaluación de la huella hídrica a nivel geográfico: la cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica se define como una unidad territorial en la cual el agua, que cae por precipitación, se reúne y escurre hacia un punto común, bien sea un río, un lago o el mar, para un período de tiempo determinado (por ejemplo, un mes o un año). La precipitación escurre, se evapora, o se almacena como humedad del suelo, o incrementando el nivel de lagos y acuíferos.

Los flujos de entradas (precipitación) y salidas (escorrentía y evapotranspiración) de agua en una cuenca hidrográfica, para un período de tiempo determinado, conforman el balance hídrico de la cuenca, y se pueden representar de forma simplificada mediante la fórmula:

$$\Delta S = P - E_s - ET$$

En donde:

ΔS : Cambio en la acumulación del agua total en la cuenca. Si es positivo, significa un incremento en las reservas de agua de la cuenca (por ejemplo, aumento en los niveles de lagos, embalses o acuíferos).

P: Precipitación

E_s : Escorrentía

ET: Evapotranspiración

La evaluación de huella hídrica aplicada a cuencas busca **sumar las huellas hídricas de todos los procesos productivos localizados en el interior de la cuenca**, como se define en la Guía Metodológica:

$$HH_{area} = \sum_q HH_{proc} [q]$$

En donde HH_{area} representa la huella hídrica del área geográficamente delimitada, en este caso la cuenca, y HH_{proc} la huella hídrica del proceso "q", que puede ser cualquier proceso, como un determinado cultivo o una actividad industrial (Hoekstra *et al.* 2011).

Esta suma se incorpora dentro del balance hídrico de la cuenca, con el fin de obtener una visión completa de la situación hídrica territorial, y comprender cuánto del agua disponible en esa cuenca y para un período de tiempo determinado, puede sosteniblemente asignarse para usos humanos. La evaluación busca también apoyar el diseño de estrategias de respuesta para realizar una asignación responsable y sostenible del agua, convirtiéndose en una herramienta que apoya la gestión integrada del recurso hídrico.



La fase de alcance y objetivos de un estudio de evaluación de huella hídrica se puede acotar teniendo en cuenta los recursos y la información disponibles. En cualquier caso, se necesita obtener información sobre los consumos y la disponibilidad de agua en toda la cuenca. La diferencia en alcances radicarán en la simplificación del estudio optando por datos tomados de bases de datos globales disponibles públicamente, o un mayor nivel de detalle empleando datos locales.



3. Descripción de cuencas de estudio

Previo a la evaluación de la huella hídrica agrícola y de otros sectores para las cuencas de estudio, es necesario presentar una contextualización de los países donde se ubican cada una de las cuencas, relacionando aspectos como la población, área, división político-administrativa, actividades económicas, condiciones sociales, entre otros; esta descripción permitirá tener una idea del contexto de cada una de las cuencas y la incidencia de cada una de estas variables en la evaluación de huella hídrica.

Las cuencas seleccionadas para aplicar el indicador de huella hídrica son: río Yaqui (México), río Polochic (Guatemala), río Reventazón (Costa Rica), río Mantaro (Perú) y río Cachapoal (Chile); la ubicación de las cuencas se puede observar en la Figura 3.



Figura 3. Ubicación de las cuencas seleccionadas.



3.1 Características generales de los países


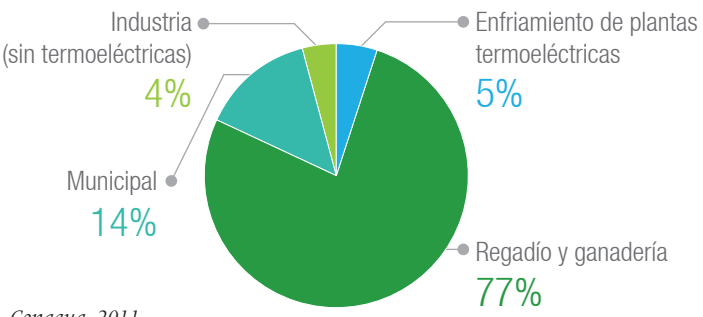

En el contexto latinoamericano, una de las principales características de los países es su diversidad en términos poblacionales, geográficos, económicos, sociales, climáticos y ambientales. Algunos países tienen grandes poblaciones como México, mientras que otros como Costa Rica y Guatemala tienen poblaciones muy inferiores; la economía de algunos se basa en actividades mineras como Chile y Perú, caso contrario ocurre en Costa Rica, donde un soporte importante de su economía se respalda en el turismo ecológico. Todas estas diferencias tienen una incidencia directa en la huella hídrica, ya que las diversas actividades antrópicas tienen impactos diferentes sobre el recurso hídrico.

Las características hidrológicas y los usuarios del recurso hídrico también juegan un papel importante al momento de hacer la evaluación de huella hídrica. Variaciones en la precipitación o temporadas de sequías, por ejemplo, tienen una incidencia directa en temas de riego para la actividad agrícola, lo que conlleva a un aumento en la presión sobre las fuentes hídricas superficiales o subterráneas. A su vez, la presencia de diferentes usuarios del agua (doméstico, industrial, agrícola, energético, entre otros), también generan impactos de acuerdo con la forma como estas actividades se apropian del recurso, por ejemplo, no es el mismo impacto cuando se genera energía a través de embalses que cuando se genera a partir de termoeléctricas. Por tal motivo, se presenta una caracterización general de las condiciones hidrológicas y la distribución de la demanda hídrica para cada uno de los países donde se ubican las cuencas de análisis.

Finalmente, después de presentar una caracterización general a escala de país, se hace una descripción de las cuencas en las cuales se realizará la evaluación de huella hídrica. Esta descripción contiene, principalmente, la ubicación, generalidades y la actividad agrícola que se desarrolla en cada una de ellas.


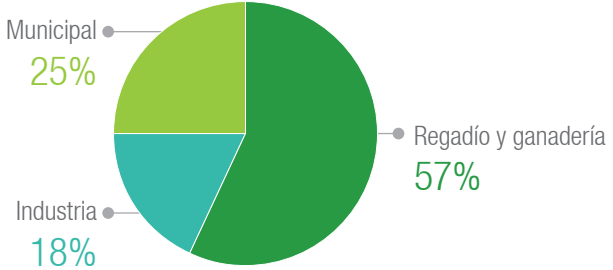
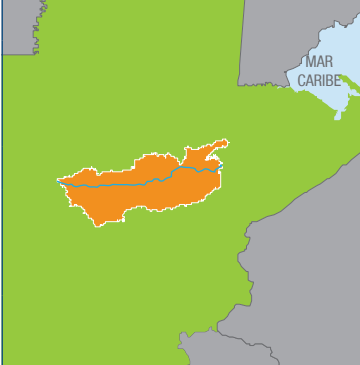


Ficha 1. Información general de los Estados Unidos Mexicanos y la cuenca del río Yaqui.


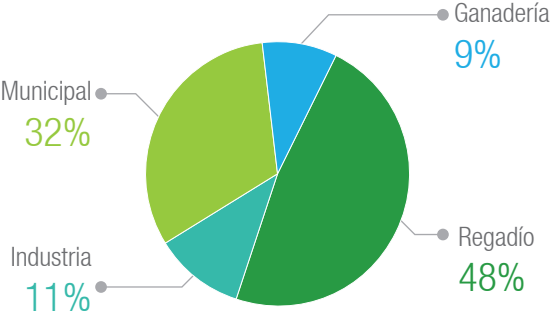

CARACTERÍSTICAS GENERALES			
	Superficie: 1 972 550 km ² (Oficina de Información Diplomática 2016) Población: 121 005 815 (CONAPO 2015)		
	Capital: Ciudad de México (22 millones de habitantes) Otras ciudades importantes: Guadalajara, Monterrey, Puebla, Chihuahua, León, Tijuana, Torreón, Ciudad Juárez, Toluca, Cuernavaca y Acapulco		
	División administrativa: 32 estados (en 2015, el Distrito Federal se convirtió en estado), con un gobernador, una asamblea legislativa y un tribunal superior de justicia		
INDICADORES SOCIALES Y ECONÓMICOS			
PIB per cápita (USD): 18 335 (FMI 2015)	% de población urbana: 79 % (IDH 2015)	% de población económicamente activa: 43,0 % (CONEVAL 2015)	
Tasa de crecimiento poblacional: 1,4 % (INEGI 2015)	Coefficiente de GINI: 0,502 (CONEVAL 2015)	Superficie con potencial agrícola: 34,7 millones de ha (FAO 2014)	
% de población en situación de pobreza: 46,2 % (CONEVAL 2015)	Índice de desarrollo humano (IDH): 0,756	Superficie cultivada: 25,8 millones de ha (FAO 2014)	
HIDROLOGÍA	DEMANDA HÍDRICA SECTORIAL		
Precipitación: 758 mm/año (Banco Mundial 2014)			
Temperatura: 18-26 ° C (FAO 2014).			
Zonificación hidrológica: Se han identificado 1 471 cuencas que se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas y, a su vez, se agrupan en 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA).			
CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA			
	Área: 72 872 km ²		
	Conformación (municipios o estados): Abarca total o parcialmente 11 municipios del estado de Chihuahua y 36 municipios del estado de Sonora.		
	Oferta hídrica: 85,8 m ³ /s (AQUASEC 2016)		
	Área sembrada en la cuenca: 374 331 ha (INEGI 2007)	Principales cultivos: Trigo en grano, avena forrajera, maíz blanco y sorgo forrajero	
	Cultivos anuales: 271 228 ha – 72,5 %	Cultivos perennes: 16 183 ha – 4,3 %	Otros cultivos: 86 920 ha – 23,2 %



Ficha 2. Información general de Guatemala y la cuenca del río Polochic.


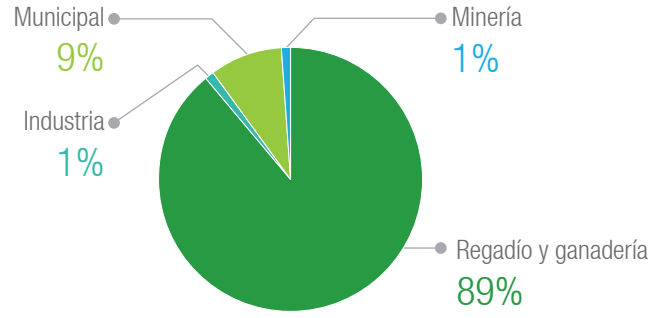

CARACTERÍSTICAS GENERALES			
	Superficie: 108 899 km ² (Oficina de Información Diplomática 2016) Población: 17 000 000 (2016) (Oficina de Información Diplomática 2016)		
	Capital: Ciudad de Guatemala (942 348 habitantes) Otras ciudades importantes: Quetzaltenango, Alta Verapaz, Baja Verapaz, Izabal, Retalhuleu, Escuintla, Sacatepéquez, Sololá.		
	División administrativa: organizada en 8 regiones, 22 departamentos y 344 municipios		
INDICADORES SOCIALES Y ECONÓMICOS			
PIB per cápita (USD): 3 907 (Oficina de Información Diplomática 2016)	% de población urbana: 51 % (FAO 2015)	% de población económicamente activa: 38,0 % (FAO 2015)	
Tasa de crecimiento poblacional: 2,1 % (Estadísticas Demográficas y Vitales 2014)	Coefficiente de GINI: 0,48 (Banco Mundial 2014)		
% de población en situación de pobreza: 59,3 % (INE 2014)	Índice de desarrollo humano: 0,627 (INE 2014)	Superficie cultivada: 2,5 millones de ha (FAO 2015)	
HIDROLOGÍA	DEMANDA HÍDRICA SECTORIAL		
Precipitación: 1 996 mm/año (INSIVUMEH 2016)			
Temperatura: 15 – 28,3 ° C (INSIVUMEH 2016)			
Zonificación hidrológica: Vertiente del Océano Pacífico (24 %), Vertiente del Mar Caribe (34 %), Vertiente del Golfo de México (42 %).			
	CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA		
	Área: 3 198 km ²		
	Conformación (municipios o estados): Abarca total o parcialmente cinco municipios del departamento de Alta Verapaz, tres municipios de Baja Verapaz y un municipio del departamento de Izabal.		
	Oferta hídrica: 69,3 m ³ /s (INSIVUMEH 2016)		
	Área sembrada en la cuenca: 115 737 ha (MAGA 2006)	Principales cultivos: Café, cardamomo, granos básicos y pastos cultivados	
	Cultivos anuales: 63 778 ha - 55,1 %	Cultivos perennes: 51 959 ha - 44,9 %	

Ficha 3. Información general de Costa Rica y la cuenca del río Reventazón.


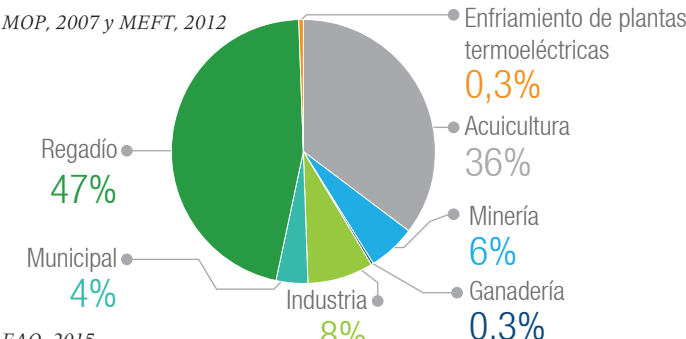

CARACTERÍSTICAS GENERALES			
	Superficie: 51 100 km ² (Oficina de Información Diplomática 2016)		
	Población: 4 807 050 (2015) (Oficina de Información Diplomática 2016)		
	Capital: San José (1,7 millones de habitantes). Otras ciudades importantes: Alajuela, Cartago, Heredia, Limón y Puntarenas		
	División administrativa: Posee siete provincias, 81 cantones y 479 distritos.		
INDICADORES SOCIALES Y ECONÓMICOS			
PIB per cápita (USD): 11 023 (PPA 2015)	% de población urbana: 76 % (IDH 2013)	% de población económicamente activa: 46,0 % (FAO 2015)	
Tasa de crecimiento poblacional anual: 1,07 % (Oficina de Información Diplomática 2016)	Coefficiente de GINI: 0,486 (Banco Mundial 2013)	Superficie con potencial agrícola: 3,5 millones de ha (FAO 2015)	
% de población en situación de pobreza: 22,8 % (INEC 2015)	Índice de desarrollo humano: 0,766 (INEC 2014)	Superficie cultivada: 585 000 ha (FAO 2015)	
HIDROLOGÍA	DEMANDA HÍDRICA SECTORIAL		
Precipitación: 1 300-7 500 mm/año (MIVAH 2016)			
Temperatura: 18-27 ° C (MIVAH 2016)			
Zonificación hidrológica: El territorio se divide en 34 cuencas principales, 17 por cada vertiente (Caribe y Pacífico), con tamaños entre 207 km ² y 5 084 km ² .			
CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA			
	Área: 2 772 km ²		
	Conformación (municipios o estados): Abarca total o parcialmente siete cantones de la provincia de Cartago y tres cantones de la provincia de Limón.		
	Oferta hídrica: 149.9 m ³ /s (BID, MINAE, IMTA 2008)		
	Área sembrada en la cuenca: 51 378 ha (INEC 2014) -(INFOAGRO 2014)	Principales cultivos: Pasto, café y banano	
	Cultivos anuales: 37 829 ha - 73,6 %	Cultivos perennes: 13 548 ha - 26,4 %	



Ficha 4. Información general de Perú y la cuenca del río Mantaro.

CARACTERÍSTICAS GENERALES			
	Superficie: 1 285 215 km ² (Oficina de Información Diplomática 2016) Población: 31,2 millones (2013) (Oficina de Información Diplomática 2016)		
	Capital: Lima (8,6 millones de habitantes) (Oficina de Información Diplomática 2016) Otras ciudades importantes: Arequipa, Trujillo, Cuzco, Chiclayo, Piura, Iquitos y Chimbote		
	División administrativa: 25 departamentos, con sus capitales; cada departamento se subdivide en provincias y estas, a su vez, en distritos; para un total de 202 provincias y 2 002 distritos.		
INDICADORES SOCIALES Y ECONÓMICOS			
PIB per cápita (USD): 11 527 (PPA, EIU 2014)	% de población urbana: 78 % (IDH 2013)	% de población económicamente activa: 54,0 % (FAO 2015)	
Tasa de crecimiento poblacional: 1,1 % (Oficina de Información Diplomática 2016)	Coefficiente de GINI: 0,42 (Oficina de Información Diplomática 2016)	Superficie con potencial agrícola: 25,5 millones de ha (Ministerio de Agricultura del Perú)	
% de población en situación de pobreza: 22,7 % (INEI 2015)	Índice de desarrollo humano: 0,741 (Oficina de Información Diplomática 2016)	Superficie cultivada: 5,5 millones de ha (FAO 2015)	
HIDROLOGÍA	DEMANDA HÍDRICA SECTORIAL		
Precipitación: 1 738 mm/año (INEI 2016)			
Temperatura: 18,7 ° C (INEI 2016)			
Zonificación hidrológica: dividida en tres vertientes. La del Atlántico con el 74 % del territorio nacional. La del Pacífico (22 %). La vertiente del Titicaca representa el 4 %.			
	CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA		
	Área: 34 550 km ²		
	Conformación (municipios o estados): Abarca total o parcialmente cuatro provincias del departamento de Ayacucho, siete de Huancavelica, ocho de Junín, dos de Pasco y una de Lima.		
	Oferta hídrica: 429,9 m ³ /s (IGP 2005)		
	Área sembrada en la cuenca: 28 486 ha (INEI 2012)	Principales cultivos: Papa blanca, maíz amiláceo, café y cacao	
	Cultivos anuales: 23 625 ha - 82,9 %	Cultivos perennes: 4 861 ha - 17,1 %	

Ficha 5. Información general de Chile y la cuenca del río Cachapoal.

CARACTERÍSTICAS GENERALES			
	Superficie: 756 945 km ² (Oficina de Información Diplomática 2016)		
	Población: 18,0 millones (INE 2015)		
	Capital: Santiago de Chile (5,4 millones de habitantes; INE 2015) Otras ciudades importantes: Concepción, Viña del Mar y Valparaíso		
	División administrativa: El territorio de la República se divide en regiones y estas en provincias. Para los efectos de la administración local, las provincias se dividen en comunas.		
INDICADORES SOCIALES Y ECONÓMICOS			
PIB per cápita (USD): 23 564 (Oficina de Información Diplomática 2016)	% de población urbana: 87,3 % (INE 2014)	% de población económicamente activa: 43,0 % (FAO 2015)	
Tasa de crecimiento poblacional: 0,8 % (INE 2014)	Coefficiente de GINI: 0,503 (OECD 2015)		
% de población en situación de pobreza: 14,0 % (MINDES0 2012)	Índice de desarrollo humano: 0,832 (PNUD 2014)	Superficie cultivada: 704 575 ha	
HIDROLOGÍA	DEMANDA HÍDRICA SECTORIAL		
Precipitación: 1 522 mm/año (Banco Mundial 2014)	<i>MOP, 2007 y MEFT, 2012</i>		
Temperatura: 14,4 ° C (Ministerio de Agricultura de Chile 2016)			
Zonificación hidrológica: Se agrupan en cuatro macrozonas: Norte, Central, Sur y Austral. Estas se dividen en 101 cuencas hidrográficas, 467 subcuencas hidrográficas.	<i>FAO, 2015</i>		
CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA			
	Área: 6 298 km ²		
	Conformación (municipios o estados): Abarca total o parcialmente 16 comunas de la provincia de Cachapoal y dos de la provincia de Colchagua.		
	Oferta hídrica: 89.7 m ³ /s (Ministerio de Agricultura de Chile 2013)		
	Área sembrada en la cuenca: 89 917 ha (INEGI 2007)	Principales cultivos: Uva de mesa, tintas viníferas finas, maíz (grano seco), y plantas forrajeras	
	Cultivos anuales: 34 937 ha – 38,9 %	Cultivos perennes: 54 980 ha - 61,1 %	



4. Evaluación de huella hídrica en cuencas piloto en Latinoamérica

En este capítulo se presenta el desarrollo completo de la aplicación metodológica de evaluación de la huella hídrica para las cuencas piloto en Latinoamérica, según el esquema de cuatro fases, presentado en el capítulo 2 de este documento.

4.1. Fase 1 – Definición del alcance

A continuación se citan las conclusiones del proceso de definición de alcance del proyecto que marcó el desarrollo de este, en cuanto a la metodología aplicada y resultados esperados y obtenidos.

4.1.1. Alcance de información base

- Se incluyeron en el estudio los siguientes sectores:
 - o Sector prioritario por uso de agua: Agropecuario
 - o Otros sectores por uso de agua: Doméstico, industrial y minería
 - o Sectores singulares por uso de agua: Embalses y trasvases
- La base de información utilizada para el estudio fue información secundaria, generada por fuentes oficiales (publicada por organismos públicos, universidades o centros de investigación de reconocida trayectoria), en su versión más reciente disponible.
- La información recopilada fue sometida a un proceso de revisión y análisis por parte del equipo técnico del proyecto y posteriormente pasó por el proceso de validación por parte de los expertos vinculados con el recurso hídrico y definidos por los puntos focales en cada uno de los países.
- Para la información recopilada que no hace referencia directa a las unidades hidrológicas de trabajo (la mayor parte de la información que es publicada se hace para unidades político-administrativas), se tomaron los supuestos estadísticos necesarios, para hacer el traslado de la información a las unidades hidrológicas definidas para este estudio.

4.1.2. Alcance geográfico general

- Se define que la aplicación de la evaluación de la huella hídrica se realiza a cinco cuencas hidrográficas en un número igual de países de América Latina. La selección de las cuencas se hace según la consulta y proceso de evaluación de factibilidad de acceso a información y apoyo local definido por el Proyecto EUROCLIMA – IICA y el equipo técnico del proyecto.
- Las cuencas incluidas en este estudio son:
 - o Cuenca del río Yaqui en México
 - o Cuenca del río Polochic en Guatemala
 - o Cuenca del río Reventazón en Costa Rica



- o Cuenca del río Mantaro en Perú
 - o Cuenca del río Cachapoal en Chile
- Se consideran, en cuatro de los cinco casos, cuencas hidrográficas completas. La excepción se presenta en la cuenca del río Yaqui, en México, en la cual se excluye del análisis la cabecera de la cuenca transnacional, que se encuentra en EEUU.
 - Cada una de las cuencas se divide en subcuencas principales y los resultados se estiman en este nivel geográfico (Ver numeral 4.1.6.).

4.1.3. Alcance temporal

- La base temporal de información recopilada fue de 2009 a 2015. Para todos los casos se considera la concordancia temporal entre los datos utilizados, de forma que se garantiza que el cálculo responde a una única unidad de análisis espacio-temporal (por ejemplo: concordancia en cada caso de análisis en el período de información climática, precipitación y uso del suelo, así como la información de usos del suelo).
- Se trabajó al menor nivel de agregación temporal de información disponible, sin embargo, en el caso en donde el nivel fue mayor al mensual, se tomaron los supuestos necesarios para conseguir presentar los resultados de manera homogénea, a nivel de agregación temporal de datos mensuales.

4.1.4. Alcance metodológico

- Se incluyeron las 4 fases citadas por el Manual de evaluación de huella hídrica (Hoekstra, *et al.* 2011) para los sectores relevantes en cada cuenca.
- Se incluyen solamente la huella hídrica verde y la azul. La huella hídrica gris se considera a nivel conceptual, pero no se incluye en los cálculos.
- Se incluye la evaluación de sostenibilidad ambiental para cada cuenca.

4.1.5. Limitaciones e incertidumbre

Con el fin de reportar los resultados de manera transparente y clara, a continuación se presenta una reflexión sobre las limitaciones detectadas a la metodología, así como de la incertidumbre que se consideró aceptable para el estudio, dadas las características de la información base y el alcance definido para el proyecto.

Las fuentes de información secundarias utilizadas para el proyecto fueron documentos oficiales publicados por organismos públicos locales, regionales o nacionales. A la información de base se asocia la incertidumbre estadística que se incorpora al proyecto al trasladar a un espacio hidrológico (cuenca), la información alfanumérica reportada oficialmente para unidades geográficas-político-administrativas (departamentos, municipios, cantones) y la información geográfica disponible en sistemas de información geográfica, representando las coberturas y usos del suelo (SIG). Esta incertidumbre se minimizó aplicando múltiples cruces de información y métodos estadísticos basados en álgebra de mapas bajo hipótesis de distribución homogénea de variables, en los casos en los que no hay más información de detalle relativa a la ubicación específica de alguna de las variables, con lo cual se redujo la duda probable de los datos, antes de ser tratados.

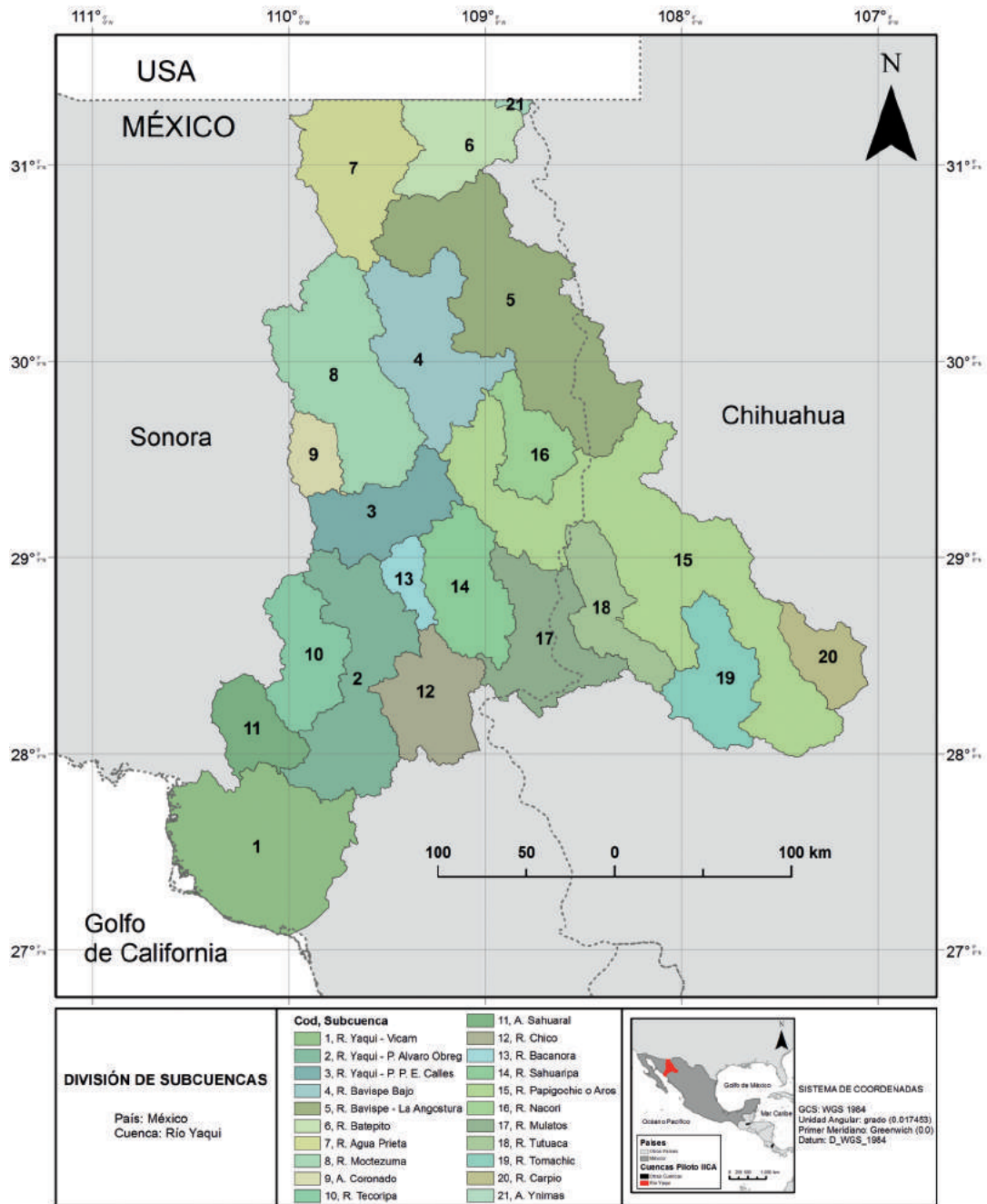


En cuanto a la estimación de las huellas verde y azul, la metodología utilizada se basó en dos aproximaciones simultáneas, independientes y complementarias; la primera de ellas es un análisis de información satelital que permite una aproximación geográfica a las huellas hídricas verde y azul. Para la aproximación por cultivos se usó del modelo CROPWAT, siendo este un modelo discreto que permite tener una primera estimación válida y complementaria a nivel de cadenas productivas.

4.1.6. Alcance geográfico específico

Adicional a la delimitación de las cinco cuencas objeto de estudio, cada una de ellas se dividió en subcuencas, esto permite un mayor detalle en la generación y análisis de resultados, específicamente los relacionados con la huella hídrica agrícola. A continuación se presentan los mapas (ver Mapa 1 al 5) con la subdivisión de cada cuenca acompañada con su respectivo cuadro (ver cuadros 1 a 5) donde se identifica el nombre de las subcuencas (en los casos donde se tiene definido el nombre) y el área de estas.





Mapa 1. División de subcuencas – cuenca del río Yaqui.



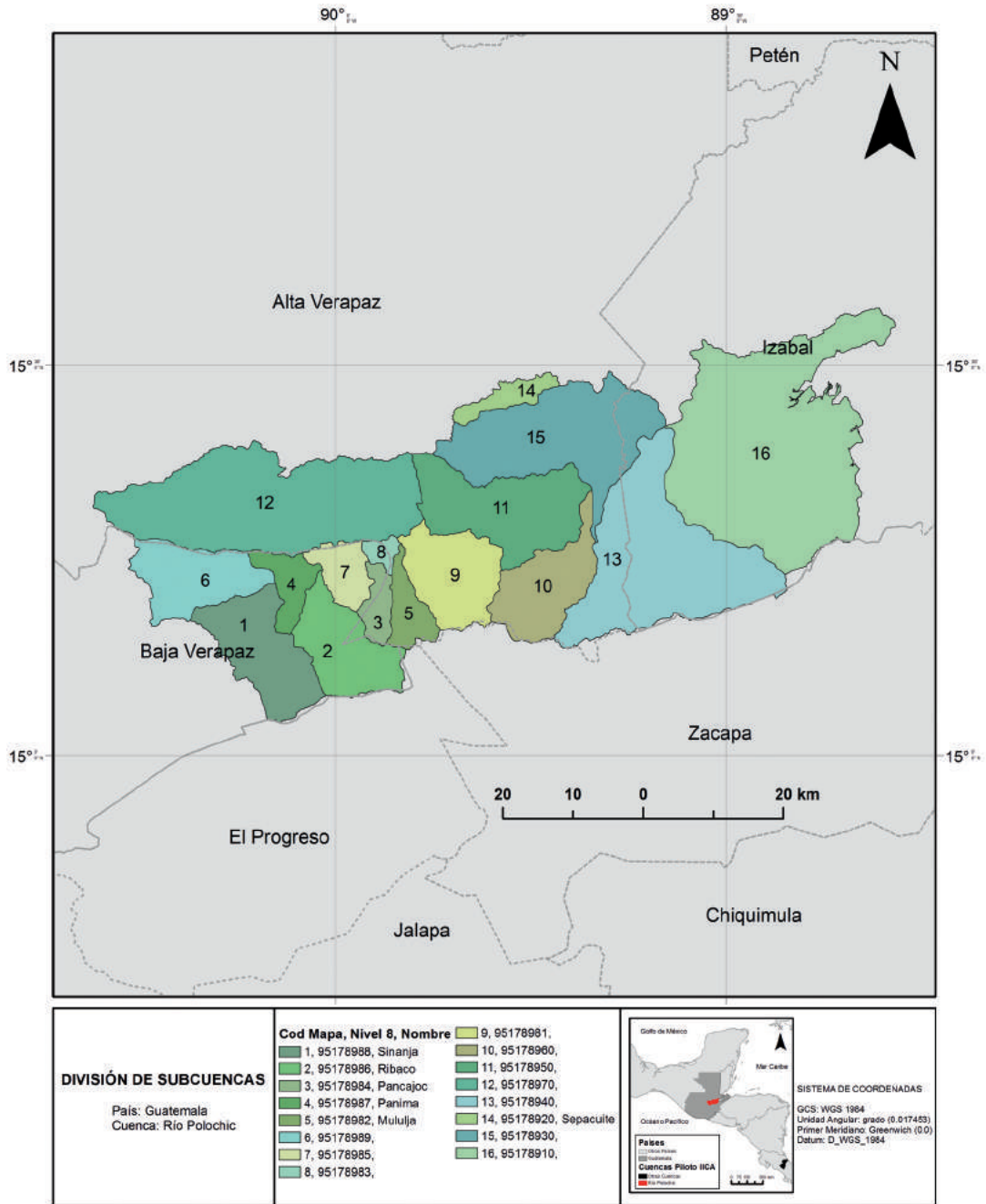
Cuadro 1. Subdivisión de la cuenca del río Yaqui, México.

Código del mapa	Subcuenca	Área (km ²)	Código del mapa	Subcuenca	Área (km ²)
1	R. Yaqui – Vicam	6 439,5	12	R. Chico	2 725,6
2	R. Yaqui – P Álvaro Obregón	4 945,2	13	R. Bacanora	776,2
3	R. Yaqui – P P Elías Calles	2 650,5	14	R. Sahuaripa	2 871,6
4	R. Bavispe Bajo	4 183,7	15	R. Papigochic	11 669,2
5	R. Bavispe – La Angostura	8 302,0	16	R. Nacori	1 748,7
6	R. Batepito	2 463,9	17	R. Mulatos	3 380,7
7	R. Agua Prieta	3 771,4	18	R. Tutuaca	2 204,2
8	R. Moctezuma	5 637,2	19	R. Tomachic	2 526,4
9	A. Coronado	1 011,8	20	R. Carpio	1 449,9
10	R. Tecoripa	2 455,1	21	A. Ynimas	91,3
11	A. Sahuaral	1 668,5	TOTAL		72 872,7



Imagen con fines ilustrativos





Mapa 2. División de subcuencas – cuenca del río Polochic.



Cuadro 2. Subdivisión de la cuenca del río Polochic, Guatemala.

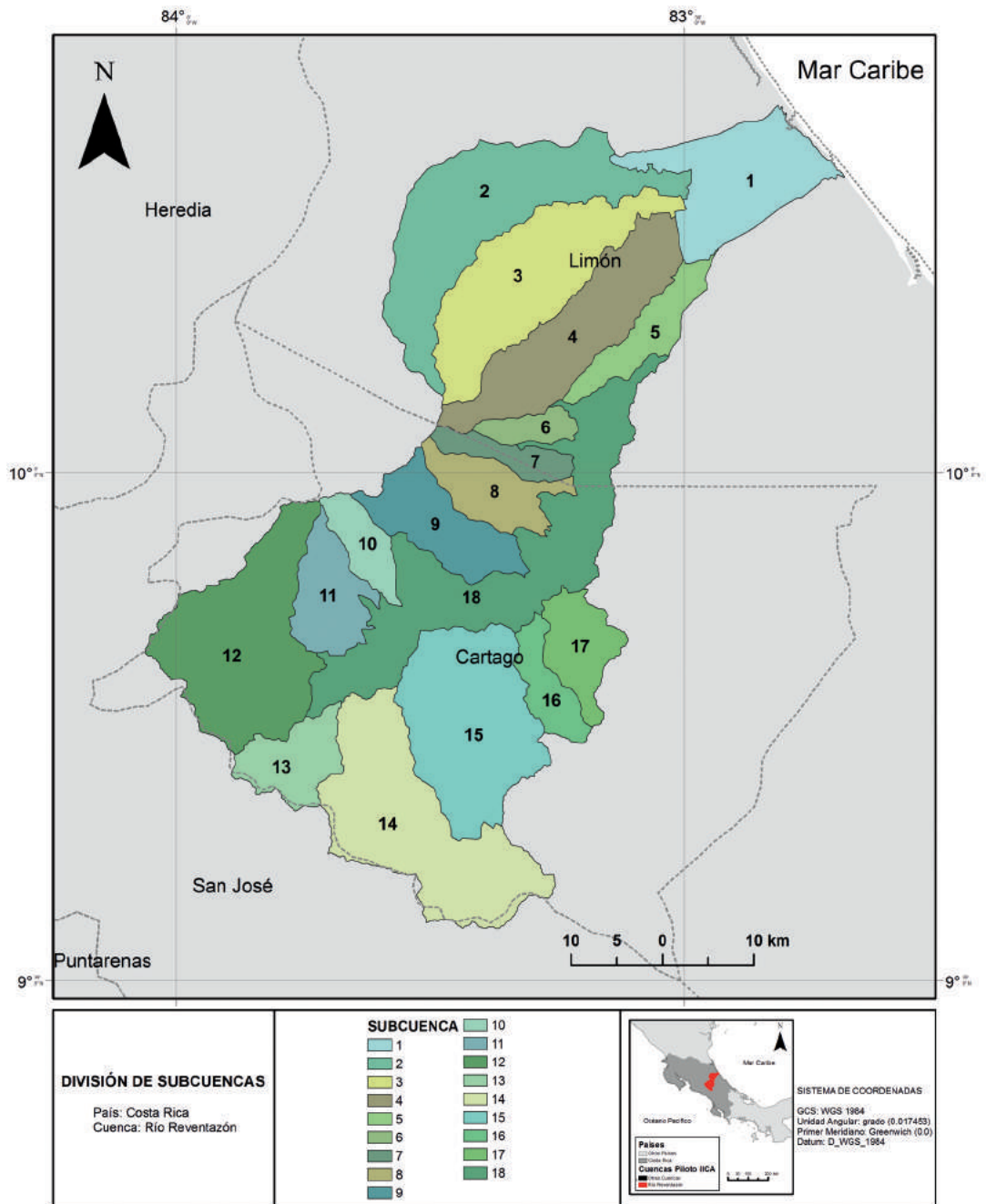
Código del mapa	Subcuenca	Área (km ²)	Código del mapa	Subcuenca	Área (km ²)
1	Sinanja	172,8	10	N/D*	148,7
2	Ribaco	146,8	11	N/D*	233,2
3	Pancajoc	38,2	12	N/D*	495,8
4	Panima	54,4	13	N/D*	425,1
5	Mululja	52,9	14	Sepacuite	39,5
6	N/D*	143,5	15	N/D*	323,4
7	N/D*	57,8	16	N/D*	697,9
8	N/D*	16,8	TOTAL		3 198,8
9	N/D*	152,0			

* N/D - No Definido



Imagen con fines ilustrativos





Mapa 3. División de subcuencas – cuenca del río Reventazón.



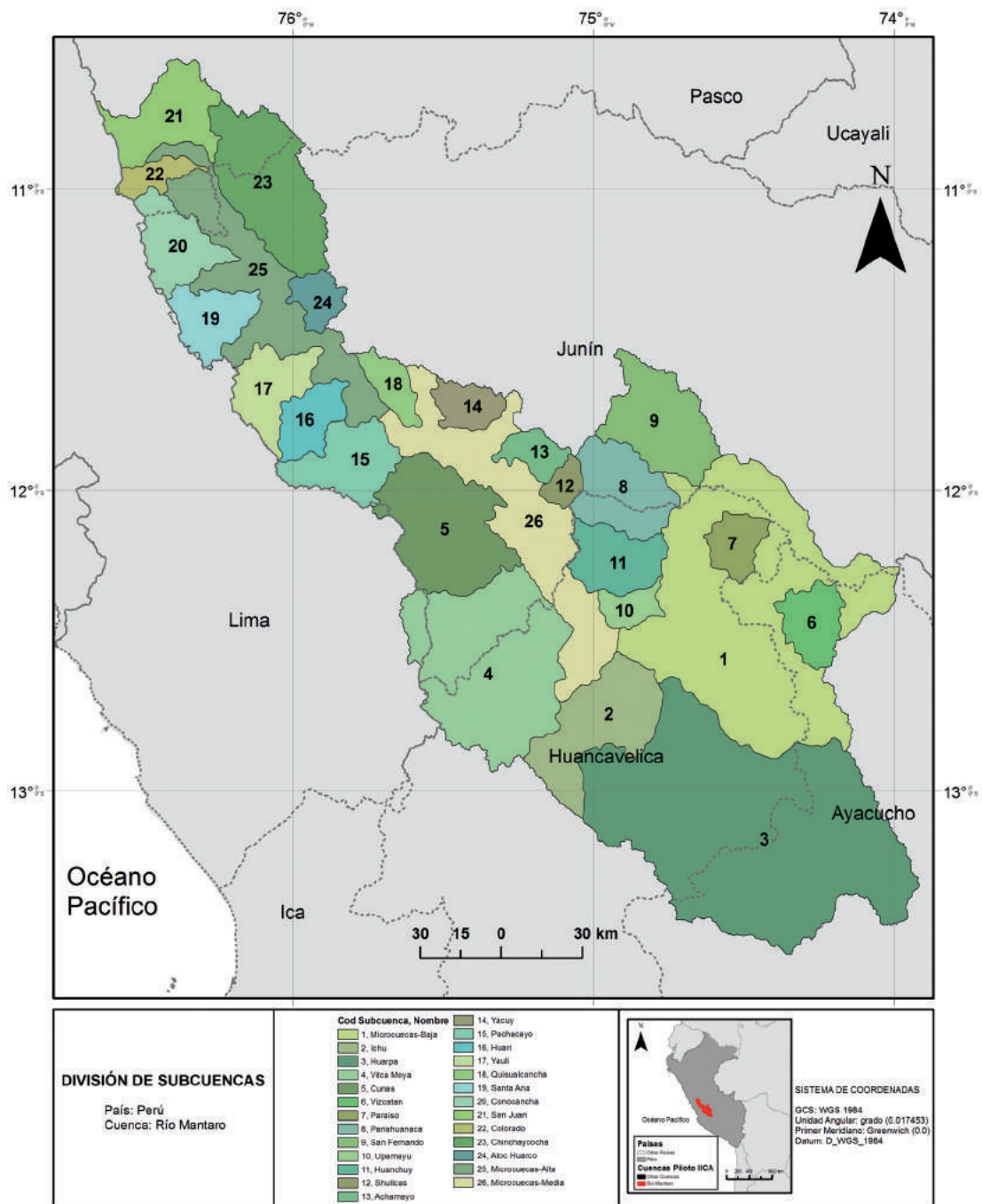
Cuadro 3. Subdivisión de la cuenca del río Reventazón, Costa Rica.

Código del mapa	Área (km ²)	Código del mapa	Área (km ²)
1	178,7	11	89,3
2	293,7	12	281,3
3	243,5	13	78,0
4	205,6	14	293,9
5	71,0	15	257,9
6	30,7	16	52,4
7	41,4	17	76,0
8	81,3	18	335,7
9	112,0	TOTAL	2 772,2
10	50,3		



Imagen con fines ilustrativos





Mapa 4. División de subcuencas – cuenca del río Mantaro.



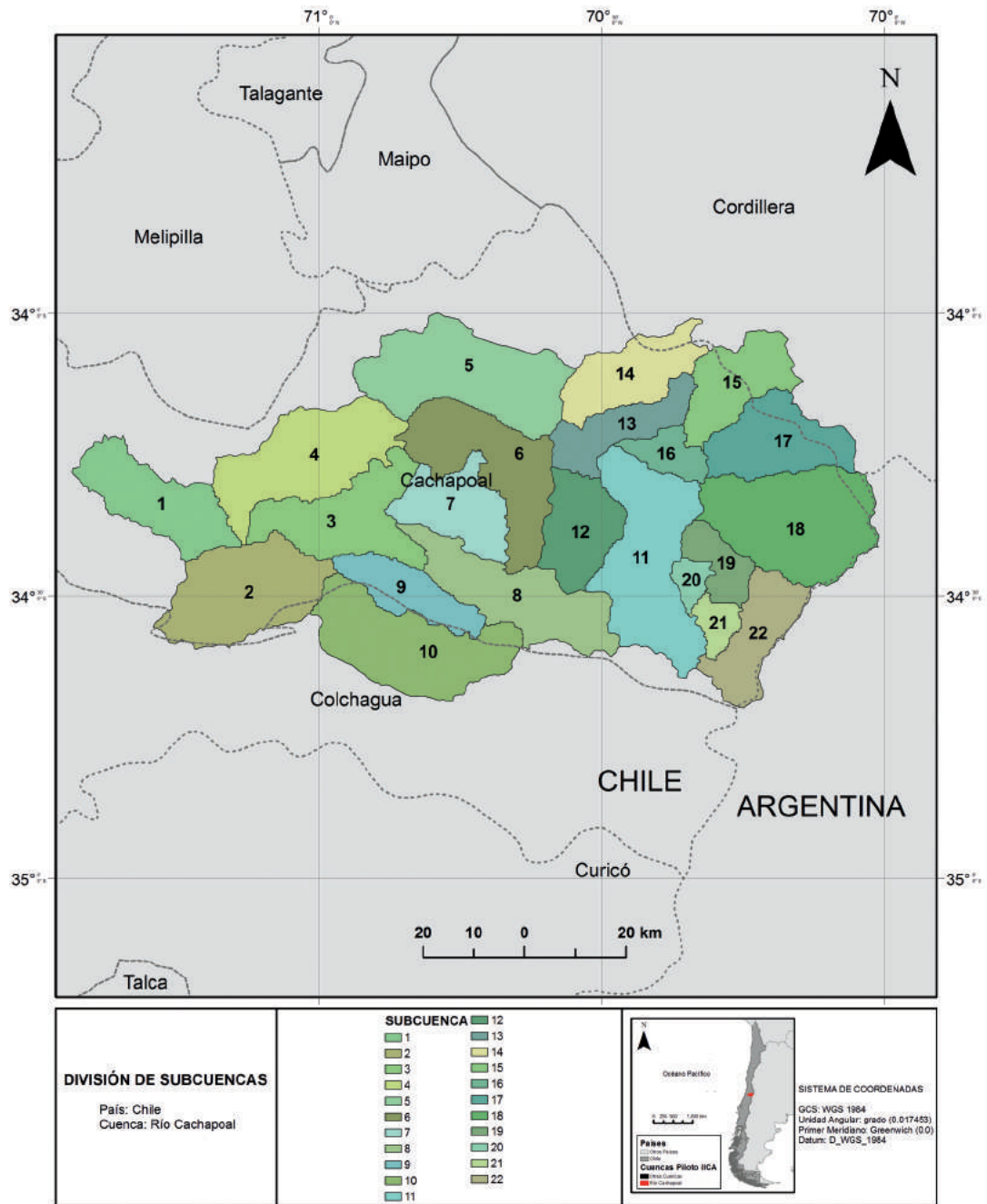
Cuadro 4. Subdivisión de la cuenca del río Mantaro, Perú.

Código del mapa	Subcuenca	Área (km ²)	Código del mapa	Subcuenca	Área (km ²)
1	Microcuencas-Baja	5 369,7	15	Pachacayo	825,2
2	Ichu	1 372,6	16	Huari	493,2
3	Huarpa	6 779,9	17	Yauli	705,5
4	Vilca Moya	3 062,1	18	Quisualcancha	328,4
5	Cunas	1 706,1	19	Santa Ana	608,4
6	Vizcatán	533,5	20	Conocancho	726,5
7	Paraíso	385,5	21	San Juan	931,8
8	Pariahuanaca	979,2	22	Colorado	262,2
9	San Fernando	1 197,5	23	Chinchaycocha	1 679,8
10	Upamayu	260,6	24	Atoc Huarco	306,7
11	Huanchuy	698,1	25	Microcuencas-Alta	2 017,8
12	Shullcas	183,6	26	Microcuencas-Media	2 476,2
13	Achamayo	299,0	TOTAL		34 550,1
14	Yacuy	361,0			



Imagen con fines ilustrativos





Mapa 5. División de subcuencas – cuenca del río Cachapoal.

Cuadro 5. Subdivisión de la cuenca del río Cachapoal, Chile.

Código del mapa	Área (km ²)	Código del mapa	Área (km ²)
1	295,6	13	187,8
2	411,0	14	251,3
3	338,0	15	236,0
4	433,6	16	91,0
5	496,6	17	278,3
6	390,5	18	500,2
7	232,3	19	110,2
8	370,1	20	44,1
9	180,9	21	62,2
10	444,9	22	217,7
11	496,7	TOTAL	6298,3
12	229,1		



Imagen con fines ilustrativos



4.2. Fase 2 – Cuantificación multisectorial de la huella hídrica azul y verde por cuenca

Una vez definido el alcance homogéneo regional y el alcance particular local, se inicia el proceso de cuantificación de la huella hídrica, según lo planteado en el capítulo 4 de la Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica.

La huella hídrica forma parte del balance hídrico en la cuenca y la evaluación a nivel geográfico considera la suma de las huellas hídricas de todos los procesos existentes al interior de la cuenca. En este caso se identifican el sector agropecuario de forma independiente, por su importancia en cuanto al uso de agua, y la categoría “otros sectores” agrupados según la existencia de cada sector en cada cuenca (doméstico, industrial, minero, embalses y trasvases).

4.2.1. Línea base para la cuantificación de la huella hídrica agrícola en cuencas piloto

La línea base del estudio de evaluación de huella hídrica para las cinco cuencas piloto ubicadas en México, Guatemala, Costa Rica, Perú y Chile, se desarrolló con información disponible en la base de datos estadísticos de huella hídrica (WaterStat), soportada por la Water Footprint Network.

Esta herramienta permite tener una aproximación inicial, desde una perspectiva global, a un proceso de evaluación de huella hídrica geográfica o a una evaluación de la producción. La herramienta permite estimar la huella hídrica y visualizar espacialmente los resultados, evaluar su sostenibilidad e identificar acciones estratégicas para mejorar la sostenibilidad, eficiencia y equidad en el uso de agua.

En este caso, se consultó la información de huella hídrica verde y azul espacialmente distribuida a nivel mundial, disponible para 18 cultivos reportados por el WaterStat² (Mekonnen y Hoekstra 2011) con resultados en mm/año³ y hm³/año⁴. Estos resultados de huella hídrica se relacionaron con las cinco cuencas de interés del estudio, y se muestran, por cuenca, en el Cuadro 6, en el Mapa 6 y en el Mapa 7.

La visualización geográfica de la huella hídrica por cultivo está disponible en la Herramienta de evaluación de huella hídrica o WFAT, por sus siglas en inglés (WFN 2015)⁵.

2. Disponibles en formato RASTER para descargar en el enlace <http://waterfootprint.org/en/resources/water-footprint-statistics/>

3. mm/año = milímetros por año

4. hm³/año = hectómetros cúbicos por año o millones de metros cúbicos por año

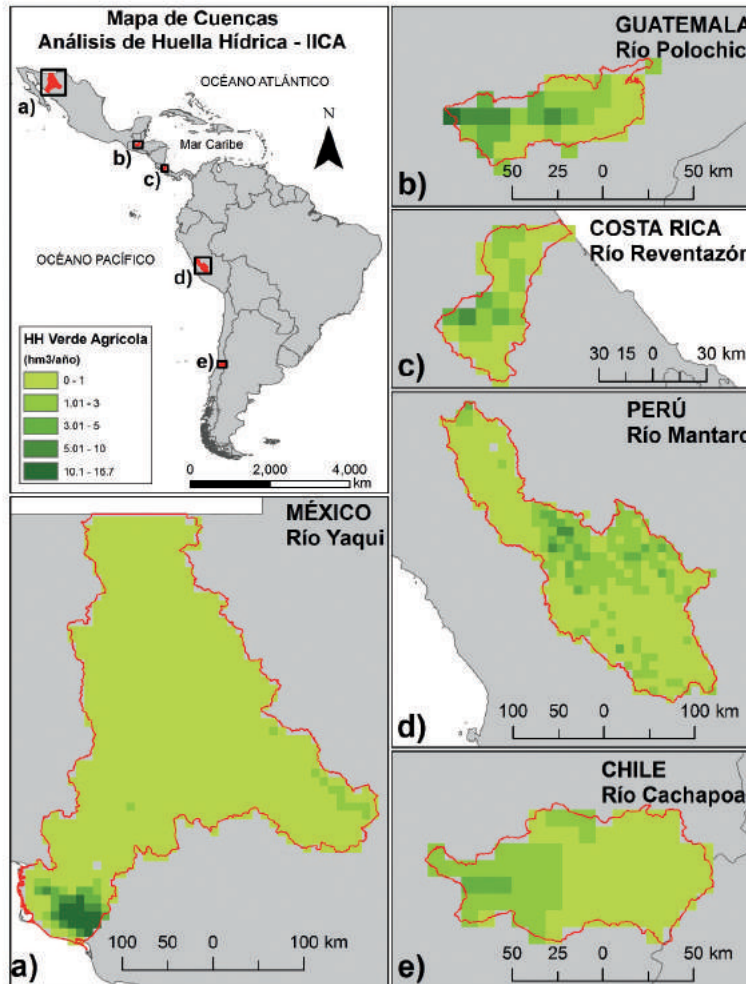
5. La WFAT es una aplicación web gratuita, desarrollada por la Red Mundial de Huella Hídrica (WFN) y que incorpora la base de datos WaterStat y la Metodología de evaluación de huella hídrica establecida en el Manual de evaluación de huella hídrica.



Cuadro 6. Resultados de huella hídrica agrícola por cuenca.

País	Cuenca	Huella hídrica verde (hm ³ /año)	Huella hídrica azul (hm ³ /año)
México	Río Yaqui	377,6	462,8
Guatemala	Río Polochic	81,9	0,2
Costa Rica	Río Reventazón	39,5	0,2
Perú	Río Mantaro	406,2	221,6
Chile	Río Cachapoal	87,4	150,4

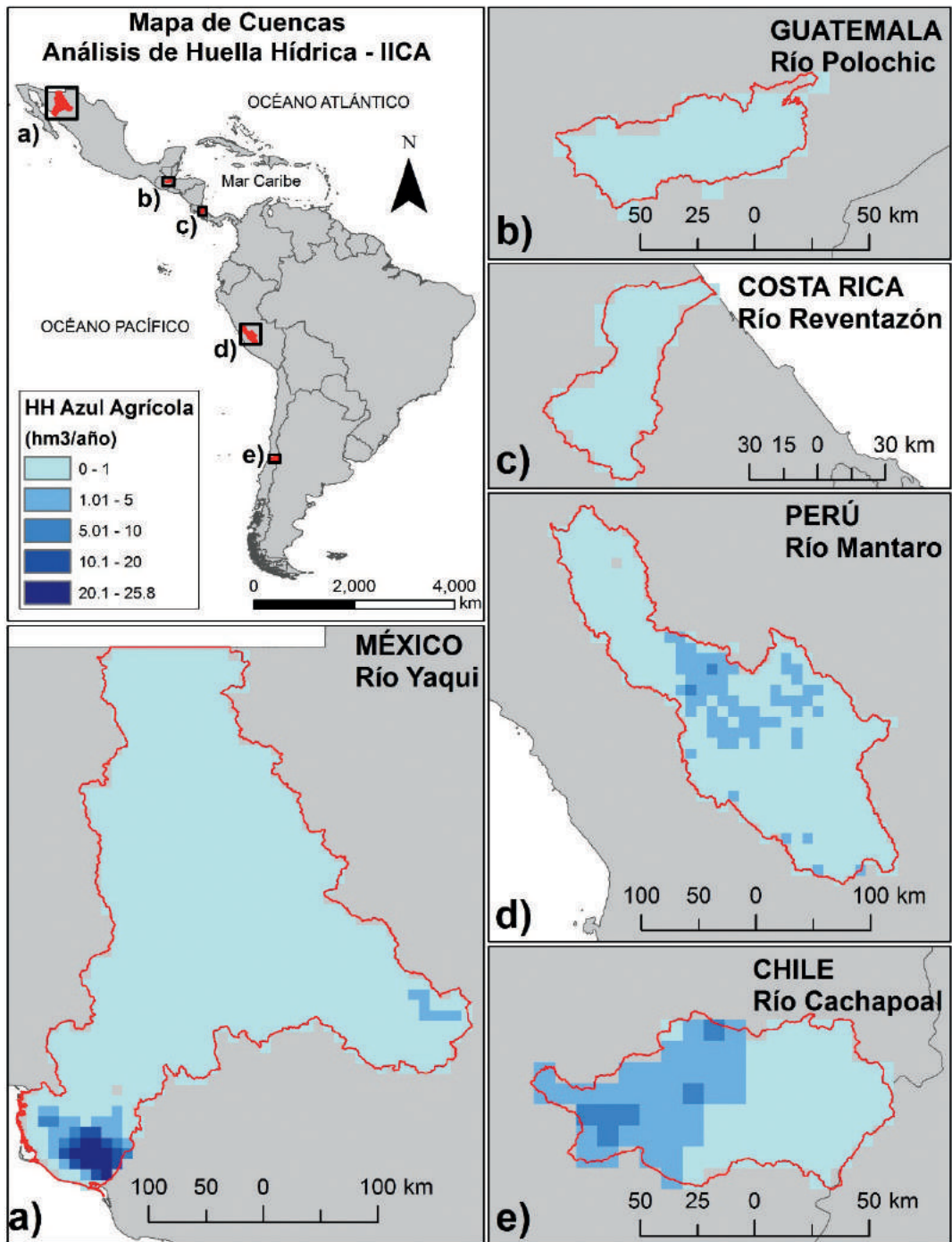
Fuente: WFN.



Mapa 6. Mapas de aproximación inicial a la huella hídrica verde agrícola de cuencas de estudio.

Fuente: WFN 2016.





Mapa 7. Mapas de aproximación inicial a la huella hídrica azul agrícola de cuencas de estudio.

Fuente: WFN 2016.



4.2.2. Cuantificación de la huella hídrica del sector agropecuario

En el caso de la agricultura, como se establece en el capítulo 4.2.1 de la Guía Metodológica, el cálculo de la huella hídrica se basa en la estimación de la evapotranspiración verde y azul de los cultivos sembrados dentro de la cuenca. En las Figuras 4 y 5, se presentan los esquemas metodológicos para estimar la huella hídrica azul y la verde a nivel de cuenca hidrográfica y por cultivo, respectivamente.

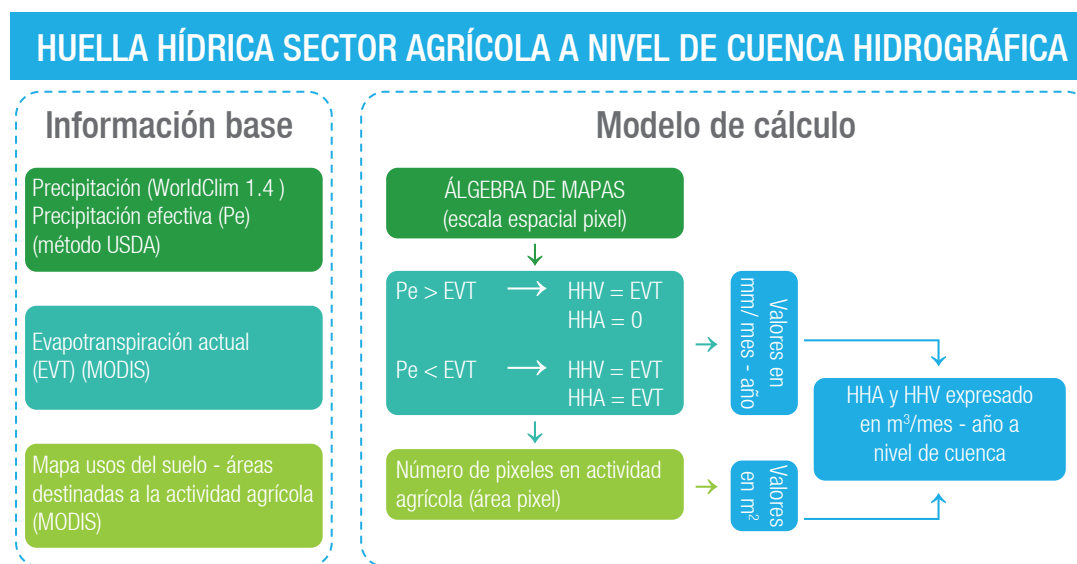


Figura 3. Esquema metodológico para el cálculo de la HH del sector agrícola a nivel de cuenca.

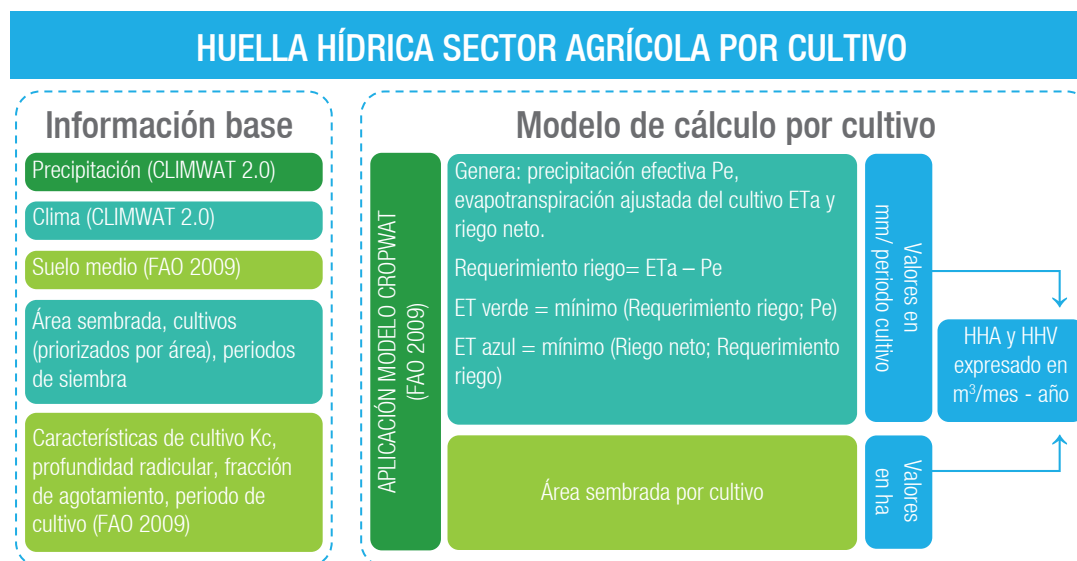


Figura 4. Esquema metodológico para el cálculo de la HH del sector agrícola por cultivo.



Para el análisis por cadenas productivas agrícolas principales por cuenca se hizo una revisión de la estadística agrícola para determinar los cultivos principales al interior de cada cuenca, la distribución espacial de dichos cultivos, la cantidad sembrada y la distribución temporal de siembra y cosecha correspondiente. Paralelamente, se hizo el análisis de usos del suelo para establecer la ubicación de los cultivos identificados. Los usos del suelo agrícola al interior de cada cuenca se definen entonces como “área de uso agrícola actual” (ver Anexo 1 Informes de Estadísticas Agrícolas). Esta información aporta al análisis espacial según lo planteado en la Guía Metodológica, partiendo de la operación de cuatro capas básicas de un sistema físico: Clima (ET); Precipitación; Uso del Suelo; Suelo.

Con base en la información recopilada, se hace un análisis asociado a la vocación agrícola identificada en cada una de las cuencas de estudio, lo que permite tener una primera aproximación intuitiva a lo que serán los resultados de la huella hídrica agrícola (ver Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de vocación agrícola de las cuencas.

Análisis de vocación agrícola de las cuencas					
País	México	Guatemala	Costa Rica	Perú	Chile
Cuenca	Yaqui	Polochic	Reventazón	Mantaro	Cachapoal
Área total (ha)	7 287 200,0	319 800,0	277 200,0	3 455 000,0	629 800,0
Área agrícola (ha)	374 331,0	115 737,0	69 298,0	28 486,0	89 917,0
% agrícola	5,1	36,2	25,0	0,8	14,3

Los resultados obtenidos de huella hídrica azul y verde del sector agrícola a nivel de cuenca se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Resumen de resultados de huella hídrica por cuenca.

Cuenca	Huella hídrica verde [hm ³ /año]	Huella hídrica azul [hm ³ /año]
Yaqui – México	1 411,9	624,3
Polochic - Guatemala	610,7	134,7
Reventazón – Costa Rica	898,2	57,51
Mantaro - Perú	260,1	140,1
Cachapoal - Chile	282,2	414,5

A continuación se presentan los resultados por cadenas productivas principales para cada cuenca.

4.2.2.1. Cuenca del Yaqui - México

La producción agrícola en la cuenca del Yaqui (INEGI 2007) abarca un área sembrada total de 374 331,3 ha. Los cultivos más representativos se presentan en la Figura 5. Se observa que



los cultivos anuales son los más representativos, con un total de 72,5 % del área sembrada en la cuenca. El trigo en grano es el cultivo más importante con 83 689,3 ha sembradas, representando el 22,4 % del área sembrada total.

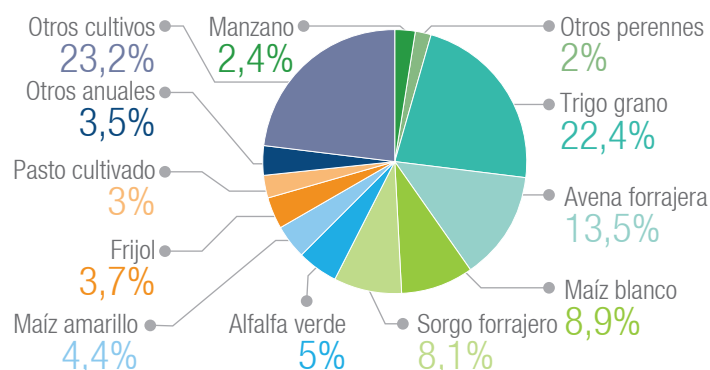


Figura 5. Principales cultivos en la cuenca del Yaqui – México.

El estado de Sonora concentra el 67,2 % del área sembrada en la cuenca, principalmente en el municipio de Cajeme (23,6 %), mientras que en el estado de Chihuahua se concentra el 32,8 % de los cultivos de la cuenca, siendo el municipio de Guerrero el más representativo, con el 18,3 %. En el Cuadro 9 se presenta un resumen de la distribución geográfica de los cultivos priorizados, presentando los porcentajes de área para cada cultivo dentro del Estado más representativo; adicionalmente, se relacionan los municipios con la mayor participación en área sembrada por Estado y cultivo.

Cuadro 9. Distribución geográfica de los principales cultivos en la cuenca del Yaqui – México.

Cultivo priorizado	Área sembrada total en cuenca (ha)	Distribución geográfica				
		Principal estado		Principales municipios		
		Estado	%	Municipio	AS (ha)	%
Trigo en grano	83 689,3	Sonora	100,0	Cájeme	58 793,5	70,3
				Bácum	16 042,2	19,2
				Guaymas	7 585,6	9,1
Avena forrajera	50 706,7	Chihuahua	83,5	Guerrero	29 241,2	57,7
				Maderas	5 737,9	11,3
Maíz blanco	33 177,1	Chihuahua	64,1	Maderas	9 063,4	27,3
				Guerrero	8 064,3	24,3
Sorgo forrajero	30 473,9	Sonora	99,0	Rosario	5 387,0	17,7
				Yécora	4 991,7	16,4



Los períodos de cultivo, las fechas de siembra y las estaciones Climwat empleados en la estimación de huella hídrica por cultivo se puede consultar en el Cuadro 10. En el cuadro 11 se presentan los resultados finales por cultivo y los totales de huella hídrica a nivel de cuenca. Los resultados mensuales a nivel de cuenca se relacionan en la Figura 6.

Cuadro 10. Relación de información por cultivo priorizado para aplicación de Cropwat 8.0 en la cuenca del río Yaqui, México.

Cultivo priorizado	Cultivo FAO (FAO 2009)	Período de cultivo (FAO 2009) [días]	Fecha de siembra (FAO 2006a)	Estación Climwat 2.0
Trigo en grano	Trigo de Invierno	240	Nov. 16	HERMOSILLO-SON
Avena forrajera	Granos	165	(1) Nov. 16 (2) Ene. 16	UNIV.-DE-CHIHUAHUA-CHIH
Maíz blanco	Maíz	125	Mar. 15	UNIV.-DE-CHIHUAHUA-CHIH
Sorgo forrajero	Sorgo	125	Feb. 28	GUAYMAS-IN-SONORA

Cuadro 11. Resultados de huella hídrica para los cultivos priorizados en la cuenca del río Yaqui, México.

Cultivos principales en la cuenca	Huella hídrica verde [hm ³ /período]	Huella hídrica azul [hm ³ /período]
Trigo en grano	77,3	497,1
Avena forrajera	19,5	106,1
Maíz blanco	43,8	107,5
Sorgo forrajero	2,4	62,7

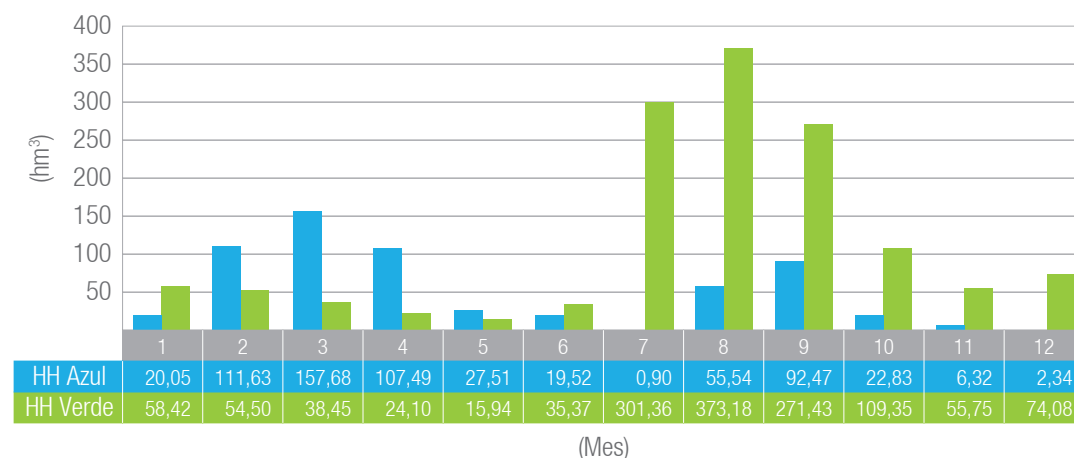


Figura 6. Resultado mensual de las huellas hídricas azul y verde para el sector agrícola en la cuenca del río Yaqui, México.

4.2.2.2. Cuenca del Polochic - Guatemala

La producción agrícola en la cuenca del Polochic abarca un área sembrada total de 115 736,7 ha (MAGA 2003). Los cultivos más representativos se presentan en la Figura 7. Los cultivos anuales representan un total de 55,1 % y los perennes el 44,9 %. Por otro lado, el 11,3 % del área sembrada corresponde a cultivos de vocación pecuaria (pastos cultivados). Los cultivos más importantes anuales y perennes en la cuenca corresponden a los granos básicos (48 623,0 ha; 42,01 %) y el café (33 971,9; 29,4 %), respectivamente.

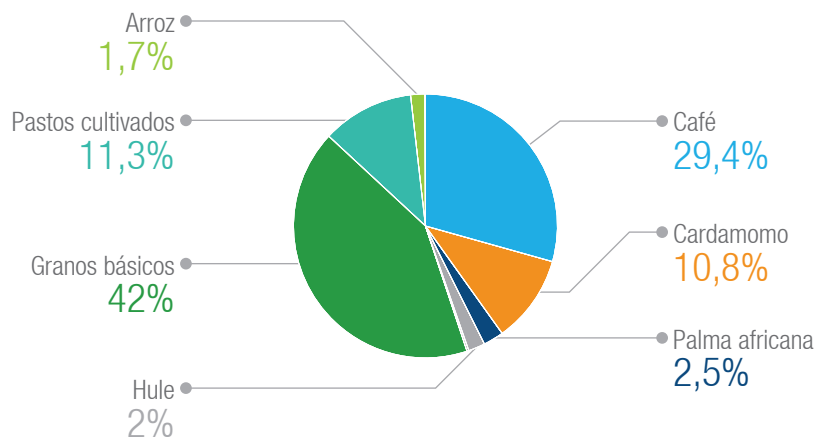


Figura 7. Principales cultivos en la cuenca del río Polochic, Guatemala.

El Departamento de Alta Verapaz concentra el 68,3 % del área sembrada en la cuenca, principalmente en los municipios de Senahú (27 %) y Panzos (26,6 %), mientras que en los Departamentos de Baja Verapaz e Izabal se concentra el 18,2 % y el 13,5 % de los cultivos de la cuenca, respectivamente. En el Cuadro 12 se presenta un resumen de la distribución geográfica de los cultivos priorizados, presentando los porcentajes de área para cada cultivo dentro del departamento más representativo, adicionalmente, se relacionan los municipios con la mayor participación en área sembrada por departamento y cultivo.



Cuadro 12. Distribución geográfica de los principales cultivos en la cuenca del río Polochic, Guatemala.

Cultivo priorizado	Área sembrada total en cuenca (ha)	Distribución geográfica				
		Principal estado		Principales municipios		
		Estado	%	Municipio	AS (ha)	%
Granos básicos (anual)	48 623,0	Alta Verapaz	86,0	Senahú	14 387,7	29,6
				Panzos	9 532,8	19,6
				Tucurú	7 019,2	14,4
Pastos cultivados (anual)	13 058,5	Alta Verapaz	59,0	Panzos	7 705,8	59,0
		Izabal	40,0	El Estor	5 265,9	40,3
Café (perenne)	33 971,9	Alta Verapaz	55,0	Senahú	10 680,1	31,4
				Tucurú	4 891,5	14,4
		Baja Verapaz	43,0	Purulha	14 642,5	43,1
Cardamomo (perenne)	12 467,7	Alta Verapaz	98,0	Panzos	6 404,5	51,4
				Senahú	5 647,1	45,3

Los períodos de cultivo, fechas de siembra y estaciones Climwat empleados en la estimación de huella hídrica por cultivo se pueden consultar en el Cuadro 13, mientras que en el Cuadro 14 se presentan los resultados finales por cultivo y los totales de huella hídrica a nivel de cuenca. Los resultados mensuales a nivel de cuenca se relacionan en la Figura 8.

Cuadro 13. Relación de información por cultivo priorizado para aplicación de Cropwat 8.0 en la cuenca del río Polochic, Guatemala.

Cultivo priorizado	Cultivo FAO (FAO 2009)	Período de cultivo (FAO 2009) [días]	Fecha de siembra (FAO 2006a)	Estación Climwat 2.0
Granos básicos (anual)	Granos pequeños ⁶ (<i>small grains</i>)	165	(1) May. 15 (2) Ago. 15	COBAN
Pastos cultivados (perenne)	Pastizales (<i>pastures</i>)	365	Ene. 01	QUIRIGUA
Café (perenne)	Café	365	Ene. 01	COBAN
Cardamomo (perenne)	Cardamomo	365	Ene. 01	COBAN

6. Con los granos básicos se definen dos períodos de siembra en el año, por lo que se asignó la mitad del área sembrada a cada período en la estimación de huella hídrica.

Cuadro 14. Resultados de la huella hídrica para los cultivos priorizados en la cuenca del río Polochic, Guatemala.

Cultivos principales en la cuenca	Huella hídrica verde [hm ³ /período]	Huella hídrica azul [hm ³ /período]
Granos básicos (anual)	155,3	0,0
Pastos cultivados (anual)	125,2	15,2
Café (perenne)	291,8	0,0
Cardamomo (perenne)	125,8	4,7

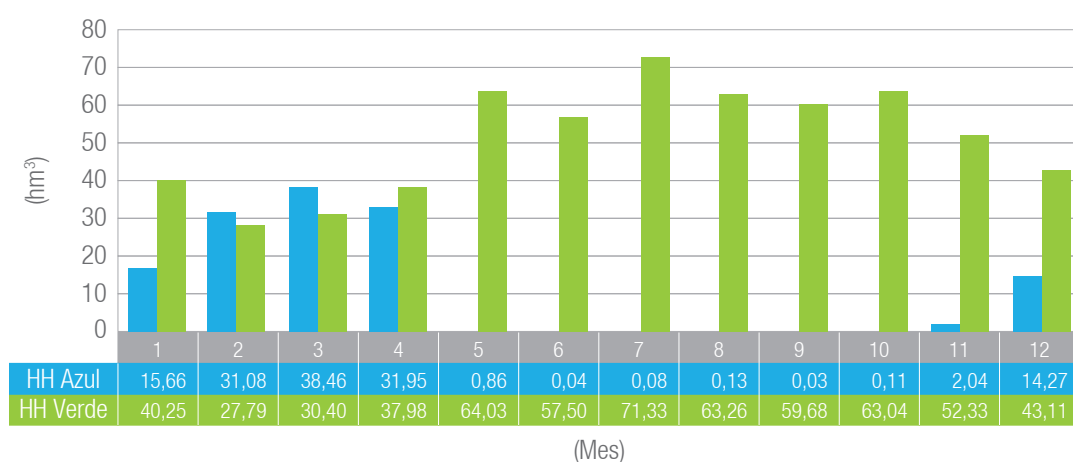


Figura 8. Resultado mensual de huellas hídricas azul y verde para el sector agrícola en la cuenca del río Polochic, Guatemala.

4.2.2.3. Cuenca del Reventazón – Costa Rica

La producción agrícola en la cuenca del río Reventazón comprende un área sembrada total de 51 378,3 ha según datos consultados en INEC (2014) e INFOAGRO (2014). Los cultivos más representativos se presentan en la Figura 9. Los cultivos anuales comprenden un total de 73,6 % y los perennes, el 26,4 %. Por otro lado, el 65,8 % del área sembrada corresponde a cultivos de vocación pecuaria (pastos cultivados). Los cultivos más importantes anuales y perennes para esta cuenca son los pastos (33 816,7 ha; 65,8 %), papa (947,1 ha; 1,8 %), café (4 108,2 ha; 8,0%), banano (6 778,2 ha; 13,2 %) y palmito (1 032,8 ha; 2,0 %).



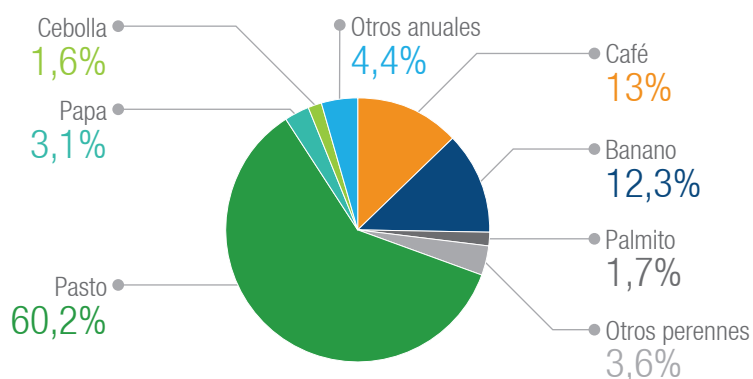


Figura 9. Principales cultivos en la cuenca del río Reventazón, Costa Rica.

La provincia de Limón concentra el 85,0 % del área sembrada de la cuenca, particularmente en los cantones de Guácimo (46,4 %) y Siquirres (28,1 %), mientras que en la Provincia de Cartago el área sembrada es el 15,0 %, donde resalta el cantón de Cartago con el 5,8 % del área. En el Cuadro 15 se presenta un resumen de la distribución geográfica de los cultivos priorizados, presentando los porcentajes de área para cada cultivo dentro de la Provincia más representativa, adicionalmente, se relacionan los cantones con la mayor participación en área sembrada por provincia y cultivo.

Cuadro 15. Distribución geográfica de los principales cultivos en la cuenca del río Reventazón, Costa Rica.

Cultivo priorizado	Área sembrada total en cuenca (ha)	Distribución geográfica				
		Principal estado		Principales municipios		
		Estado	%	Municipio	AS (ha)	%
Pasto (anual)	33 816,7	Limón	100,0	Guácimo	18 260,9	54,0
				Siquirres	10 899,6	32,2
				Pococí	4 656,2	13,8
Café (perenne)	4 073,9	Cartago	99,2	Turrialba	1 289,1	31,6
				Cartago	1 596,5	39,2
				El Guarco	617,4	15,2
				Jiménez	570,9	14,0
Banano (perenne)	6 778,2	Limón	100,0	Siquirres	2 763,8	40,8
				Guácimo	3 381,3	49,9
				Pococí	632,9	9,3

Los períodos de cultivo, fechas de siembra y estaciones Climwat empleados en la estimación de huella hídrica por cultivo se pueden consultar en el Cuadro 16, mientras que en el Cuadro 17 se presentan los resultados finales por cultivo y los totales de huella hídrica a nivel de cuenca. Los resultados mensuales a nivel de cuenca se relacionan en la Figura 10.

Cuadro 16. Relación de información por cultivo priorizado para aplicación de Cropwat 8.0 en la cuenca del río Reventazón, Costa Rica.

Cultivo priorizado	Cultivo FAO (FAO 2009) ⁷	Período de cultivo (FAO 2009) [días]	Fecha de siembra (FAO 2006a)	Estación Climwat 2.0
Pasto (anual)	Pastizales	365	Ene. 01	COLIBLANCO
Café (perenne)	Café	365	Ene. 01	TURRIALBA-IICA
Banano (perenne)	Banano (2.0 año)	365	Ene. 01	COLIBLANCO

Cuadro 17. Resultados de huella hídrica para los cultivos priorizados en la cuenca del río Reventazón, Costa Rica.

Cultivos principales en la cuenca	Huella hídrica verde [hm ³ /período]	Huella hídrica azul [hm ³ /período]
Pasto (anual)	311,7	0,0
Café (perenne)	87,2	0,0
Banano (perenne)	51,7	0,0

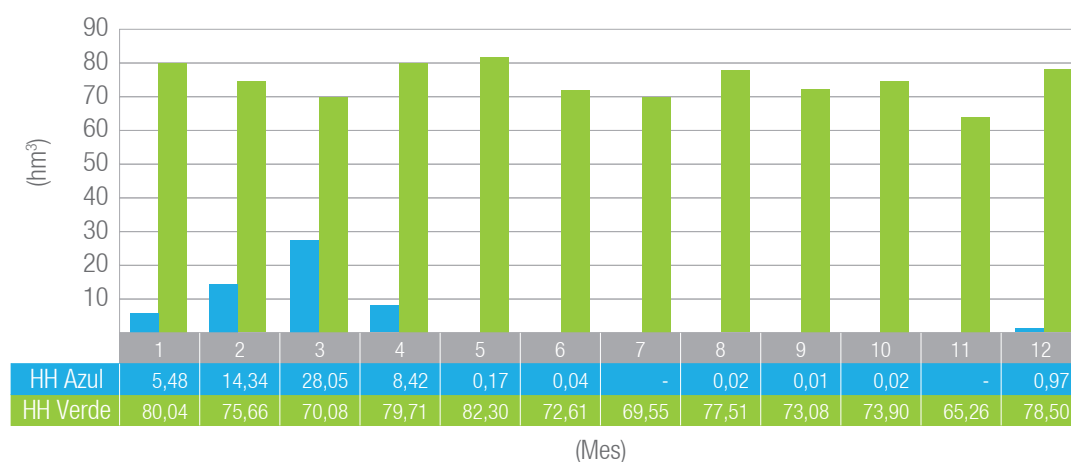


Figura 10. Resultado mensual de huellas hídricas azul y verde para el sector agrícola en la cuenca del río Reventazón, Costa Rica.

7. Tomando características de cultivo, según FAO56.



4.2.2.4. Cuenca del Mantaro – Perú

En Mantaro, Perú, la producción agrícola abarca un área sembrada total de 28 486,6 ha (INEI 2012). Los cultivos más representativos se presentan en la figura 11. Los cultivos anuales representan un total de 82,94 % y los perennes el 17,06 %. Los cultivos más importantes anuales en la cuenca son papa blanca (6 105,44 ha; 21,43 %) y el maíz amiláceo (4 382,28 ha; 15,38 %) respectivamente, mientras que los perennes más representativos son el café (2 313,72 ha; 8,12 %) y el cacao (1 108,47 ha; 3,89 %).

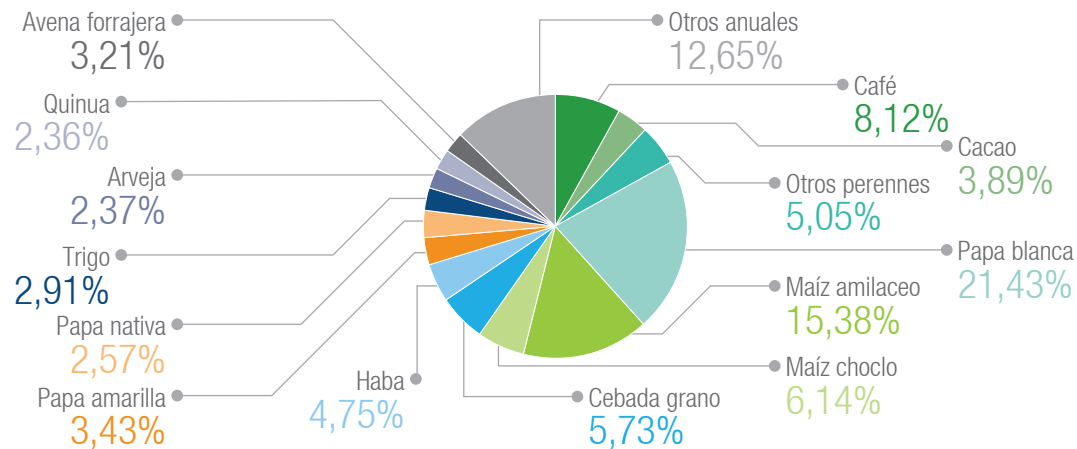


Figura 11. Principales cultivos en la cuenca del Mantaro – Perú.

La región de Junín concentra el 51,0 % del área sembrada en la cuenca, principalmente en los municipios de Jauja (14,6 %) y Huancayo (10,3 %), mientras que en las regiones de Ayacucho y Huancavelica se concentra el 36,2 % y el 12,8 % de los cultivos de la cuenca, respectivamente. En el Cuadro 18 se presenta un resumen de la distribución geográfica de los cultivos priorizados, donde se muestran los porcentajes de área para cada cultivo dentro de las regiones más representativas, adicionalmente, se relacionan las provincias con la mayor participación en área sembrada por región y cultivo.



Imagen con fines ilustrativos



Cuadro 18. Distribución geográfica de los principales cultivos en la cuenca del río Mantaro, Perú.

Cultivo priorizado	Área sembrada total en cuenca (ha)	Distribución geográfica				
		Principal estado		Principales municipios		
		Estado	%	Municipio	AS (ha)	%
Café (perenne)	2 313,7	Junín	77,0	Satipo	1 266,3	54,7
				Jauja	449,3	19,4
		Ayacucho	23,0	Huanta	534,2	23,1
Cacao (perenne)	1 108,5	Ayacucho	61,0	Huanta	676,4	61,0
		Junín	39,0	Satipo	432,1	39,0
Papa blanca (anual)	6 105,4	Junín	48,0	Jauja	855,8	14,0
				Huancayo	694,1	11,4
				Junín	499,7	8,2
		Ayacucho	39,0	Huamanga	1 992,8	32,6
		Huancavelina	13,0	Tayacaja	668,5	10,9
Maíz amiláceo (anual)	4 382,3	Junín	48,0	Jauja	654,4	10,9
				Huancayo	563,5	14,9
				Chupaca	484,29	11,1
		Huancavelica	26,0	Tayacaja	903,30	20,6
		Ayacucho	25,0	Huamanga	699,28	16,0

Los períodos de cultivo, las fechas de siembra y las estaciones Climwat empleados en la estimación de huella hídrica por cultivo se pueden consultar en el Cuadro 19, mientras que en el Cuadro 20 se presentan los resultados finales por cultivo y los totales de huella hídrica a nivel de cuenca. Los resultados mensuales a nivel de cuenca se relacionan en la Figura 12.



Imagen con fines ilustrativos



Cuadro 19. Relación de información por cultivo priorizado para aplicación de Cropwat 8.0 en la cuenca del río Mantaro, Perú.

Cultivo priorizado	Cultivo FAO (FAO 2009)	Período de cultivo (FAO 2009) [días]	Fecha de siembra (FAO 2006a)	Estación Climwat 2.0
Café (perenne) ⁸	Café	365	Oct. 01	HUANCAYO
Cacao ⁹ (perenne)	Cacao	365	Oct. 01	HUAMANGA
Papa blanca (anual)	Papa	130	Oct. 15	JAUJA
Maíz amiláceo (anual)	Maíz	125	(1) Ene. 15 (2) Ago. 15	JAUJA

Cuadro 20. Resultados de huella hídrica para los cultivos priorizados en la cuenca del río Mantaro, Perú.

Cultivos principales en la cuenca	Huella hídrica verde [hm ³ /período]	Huella hídrica azul [hm ³ /período]
Café (perenne)	17,0	0,0
Cacao (perenne)	5,9	11,0
Papa blanca (anual)	21,7	3,4
Maíz amiláceo (anual)	6,8	3,7

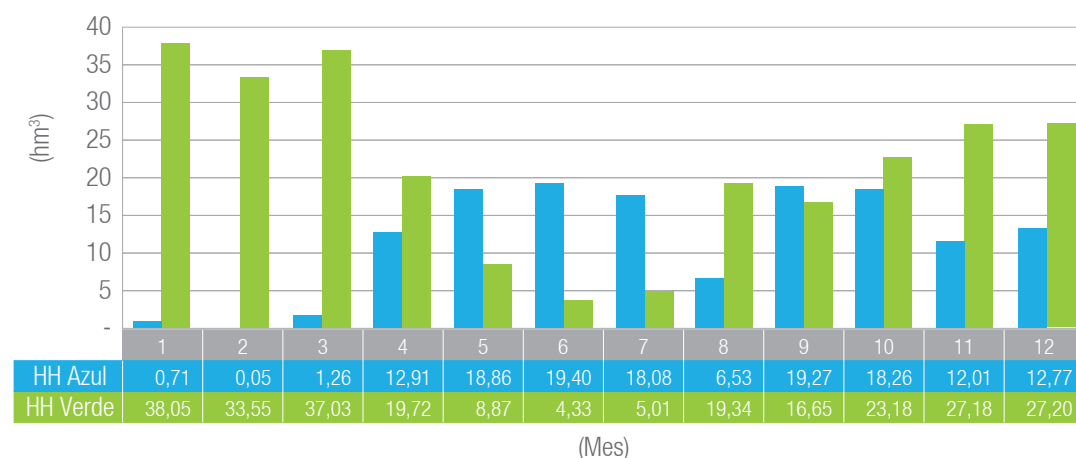


Figura 12. Resultado mensual de huellas hídricas azul y verde para el sector agrícola en la cuenca del río Mantaro, Perú.

8. Se estableció que el café en la provincia de Junín tiene un pico de estacionalidad de cosecha entre abril y mayo (MINAGRI 2008), por lo que la fecha de inicio del período de cultivo se escogió en octubre para que coincida la etapa media con el pico de cosecha. Adicionalmente, se asume que el café no se riega.

9. Se estableció que el cacao producido entre Ayacucho y Junín tiene un pico de cosecha entre mayo y julio (MINAGRI 2008), por lo que la fecha de inicio del período de cultivo se escogió en octubre para que la etapa media coincida con el pico de cosecha.

4.2.2.5. Cuenca del Cachapoal – Chile

En la cuenca del río Cachapoal, Chile, la producción agrícola comprende un área sembrada total de 89 917,7 ha (INEGI 2007). Los cultivos más representativos se exponen en la Figura 13. Los cultivos anuales representan un total de 38,7 % y los perennes el 61,1 % del área sembrada en la cuenca. Los cultivos anuales más importantes son el maíz (grano seco) (18 839,6 ha; 21,0 %) y las plantas forrajeras (5 672,8 ha; 6,3 %), mientras que la uva de mesa (9 060,6 ha; 10,1 %) y las tintas viníferas finas (6 148,7 ha; 6,8 %) representan los cultivos perennes más importantes.

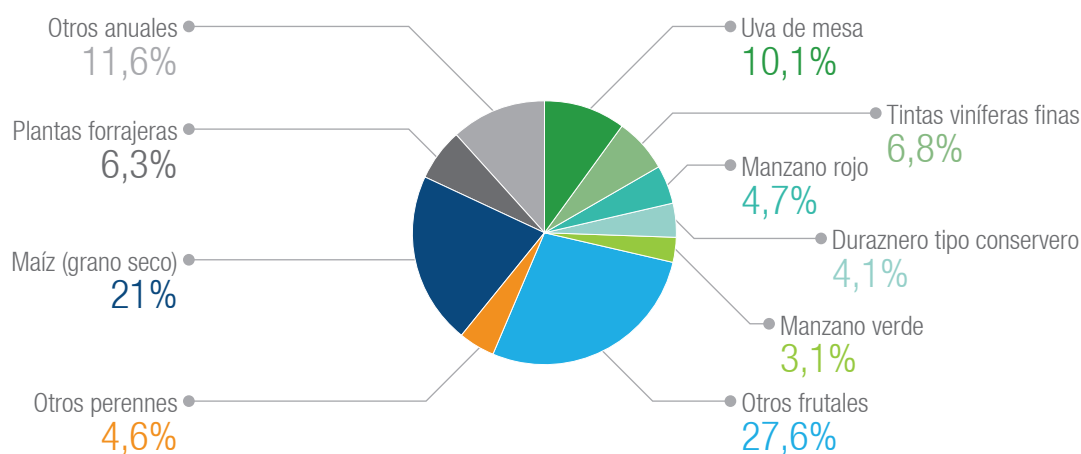


Figura 13. Principales cultivos en la cuenca del río Cachapoal, Chile.

La provincia de Cachapoal concentra el 89,4 % del área sembrada en la cuenca, principalmente en las comunas de San Vicente (15,8 %), Rengo (15,7 %) y Requínoa (11,4 %), mientras que en la provincia de Colchagua se concentra el 10,8 % de los cultivos, específicamente en las comunas de San Fernando (8,9 %) y Chimbarongo (1,9 %). En el Cuadro 21 se presenta un resumen de la distribución geográfica de los cultivos priorizados, presentando los porcentajes de área para cada cultivo dentro de las provincias más representativas, adicionalmente, se relacionan las comunas con la mayor participación en área sembrada por provincia y cultivo.



Imagen con fines ilustrativos



Cuadro 21. Distribución geográfica de los principales cultivos en la cuenca del río Cachapoal, Chile.

Cultivo priorizado	Área sembrada total en cuenca (ha)	Distribución geográfica				
		Principal estado		Principales municipios		
		Estado	%	Municipio	AS (ha)	%
Uva de mesa (perenne)	9 060,6	Cachapoal	90,0	San Vicente	1 728,6	19,1
				Rengo	1 222,4	13,5
Tintas viníferas finas (perenne)	6 148,7	Cachapoal	82,0	Requínoa	1 320,2	21,5
				Peumo	1 034,3	16,8
Maíz (grano seco) (anual)	18 839,6	Cachapoal	91,0	San Vicente	4 708,1	25,0
				Rengo	3 426,9	18,2
Plantas forrajeras	5 672,8	Cachapoal	80,0	Rengo	1 143,9	20,2
		Colchagua	20,0	San Fernando	941,9	16,6

Los períodos de cultivo, las fechas de siembra y las estaciones Climwat empleados en la estimación de huella hídrica por cultivo se puede consultar en el Cuadro 22, mientras que en el Cuadro 23 se presentan los resultados finales por cultivo y los totales de huella hídrica a nivel de cuenca. Los resultados mensuales a nivel de cuenca se relacionan en la Figura 14.

Cuadro 22. Relación de información por cultivo priorizado para aplicación de Cropwat 8.0 en la cuenca del río Cachapoal, Chile.

Cultivo priorizado	Cultivo FAO (FAO 2009)	Período de cultivo (FAO 2009) [días]	Fecha de siembra (FAO 2006a)	Estación Climwat 2.0
Uva de mesa (perenne)	Uva de mesa	365	May. 15	SAN FERNANDO
Tintas viníferas finas (perenne)	Uva de Vino	365	May. 15	SAN FERNANDO
Maíz amiláceo (anual)	Maíz	125	Sep. 30	SAN FERNANDO
Plantas forrajeras	Alfalfa Anual	225	Jul. 30	SAN FERNANDO

Cuadro 23. Resultados de huella hídrica para los cultivos priorizados en la cuenca del río Cachapoal, Chile.

Cultivos principales en la cuenca	Huella hídrica verde [hm ³ /período]	Huella hídrica azul [hm ³ /período]
Uva de mesa (perenne)	17,90	41,81
Tintas viníferas finas (perenne)	9,94	24,37
Maíz amiláceo (anual)	10,31	30,88
Plantas forrajeras (anual)	7,67	21,93



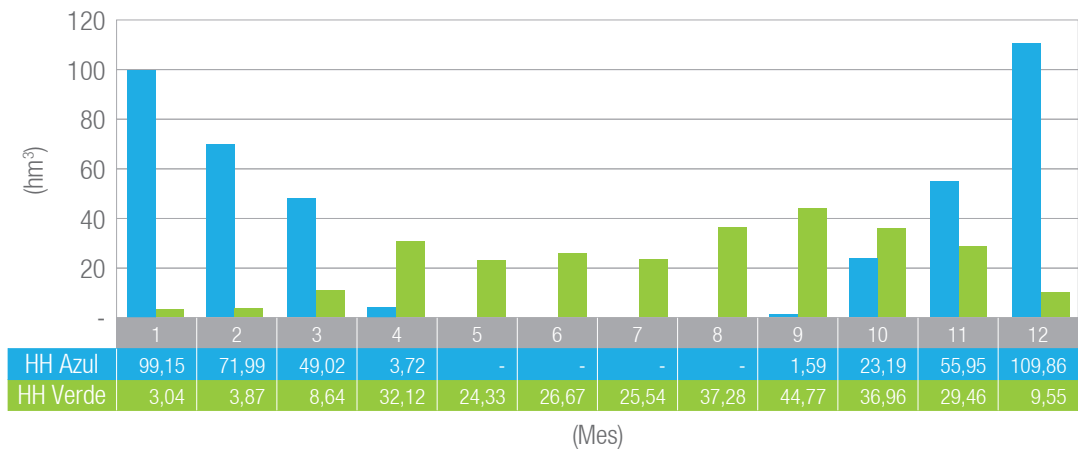


Figura 14. Resultado mensual de huellas hídricas azul y verde para el sector agrícola en la cuenca del río Cachapoal, Chile.

4.2.3. Cuantificación de la huella hídrica azul de otros sectores

En las cuencas objeto de estudio, se evaluó la huella hídrica azul (HHA) asociada a cinco sectores económicos (doméstico, industrial, minero, embalses y trasvases de agua). Para este cálculo se utilizó información secundaria disponible de agua consumida en cada uno de estos sectores; en la Figura 15 se presenta el esquema metodológico especificando la información necesaria que fue recolectada y el modelo de cálculo de la huella hídrica azul, por sector.

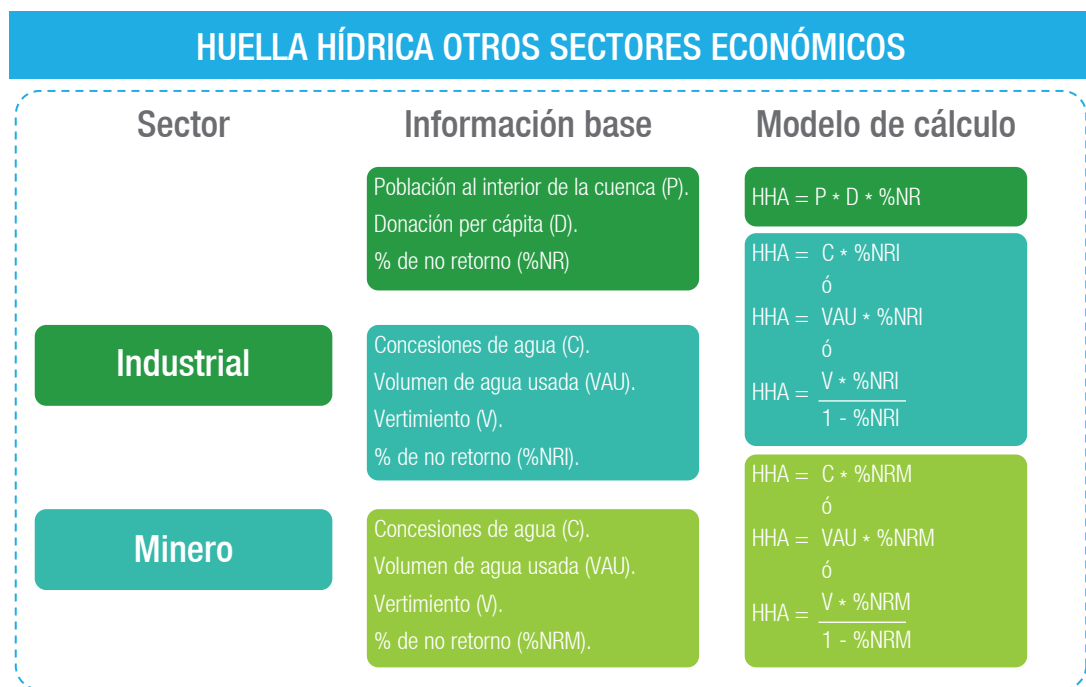


Figura 15. Esquema metodológico por sector económico para el cálculo de la HHA.



En el Cuadro 24 se presentan los resultados totales de la HHA anual estimada para las cinco cuencas, por sector. La inclusión o no de los sectores en las cuencas dependía de si se encontró o no información que permitiera realizar los cálculos de la HHA.

Cuadro 24. Resultados de HHA por sector por cuenca.

	Doméstico hm ³ /año	Industrial hm ³ /año	Minero hm ³ /año
Río Yaqui	13,1	2,4	3,2
Río Polochic	1,7	-	0,9
Río Reventazón	6,4	-	-
Río Mantaro	14,3	-	5,7
Río Cachapoal	6,7	6,2	9,7

A continuación se describe cada una de las HHA de los sectores económicos estimados para cada una de las cuencas, especificando la información recolectada de acuerdo con el año específico y la ubicación de ellas.

4.2.3.1. Cuenca del Río Yaqui

a) Sector doméstico

En la Figura 16 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA de este sector para la cuenca del Río Yaqui, determinando el número de municipios al interior de la cuenca y la población estimada de cada uno, adicionalmente, el valor de la dotación per cápita y el porcentaje de agua que no retorna nuevamente a la cuenca. La huella hídrica azul estimada para este sector se muestra en la Figura 17, donde el municipio más representativo fue Cajeme, con un peso del 72 % del total de la HHA para este sector.



INFORMACIÓN DE ENTRADA

Censo poblacional (2012)* →

2 Estados →

45 Municipios

$$\text{Población}_{\text{interior_cuenca}} = \text{Población}_{\text{urbana_interior_cuenca}} + \text{Población}_{\text{rural}} * \% \text{Área}_{\text{interior_cuenca}}$$

Dotación per cápita** →

100 - 250 L/hab.día

% de agua no retornada a la cuenca ** →

25 %

* Consejo Nacional de Población de México CONAPO - 2012.

** Normas técnicas complementarias para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas.

POBLACIÓN ESTIMADA AL INTERIOR DE LA CUENCA (2012)

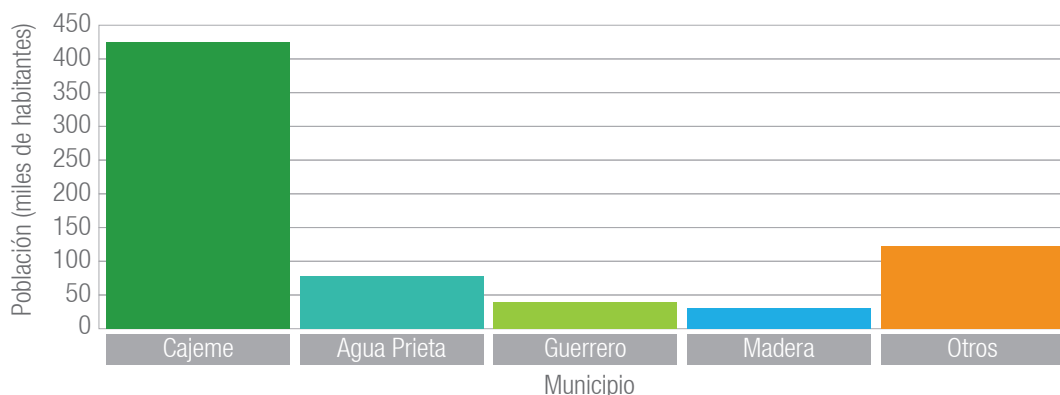
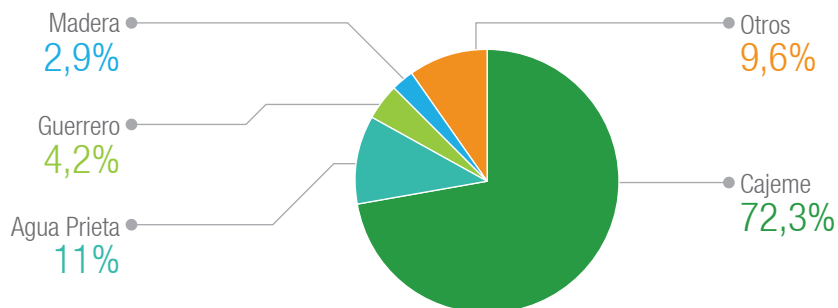


Figura 16. Información de entrada del sector doméstico – cuenca del río Yaqui.

HHA SECTOR DOMÉSTICO - C. RÍO YAQUI (POR MUNICIPIO)



HHA total = 13,1 hm³/año

Figura 17. Huella hídrica del sector doméstico – cuenca del río Yaqui.



b) Sector industrial

En la Figura 18 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA en este sector en la cuenca del Río Yaqui, especificando el volumen de agua usada por las industrias y el porcentaje de no retorno de agua a la cuenca. La huella hídrica azul estimada para este sector se muestra en la Figura 19, donde el municipio más representativo fue Cajeme con un peso del 50 % del total de la HHA para este sector.

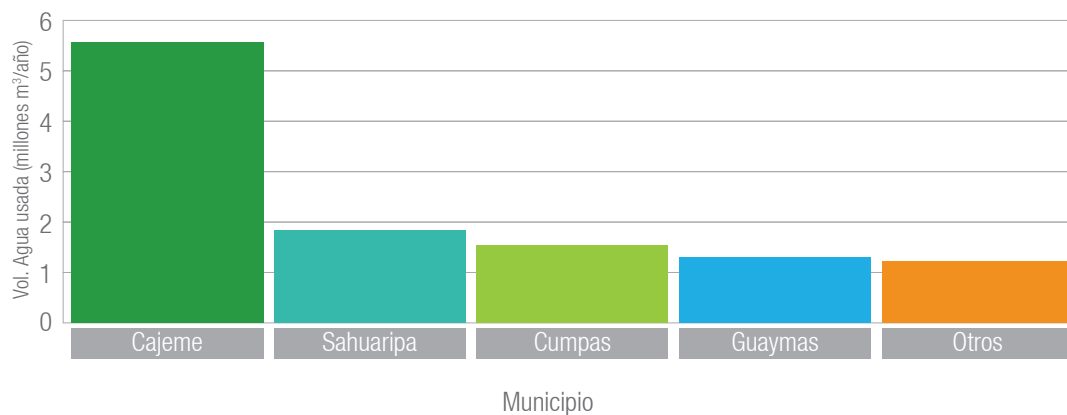


Figura 18. Información de entrada del sector industrial – cuenca del río Yaqui.

HHA SECTOR INDUSTRIAL - C. YAQUI (POR MUNICIPIO)

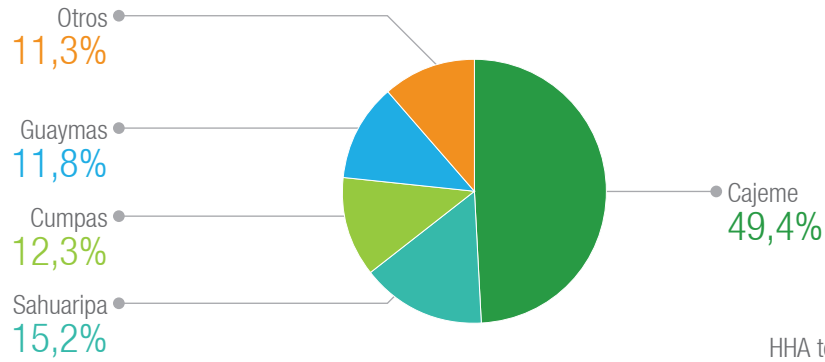


Figura 19. Huella hídrica del sector industrial – cuenca del río Yaqui.



Imagen con fines ilustrativos



c) Sector minero

En la Figura 20 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA en este sector para la cuenca del Río Yaqui, especificando el volumen de agua usada por la minería y el porcentaje de no retorno de agua a la cuenca. La huella hídrica azul estimada para este sector se muestra en la Figura 21, donde el municipio más representativo fue Cuauhtémoc, con un peso del 66 % del total de la HHA para este sector en la cuenca.

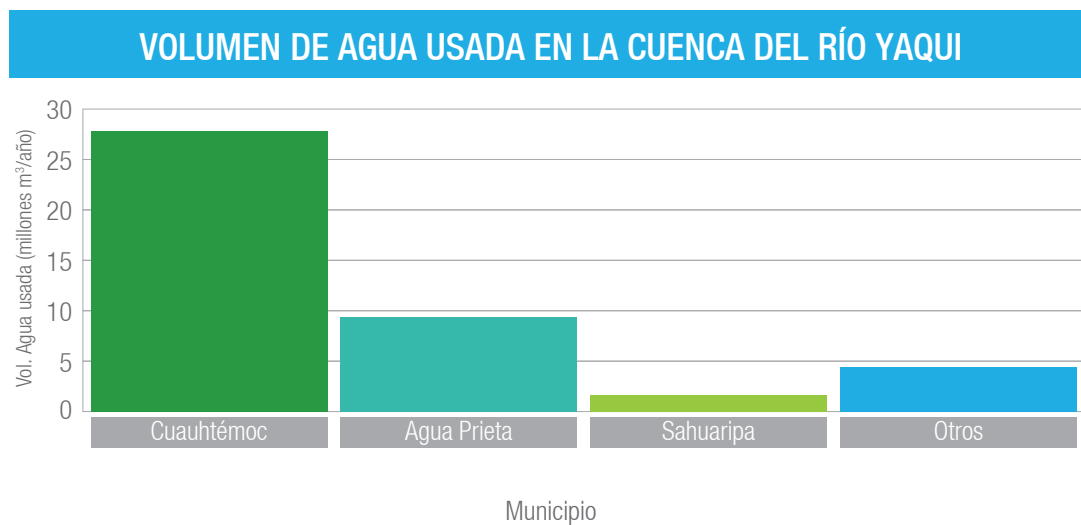
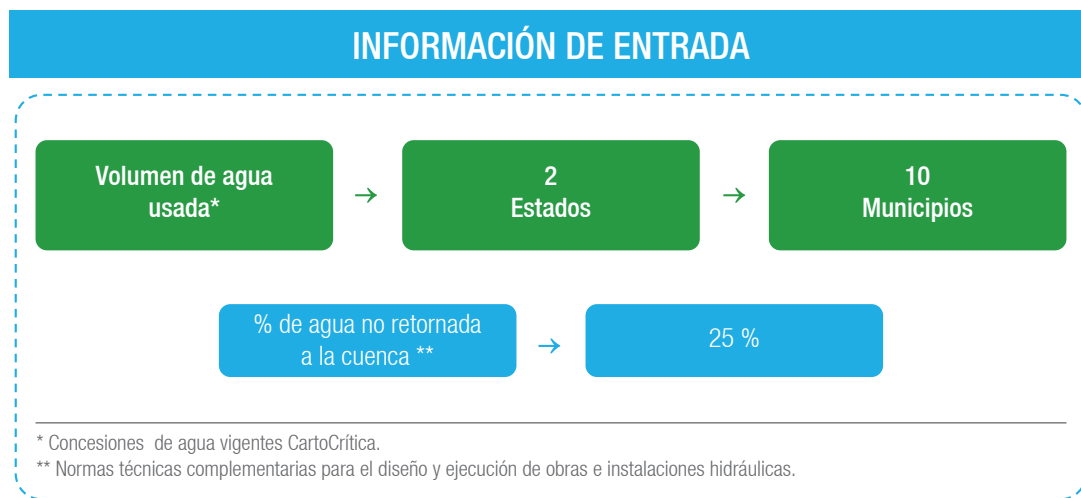
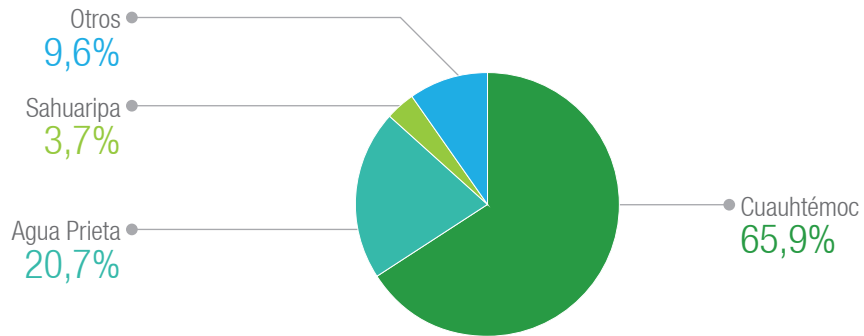


Figura 20. Información de entrada del sector minero – cuenca del río Yaqui.

HHA SECTOR MINERO - C. RÍO YAQUI (POR MUNICIPIO)



HHA total = 3,2 hm³/año

Figura 21. Huella hídrica azul del sector minero – cuenca del río Yaqui.



Imagen con fines ilustrativos



4.2.3.2. Cuenca del Río Polochic

a) Sector doméstico

En la Figura 22 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA en este sector para la cuenca del Río Polochic, determinando el número de municipios al interior de la cuenca y la población estimada de cada uno, adicionalmente, el valor de la dotación per cápita y el porcentaje de agua que no retorna nuevamente a la cuenca. La huella hídrica azul estimada para este sector se muestra en la Figura 23, donde el municipio más representativo fue Panzós, con un peso del 20 % del total de la HHA para este sector.

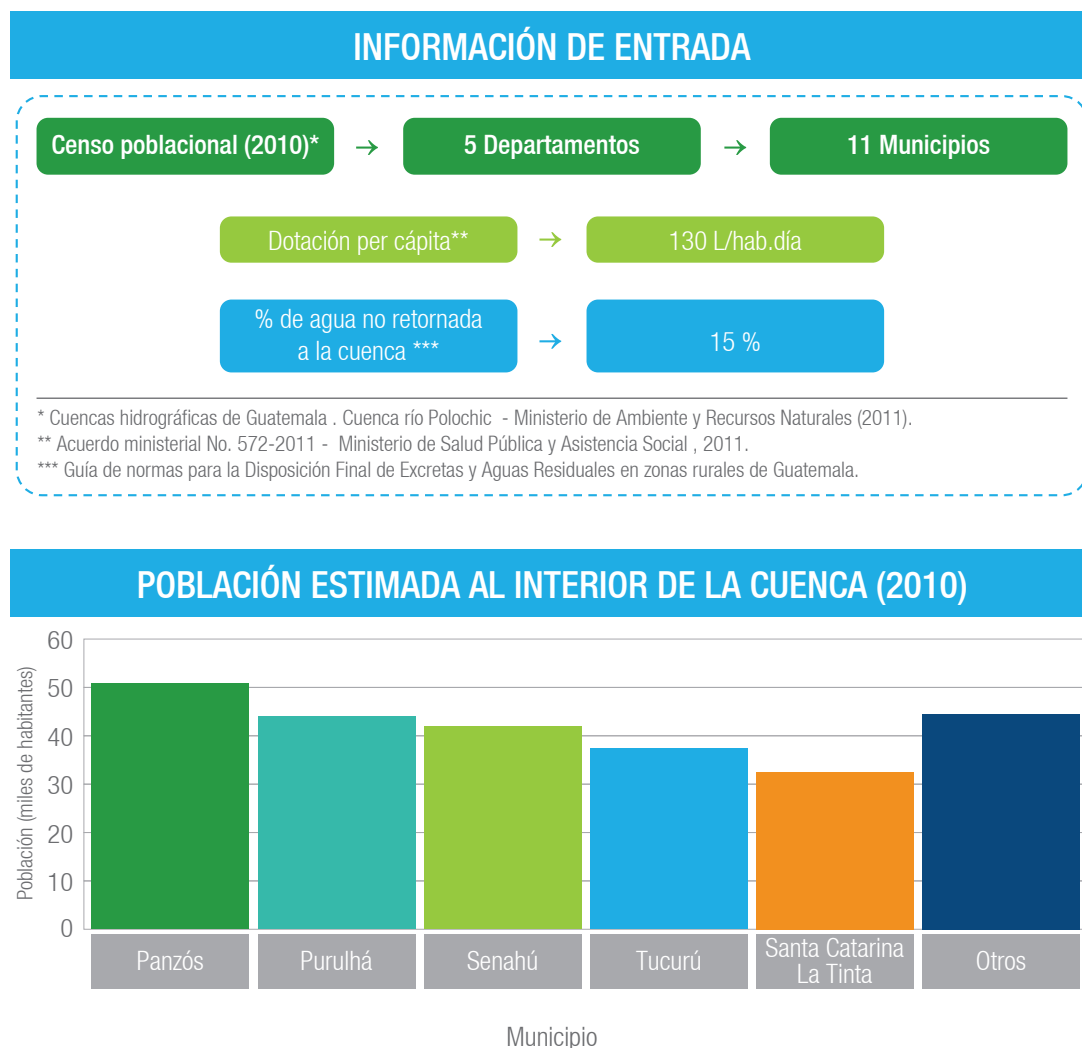


Figura 22. Información de entrada del sector doméstico – cuenca del río Polochic.

HHA SECTOR DOMÉSTICO - C. RÍO POLOCHIC (POR MUNICIPIO)

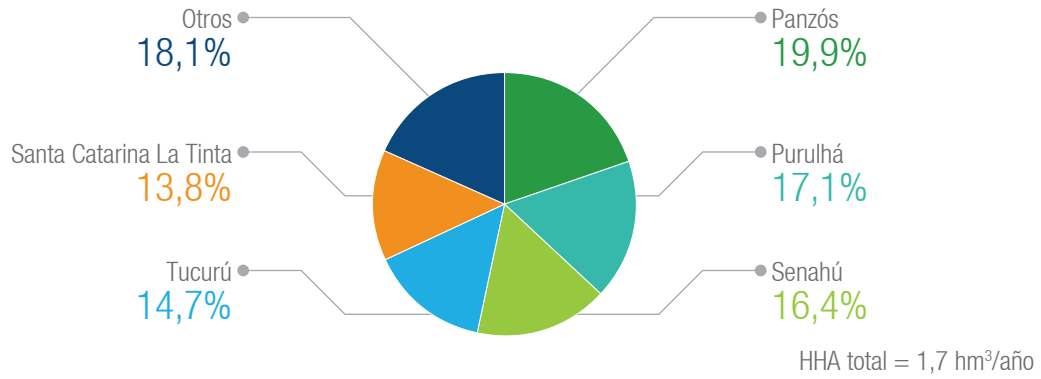


Figura 23. Huella hídrica del sector doméstico – cuenca del río Polochic.

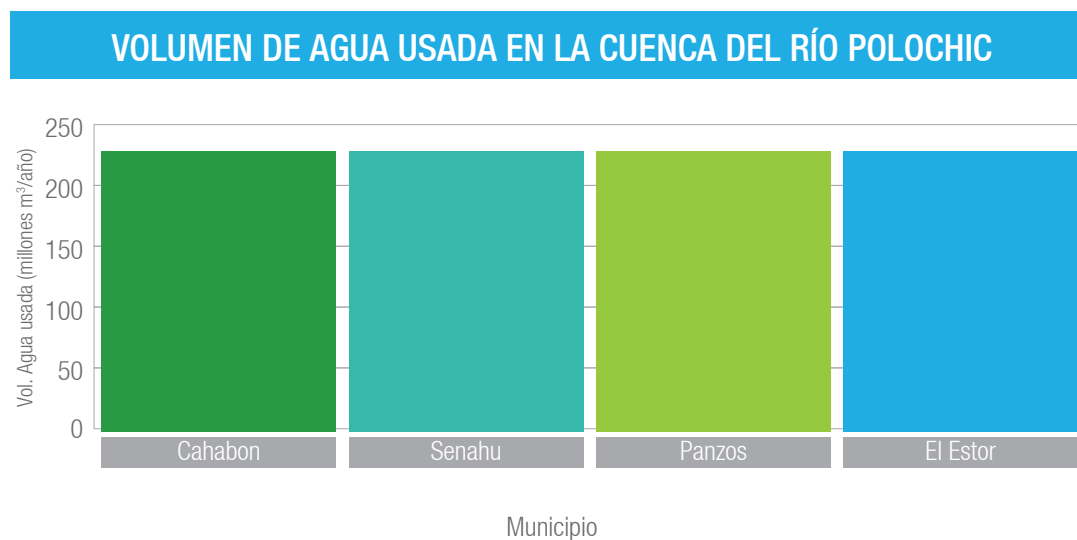


Imagen con fines ilustrativos



b) Sector minero

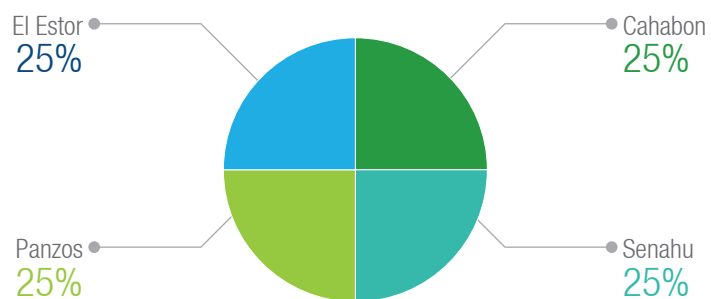
En la Figura 24 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA en este sector para la cuenca del río Polochic, especificando el volumen de agua usada por la minería y el porcentaje de no retorno de agua a la cuenca. Para este caso se encontró información para una mina (Proyecto minero Fénix). La huella hídrica azul estimada para este sector se muestra en la Figura 25, para este caso la HHA tiene el mismo peso del total para los cuatro municipios donde está ubicada la mina.



*Se asumió que el uso del agua era equitativo en los 4 municipios.

Figura 24. Información de entrada del sector minero – cuenca del río Polochic.

HHA SECTOR MINERO - C. RÍO POLOCHIC (POR MUNICIPIOS)



HHA total = 0,9 hm³/año

Figura 25. Huella hídrica azul del sector minero – cuenca del río Polochic.



Imagen con fines ilustrativos



4.2.3.3. Cuenca del río Reventazón

a) Sector doméstico

En la Figura 26 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA en este sector para la cuenca del río Reventazón, determinando el número de cantones al interior de la cuenca y la población estimada de cada uno, adicionalmente, el valor de la dotación per cápita y el porcentaje de agua que no retorna nuevamente a la cuenca. La huella hídrica azul estimada para este sector se muestra en la Figura 27, donde el cantón más representativo fue Cartago, con un peso del 35 % del total de la HHA para este sector.

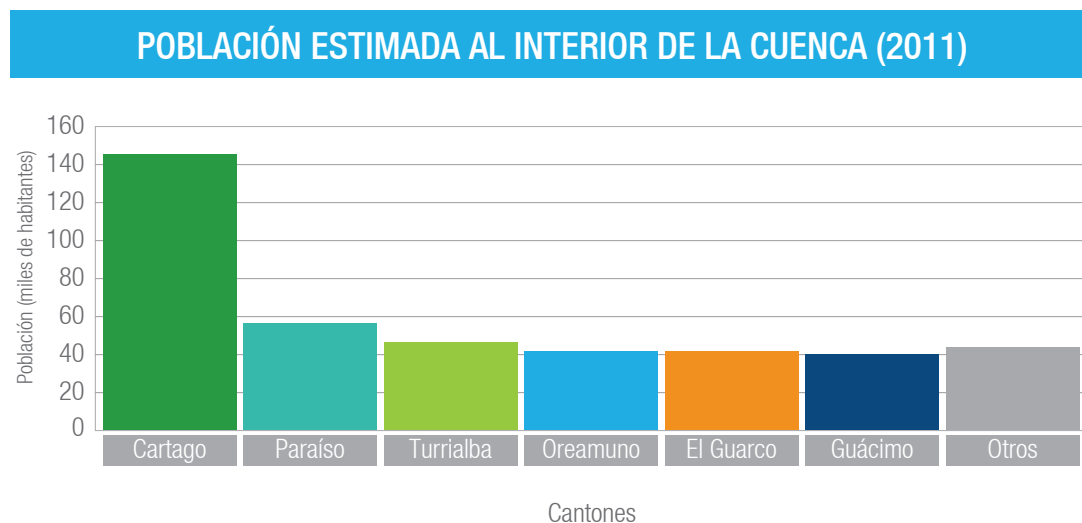


Figura 26. Información de entrada del sector doméstico – cuenca del río Reventazón.

HHA SECTOR DOMÉSTICO - C. RÍO REVENTAZÓN (POR CANTÓN)

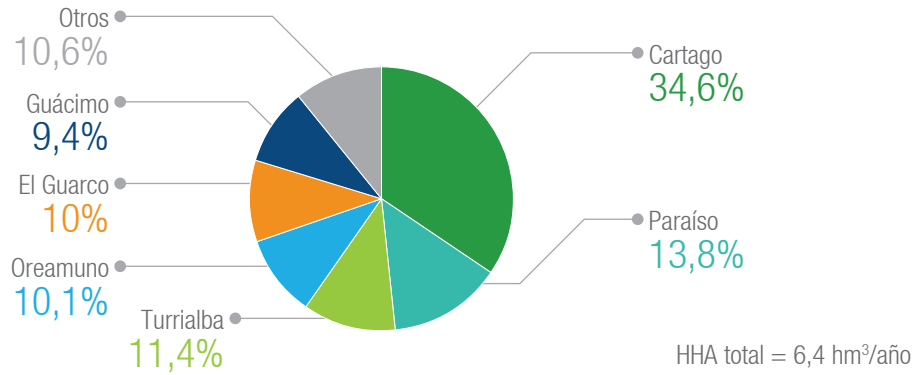


Figura 27. Huella hídrica del sector doméstico – cuenca del río Reventazón.



Imagen con fines ilustrativos



4.2.3.4. Cuenca del río Mantaro

a) Sector Doméstico

En la Figura 28 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA en este sector para la cuenca del Río Mantaro, determinando el número de provincias al interior de la cuenca y la población estimada de cada una, adicionalmente, el valor de la dotación per cápita y el porcentaje de agua que no retorna nuevamente a la cuenca. La huella hídrica azul estimada para este sector se muestra en la Figura 29, donde la provincia más representativa fue Huancayo, con un peso de 33 % del total de la HHA para este sector.

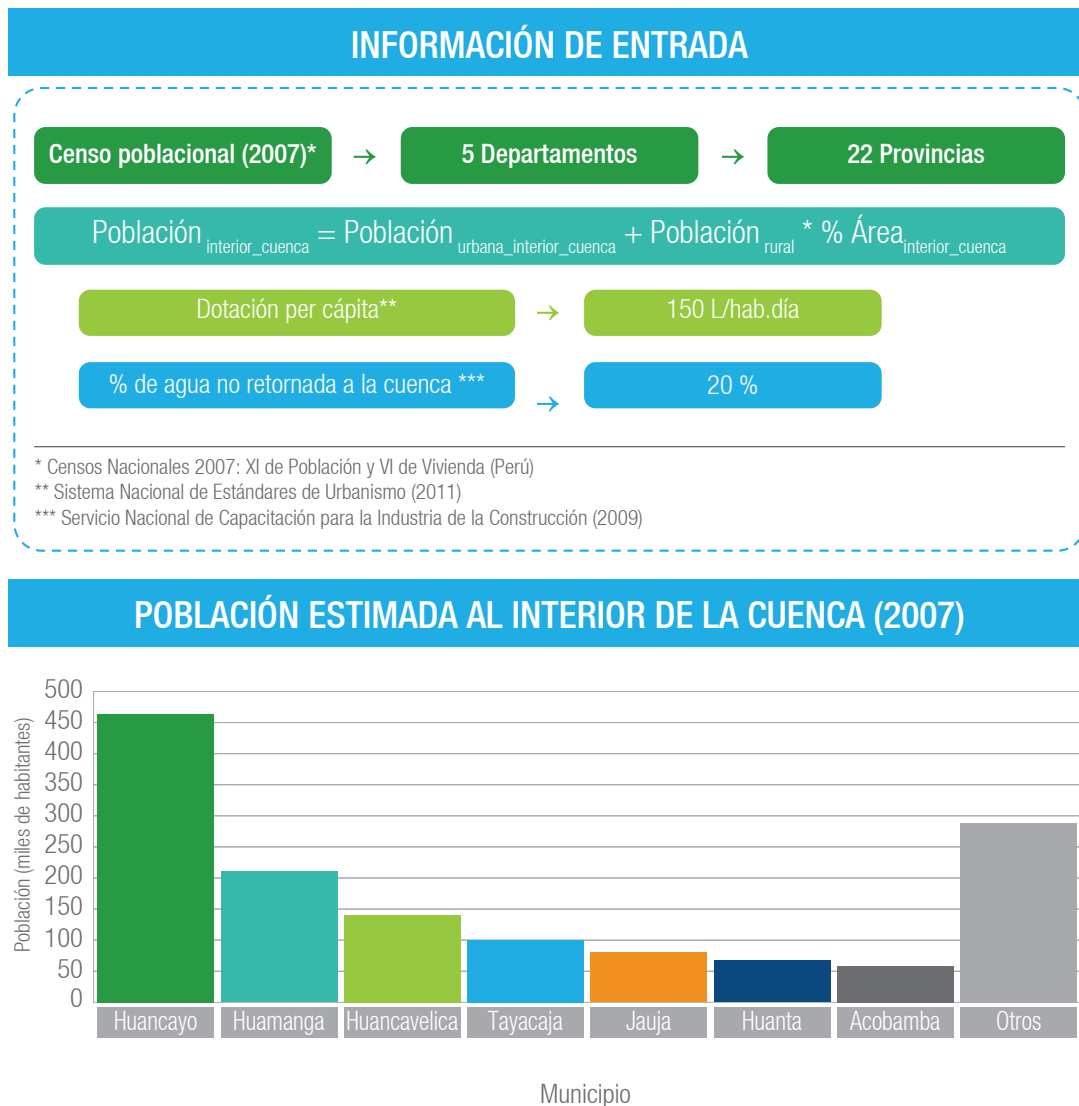


Figura 28. Información de entrada del sector doméstico – cuenca del río Mantaro.



HHA SECTOR DOMÉSTICO - C. RÍO MANTARO (POR PROVINCIA)

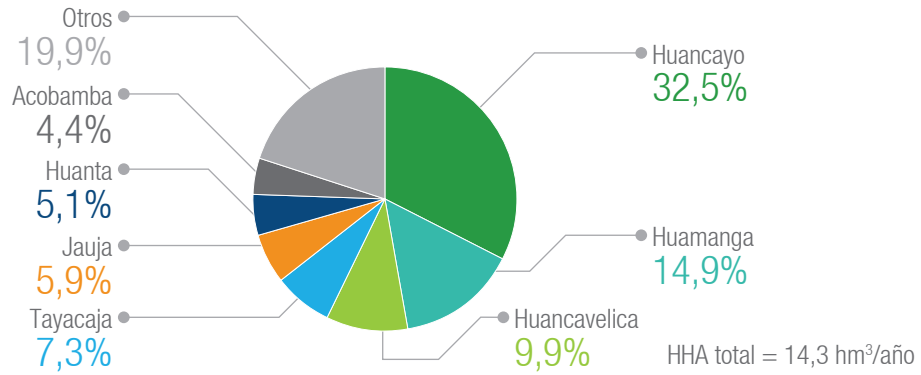


Figura 29. Huella hídrica del sector doméstico – cuenca del río Mantaro.



Imagen con fines ilustrativos



b) Sector minero

En la Figura 30 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA en este sector para la cuenca del río Mantaro, especificando el volumen de agua vertido a la cuenca por la minería y el porcentaje de no retorno de agua a la cuenca. La huella hídrica azul estimada para este sector se muestra en la Figura 31, donde la provincia más representativa fue Huancavelica, con un peso del 75 % del total de la HHA para este sector.

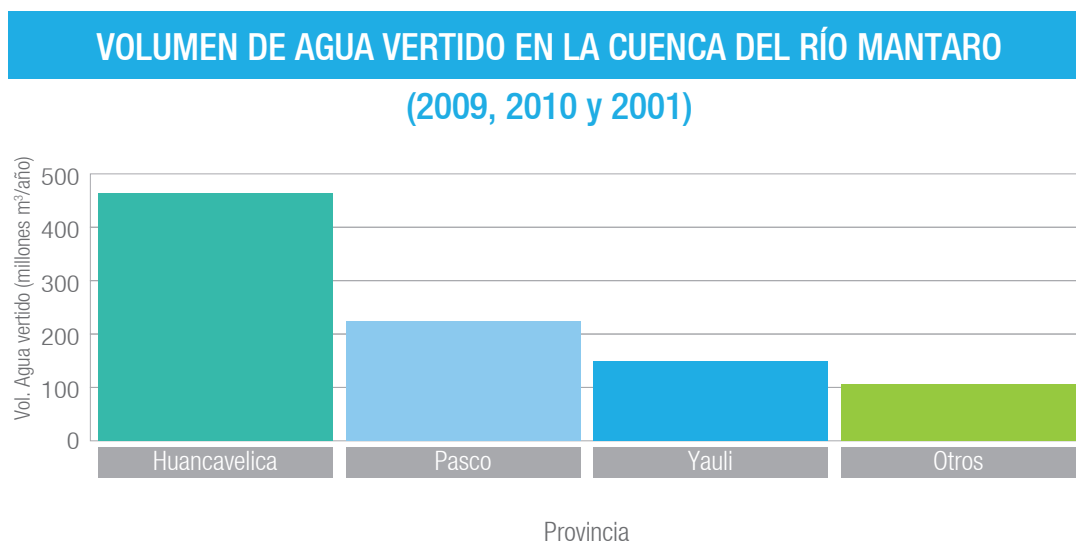
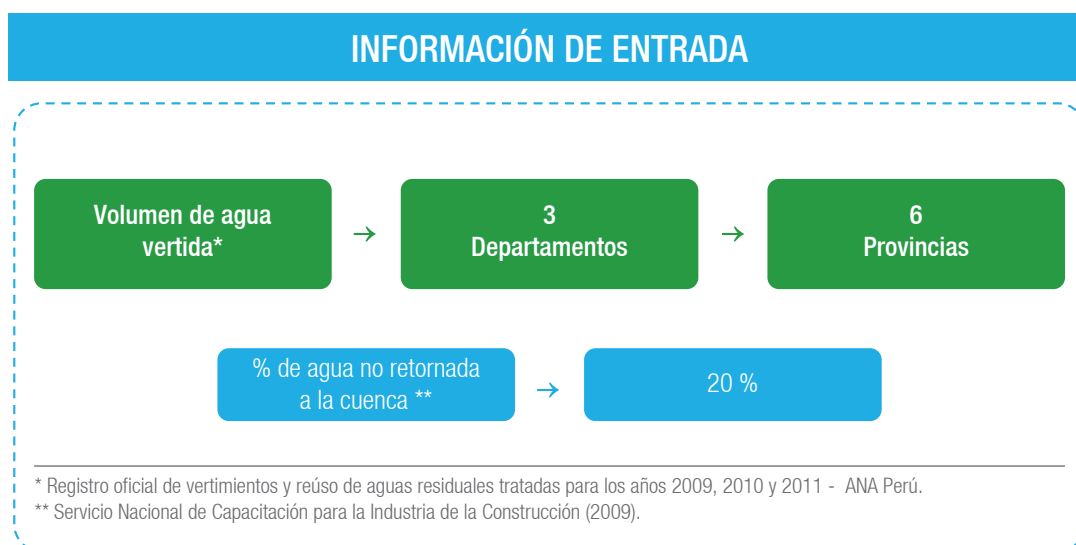


Figura 30. Información de entrada del sector minero – cuenca del río Mantaro.

HHA SECTOR MINERO - C. RÍO MANTARO (POR PROVINCIA)

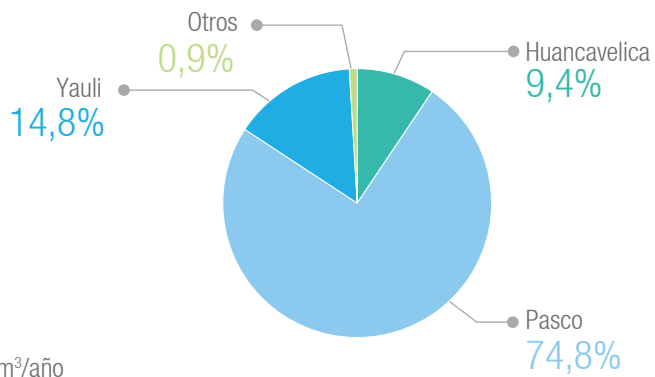


Figura 31. Huella hídrica azul del sector minero – cuenca del río Mantaro.



Imagen con fines ilustrativos



4.2.3.5. Cuenca del río Cachapoal

a) Sector doméstico

En la Figura 32 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA en este sector para la cuenca del río Cachapoal, determinando el número de comunas al interior de la cuenca y la población estimada de cada una, adicionalmente, el valor de la dotación per cápita y el porcentaje de agua que no retorna nuevamente a la cuenca. La huella hídrica azul estimada para este sector se muestra en la Figura 33, donde la comuna más representativa fue Rancagua, con un peso del 42 % del total de la HHA para este sector.

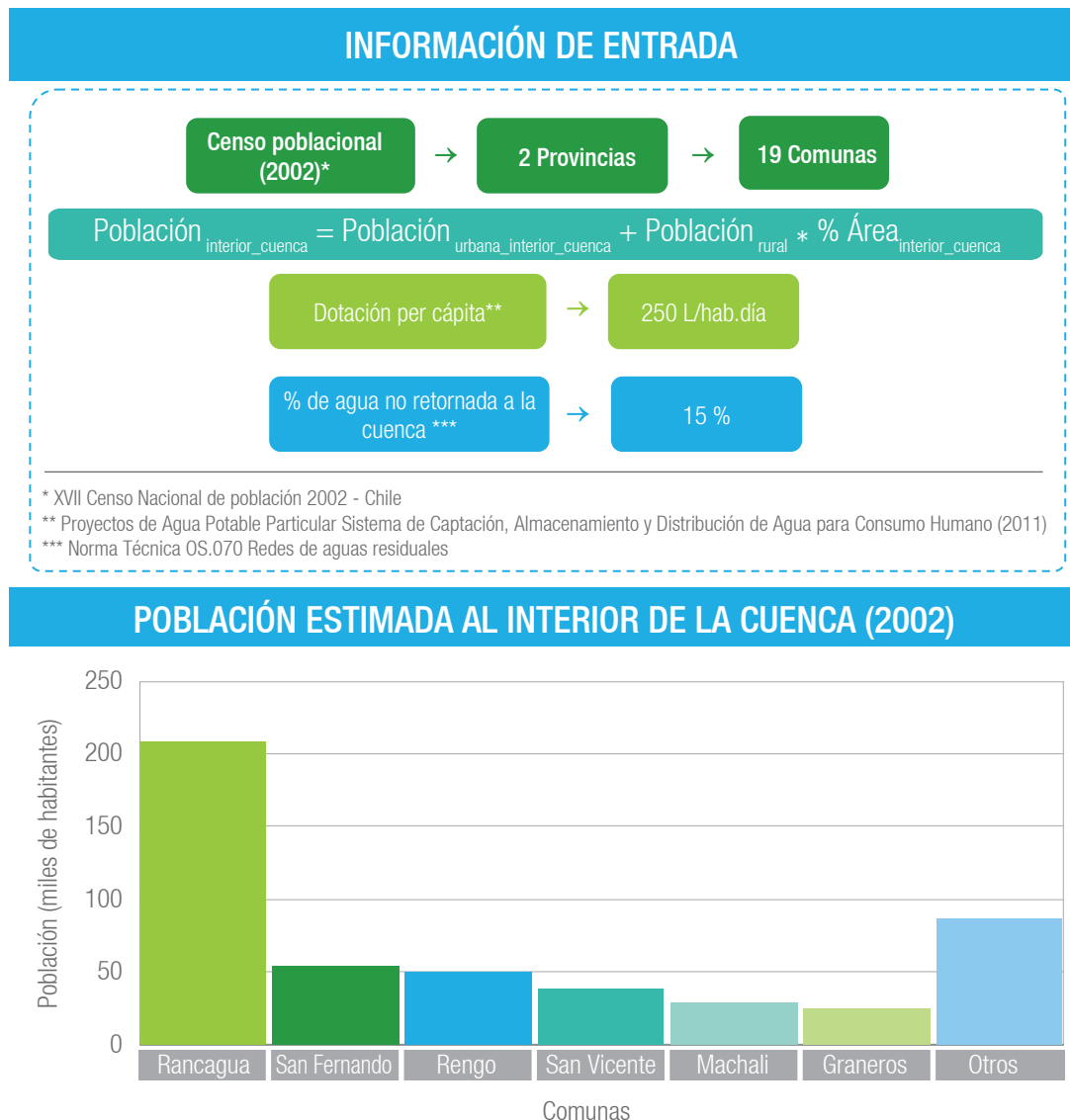


Figura 32. Información de entrada del sector doméstico – cuenca del río Cachapoal.



HHA SECTOR DOMÉSTICO - C. RÍO CACHAPOAL (POR COMUNA)

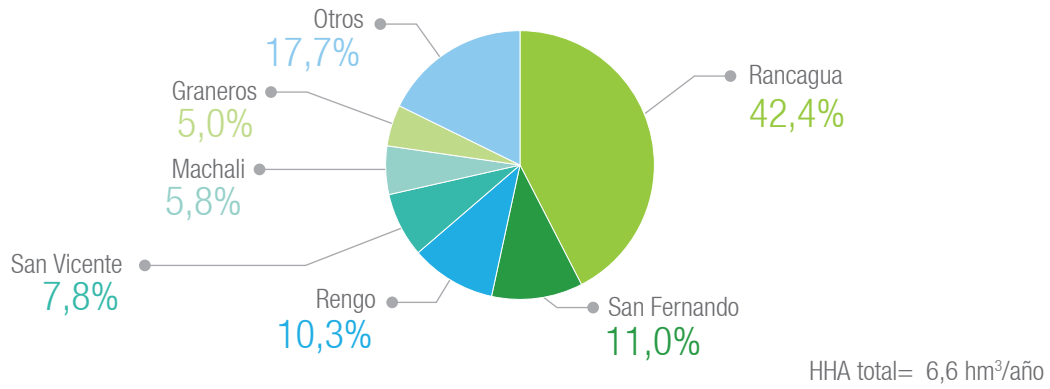


Figura 33. Huella hídrica del sector doméstico – cuenca del río Cachapoal.

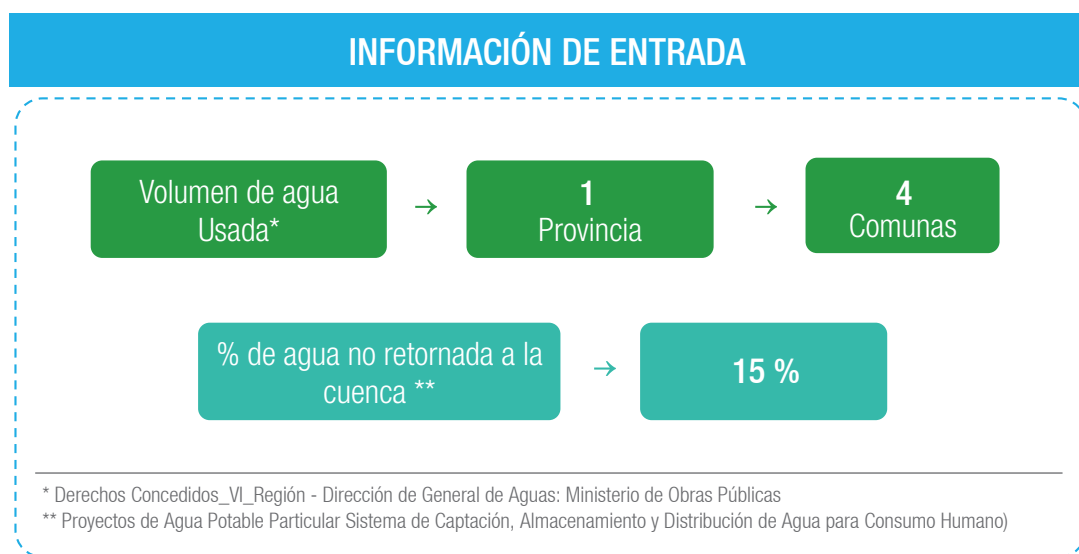


Imagen con fines ilustrativos



b) Sector industrial

En la Figura 34 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA en este sector en la cuenca del río Cachapoal, especificando el volumen de agua usada por las industrias en la cuenca y el porcentaje de no retorno de agua a la cuenca. La huella hídrica azul estimada para este sector se muestra en la Figura 35, donde la comuna más representativa fue Machali, con un peso del 64,6 % del total de la HHA para este sector.



VOLUMEN DE AGUA USADA EN LA CUENCA DEL RÍO CACHAPOAL

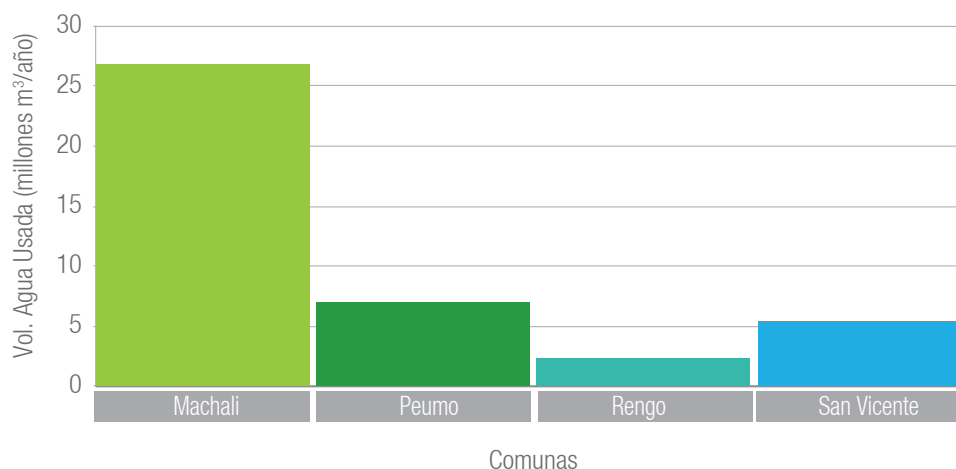


Figura 34. Información de entrada del sector industrial – cuenca del río Cachapoal.

HHA SECTOR INDUSTRIAL - C. CACHAPOAL (POR COMUNA)

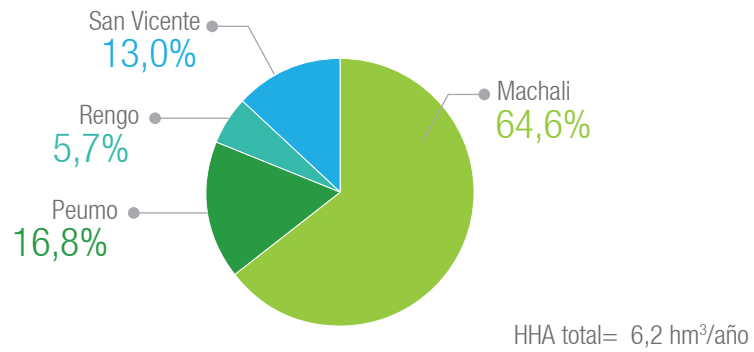


Figura 35. Huella hídrica del sector industrial – cuenca del río Cachapoal.



Imagen con fines ilustrativos



c) Sector minero

En la Figura 36 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA en este sector para la cuenca del río Cachapoal, especificando el volumen de agua usada por la minería y el porcentaje de no retorno de agua a la cuenca. La huella hídrica azul estimada para este sector está exclusivamente representada por la compañía minera de cobre El Teniente en Rancagua.

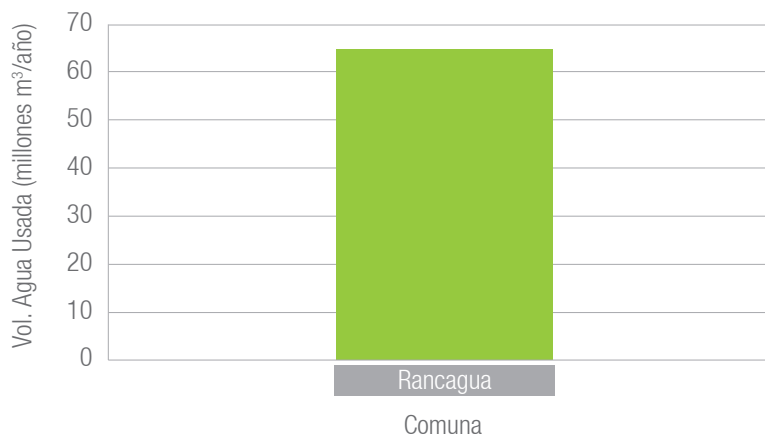


Figura 36. Información de entrada del sector minero – cuenca del río Cachapoal.

4.2.4. Cuantificación de la huella hídrica azul de infraestructura hidráulica con comportamiento singular frente al uso del agua

En las cinco cuencas se evaluó la huella hídrica azul asociada a la infraestructura hidráulica que se encuentra relacionada con el fenómeno de represamiento de grandes cantidades de agua en la cuenca y los trasvases (ver Figura 37).

HUELLA HÍDRICA OTROS SECTORES ECONÓMICOS

Sector	Información base	Módulo de cálculo
Embalses	Evapotranspiración mensual (EVA). Área del embalse (A).	$HHA = EVA * A$
Trasvases	Volumen de agua trasvasado (VAT).	$HHA = VAT$

Figura 37. Esquema metodológico por sector económico para el cálculo de la HHA.

Se considera pertinente tratar esta categoría de forma separada, por los siguientes argumentos:

- Para los embalses se da una aplicación metodológica de la huella hídrica azul válida, basada en la evaporación generada en el espejo de agua de origen antrópico; no obstante, este resultado no genera posibilidades de respuesta ni mejora y es de discutible interpretación en términos de la sostenibilidad de la huella hídrica; por lo anterior, se ha tomado la decisión de cuantificarlo, pero no incluirlo en el análisis de sostenibilidad ambiental de las cuencas.
- Para el caso de los trasvases, se presenta la situación límite de la huella hídrica azul, donde el uso de agua es igual a la extracción, y esta a su vez es igual a la huella hídrica azul, no obstante, se presenta una variación drástica en el régimen hidrológico de las cuencas proveedoras y receptoras, y aunque el trasvase esté motivado por un sector específico, altera la oferta y demanda de la cuenca, en el nivel multisectorial, por lo que se considera que debe estar en una categoría singular.

En el Cuadro 25 se presentan los resultados totales de la HHA anual estimada para las cinco cuencas por sector. La inclusión o no de los sectores en las cuencas dependía de si se encontró o no información que permitiera realizar los cálculos de la HHA.

Cuadro 25. Resultados de HHA por sector por cuenca.

	Embalses hm ³ /año	Trasvases hm ³ /año
Río Yaqui	763,5	63,5
Río Polochic	0,1	0
Río Reventazón	11,7	0
Río Mantaro	3,8	157,7
Río Cachapoal	0	0

A continuación se describe cada una de las HHA estimadas para las cuencas, especificando la información recolectada de acuerdo con el año específico y la ubicación de estas.



4.2.4.1. Cuenca del río Yaqui

a) Sector embalses

En la Figura 38 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA de este sector para la cuenca del Río Yaqui, especificando los embalses encontrados en la cuenca, el área del espejo de agua estimada y la evapotranspiración mensual. En la Figura 39 se presenta la huella hídrica anual calculada para los tres embalses evaluados.

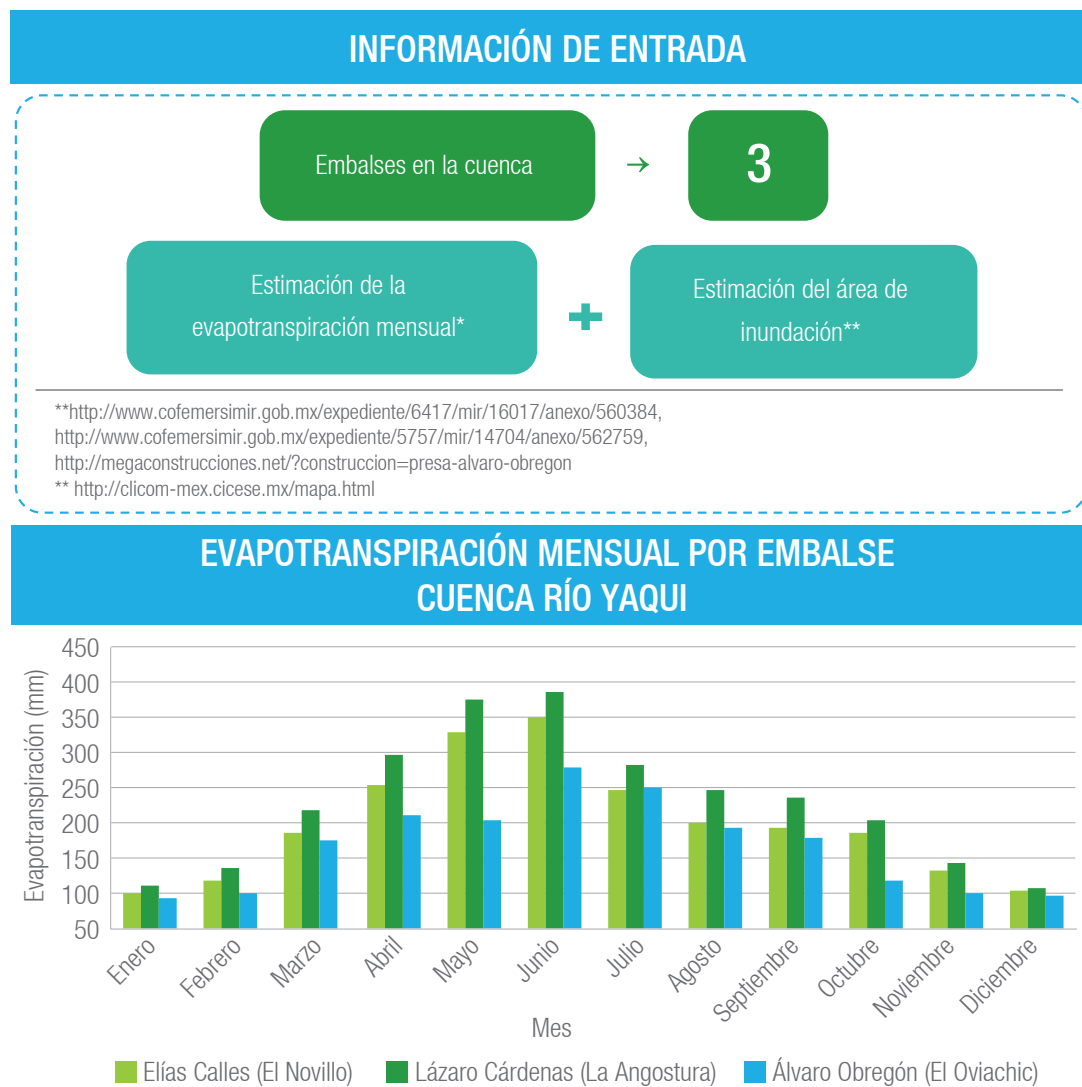


Figura 38. Información de entrada del sector de embalses – cuenca del río Yaqui.

HHA SECTOR EMBALSES - C. RÍO YAQUI (POR EMBALSE)

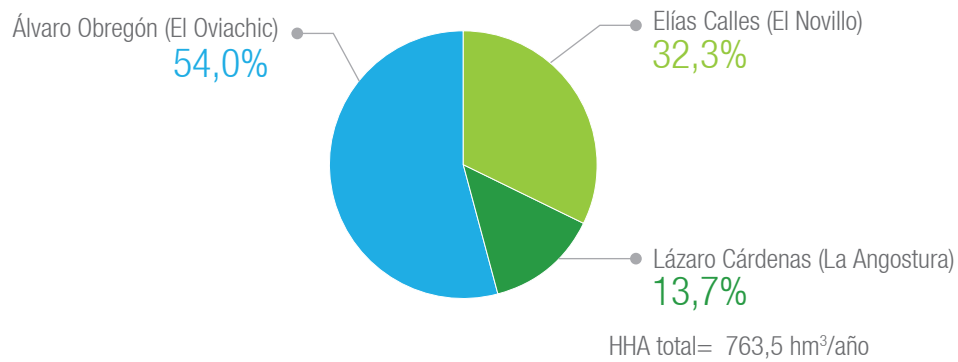


Figura 39. Huella hídrica azul del sector de embalses – cuenca del río Yaqui.

b) Sector trasvases

La cuenca del río Yaqui tiene un trasvase a la cuenca del río Sonora con el fin de abastecer el acueducto de La Independencia, en el Cuadro 26 se estima la huella hídrica azul anual para este sector.

Cuadro 26. Huella hídrica azul del sector de trasvases de cuencas – cuenca del río Yaqui.

Cuenca de origen	Cuenca de destino	Caudal (m³/s)	Huella hídrica azul (hm³/año)
Río Yaqui	Río Sonora	1,6-2,4	63,5



Imagen con fines ilustrativos



4.2.4.2. Cuenca del río Polochic

a) Sector embalses

En la Figura 40 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA en este sector para la cuenca del río Polochic, especificando los embalses encontrados en la cuenca, el área del espejo de agua estimada y la evapotranspiración mensual. En la Figura 41 se presentan las huellas hídricas anuales calculadas para los dos embalses evaluados.

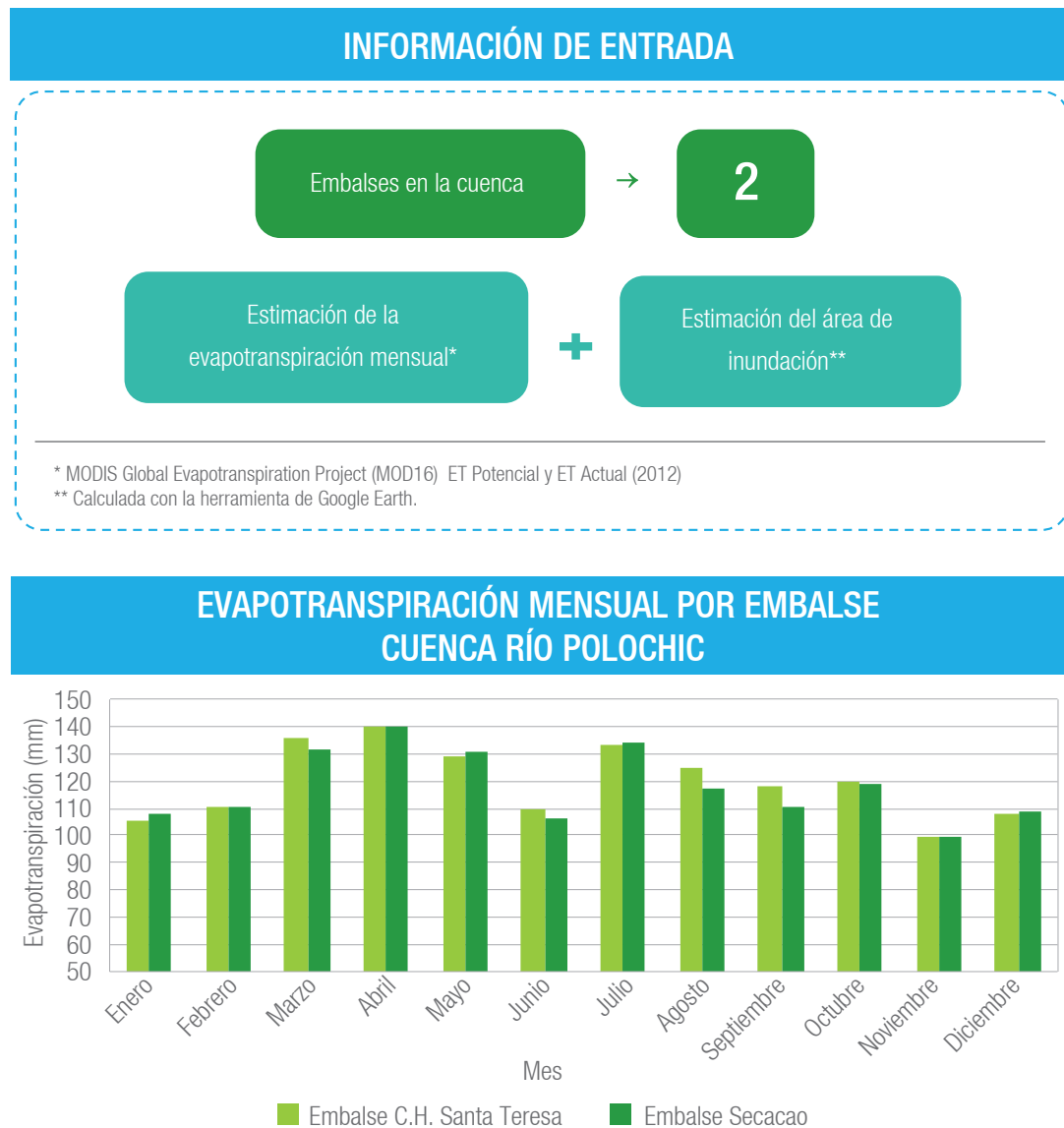


Figura 40. Información de entrada del sector de embalses – cuenca del río Polochic.



HHA SECTOR EMBALSES - C. RÍO POLOCHIC (POR EMBALSE)

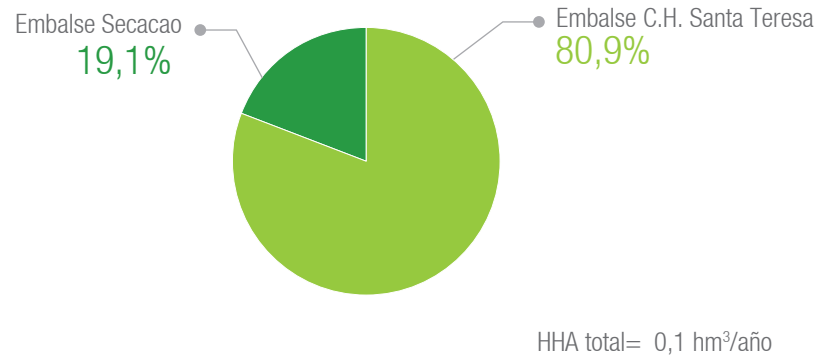


Figura 41. Huella hídrica azul del sector de embalses – cuenca del río Polochic.



Imagen con fines ilustrativos



4.2.4.3. Cuenca del río Reventazón

c) Sector embalses

En la Figura 42 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA en este sector para la cuenca del río Reventazón, especificando los embalses encontrados en la cuenca, el área del espejo de agua estimada y la evapotranspiración mensual. En la Figura 43 se presenta la huella hídrica anual calculada para los cuatro embalses evaluados.

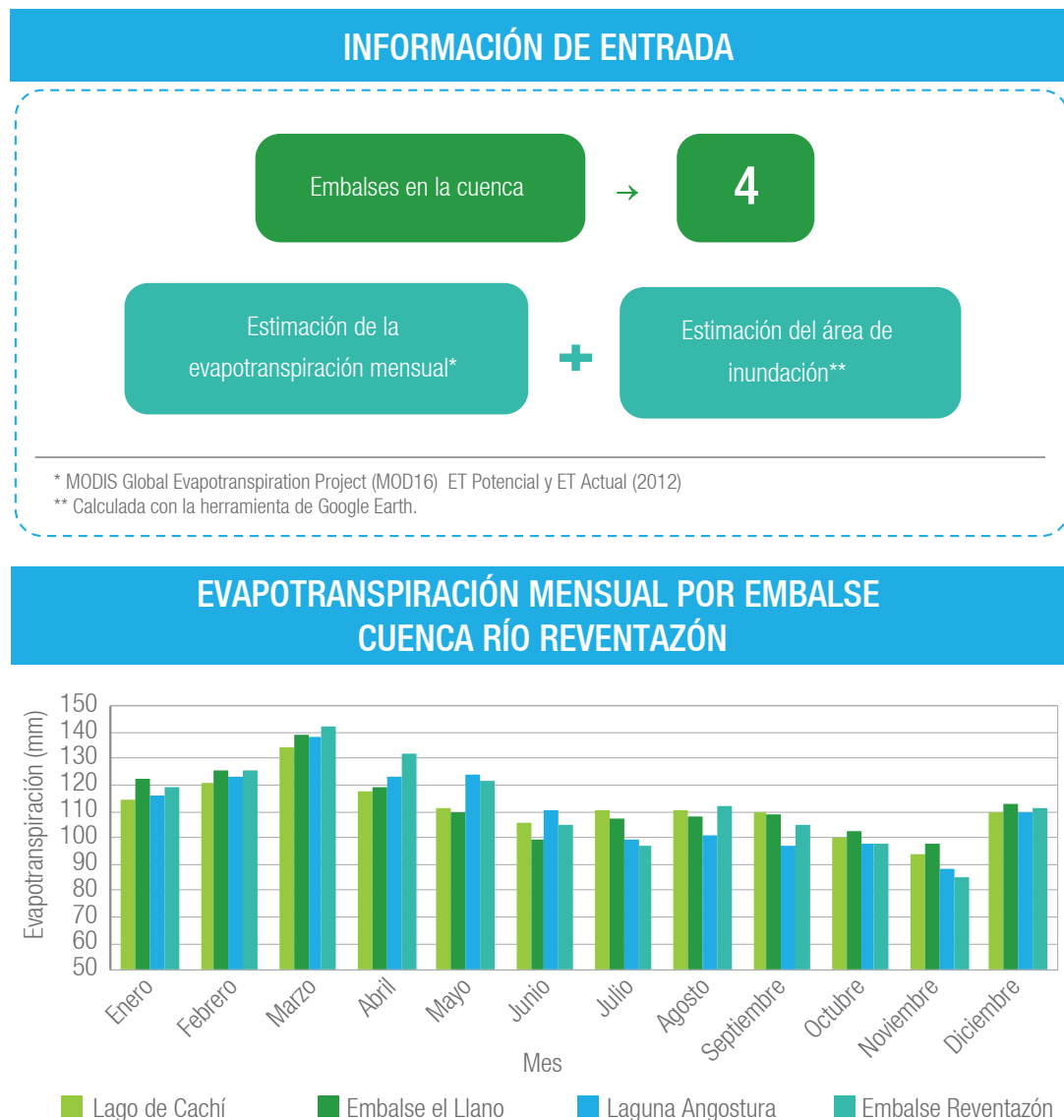
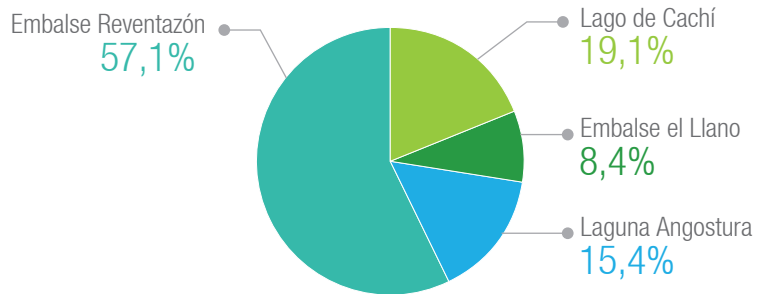


Figura 42. Información de entrada del sector de embalses – cuenca del río Reventazón.

HHA SECTOR EMBALSES - C. RÍO REVENTAZÓN (POR EMBALSE)



HHA total= 11,7 hm³/año

Figura 43. Huella hídrica azul del sector de embalses – cuenca del río Reventazón.



Imagen con fines ilustrativos



4.2.4.4. Cuenca del río Mantaro

a) Sector embalses

En la Figura 44 se presenta la información utilizada para el cálculo de la HHA en este sector para la cuenca del río Mantaro, especificando los embalses encontrados en la cuenca, especificando el área del espejo de agua y la evapotranspiración mensual. En la Figura 45 se presenta la huella hídrica anual calculada para los dos embalses evaluados.

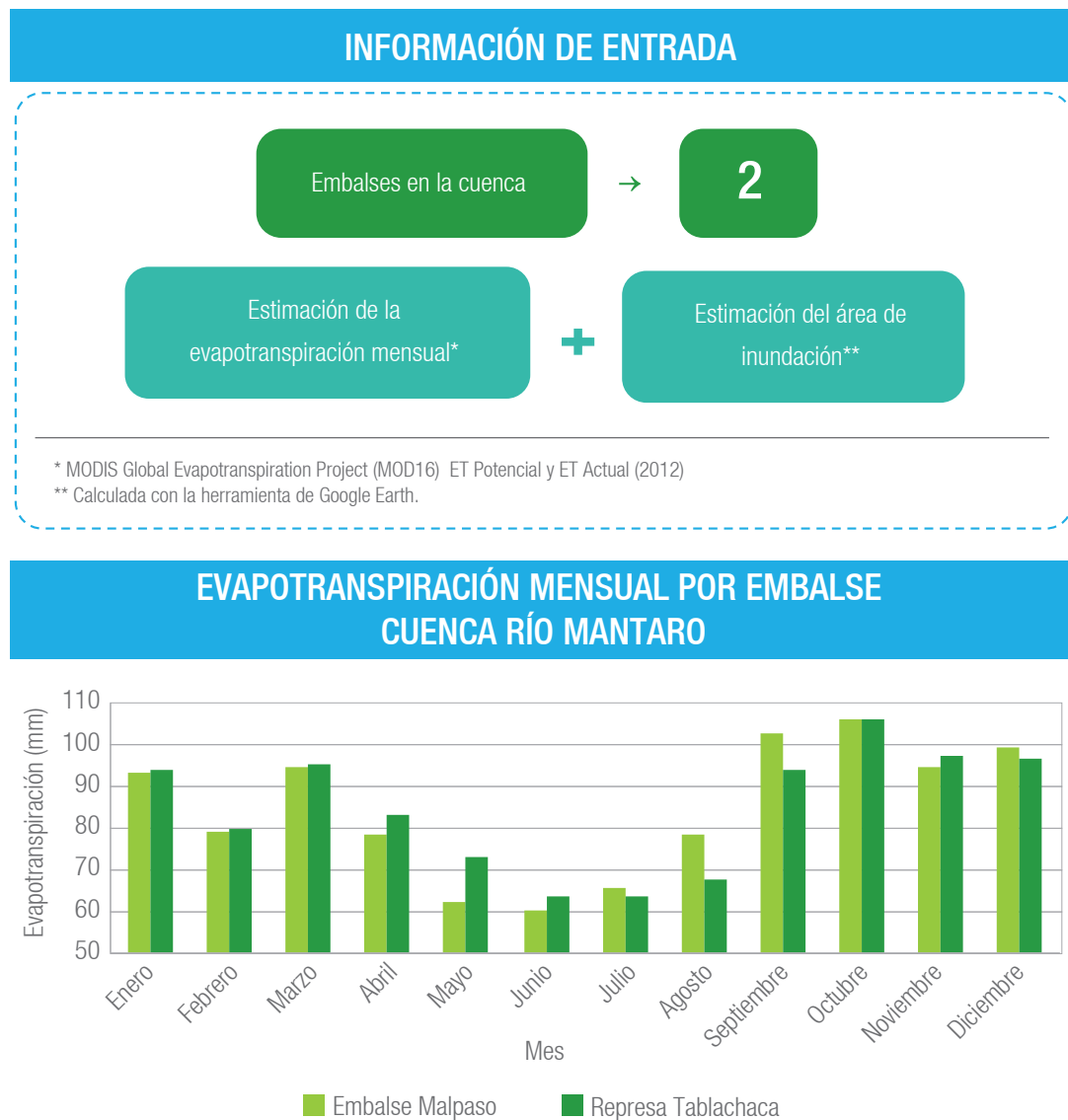


Figura 44. Información de entrada del sector de embalses – cuenca del río Mantaro.

HHA SECTOR EMBALSES - C. RÍO MANTARO

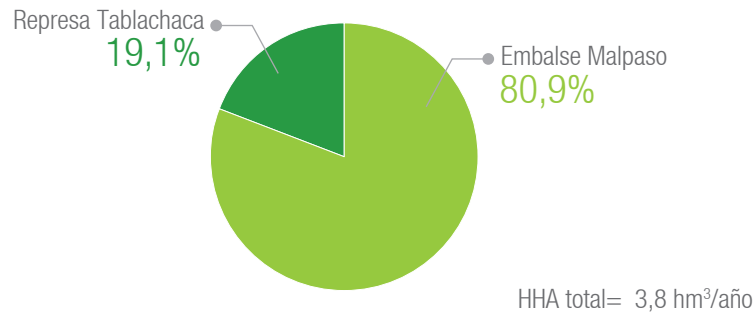


Figura 45. Huella hídrica azul del sector de embalses – cuenca del río Mantaro.

b) Sector Trasvases

La cuenca del río Mantaro tiene un trasvase a la cuenca del río Rimac, con el fin de dar abasto a la demanda de agua potable de la ciudad de Lima; en el Cuadro 27 se estima la huella hídrica azul anual para este sector.

Cuadro 27. Huella hídrica azul del sector de trasvases de cuencas – cuenca del río Mantaro.

Cuenca de origen	Cuenca de destino	Caudal (m³/s)	Huella Hídrica Azul (hm³/año)
Mantaro	Rímac	5	157,6



Fuente: Tecnología Minera.
Imagen con fines ilustrativos.



4.2.5. Cuantificación multisectorial de la huella hídrica en las cuencas piloto

A continuación se presentan los resultados (ver Cuadro 28) de la cuantificación de la huella hídrica a nivel multisectorial que son la base para la fase 3, correspondiente al análisis de sostenibilidad ambiental del territorio.

Cuadro 28. Huella hídrica multisectorial de cuencas de estudio.

País	México	Guatemala	Costa Rica	Perú	Chile
Cuenca	Yaqui	Polochic	Reventazón	Mantaro	Cachapoal
HH verde agrícola (hm³/año)	1411,9	610,7	898,2	260,1	282,2
HH azul agrícola (hm³/año)	624,3	134,7	57,5	140,1	414,5
HH azul otros (hm³/año)	18,7	2,6	6,4	20,0	22,5
HH azul doméstico (hm ³ /año)	13,1	1,7	6,4	14,3	6,6
HH azul industria (hm ³ /año)	2,4	ND	ND	ND	6,2
HH azul minero (hm ³ /año)	3,2	0,9	ND	5,7	9,7
HH azul otros singulares (hm³/año)	827,0	0,1	11,7	161,4	-
HH azul embalses (hm ³ /año)**	763,5	0,1	11,7	3,8	-
HH azul trasvase (hm ³ /año)	63,5	-	-	157,6	-
HH verde multisectorial (hm³/año)	1411,9	610,7	898,2	260,1	282,2
HH azul multisectorial (hm³/año)	706,5	137,3	63,9	317,8	437,0

** Valor reportado pero no sumado a la huella hídrica azul multisectorial, según explicación 4.2.4.

ND – Información no disponible para su evaluación.

Como se puede observar, la huella hídrica verde multisectorial corresponde al mismo valor de la huella hídrica verde agrícola, pues este es el único sector que genera incidencia en este tipo de huella.

La huella hídrica azul multisectorial corresponde a la suma de los diferentes sectores usuarios del agua, que generan una apropiación humana de recursos hídricos ocasionada por procesos antrópicos y basada en fenómenos naturales de evaporación, incorporación o trasvase. La huella hídrica azul multisectorial ha incluido, además de los sectores de consumo humano, lo correspondiente a trasvases de cuenca. Por otra parte, se ha excluido lo relativo al volumen evaporado desde los embalses, pues pese a que la aplicación metodológica es válida, la evaporación generada a causa del espejo de agua por la retención generada no perjudica la sostenibilidad ambiental de la cuenca en términos de disponibilidad de agua azul, por lo que no se afecta por este valor el total multisectorial.



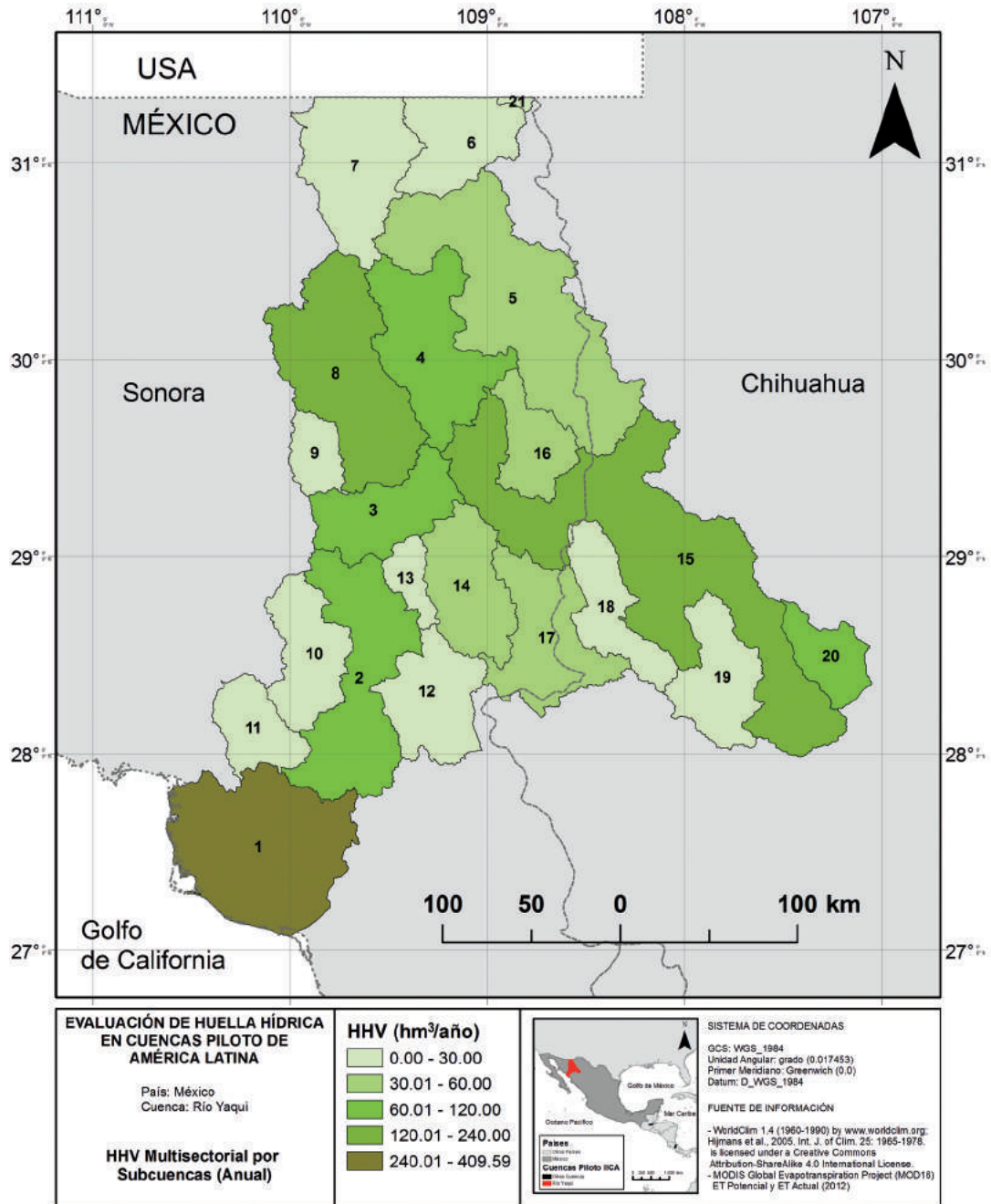
A continuación se observan los Mapa 8 al 27, que corresponden a los resultados de huella hídrica azul y verde multisectorial, estos resultados se presentan a escala espacial de subcuencas, tal como se definieron en los mapas del 1 al 5. Para cada cuenca en estudio se generaron cuatro mapas, los dos primeros tienen los resultados de huella hídrica verde y azul respectivamente a escala anual, mientras que los siguientes dos mapas presentan los resultados, pero a nivel mensual tanto de huella hídrica verde como de la azul.

La interpretación de los mapas se basa en el hecho de que las subcuencas que presentan los colores verde y azul más intensos corresponden a las de mayores valores de huella hídrica, y por ende, hay mayor presencia de actividades antrópicas que pueden tener incidencia en la sostenibilidad de las subcuencas y de la cuenca en conjunto. Los resultados a escala mensual también tienen esta misma interpretación, pero con la diferencia que presentan un mayor nivel de detalle indicando los meses donde se pueden presentar mayores problemas por suministro de agua, situación que no se logra evidenciar en los resultados a escala anual. A su vez, los resultados mensuales permiten definir estrategias de gestión del agua en aquellos meses que puedan ser considerados como críticos. En el Cuadro 29 se presenta un resumen de las subcuencas que presentan mayor huella hídrica azul y verde, para cada una de las cuencas de estudio.

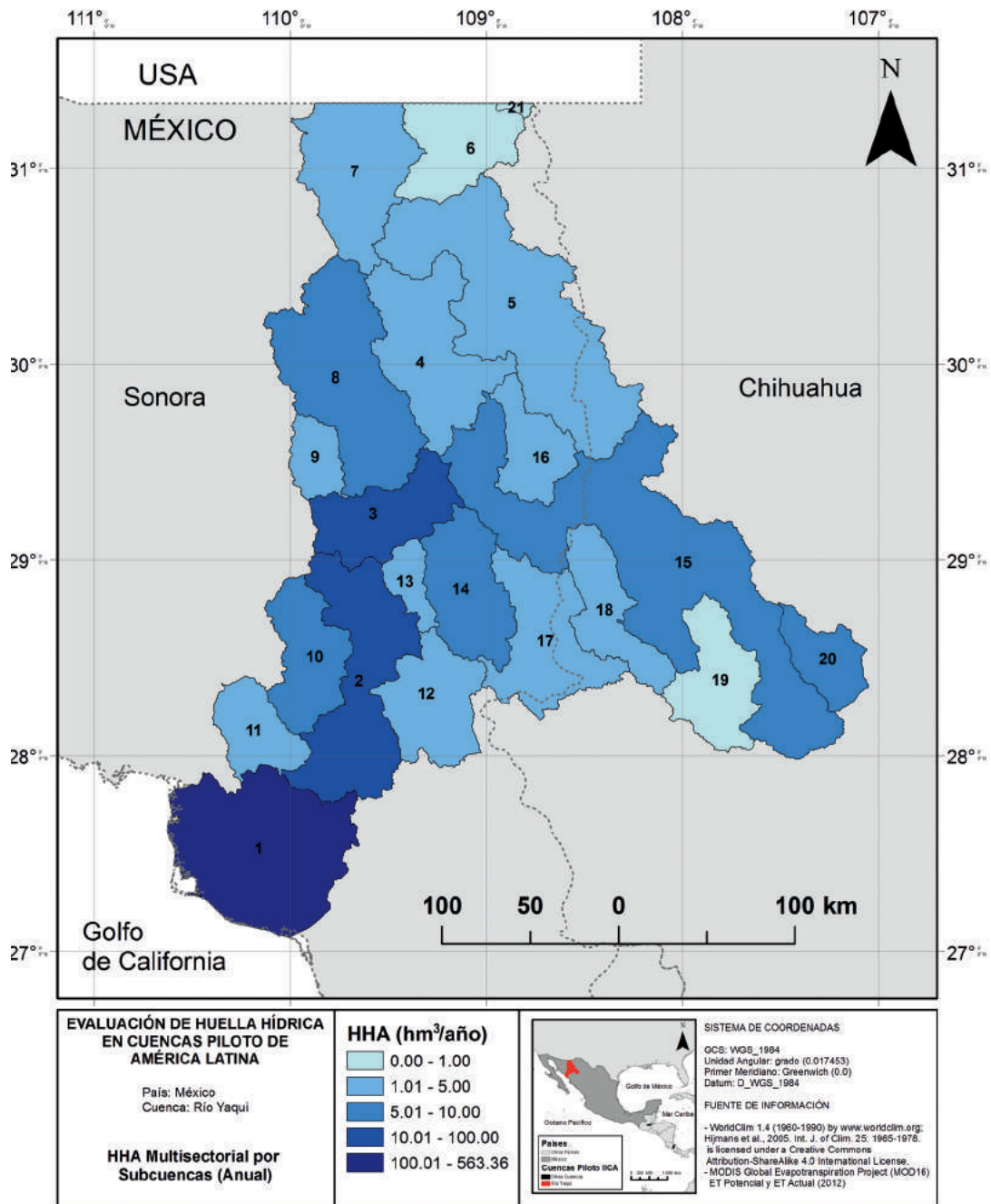
Cuadro 29. Resumen resultados de huella hídrica multisectorial.

Cuenca	Subcuencas con mayor huella hídrica anual	
	Azul	Verde
Yaqui	Río Yaqui – Vicam	Río Yaqui – Vicam, Río Moctezuma y Río Papigochic
Polochic	Códigos 11, 15 y 16	Códigos 11, 12, 15 y 16
Reventazón	Códigos 11 y 12	Códigos 2, 3 y 18
Mantaro	Santa Ana	Microcuencas – Bajas, Huarpa, Cunas, San Fernando y Microcuencas – Medias
Cachapoal	Códigos 1, 2, 3 y 4	Códigos 1, 2, 3, 4 y 16



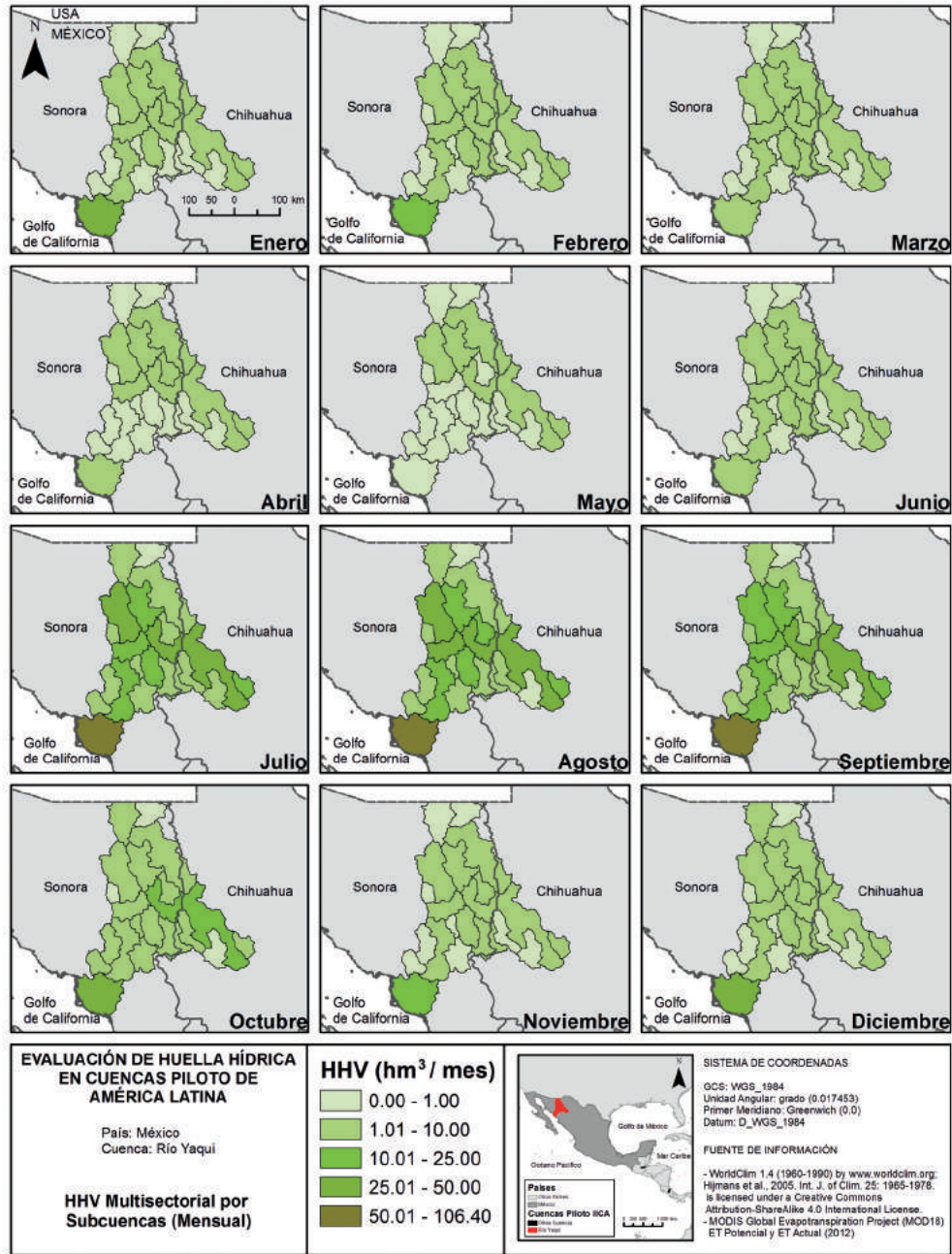


Mapa 8. Huella hídrica verde multisectorial anual – cuenca del río Yaqui.

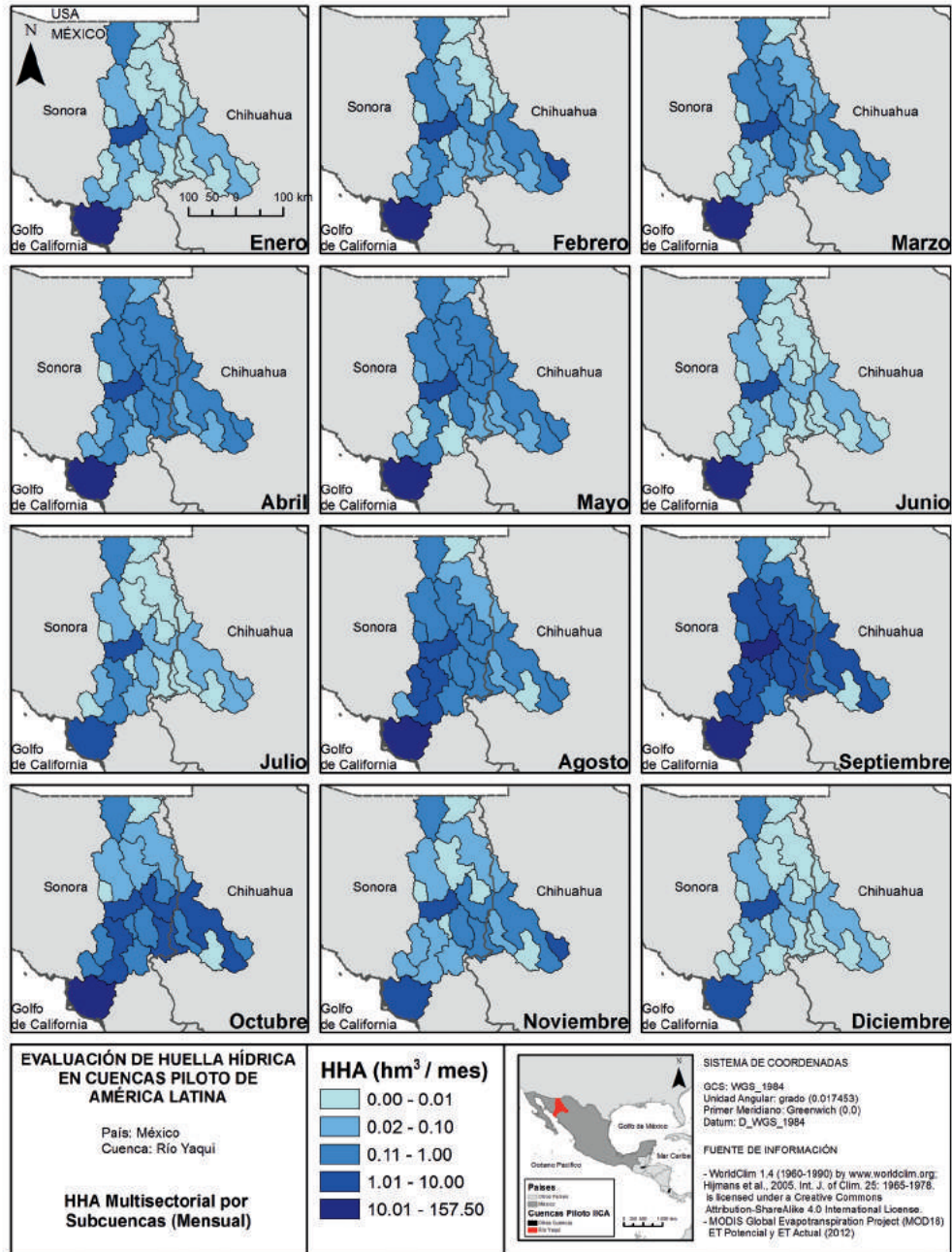


Mapa 9. Huella hídrica azul multisectorial anual – cuenca del río Yaqui.



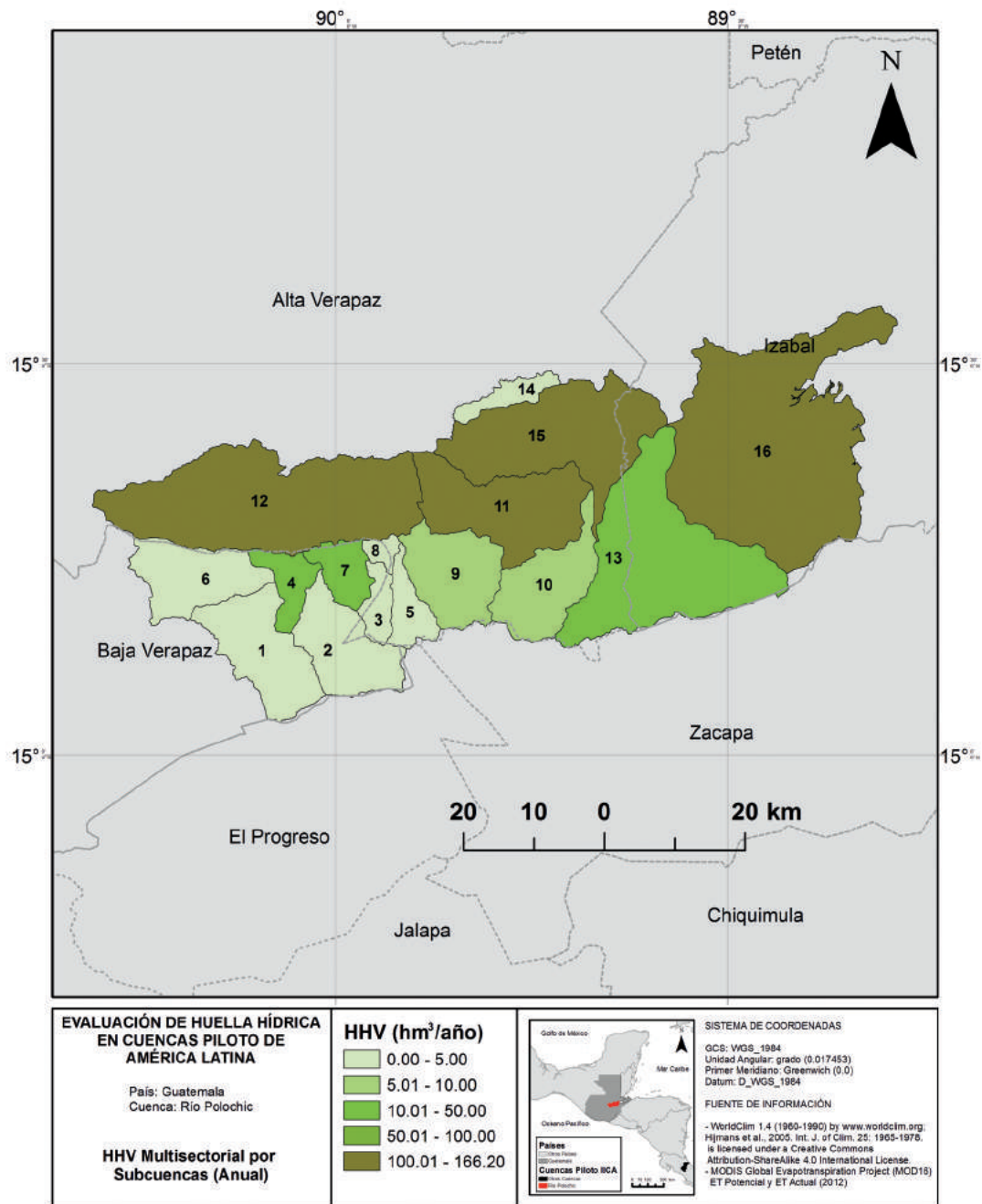


Mapa 10. Huella hídrica verde multisectorial mensual – cuenca del río Yaqui.

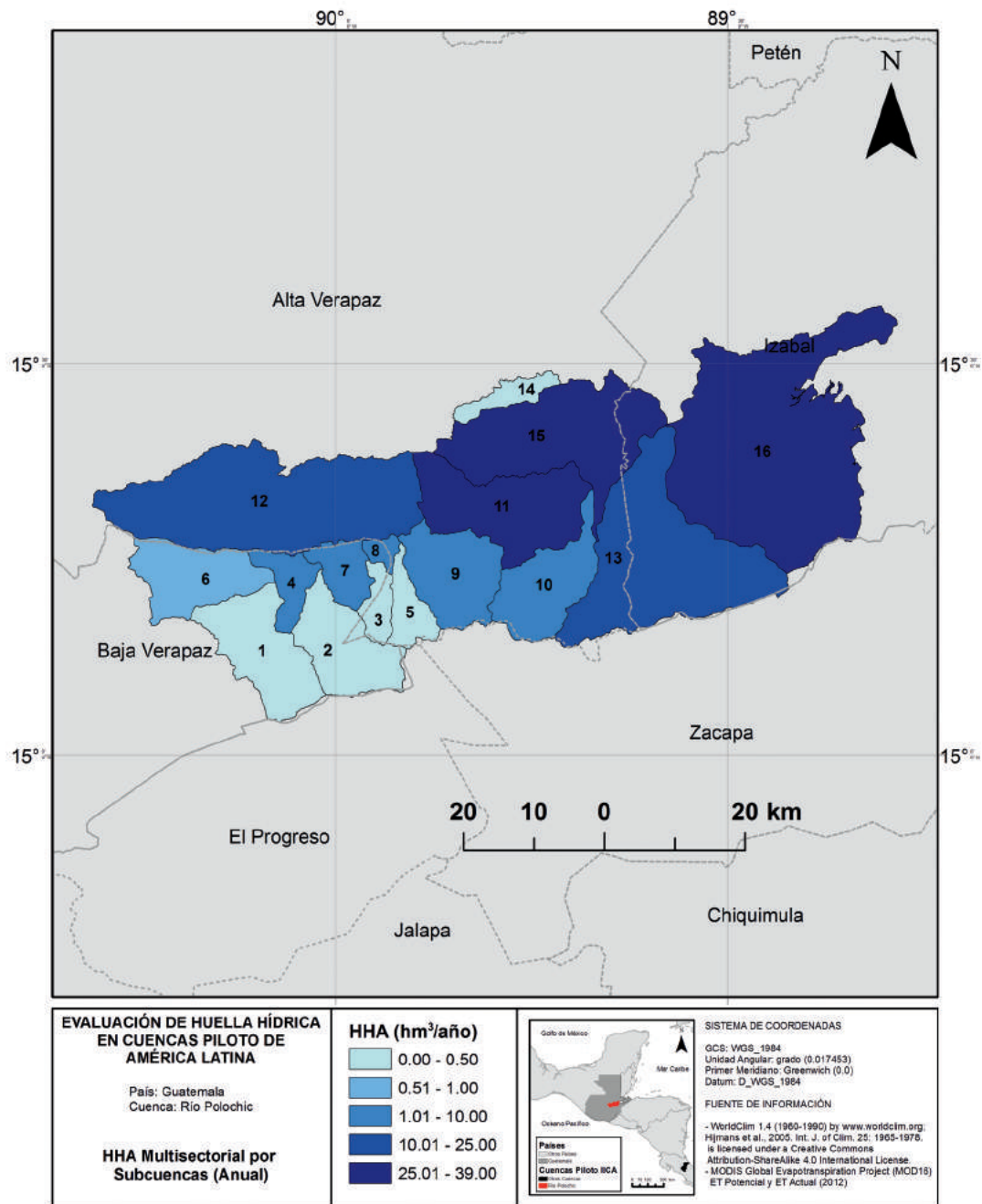


Mapa 11. Huella hídrica azul multisectorial mensual – cuenca del río Yaqui.



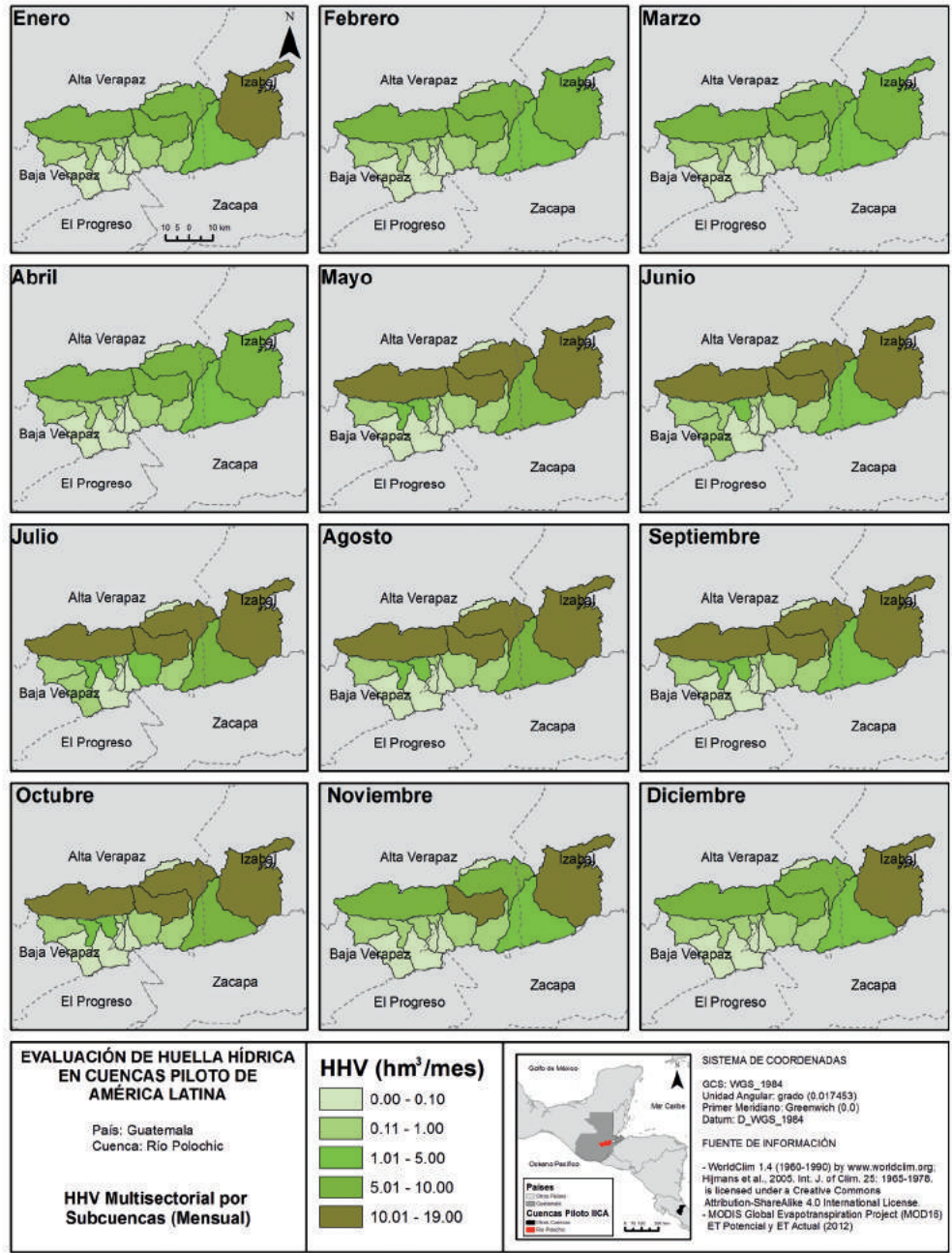


Mapa 12. Huella hídrica verde multisectorial anual – cuenca del río Polochic.

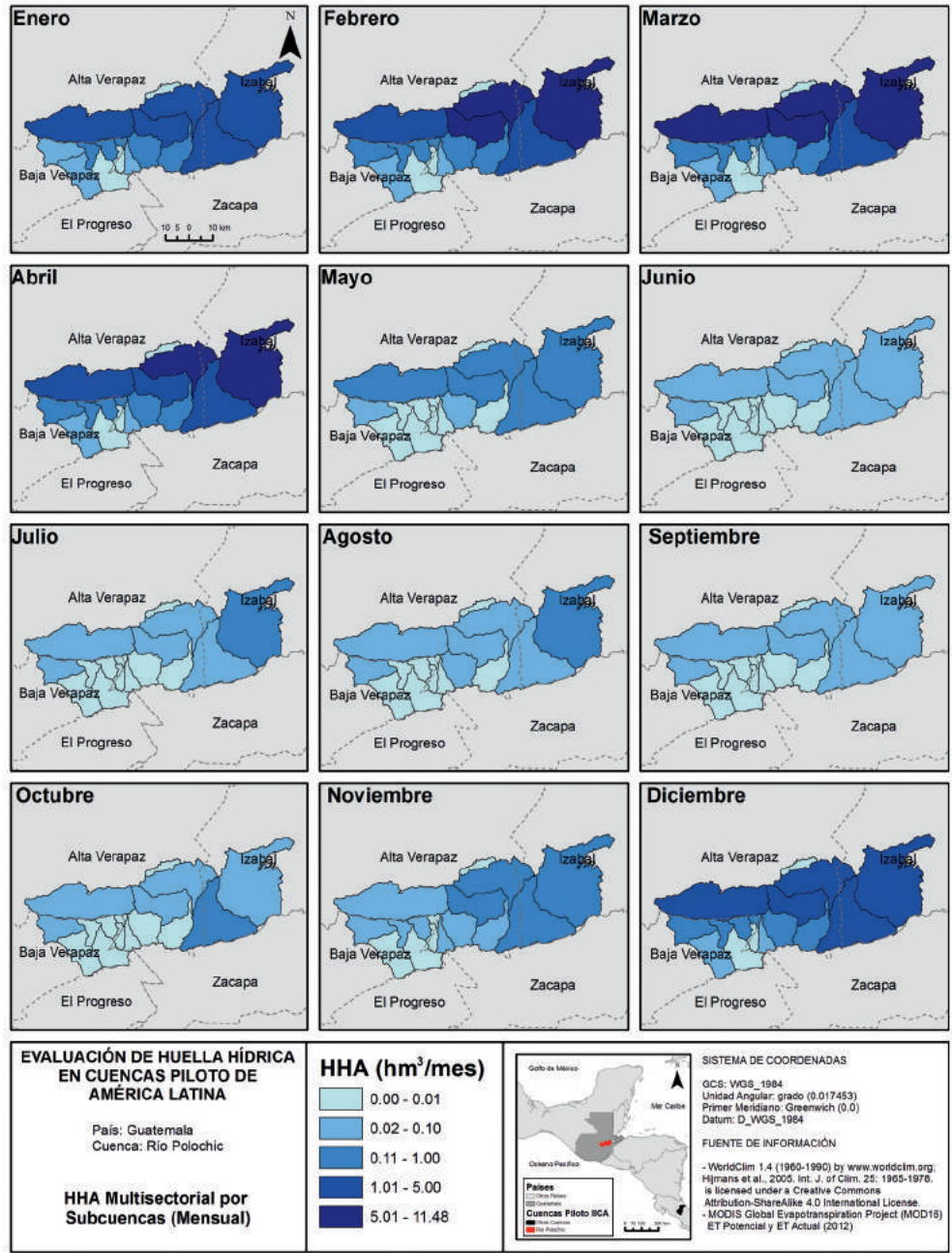


Mapa 13. Huella hídrica azul multisectorial anual – cuenca del río Polochic.



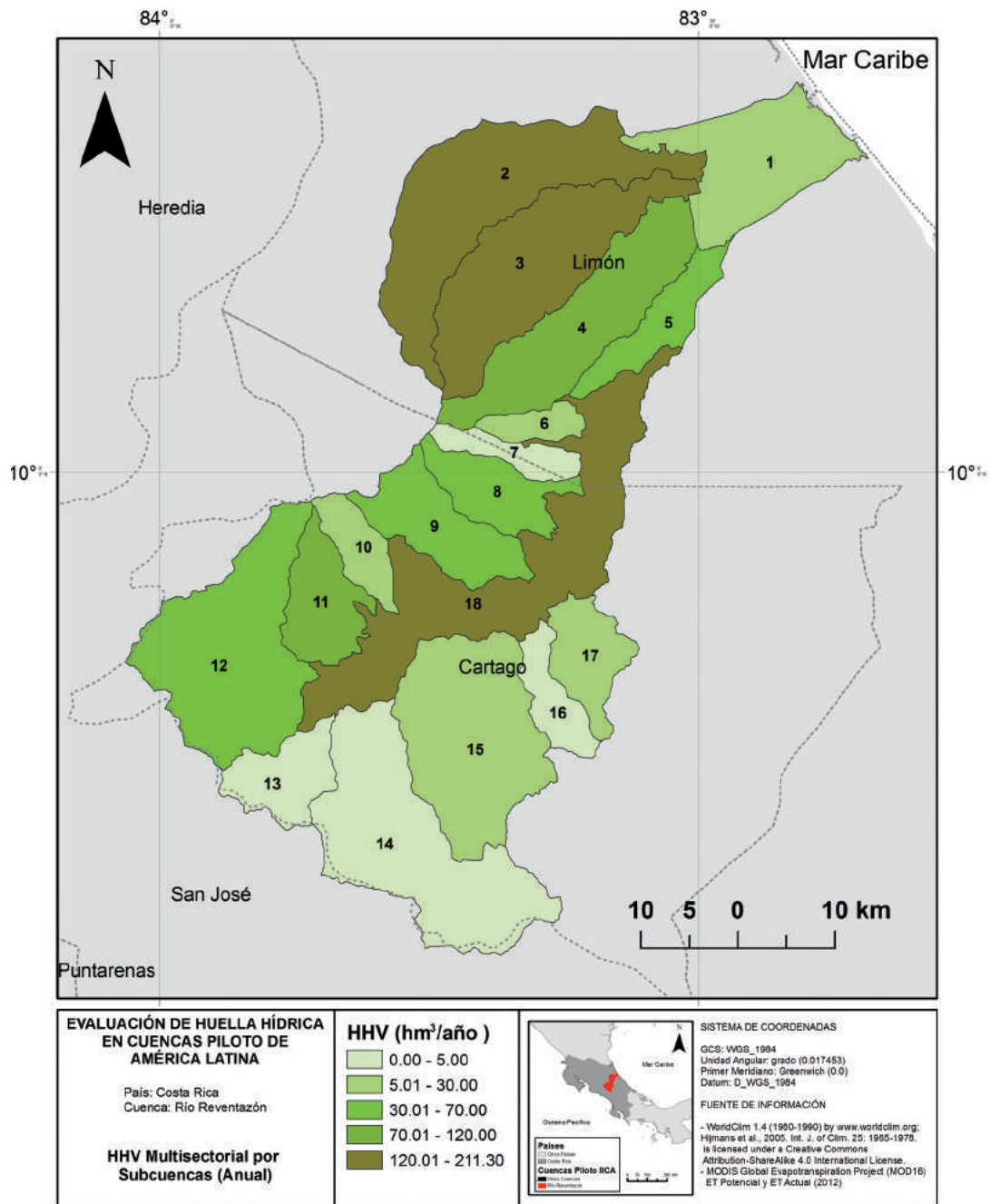


Mapa 14. Huella hídrica verde multisectorial mensual – cuenca del río Polochic.

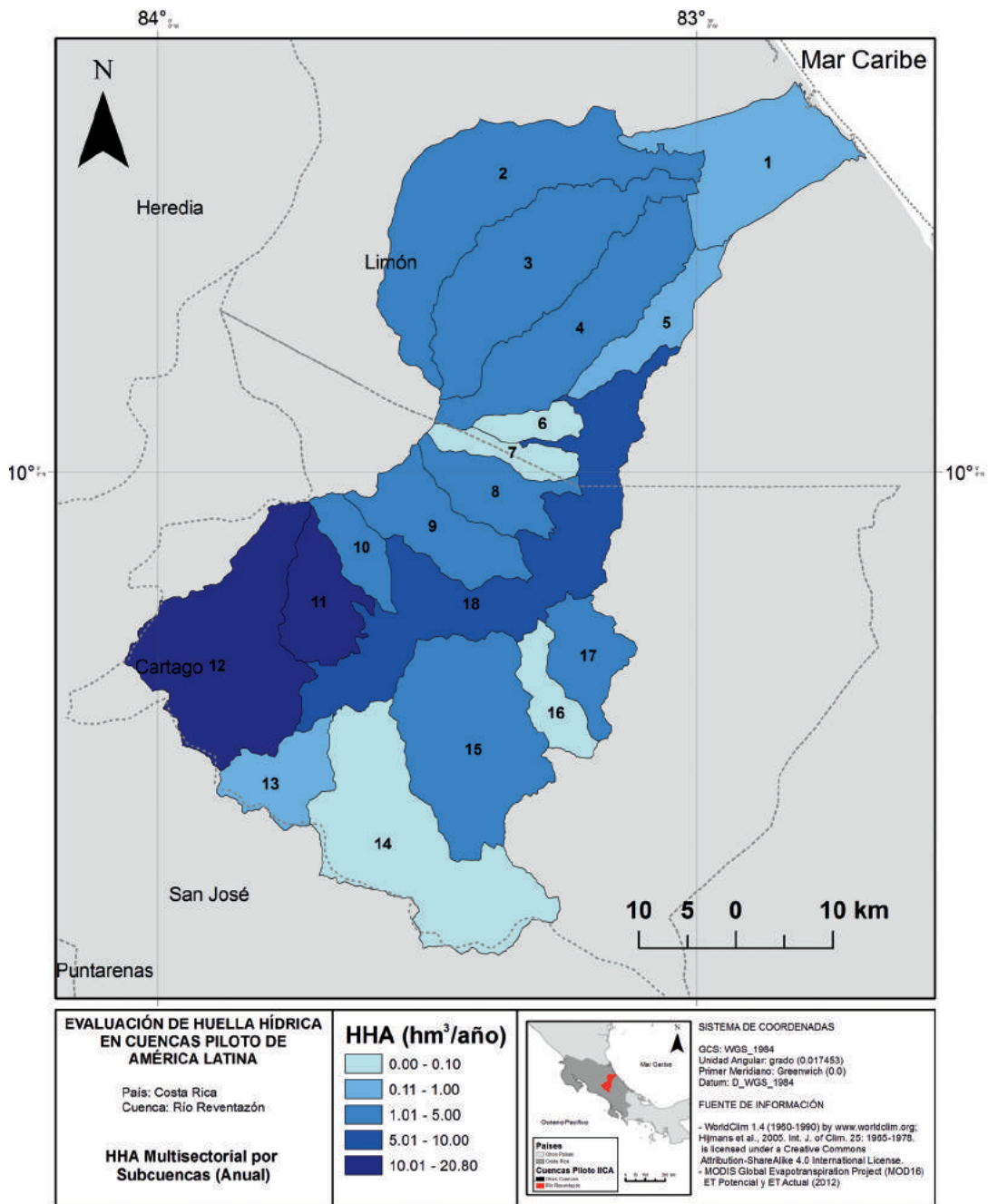


Mapa 15. Huella hídrica azul multisectorial mensual – cuenca del río Polochic.



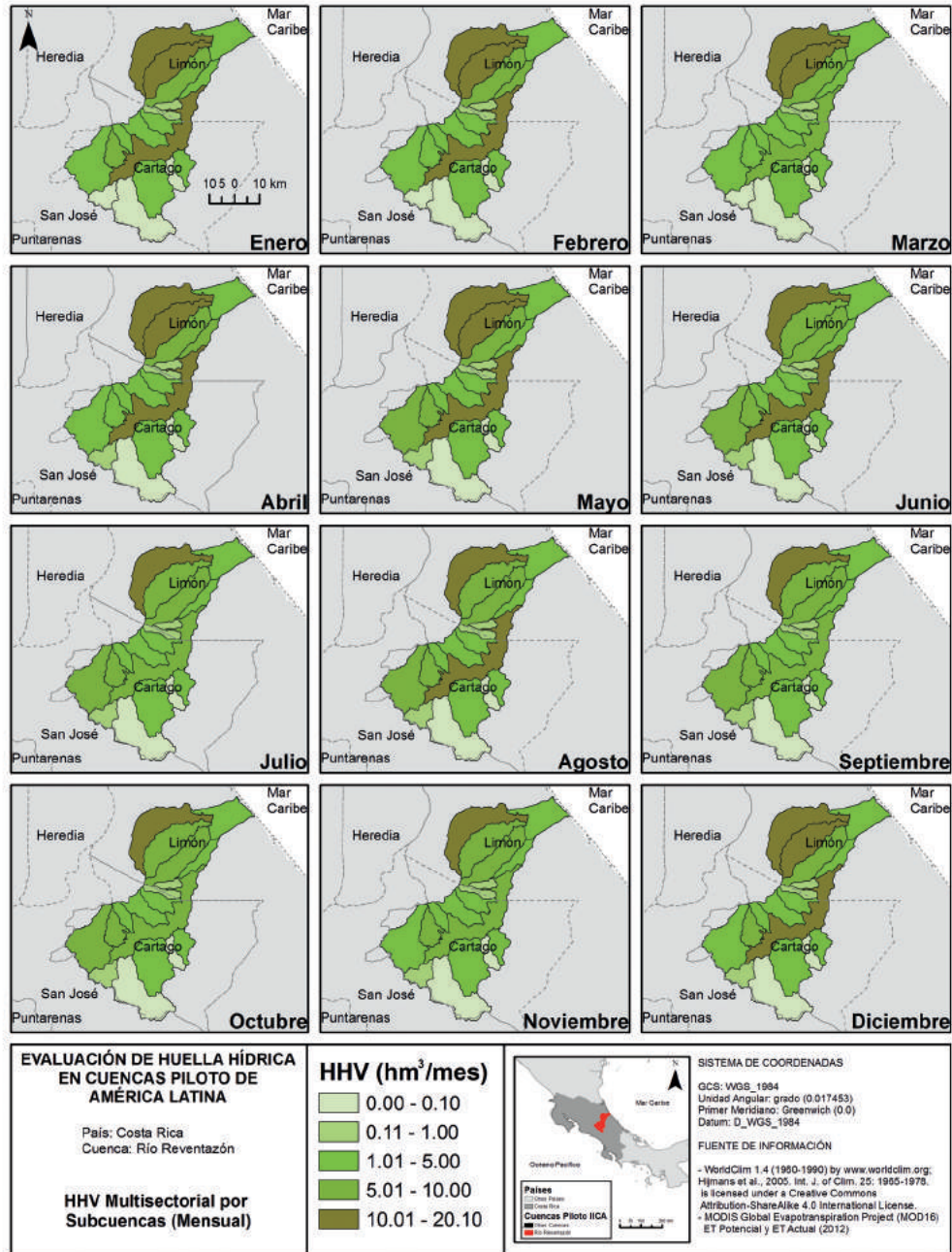


Mapa 16. Huella hídrica verde multisectorial anual – cuenca del río Reventazón.



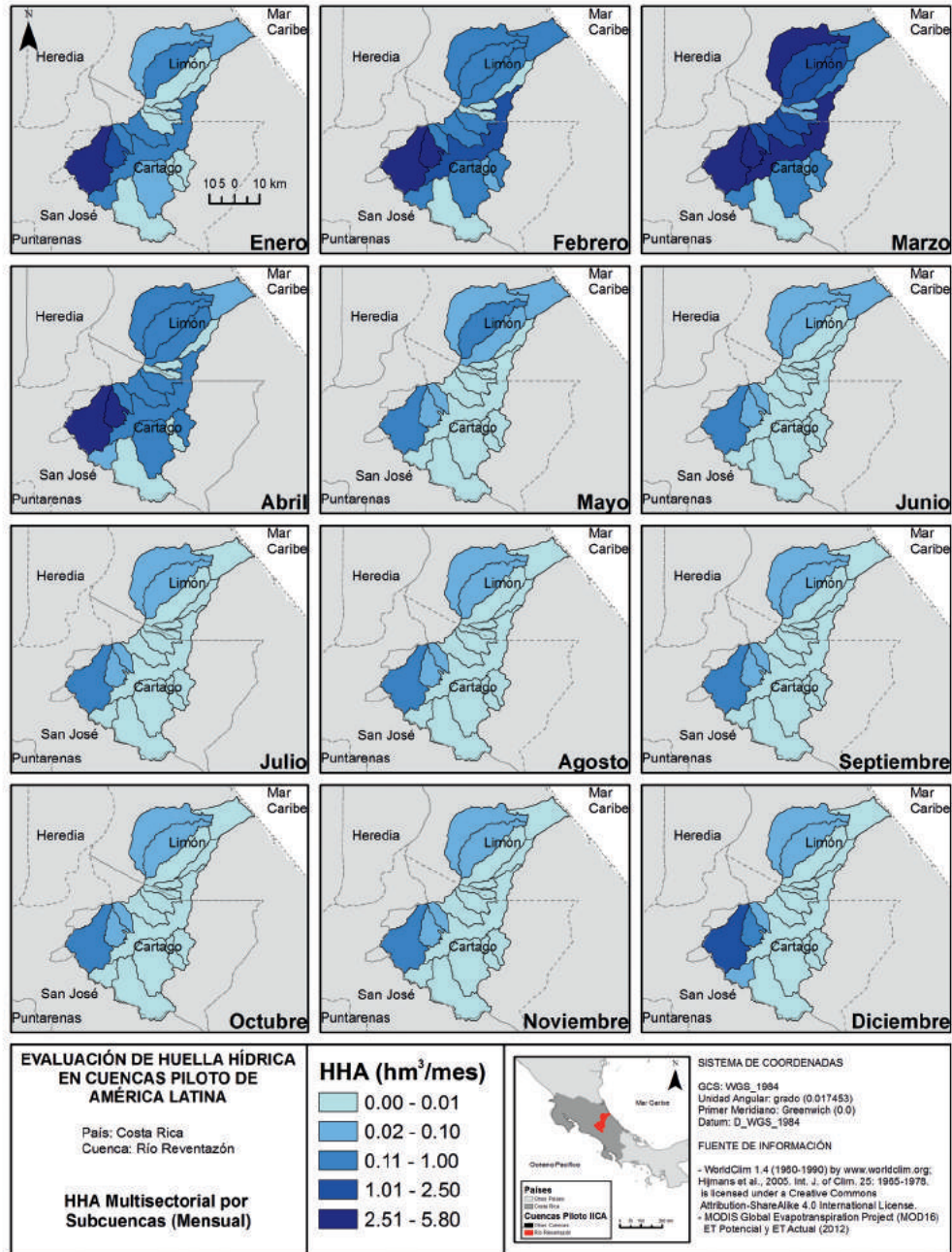
Mapa 17. Huella hídrica azul multisectorial anual – cuenca del río Reventazón.





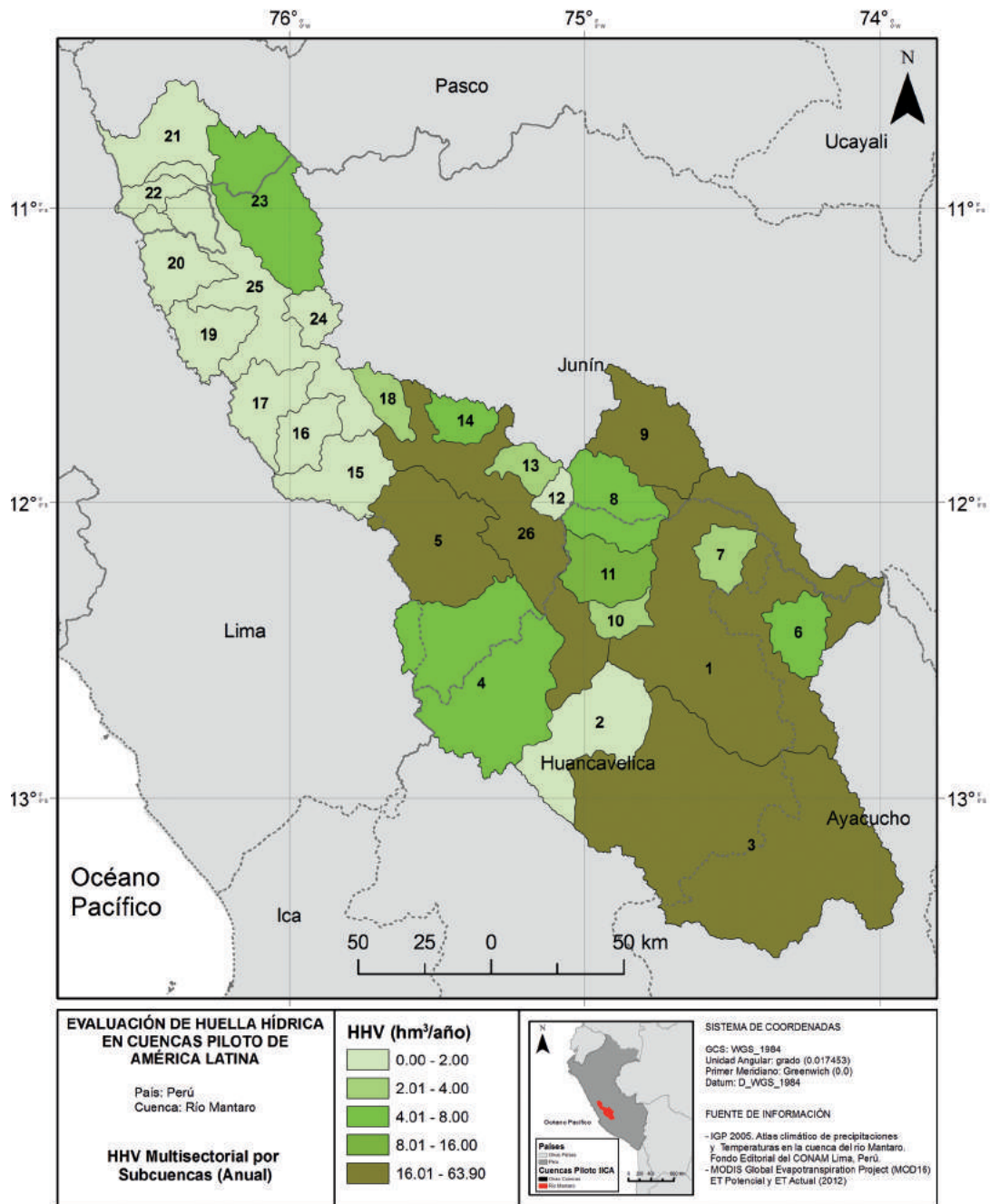
Mapa 18. Huella hídrica verde multisectorial mensual – cuenca del río Reventazón.



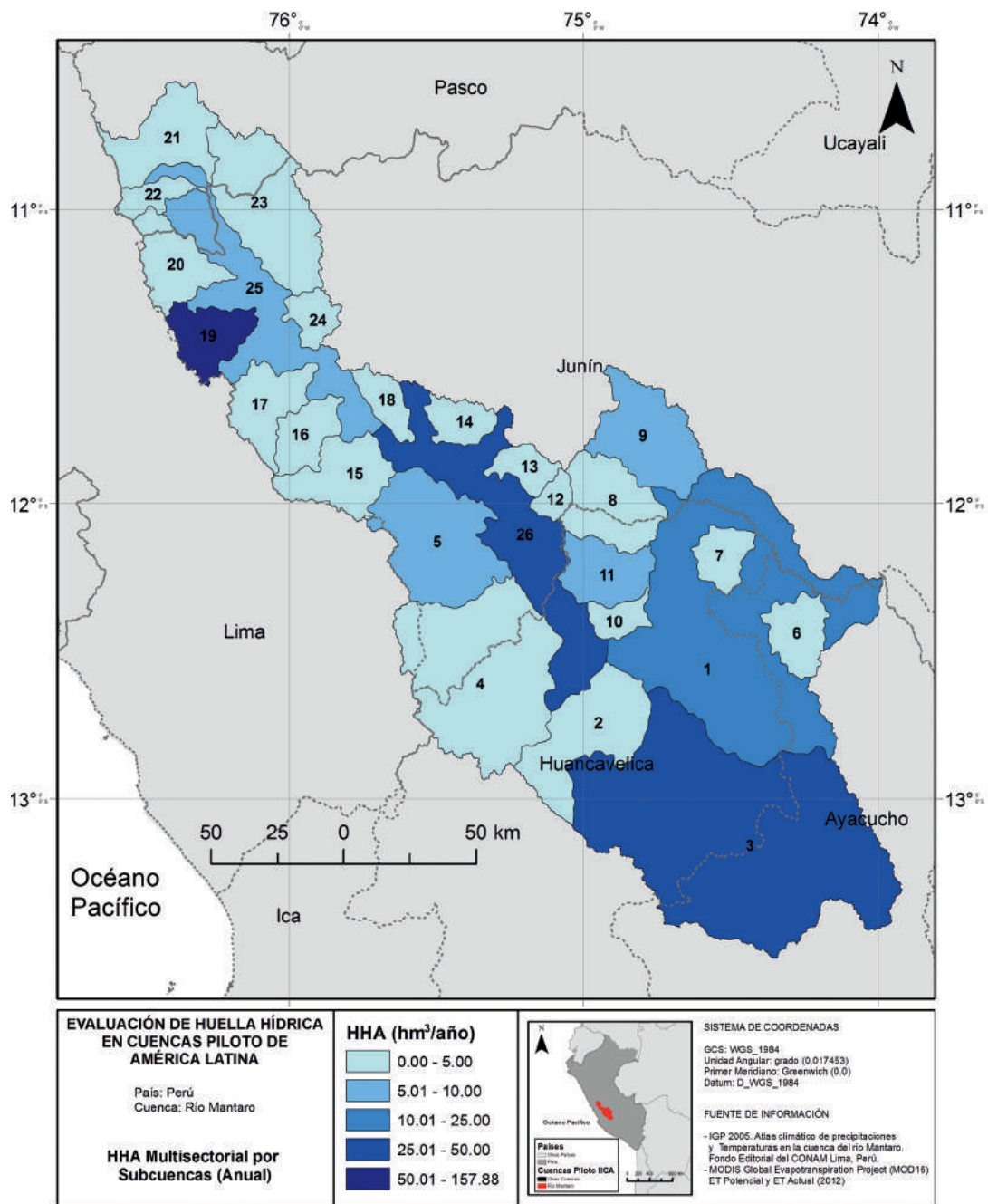


Mapa 19. Huella hídrica azul multisectorial mensual – cuenca del río Reventazón.



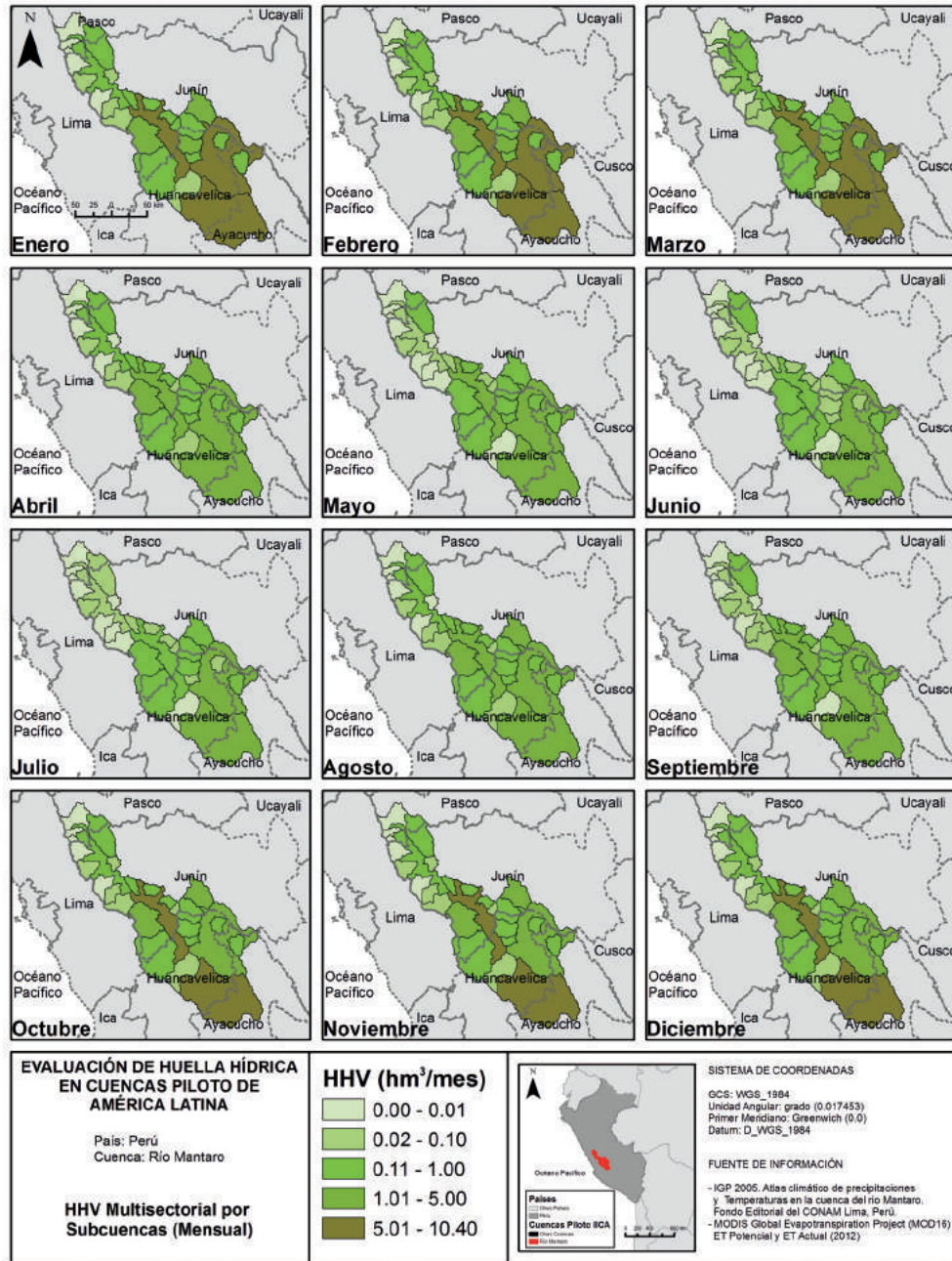


Mapa 20. Huella hídrica verde multisectorial anual – cuenca del río Mantaro.

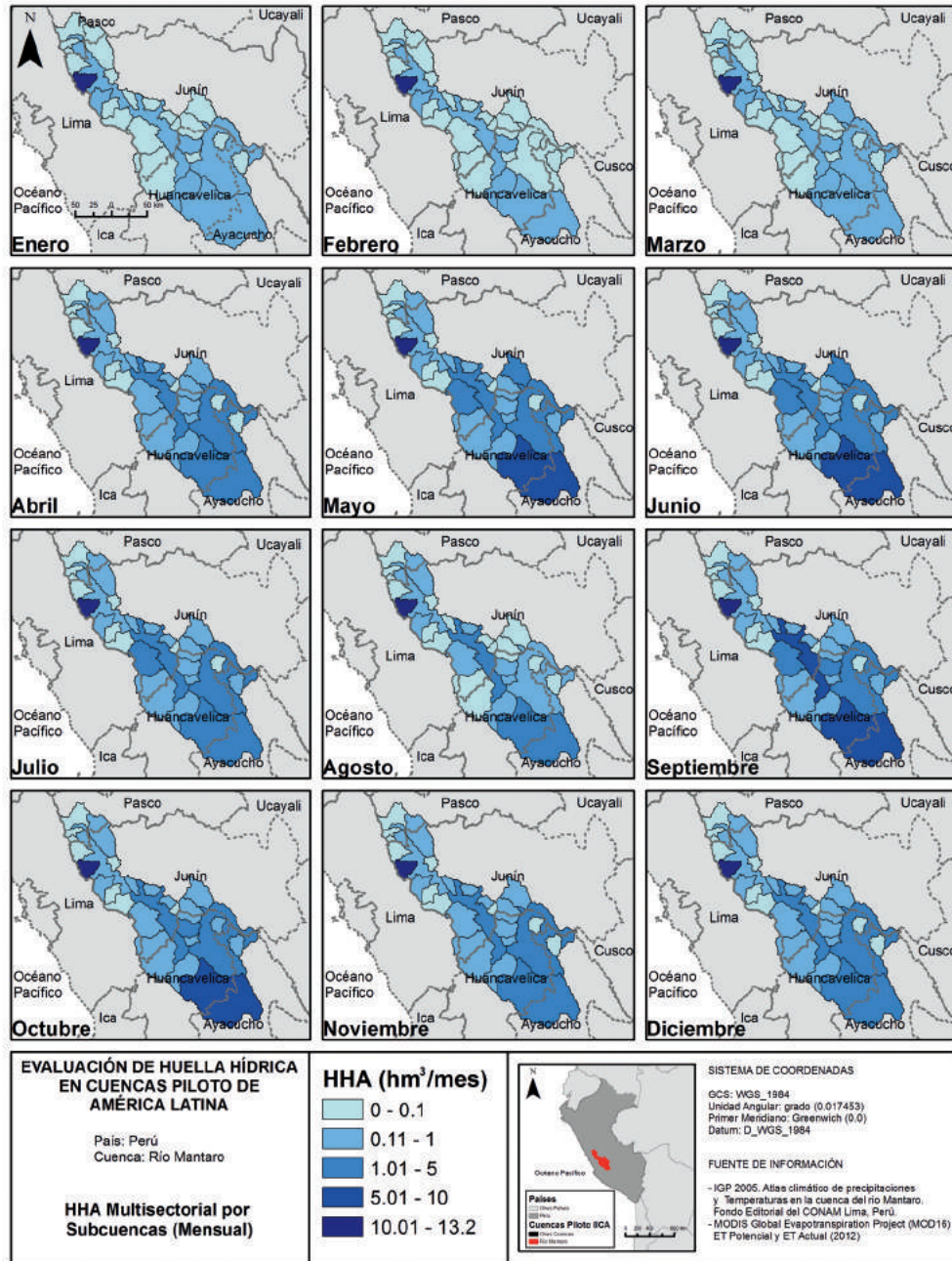


Mapa 21. Huella hídrica azul multisectorial anual – cuenca del río Mantaro.



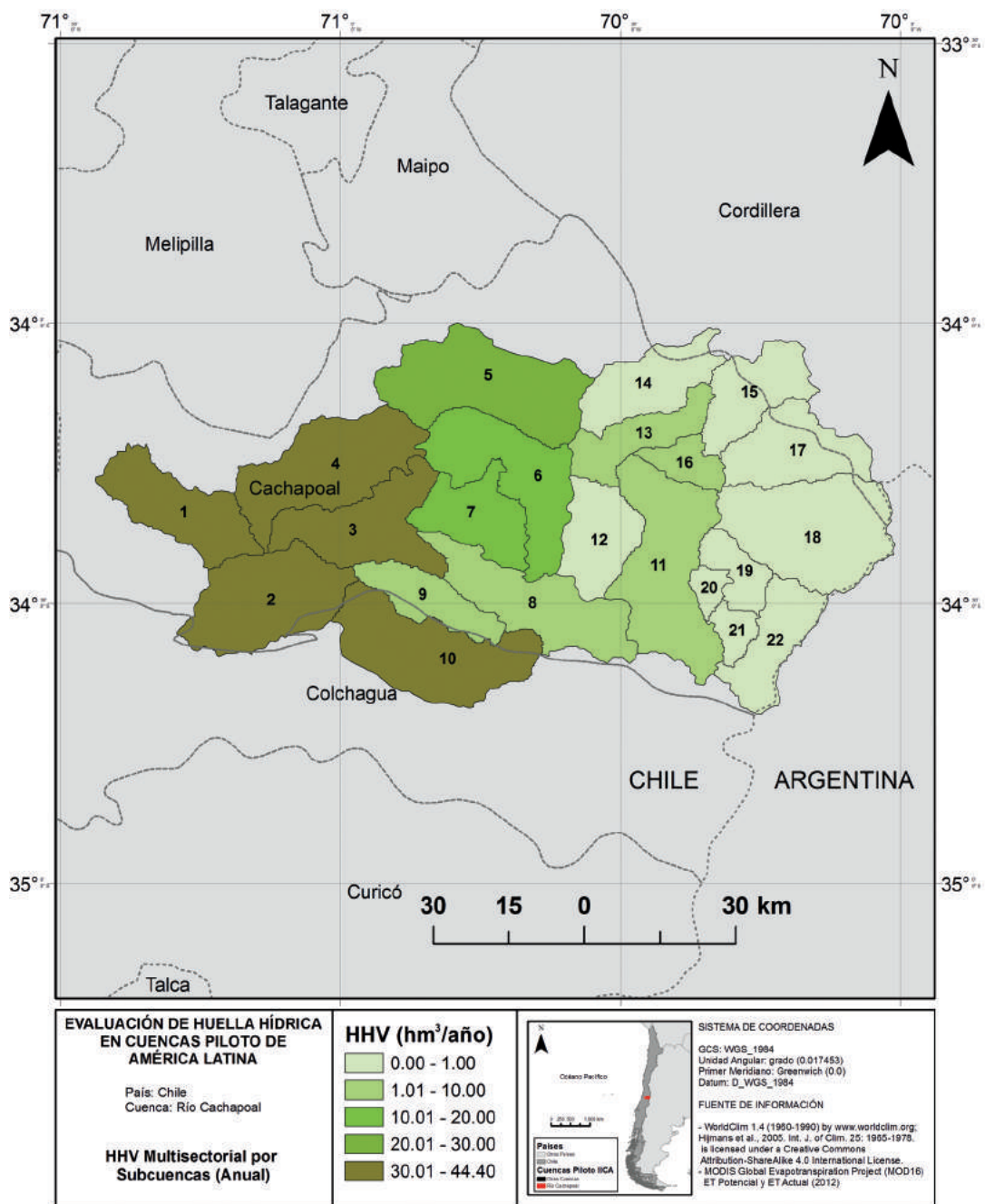


Mapa 22. Huella hídrica verde multisectorial mensual – cuenca del río Mantaro.

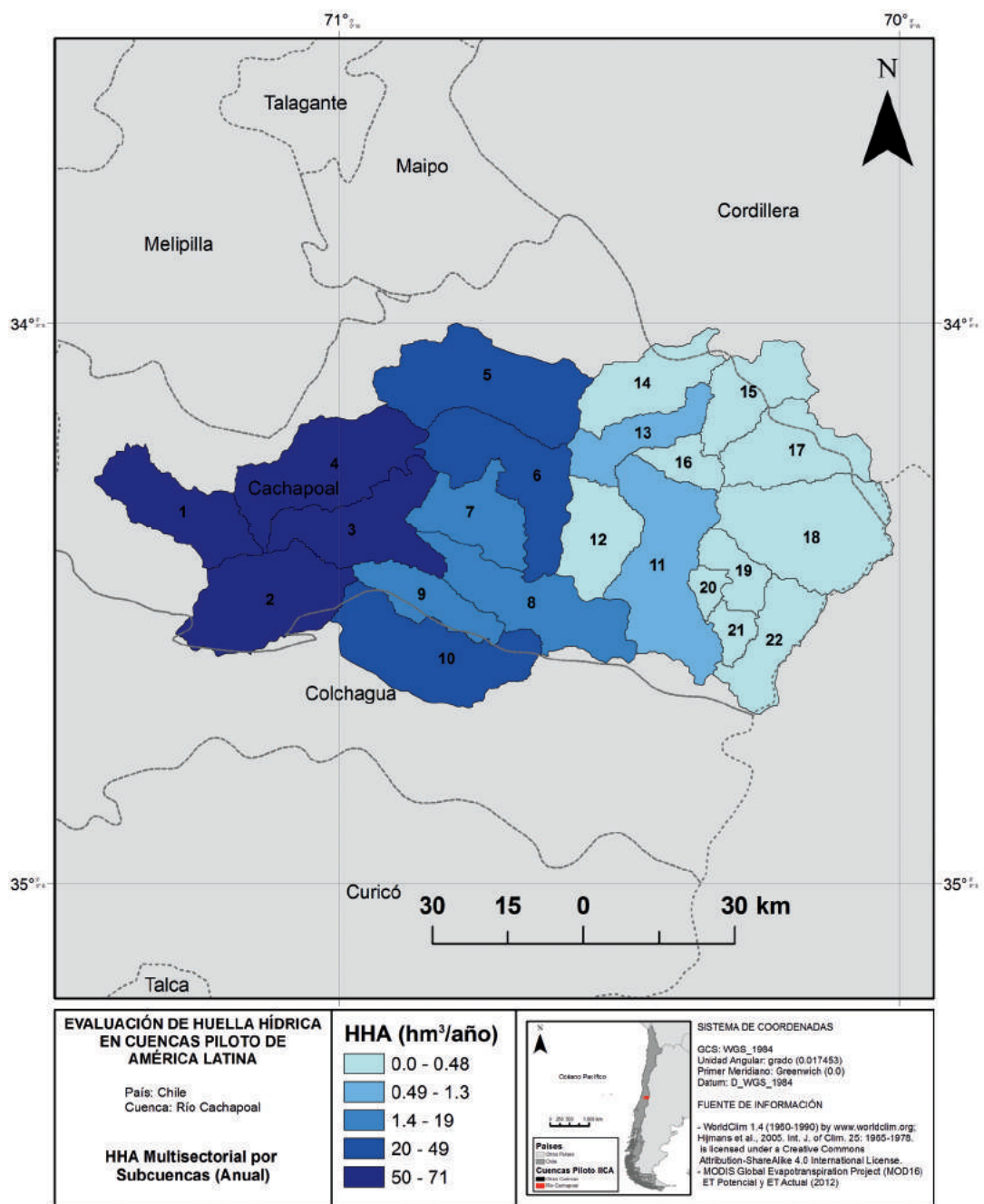


Mapa 23. Huella hídrica azul multisectorial mensual – cuenca del río Mantaro.



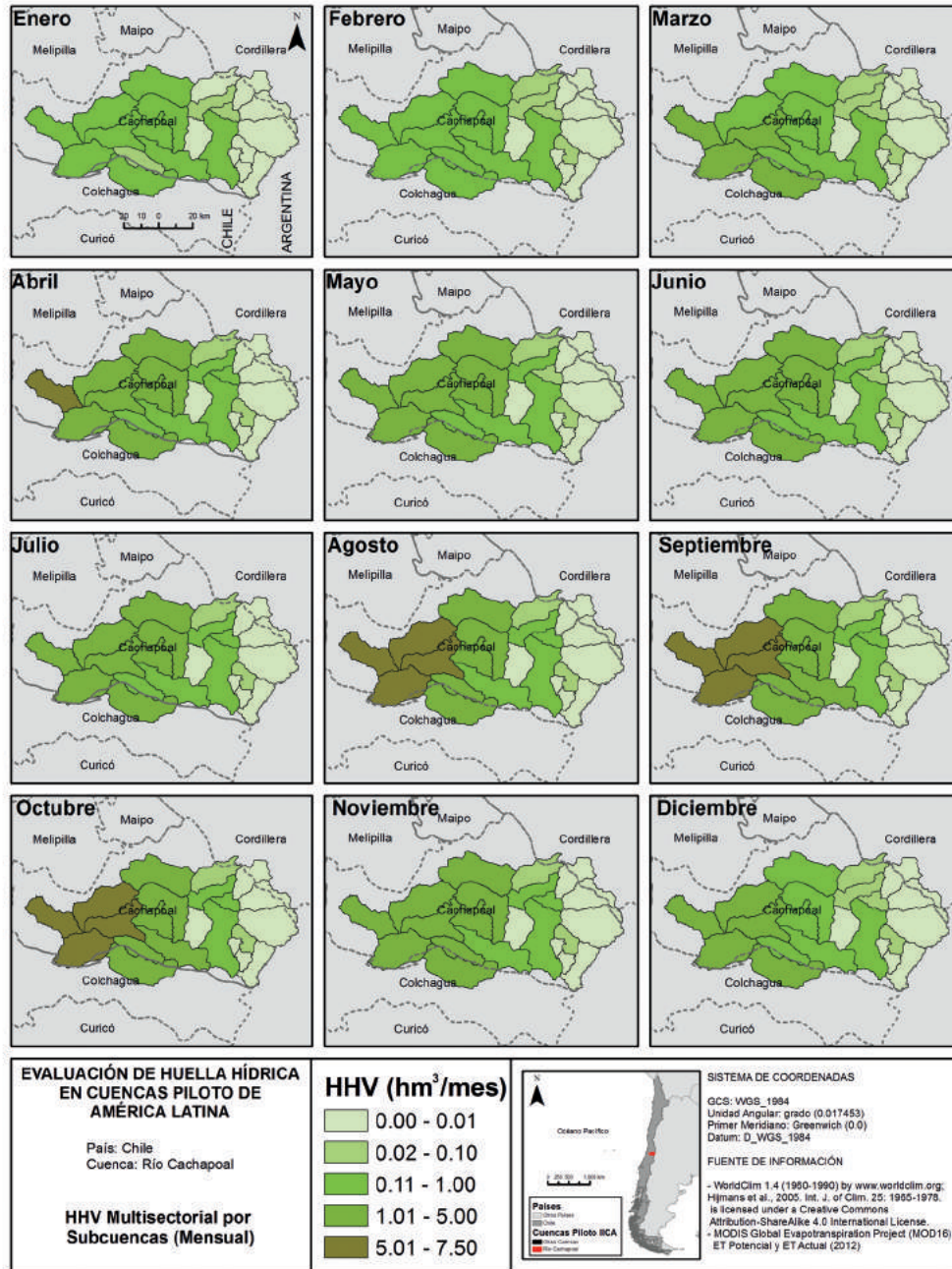


Mapa 24. Huella hídrica verde multisectorial anual – cuenca del río Cachapoal.

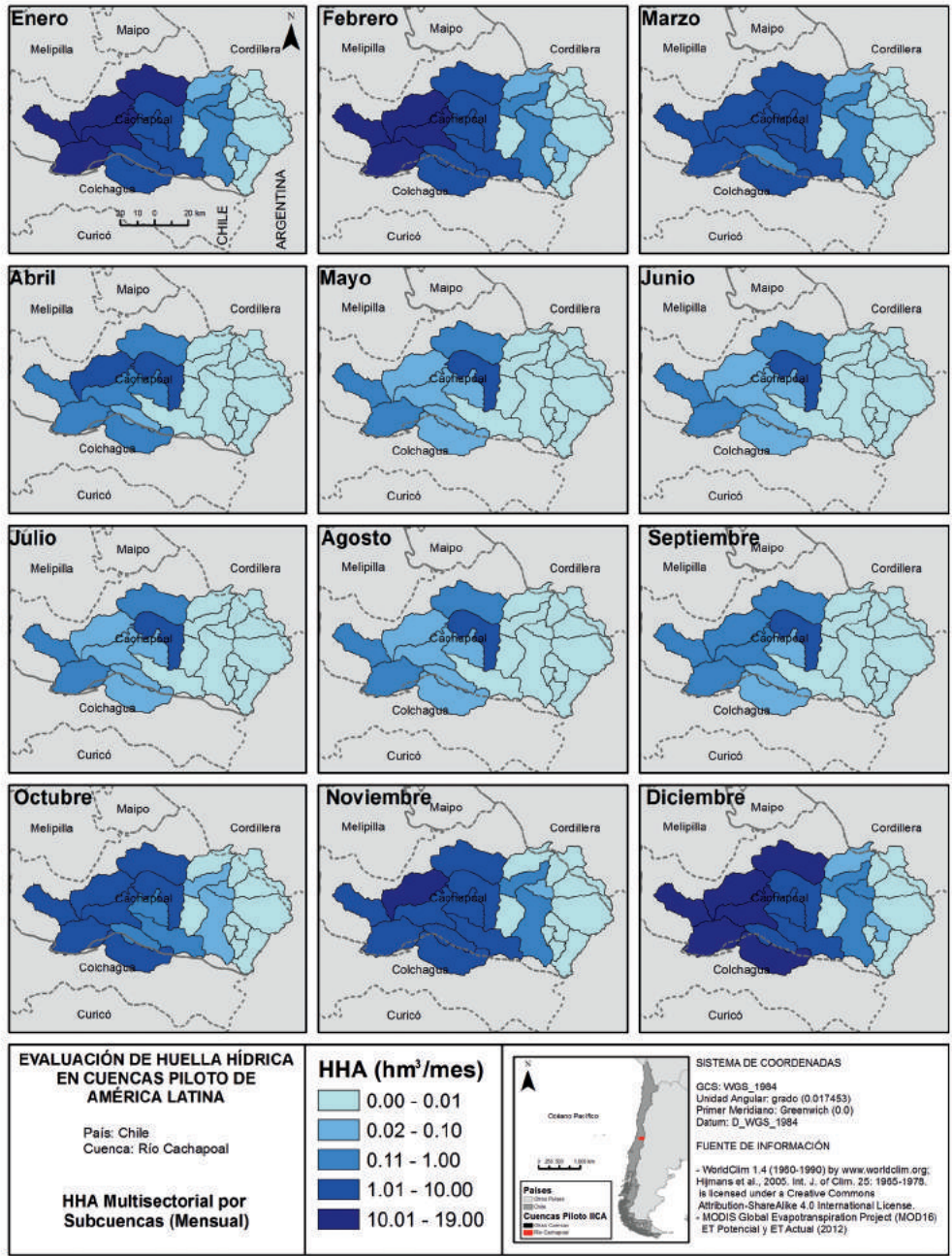


Mapa 25. Huella hídrica azul multisectorial anual – cuenca del río Cachapoal.





Mapa 26. Huella hídrica verde multisectorial mensual – cuenca del río Cachapoal.



Mapa 27. Huella hídrica azul multisectorial mensual – cuenca del río Cachapoal.



4.3. Fase 3 – Análisis de sostenibilidad

4.3.1. Evaluación de sostenibilidad ambiental del agua azul a nivel de cuenca

La evaluación de sostenibilidad ambiental, basada en la información de la huella hídrica azul en una cuenca, 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) y se sustenta en la relación entre la huella hídrica azul multisectorial, que refleja el agua demandada (extraída del sistema) y no retornada, y la disponibilidad de agua superficial a nivel de cuenca; esta relación se denomina *Índice de escasez de agua azul (IEAA)*.

En las unidades de análisis donde la huella hídrica azul multisectorial es mayor que la disponibilidad de agua superficial (oferta) se presenta insostenibilidad ambiental, bajo la información de agua azul y huella hídrica azul, lo cual significa que la oferta de agua superficial no satisface los consumos de agua de los sectores para esa unidad de análisis. El cálculo del Índice de escasez de agua azul se realiza a partir de la siguiente ecuación:

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

En donde:

$IEAA$: Índice de escasez de agua azul

$\sum HH_{Azul}$: Huella hídrica azul multisectorial al interior de la cuenca hidrográfica en un período de tiempo “t”, en volumen/tiempo.

$OHD_{Año_Medio}$: Oferta hídrica disponible en año medio que determina la disponibilidad de agua azul en la cuenca hidrográfica para el período de tiempo “t”, en volumen/tiempo.

Para facilitar la comprensión del resultado de este indicador se establecieron seis categorías de valores que permiten estimar el estado de este en cada una de las cuencas. Los rangos de las categorías varían entre estado **Crítico** para valores mayores a 1: que indican una huella hídrica azul que excede la oferta, por lo que solo se puede explicar considerando que son áreas con una fuente de agua alterna, por ejemplo, subterránea no contabilizada; **Muy alto** para valores entre 0,5 y 1: donde existe evidencia de 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 valores **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.



El resultado para cada una de las cuencas de análisis se presenta en el Cuadro 30 y permite identificar un valor correspondiente al rango **Muy alto** para la cuenca del río Yaqui, lo cual coincide con la información asociada a la competencia existente por los diferentes usos sobre el recurso hídrico. El segundo valor en magnitud lo presenta la cuenca del río Cachapoal, que tendrá un valor promedio **Alto**. Las otras tres cuencas presentan valores que permiten identificar una cantidad suficiente de agua para los usos identificados:

Cuadro 30. Evaluación de huella hídrica azul.

País	México	Guatemala	Costa Rica	Perú	Chile
Cuenca	Yaqui	Polochic	Reventazón	Mantaro	Cachapoal
Huella hídrica azul multisectorial (hm ³ /año)	706,5	137,3	63,9	317,8	437,0
Agua azul total (hm ³ /año)	2705,8	2759,4	4727,2	13 557,3	2828,8
Agua azul disponible (hm ³ /año) (60 %)	1623,5	1655,6	2836,3	8134,4	1697,3
IEAA	0,44	0,10	0,02	0,04	0,26

4.3.2. Evaluación de sostenibilidad ambiental del agua verde a nivel de cuenca

La evaluación de sostenibilidad ambiental, basada en la información de la huella hídrica verde en una cuenca, 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) y se sustenta en la relación entre la huella hídrica verde multisectorial (agropecuaria) y la disponibilidad de agua verde a nivel de cuenca; esta relación se denomina *Índice de escasez de agua verde (IEAV)*.

El IEAV permite determinar aquellas unidades geográficas donde la huella hídrica verde asociada a la actividad agropecuaria es superior a la disponibilidad de agua verde, lo que conlleva a un factor de insostenibilidad del territorio, reflejado en los conflictos por el uso del suelo entre las áreas de protección ambiental y la actividad agropecuaria. 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.

La disponibilidad de agua verde mensual está dada por la evapotranspiración real total para cada cuenca y subcuenca, menos la evapotranspiración real de la vegetación natural, y menos la evapotranspiración real de las zonas no productivas.

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

De donde:

$DAV_{mensual}$: Disponibilidad de agua verde para cada cuenca y subcuenca en un período de tiempo "t" en volumen/tiempo.



- $ET_{x,t(verde,mensual)}$: Evapotranspiración total verde al interior de cada cuenca y subcuenca, en volumen/tiempo.
- $ET_{x,t(natural,mensual)}$: Evapotranspiración reservada para el ambiente – equivalente al requerimiento ambiental de agua verde, en este caso corresponde a la evapotranspiración real anual de las áreas naturales, en volumen/tiempo.
- $ET_{x,t(no_prod,mensual)}$: Evapotranspiración en volumen/tiempo que no es posible hacer productiva, por ejemplo, cuerpos de agua o zonas de topografía abrupta, o por estar en zonas de asentamientos humanos y otras áreas intervenidas.

La anterior ecuación asume que, en una cuenca, se consideran las áreas de bosques naturales como áreas que deben ser protegidas y que esta definición se ha realizado con miras a la sostenibilidad ambiental de cada cuenca. Adicionalmente, implica que una parte de la evapotranspiración 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 ambiental de la cuenca con base en la información de agua verde, lo cual se obtiene de la relación entre la huella hídrica verde multisectorial y la disponibilidad de agua verde; esta relación se denomina *Índice de escasez de agua verde*.

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

De donde:

$IEAV$: Índice de escasez de agua verde.

$\sum HH_{verde}$: Sumatoria de la huella hídrica verde por cuenca en un período de tiempo “t”, en volumen/tiempo.

DA_{verde} : Disponibilidad de agua verde en la cuenca para el período de tiempo “t”, en volumen/tiempo.

Para facilitar la comprensión del resultado de este indicador, se han establecido seis categorías que permiten estimar su estado en cada una de las cuencas:

- **Crítico** para valores mayores a 1,0: denotan que existe clara competencia por agua verde entre el uso del suelo vinculado al sector agropecuario y las áreas naturales asociadas a ecosistemas estratégicos para la producción de agua en las cuencas.
- **Muy alto** para valores entre 0,8 y 1,0: existe evidencia de una situación límite en términos de competencia por agua verde.
- **Alto** para valores entre 0,5 y 0,8: existe evidencia de una situación de competencia por agua verde.



- **Moderado** para valores entre 0,3 y 0,5: existe una alerta de demanda de agua verde por parte del sector agropecuario que supera el 30 % del total disponible.
- **Bajo** para IEAV entre 0,1 y 0,3.
- **Muy bajo** para valores inferiores a 0,1: se considera que existe una situación favorable para ecosistemas estratégicos en las cuencas.

El resultado para cada una de las cuencas de análisis se presenta en el Cuadro 31 y permite identificar un valor correspondiente al rango **Muy alto** para la cuenca del río Reventazón, lo cual coincide con la información de áreas naturales y vocación agrícola existente en la cuenca, que está asociada a la competencia existente a causa de la ampliación de frontera agrícola en algunas de sus subcuencas. El segundo valor en magnitud lo presenta la cuenca del río Polochic, que tendrá un valor promedio **Alto**. Las otras tres cuencas presentan valores que permiten identificar una situación de desarrollo agropecuario que no da una alerta en torno a las zonas de conservación ambiental en las cuencas.

Cuadro 31. Evaluación de huella hídrica verde.

País	México	Guatemala	Costa Rica	Perú	Chile
Cuenca	Yaqui	Polochic	Reventazón	Mantaro	Cachapoal
Agua verde total (hm ³ /año)	22 262,7	3865,5	3606,7	31 493,7	1726,5
Agua verde disponible (hm ³ /año)	21 100,0	1113,5	908,6	13 969,3	1401,4
HH verde multisectorial (hm ³ /año)	1411,9	610,7	898,2	260,1	282,2
IEAV	0,07	0,55	0,99	0,02	0,20

Se destaca que los resultados de los indicadores de sostenibilidad ambiental se presentan como un valor medio de la cuenca, pero al hacer el análisis de estos indicadores por subcuenca, pueden aparecer puntos críticos que superen los valores presentados en los cuadros.



4.4. Fase 4 – Generación de respuestas

Antes de analizar cada una de las cuencas en relación con los resultados obtenidos en los indicadores IEAA y IEAV, es necesario aclarar que la generación de respuestas a los puntos críticos se puede elaborar en diferentes escalas de detalle, según lo definido en los objetivos del estudio. Por ejemplo, en el estudio de evaluación de huella hídrica en la cuenca del río Porce (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia 2013), la formulación de respuestas fue llevado hasta un proceso de priorización y formulación de los proyectos de intervención en el territorio; de un total de 60 acciones a implementar se priorizaron siete de ellas. En la Figura 46 se presenta un esquema general de las diferentes escalas o niveles que se pueden abordar en esta fase 4.

FASE 4: GENERACIÓN DE RESPUESTAS		
Nivel	Descripción	Actividades
Nivel 1	Comprende la identificación general de propuestas que pueden ser implementadas en el territorio para dar solución a los problemas identificados. No requieren de presupuesto, ni lugar específico de intervención. Corresponde más a una lluvia de ideas	Reuniones internas del equipo técnico, para determinar las propuestas de intervención. Estas reuniones se pueden complementar con asesorías de expertos
Nivel 2	Una vez identificado el listado de propuestas, se procede a elaborar una priorización de las mismas, a partir de criterios técnicos, económicos, sociales y ambientales	Reuniones y talleres de trabajo del equipo técnico con expertos para definir los criterios y la metodología de priorización. También se requiere recorridos en las zonas de estudio para tener un mejor entendimiento de las problemáticas en el territorio
Nivel 3	Las propuestas priorizadas, se estructuran en propuestas de proyectos que contiene objetivos, actividades, metodología, ubicación, presupuesto y cronograma de actividades. Adicionalmente se debe identificar posibles financiadores de los proyectos	Adicional a las actividades anteriores, se requiere hacer reuniones con actores públicos y privados, talleres territoriales con diferentes actores. Adicionalmente todo el proceso de formulación de proyectos que debe ir acompañado por expertos

Figura 46. Escalas de análisis para la generación de respuestas, fase 4.

Para el caso específico de este estudio se definió, con el equipo técnico, que la fase 4 se abordaría en el nivel 1, ya que los niveles 2 y 3 requerían análisis de mayor detalle y actividades en cada una de las cuencas (visitas de campo, talleres con expertos, entrevistas con entidades públicas y privadas, entre otras) que por las características de este estudio, se encontraban fuera de alcance.

4.4.1. Respuesta en la cuenca del río Yaqui

La definición de respuesta frente a los resultados de la evaluación de la huella hídrica en la cuenca se basa en los siguientes puntos:

- Condicionantes naturales de la cuenca
 - o Bajo rendimiento hídrico natural. Se estima un promedio de 1,2 l/s/km², que es aproximadamente la décima parte del rendimiento hídrico promedio a nivel global.
 - o Reducida área de bosques naturales. Se estima un 3,95 % del área total.
 - o Área limitada con vocación agrícola asociada a sistemas de riego. El área agrícola es un 5,1 % del área total de la cuenca.

- Punto crítico o hotspot ambiental

Los resultados de los indicadores son coherentes con lo esperado, considerando los condicionantes iniciales. No existe en la cuenca una competencia por agua verde, puesto que es una cuenca con limitada disponibilidad de agua que basa su desarrollo agrícola en el uso eficiente del agua azul, la cual es almacenada y regulada en varios embalses ubicados estratégicamente en la superficie de la cuenca. Lo anterior resulta consistente con el resultado del indicador de escasez de agua azul, que permite identificar una potencial tensión por usos sectoriales ubicados en la cuenca en el mismo período de tiempo.

- Estrategia de respuesta

La estrategia en torno al uso y consumo eficiente del agua azul se basa en la gestión del riesgo hídrico en cuenca, con la optimización y mejoramiento continuo de la eficiencia en el uso del agua. A continuación se citan tres líneas generales que pueden identificarse como posibles estrategias de respuesta a los resultados de la evaluación de huella hídrica:

- o Almacenamiento
La infraestructura hidráulica de almacenamiento de agua de gran tamaño que existe en la cuenca (tres embalses en la cuenca con aproximadamente 7 000 millones de m³ almacenados), demuestran que la estrategia de almacenamiento permite minimizar los impactos de la escasez. La construcción de acueductos y reservorios a lo largo de la cuenca se presenta como una estrategia que puede ser considerada para mitigar la competencia sectorial y temporal por disponibilidad de agua azul.
- o Recarga inducida de acuíferos
Otra forma de reducir la competencia por agua azul superficial se centra en mejorar la disponibilidad de agua azul subterránea; por esto, medidas y acciones que aporten



a mejorar la recarga natural de los acuíferos ayuda a mejorar la sostenibilidad ambiental de la cuenca.

- o Aumento de eficiencia en procesos antrópicos
Existen oportunidades en estas situaciones, asociadas al trabajo multisectorial a nivel de cuenca que permitan identificar los usos menos eficientes y su mejoramiento continuo, con base en la generación de consciencia sobre la sequía y la generación de trabajo intersectorial en la cuenca. Lo anterior responde como estrategia que reduce la presión sobre el agua a nivel de cuenca y minimiza los conflictos por uso en un contexto de escasez.

4.4.2. Respuesta en la cuenca del río Polochic

- Condicionantes naturales de la cuenca

- o Buen rendimiento hídrico natural. Se estima un promedio de 27,4 l/s/km², que es un 35 % más que el rendimiento hídrico promedio de Sudamérica (aprox. 20 l/s/km²).
- o Importante área de bosques naturales. Se estima un área aproximada del 70 % del área total.
- o Cuenca con clara vocación agrícola. El área agrícola es un 36,2 % del área total de la cuenca.

- Puntos críticos o *hotspot* ambiental

Los resultados de los indicadores son coherentes con lo esperado, considerando los condicionantes iniciales. Existe en la cuenca una evidente competencia por agua verde, puesto que es una cuenca con una clara vocación agrícola y con una importante área de bosques naturales, los cuales se ven amenazados por la ampliación de la frontera agrícola. La cuenca no presenta problemas identificados respecto a la competencia por agua azul.

- Estrategia de respuesta

La estrategia en torno al aumento en la eficiencia agrícola (producir más agricultura con menos recursos tierra y agua) reduce el riesgo hídrico unido a la deforestación y alteración de ecosistemas estratégicos para la producción de agua, directamente asociados con la sostenibilidad hídrica del territorio. A continuación se citan tres líneas generales que pueden identificarse como posibles estrategias de respuesta a los resultados de la evaluación de huella hídrica:

- o Creación de áreas de protección en las zonas de recarga hídrica
La ampliación de la frontera agrícola, asociada a la concentración de tierras y ampliación de agroindustria, genera la necesidad de conservación en la zona alta de la cuenca, para esto resulta ser una estrategia muy efectiva la promoción, a nivel de política pública, de áreas de reserva y protección en zonas que se determinan como estratégicas para la producción de agua y la garantía de sostenibilidad hídrica en la cuenca.



- o Adopción de cultivos eficientes
Implementar cultivos de café y cardamomo incorporándolos a sistemas agroforestales, aportando sombra, biomasa captada, lo que protege los suelos y da un valor agregado a este tipo de sistemas de producción más amigable con el ambiente. Además de tratar de incorporar cultivos en asocio (leguminosas) conjuntamente con granos básicos, lo cual generará protección en los suelos y aportes de abonos verdes y más humedad natural y otros aportes al ecosistema. Y en el caso de los sistemas con pasto, tratar de utilizar variedades que necesiten menor cantidad de agua y que aporten más beneficios de biomasa a sus sistemas productivos, adicionalmente se pueden propiciar y establecer sistemas silvopastoriles, o bien agroforestales con pastos (agrosilvopastoriles).
- o Promoción de esquemas de compensación por servicios ambientales
La compensación o pago por servicios ambientales (PSA) ha sido una estrategia que se ha implementado en varios países de la Región y que actualmente presenta una gran cantidad de experiencias y lecciones aprendidas en torno a la generación de incentivos a la conservación, aportando positivamente a la sostenibilidad hídrica de las cuencas.

4.4.3. Respuesta en la cuenca del río Reventazón

- Condicionantes naturales de la cuenca
 - o Rendimiento hídrico natural muy alto. Se estima un promedio de más de 50 l/s/km², que es 2,5 veces el rendimiento hídrico promedio de Sudamérica (aprox. 20 l/s/km²).
 - o Importante área de bosques naturales. Se estima un área aproximada superior al 70 % del área total.
 - o Cuenca con clara vocación agrícola. El área agrícola es un 25 % del área total de la cuenca.

- Puntos críticos o *hotspot* ambiental

Los resultados de los indicadores son coherentes con lo esperado, considerando los condicionantes iniciales. Existe en la cuenca una aparente competencia por agua verde, puesto que posee una clara vocación agrícola y con un área importante de bosques naturales, los cuales se encuentran casi en el límite de la competencia entre los requerimientos de agua verde del sector agropecuario y de las áreas naturales. La cuenca no presenta problemas identificados respecto a la disponibilidad y competencia por agua azul.

- Estrategia de respuesta

La estrategia en torno al aumento en la eficiencia agrícola (producir más agricultura con menos recursos tierra y agua) reduce el riesgo hídrico junto a la deforestación y alteración de ecosistemas estratégicos para la producción de agua, directamente asociados con la sostenibilidad hídrica del territorio. Se recomienda afinar los cálculos para identificar puntos claves a nivel de subcuenca, con información de detalle local, de forma que se puedan identificar y establecer respuestas concretas y localizadas geográficamente.



A continuación se citan tres líneas generales que pueden identificarse como posibles estrategias de respuesta a los resultados de la evaluación de huella hídrica:

- o Ampliación y fortalecimiento de áreas de protección en las zonas de recarga hídrica.
Costa Rica es mundialmente reconocida por la promoción de la conservación de los espacios naturales, en lo cual la cuenca del río Reventazón no es la excepción. No obstante la vocación de conservación existente, se identifica una actividad agropecuaria intensiva que se encuentra en el límite de agua verde disponible, por lo que las áreas de protección ambiental, a nivel de política pública, resultan determinantes como estrategia para la producción de agua y la garantía de sostenibilidad hídrica en la cuenca.
- o Creación, ampliación y fortalecimiento de esquemas de compensación por servicios ambientales.
La compensación o pago por servicios ambientales (PSA) ha sido una estrategia implementada en varios países de la Región, en la que Costa Rica también se presenta como líder a nivel regional, por lo que existen evidencias del aporte positivo sobre la sostenibilidad hídrica de las cuencas y sería una estrategia posible para complementar las estrategias de conservación desde el sector público.
- o Promoción de acción colectiva en torno a la conservación.
El Proyecto Hidroeléctrico Reventazón se ha identificado como uno de los actores principales en la cuenca que condiciona el estado actual y futuro de esta, por lo cual se considera que una estrategia por considerar será la generación de acción colectiva multisectorial en torno a la conservación del bosque en la cuenca media y alta y la preservación de la integridad ecosistémica de la cuenca.

4.4.4. Respuesta en la cuenca del río Mantaro

- Condicionantes naturales de la cuenca
 - o Rendimiento hídrico natural estimado en promedio regional. Se estima un promedio de 12,4 l/s/km², que es aproximadamente el rendimiento hídrico promedio a nivel global (10 l/s/km²).
 - o Reducida área de bosques naturales. Se estima un 7 % del área total. El área natural aumenta a un 36 %, considerando el ecosistema natural de vegetación arbustiva y herbácea de importancia en la zona altoandina.
 - o Área limitada con muy baja vocación agrícola. El área agrícola es un 0,8 % del área total de la cuenca.

- Puntos críticos o *hotspot* ambiental

Los resultados de los indicadores son coherentes con lo esperado, considerando los condicionantes iniciales. No existe en la cuenca una competencia por uso de agua verde ni competencia por uso de agua azul, para los sectores analizados y el territorio de la cuenca completa de la cuenca del río Mantaro; la disponibilidad cubre con las necesidades



multisectoriales. Esto se debe a una baja vocación agrícola relativa al potencial de área que presenta la cuenca.

- Estrategia de respuesta

Se identifica como estrategia la generación de información confiable y disponible relativa a la minería presente en la cuenca del río Mantaro, de forma que se pueda evaluar en el futuro la sostenibilidad hídrica de la cuenca con el uso de la huella hídrica gris.

4.4.5. Respuesta en la cuenca del río Cachapoal

- Condicionantes naturales de la cuenca

- o Rendimiento hídrico natural estimado en promedio regional. Se estima un promedio de 14,2 l/s/km², que es aproximadamente el rendimiento hídrico promedio a nivel global (10 l/s/km²).
- o Área moderada de bosques naturales. Se estima un área aproximada superior al 10,34 % del área total.
- o Cuenca con vocación agrícola moderada. El área agrícola es un 14,3 % del área total de la cuenca.

- Puntos críticos o *hotspot* ambiental

Los resultados de los indicadores son coherentes con lo esperado, considerando los condicionantes iniciales. En la cuenca impera una competencia moderada por agua verde, puesto que existe una cuenca con vocación agrícola y con área de bosques naturales, los cuales encuentran competencia por la ampliación de la frontera agrícola. La cuenca presenta una situación de competencia moderada respecto a los resultados de agua azul. Es la única cuenca que presenta indicadores de competencia moderada y equivalente, por lo tanto, permite el uso de recursos naturales (agua y tierra) para actividades antrópicas, pero sin comprometer la sostenibilidad de la cuenca por el momento.

- Estrategia de respuesta

La estrategia propuesta se centra en continuar con el proceso de optimización de las actividades productivas que utilizan agua verde, azul y tierras, de forma que se mantenga un límite productivo sostenible del territorio que permitirá una explotación óptima de agua verde y agua azul, mientras se maximiza el beneficio social y económico, todo esto sin penalizar la sostenibilidad ambiental de las cuencas.

Como estrategia general, aplicable a todas las cuencas, se recomiendan los siguientes puntos que pueden direccionar líneas de respuesta generales, las cuales pueden y deben ser afinadas según los requerimientos, posibilidades y oportunidades de cada cuenca o territorio en particular:

Mejorando la sostenibilidad del agua verde:

- a) Fomentar la forestación y reforestación de la cuenca en sitios claves para la seguridad ambiental y conservación futura del recurso hídrico.



- b) Capacitación y promoción de cultivos de cobertura, *mulch*, incorporación de materia orgánica, sistemas silvopastoriles, agroforestales, entre otras técnicas que permitan conservar la humedad del suelo con beneficios en la conservación de suelos, mejora de la fertilidad y biodiversidad benéfica del sistema productivo.

Reduciendo la competencia por el agua azul:

- c) Fomentar la eficiencia en los sistemas de conducción y distribución del riego, mediante la construcción de infraestructura adecuada y actualizada, así como el monitoreo y mantenimiento constante de esta, con el fin de prevenir pérdidas importantes de agua antes de su uso y reducir los costos por reparaciones mayores en los sistemas.
- d) Capacitación, promoción y financiamiento para los productores, de sistemas de riego de alta eficiencia como microaspersión, goteo, pivotes (lateral y central), de manera que puedan producir más con menor cantidad de agua.

Minimizando la huella hídrica gris:

- e) Se recomienda la generación de información confiable y disponible relativa a la contaminación generada por procesos antrópicos (fuentes difusas o localizadas), de forma que se pueda evaluar en el futuro la sostenibilidad hídrica de las cuencas con el uso de la huella hídrica gris.



5. Consideraciones finales y oportunidades

El concepto de la huella hídrica asociada al impacto generado sobre la cantidad de agua (huella hídrica verde y azul) y su evaluación multisectorial a nivel de cuenca hidrográfica, implica no solo la cuantificación del consumo de agua relacionado con los sectores económicos que hacen uso del agua en un territorio, es un concepto que, junto con sus bases metodológicas, ha introducido elementos que permiten mejorar y complementar la comprensión del balance hidrológico, permitiendo así enriquecer los análisis que se hacen en torno al ordenamiento y planificación de cuencas hidrográficas y demuestra ser una herramienta valiosa para la implementación de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), no solo en un territorio sino en aquellos sectores que más incidencia tienen a partir de los resultados obtenidos en la implementación del indicador.

A continuación se presentan las principales conclusiones acerca de la aplicación piloto de la metodología de evaluación de huella hídrica en cinco cuencas en Latinoamérica que a su vez, abre la puerta a varios retos y oportunidades, los cuales se citan a continuación.

- A nivel de concepto
 - o Uno de los aportes más relevantes de la huella hídrica, como concepto, está asociado con la incorporación del agua verde en la base conceptual y metodológica del análisis hídrico, a nivel de cuenca hidrográfica. Este concepto juega un papel estratégico en la actividad agropecuaria soportando la mayor parte de la producción agrícola y pecuaria en varios de los países de la Región, donde la precipitación natural y la vocación agrícola de la tierra se constituyen en parte fundamental del patrimonio natural de estos territorios.

El agua verde no ha sido anteriormente considerada ni contabilizada en conjunto con los análisis de gestión del recurso hídrico tradicionalmente hecho en los países a nivel de cuenca, por esto se presenta como una novedad conceptual que a partir de este estudio podrá ser refinada y considerada en la contabilidad hídrica de los países, con el fin de tener un panorama más realista y completo de la gestión del agua en cuencas hidrográficas en la Región.

Un buen aprovechamiento del agua verde permite explotar la ventaja comparativa de muchos de los países de la Región como potencia agrícola, frente a otros países que por sus características geográficas y climáticas requiere de la extracción, uso y consumo de grandes volúmenes de agua para satisfacer la demanda hídrica de sus cultivos mediante el riego.

- o Con la diferenciación conceptual del agua verde y el agua azul y su posterior aplicación en la estimación y evaluación de la huella hídrica verde y azul, se identifican dos nuevos indicadores que enriquecen y complementan los análisis previos de gestión integrada de recursos hídricos y gestión de cuenca realizados en cada uno de los países. La evaluación de las huellas hídricas azul y verde, se realizó utilizando los



índices de escasez de agua azul (IEAA) y escasez de agua verde (IEAAV), los cuales permiten tener nueva información sobre la sostenibilidad ambiental de las cuencas.

- Como herramienta que aporta información para una mejor adaptación al cambio climático
 - o La aplicación de la metodología de evaluación de la huella hídrica a nivel de cuenca, plantea grandes posibilidades en torno a dos aspectos fundamentales para conseguir reducir los impactos del cambio climático sobre los usos del agua, en especial sobre la agricultura.
 - La evaluación de la huella hídrica azul provee información asociada al uso eficiente del agua azul, entendiéndose la huella hídrica azul como la porción del agua usada que no está disponible para ningún otro uso, por lo que la identificación de oportunidades de optimización e incremento de eficiencia en el uso del agua azul repercute directamente en la reducción de la huella hídrica azul, generando consecuencias deseables a nivel de cuenca, como la reducción del potencial conflicto por uso multisectorial que tiende a incrementarse en algunas zonas como consecuencia del cambio climático. Por ejemplo: reducción de potencial de conflictos por uso de agua de riego, frente a otros usos domésticos o industriales.
 - La evaluación de la huella hídrica verde ofrece nueva información en torno a la sostenibilidad hídrica de las cuencas, planteando estrategias de conservación y restauración de áreas estratégicas para la producción de agua, como una medida efectiva y necesaria para mitigar los impactos del cambio climático en la región.
- A nivel de Región
 - o Según las estadísticas globales, la región de Latinoamérica tiene cerca de un 10 % de la población mundial, en aproximadamente un 15 % de la superficie continental, pero cuenta con cerca de un 25 % del agua dulce disponible en el planeta (Unesco 2008).

Estas estadísticas evidencian la riqueza natural de la región en un mundo globalizado con una población creciente, que adicionalmente está sometido al cambio climático y cuya sostenibilidad ambiental de largo plazo depende de dos factores principales:

1. De la conciencia de consumo y producción sostenible que seamos capaces de desarrollar en la población, tanto en la generación actual como en la futura, de forma que la población sea el principal observador crítico y propositivo de la gestión ambiental, entendiendo la corresponsabilidad existente entre todos los actores en la gestión del agua y la gestión del territorio a nivel de cuenca.
2. De la información disponible que genere insumos técnicos, científicamente soportados, que ayuden a los gobiernos a crear políticas públicas coherentes con la situación real y la perspectiva de desarrollo del territorio; a las empresas a entender su rol en la gestión sostenible de los recursos naturales desde la corresponsabilidad y a la sociedad en general a conocer, entender y tomar una



posición frente a la gestión del agua y territorio como parte importante de un patrimonio colectivo, del cual depende el desarrollo de las generaciones futuras.

Este primer estudio de evaluación de huella hídrica provee una nueva información que permite explorar las diferentes opciones que abren los resultados generados, que desde el nivel regional, da una clara muestra de la diversidad de situaciones que se pueden encontrar en Latinoamérica y por tanto, del gran abanico de oportunidades que se presentan acordes a esta diversidad.

- o Esta primera aproximación permite evaluar el potencial de la aplicación de la evaluación de la huella hídrica desde la diversidad, pero también evidencia que el nivel de incertidumbre continúa siendo muy alto al intentar conseguir homogeneidad en un estudio de tipo regional y de las características de esta primera aproximación.

Se considera que una de las conclusiones y de los resultados obtenidos se centra en la evidente necesidad de minimizar la incertidumbre de los cálculos y del proceso, lo cual se consigue generando más y mejor información y fortaleciendo los canales para mejorar la disponibilidad de esta información, no solo en textos, informes y cuadros, sino en formatos geográficos que permitan afinar los resultados en el nivel territorial de interés en cada caso.

- A nivel de países
 - o Este estudio se presenta a los países incluidos en la selección de las cuencas piloto como un primer paso, que puede ser comparado con la experiencia desarrollada en Colombia, donde la evaluación de huella hídrica se aplicó para las 316 cuencas del país, en perfecta armonía y coordinación con estudios anteriores realizados por las entidades del gobierno, y demostró, superando la expectativa inicial, que puede aportar información nueva y complementaria que permita mejorar la información base para la planificación y ordenamiento de cuenca, incrementando la posibilidad de generación de políticas, programas, planes y proyectos mejor alineados con la realidad hídrica y sectorial de las cuencas y por tanto, mejorando y ampliando sus impactos, frente a la sostenibilidad hídrica y la adaptación al cambio climático, a medio y largo plazo.
 - o Este estudio se presenta a los países no incluidos en la selección de las cuencas piloto como un ejemplo para analizar por país y en el contexto regional, esperando que los países encuentren posibilidades que atiendan su necesidad local, en la diversidad de resultados obtenidos en esta primera aproximación.
- A nivel de cuenca
 - o Se presentan resultados que podrán ser considerados de manera complementaria para fortalecer los instrumentos de planificación y ordenamiento de cuenca. Los nuevos indicadores basados en agua verde y en agua azul, por cuenca y subcuenca, aportan información relevante para la planificación territorial y sectorial y han demostrado en las aplicaciones previas que no invalidan ningún análisis anterior, pues siempre complementan y suman aportando nueva información relevante para la sostenibilidad hídrica del territorio.



- A nivel de sectores económicos
 - o De acuerdo con los resultados obtenidos para cada uno de los sectores analizados, se determinó que el sector agropecuario es el de mayor impacto en las cuencas de análisis, en términos de huella hídrica azul y verde; este resultado es acorde a otros estudios donde también se reporta que este sector tiene mayor huella hídrica que otros sectores, como el industrial o el energético.

Lo anterior representa una gran responsabilidad para el sector agropecuario, que utilizando la huella hídrica y sus conceptos bases, se perfila como un líder natural de la gestión hídrica en las cuencas, sin que esto signifique regresar a la mirada sectorial del agua que se implementó varias décadas atrás, sino con una mirada multisectorial que entiende y comunica de manera transparente su rol e invita a otros a hacer lo mismo, entendiendo que la información clara y disponible es un paso fundamental en la construcción de confianza, y que la huella hídrica no es más que una herramienta que tiene un propósito común con la mayoría de instrumentos de evaluación, planificación y ordenamiento territorial a nivel de cuenca: la generación de acción colectiva efectiva en torno a la sostenibilidad del agua.

Es importante resaltar el nivel de incertidumbre y limitaciones de este estudio, que se presenta como un primer estudio piloto de ámbito regional y como una de las etapas de un proceso de investigación y aplicación del concepto de la huella hídrica a nivel de la región de Latinoamérica y el Caribe, basado en las experiencias previas de aplicación a nivel regional, especialmente en la de Colombia en el Estudio Nacional del Agua 2014, y que debe continuar, con el fin de mantener el proceso de mejora continua en los temas metodológicos de aplicación y en la profundización y detalle en las cuencas y países donde los resultados reflejan puntos críticos.

Es de resaltar la colaboración de los puntos focales y especialistas de los sectores ambiente y agrícola de los países, en cuanto al suministro de información y acompañamiento en el uso de esta, no obstante, este estudio es evidencia clara de uno de los grandes retos del futuro, en términos de hacer una efectiva y eficiente generación, recopilación, sistematización y análisis de la información sectorial de uso del agua en cuencas estratégicas, y del sector privado en términos de compartir su información relativa al uso del agua.

Información de los usos del agua representativa, confiable, contrastable y disponible, es el único camino posible para lograr 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, de los países y de Latinoamérica como región.



Bibliografía

- Banco Mundial. 2011. Chile: diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos (en línea). Santiago, Chile. Consultado 20 ago. 2016. Disponible en http://www.dga.cl/eventos/Diagnostico%20gestion%20de%20recursos%20hidricos%20en%20Chile_Banco%20Mundial.pdf.
- CTA (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia). 2013. Evaluación de la huella hídrica en la cuenca del río Porce. Medellín, Colombia.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua, México). 2011. Estadísticas del agua en México, edición 2011 (en línea). Ciudad de México, México. Consultado 20 ago. 2016. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.pdf>.
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, México). 2014. Informe de evaluación de la Política de Desarrollo Social (en línea). Ciudad de México, México. Consultado 20 ago. 2016. Disponible en http://www.coneval.org.mx/Informes/Evaluacion/IEPDS_2014/IEPDS_2014.pdf.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2000. New dimensions in water security (en línea). Roma, Italia. Consultado 16 nov. 2016. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/misc25.pdf>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2006. Calendario de cultivos. América Latina y el Caribe - producción y protección vegetal (en línea). Roma, Italia. Consultado 16 nov. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/009/a0600s/a0600s00.htm>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2009. Modelo CROPWAT 8.0 (en línea, sitio web). Roma, Italia. Consultado 10 oct. 2016. Disponible en http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2015. AQUASTAT: Chile (en línea, sitio web). Roma, Italia. Consultado 20 ago. 2016. Disponible en http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/CHL/indexesp.stm.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2015. AQUASTAT: Guatemala (en línea, sitio web). Roma, Italia. Consultado 30 ago. 2016. Disponible en http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/GTM/indexesp.stm.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2015. AQUASTAT: México (en línea, sitio web). Roma, Italia. Consultado 30 ago. 2016. Disponible en http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/MEX/indexesp.stm.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2015. AQUASTAT: Perú (en línea, sitio web). Roma, Italia. Consultado 30 ago. 2016. Disponible en http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/PER/indexesp.stm.



- Global Landcover Facility. 2014. MODIS Land Cover (en línea). Consultado 10 ago. 2016. Disponible en <http://www.landcover.org/data/lc/>.
- Hoekstra, A; Chapagain, A; Aldaya, M; Mekonnen, M. 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard (en línea). Reino Unido. Consultado 10 ago. 2016. Disponible en http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, CO). 2015. Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, Colombia. 496 p.
- IGP (Instituto Geofísico del Perú). 2005. Atlas climático de precipitación y temperatura en la cuenca del río Mantaro (en línea). Lima, Perú. Consultado 15 ago. 2016. Disponible en <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/atlas-climatico-precipitacion-temperatura-aire-cuenca-rio-mantaro>.
- INE (Instituto Nacional de Estadística, Chile). 2007. Censo Agropecuario y Forestal (en línea). Santiago, Chile. Consultado 12 ago. 2016. Disponible en http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/censo_agropecuario_07_comunas.php.
- INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2014. Estadísticas demográficas y vitales (en línea). Ciudad de Guatemala, Guatemala. Consultado 5 sept. 2016. Disponible en <http://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/01/13/FijigScCmvJuAdaPIozybqKmr01Xtkjy.pdf>.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos, Costa Rica). 2014. Censo Nacional Agropecuario (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 10 ago. 2016. Disponible en http://www.inec.go.cr/wwwis/documentos/INEC/Censos/2014%20-%20Censo%20Nacional%20Agropecuario/Tomos_Censales/Tomo_I_caracteristicas_de_las_fincas_y_de_las_personas_productoras.pdf.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México). 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal (en línea). Consultado 10 ago. 2016. Disponible en http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/default.aspx.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, Perú). 2012. IV Censo Nacional Agropecuario del Perú (en línea). Consultado 10 ago. 2016. Disponible en <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/>.
- INFOAGRO (Sistema de Información del Sector Agropecuario Costarricense). 2014. Estadísticas agropecuarias de Costa Rica (en línea). Consultado 15 ago. 2016. Disponible en <http://www.infoagro.go.cr/EstadisticasAgropecuarias/Paginas/default.aspx>.
- INGP (Instituto Nacional Geográfico del Perú). s. f. Usos del suelo para Perú (en línea). Consultado 2 sept. 2016. Disponible en <http://www.ign.gob.pe/>.
- Mekonnen, M; Hoekstra, A. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products (en línea). Hydrology and Earth System Sciences 15(5):1577-1600. Consultado 8 sept. 2016. Disponible en http://waterfootprint.org/media/downloads/Mekonnen-Hoekstra-2011-WaterFootprintCrops_1.pdf.



- Mekonnen, MM; Pahlow, M; Aldaya, MM; Zarate, E; Hoekstra, AY. 2015. Sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution in Latin America and the Caribbean. *Sustainability* 7(2):2086-2112.
- Oficina de Información Diplomática, España. 2016. Ficha país: Perú (en línea). Madrid, España. Consultado 15 ago. 2016. Disponible en http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/PERU_FICHA%20PAIS.pdf.
- Oficina de Información Diplomática, España. 2016. Ficha país: Chile (en línea). Madrid, España. Consultado 15 ago. 2016. Disponible en http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/CHILE_FICHA%20PAIS.pdf.
- Oficina de Información Diplomática, España. 2016. Ficha país: Guatemala (en línea). Madrid, España. Consultado 15 ago. 2016. Disponible en http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/GUATEMALA_FICHA%20PAIS.pdf.
- Oficina de Información Diplomática, España. 2016. Ficha país: Costa Rica (en línea). Madrid, España. Consultado 15 ago. 2016. Disponible en http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/COSTARICA_FICHA%20PAIS.pdf.
- Oficina de Información Diplomática, España. 2016. Ficha país: México (en línea). Madrid, España. Consultado 15 ago. 2016. Disponible en http://www.exteriores.gob.es/documents/fichaspais/mexico_ficha%20pais.pdf.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2013. Informe sobre Desarrollo Humano Perú 2013. Cambio climático y territorio: Desafíos y respuestas para un futuro sostenible (en línea). s. n. t. Consultado 25 ago. 2016. Disponible en <http://www.pe.undp.org/content/peru/es/home/library/poverty/Informesobredesarrollohumano2013/IDHPeru2013.html>.
- University of Montana. 2012. MODIS Global Evapotranspiration Project MOD16 (en línea). Missoula, Montana, Estados Unidos de América. Consultado 16 ago. 2016. Disponible en <http://www.ntsg.umt.edu/project/mod16>.
- WFN (Water Footprint Network). 2015. Assessment Tool (en línea). La Haya, Países Bajos. Consultado 5 ago. 2016. Disponible en <http://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/water-footprint-assessment-tool/>.
- WFN (Water Footprint Network). s. f. WaterStat (en línea). La Haya, Países Bajos. Consultado 5 ago. 2016. Disponible en <http://waterfootprint.org/en/resources/water-footprint-statistics/>.
- WorldClim (WorldClim - Global Climate Data). s. f. WorldClim version 1 (en línea). s. n. t. Consultado 23 sept. 2016. Disponible en <http://www.worldclim.org/version1>.



Impreso en la Imprenta del IICA
Sede Central, San José, Costa Rica
Tiraje: 500 ejemplares



UNIÓN EUROPEA



Contáctenos

Proyecto EUROCLIMA-IICA

Por una agricultura sostenible con mayor capacidad para adaptarse y mitigar los efectos del cambio climático

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)

Sede Central. San José, Vázquez de Coronado,

San Isidro 11101-Costa Rica, América Central

Apartado 55-2200

Teléfonos: + (506) 2216-0188 / 2216-0194

Fax: (506) 2216-0233

