

Aplicación del cálculo de huella hídrica para regiones de cultivos de café, banano y arroz en Costa Rica.

Foro Técnico “Cálculo de Huella Hídrica para el sector agropecuario de América Latina



HIDROCEC-UNA
Centro de Recursos Hídricos para
Centroamérica y el Caribe



SEDE REGIONAL
CHOROTEGA
UNIVERSIDAD NACIONAL

M.Sc. Christian Golcher B.
Gestión de Cuencas
HIDROCEC-UNA





Introducción

- **Recurso Hídrico en CR**
- **Huella Hídrica en la Agricultura**
- **Café, Arroz y Banano en CR**

En Costa Rica

La **abundancia de precipitación** ha hecho que durante siglos el costarricense **no haya sentido preocupación por la disponibilidad de agua** para realizar sus actividades, como tampoco **ninguna necesidad de planificar** las acciones relacionadas con el manejo de los recursos hídricos.

(ONU, 2003)



Huella Hídrica en la Agricultura

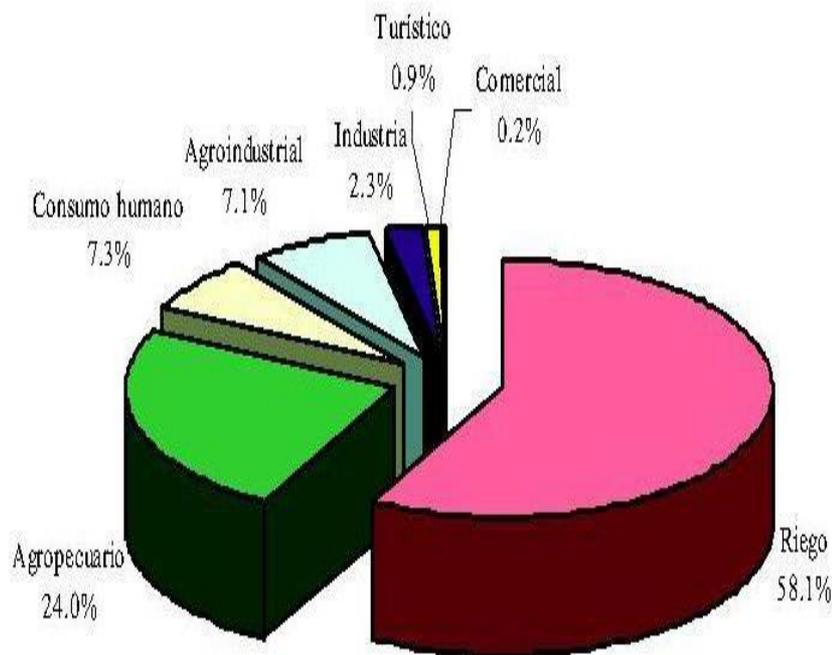
Es **escaso** el conocimiento que existe a nivel mundial sobre la relación presente entre el consumo y contaminación del agua, a lo largo de las cadenas de valor .

Se ignora entonces el cómo está **estructurado** el manejo del agua en las sociedades de un mundo cuyos países están altamente interconectados particularmente desde un punto de vista comercial.

La Huella Hídrica (HH) es un indicador desarrollado conceptualmente para **cuantificar** el consumo y contaminación del agua a la hora de generar algún bien o servicio determinado afín de brindar luz sobre estos **patrones** de impacto.

Tanto a nivel mundial como en el área de estudio, se observa como la producción **agrícola** es la actividad de mayor demanda de agua y por consiguiente el sector de la economía que tiene mayor impacto sobre la **gobernanza** de un recurso que es crítico para el desarrollo de cualquier otra actividad humana (Water Footprint Network, 2009).

Volumen concesionado 2010 sin considerar generación hidroeléctrica

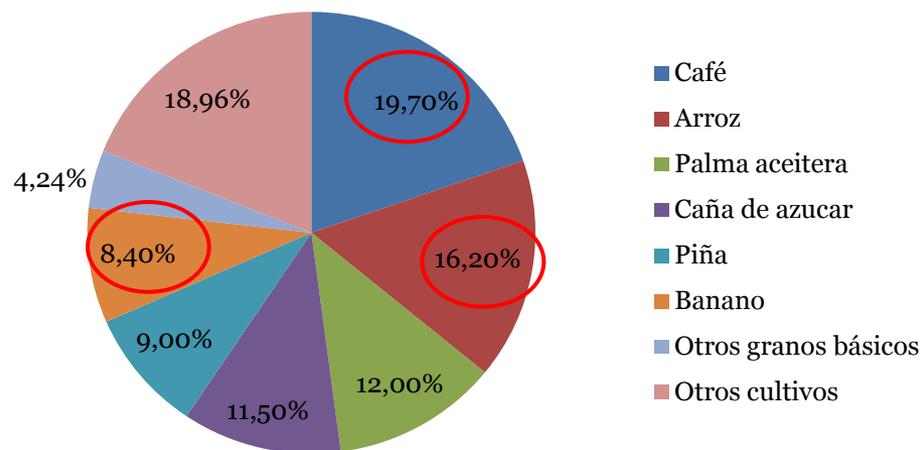


Fuente: MINAE, 2010.

Huella Hídrica en la Agricultura

Distribución de cultivos en la superficie cultivada en Costa Rica 2011

Al ser un indicador con una dimensión territorial, se observa que los cultivos seleccionados en este estudio de café, banano y arroz cubren 44,30% de la superficie cultivada en Costa Rica para el año 2011 con 19,70%, 8,40% y 16,20% respectivamente



Fuente: Elaboración propia, a partir de MAG, 2013.

Café

En Costa Rica se siembra café desde el siglo XIX rápidamente convirtiéndose en el cultivo de mayor importancia económica en el país ya que significó la mayor fuente de divisas hasta que fue alcanzado por el banano, y posteriormente por otras actividades como el turismo, los microprocesadores y el cultivo de piña.

Existen seis regiones productoras en el país: Coto Brus, Los Santos, Pérez Zeledón, Turrialba, Valle Central y Valle Occidental.

En el año 2011, se colocaron en el extranjero 76 310,2 ton para un valor FOB de 377 616,2 miles de US\$.



Banano

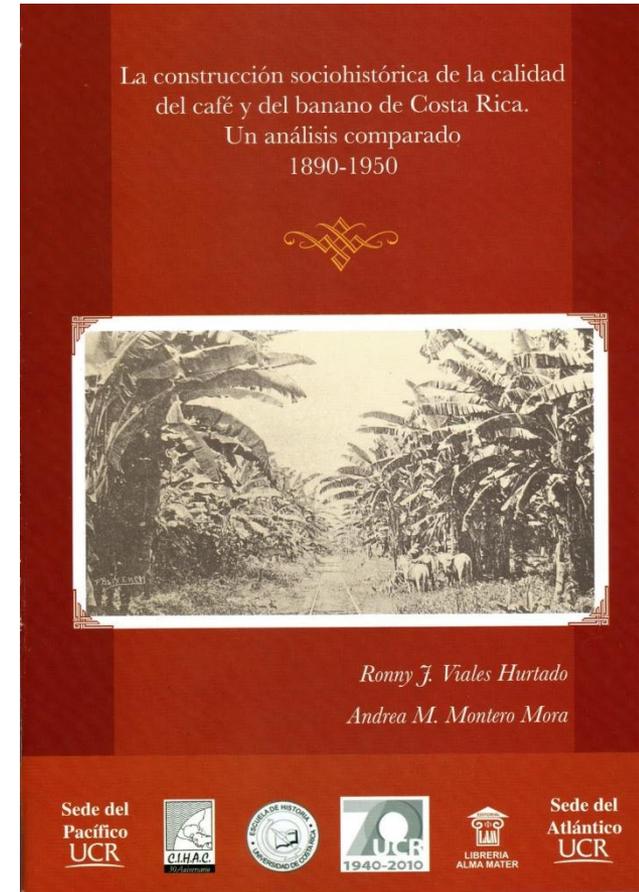
Igualmente introducido en el siglo XIX, estuvo ligado a la construcción del ferrocarril al Caribe, región donde se concentró hasta la fecha la actividad productiva.

Durante el período de estudio 2008-2011, la región del Caribe concentra más del 98% del área cultivada en banano, sin embargo, existe también producción en limitadas regiones del Pacífico.

El sector bananero está organizado en una entidad pública no estatal llamada Corporación Bananera Nacional (CORBANA), fundada en 1971. Esta organización monitorea la actividad del sector y brinda reportes al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y al Ministerio de Comercio Exterior.

En el mercado mundial, Costa Rica produjo en promedio (1998-2000) el 5% de la producción mundial. En 2011 se exportaron 2 034 107,2 ton para un valor FOB de 778 279,4 miles de US\$.

El cultivo en Costa Rica entre el 2008 y el 2011 tuvo un promedio de producción de 1 804 414,5 ton año⁻¹, con un rendimiento de 42,02 ton ha⁻¹.



Arroz

El cultivo del arroz es sustento de la seguridad alimentaria, por ser uno de los tres principales granos básicos que se consumen en el país. El arroz producido por 1340 productores en el año 2011 cubrió una superficie de 81 116 ha equivalentes al del 16,2 % del total del área cultivada a nivel nacional.

Sin embargo, a pesar que desde inicios del XX cuando fue introducido el cultivo fueron incrementándose las importaciones de arroz hasta alcanzar en la década de los setenta 928,18 ton posteriormente, el país alcanzó la autosuficiencia.

En 2011 fue requerida la importación de 123 885 ton de arroz en granza para poder satisfacer la demanda generada por el consumo por persona de 50,98 Kg año⁻¹.

Desde el año 2002, la Corporación Arrocera Nacional (CONARROZ), es la entidad pública no estatal que agrupa el sector productivo (productores y agroindustriales) afín de promover una equitativa participación así como el desarrollo y competitividad de esta actividad.



Foto: MAG, 2013



Foto: EARTH, 2011



Área de estudio

- **Red hidrometeorológica**
- **Regiones productoras**

Distribución de estaciones hidrometeorológicas



Fuente: IMN, 2012.

Regiones productoras contempladas

Café	Banano	Arroz
Valle Central	Caribe	Chorotega
Valle Occidental	Pacífico	Brunca
Pérez Zeledón		
Turrialba		
Los Santos		



Marco teórico-conceptual

- La Huella Hídrica (HH) es un indicador desarrollado conceptualmente para cuantificar el consumo y contaminación del agua a la hora de generar algún bien o servicio determinado afín de brindar luz sobre estos patrones de impacto y poder dirigir políticas que orienten la producción hacia esquemas de producción más sostenibles.

Marco teórico-conceptual

El concepto de **Huella Hídrica** que ha sido desarrollado por Hoekstra et al. (2003), considera además de la extracción, el uso directo e indirecto del agua, determinando así para un producto, el volumen de agua requerido para su producción a lo largo de la cadena de valor.

Por medio de un indicador multi-dimensional (Σ HHazul, HHverde, HHgris) indica el consumo de volúmenes de agua por **fuentes y por el tipo de contaminación** determinados específicamente para un espacio y un tiempo dados.

Marco teórico-conceptual

La **Huella Hídrica Azul** se refiere al consumo proveniente de fuentes de agua superficiales y subterráneas. Esto es, las pérdidas de agua de una determinada fuente de un área de recarga o cuenca producto de la evaporación, trasvase, transferencia al mar o incorporación en el producto.



Volumen concesionado

La **Huella Hídrica Verde** la constituye los consumos de agua que provienen de aguas llovidas capturadas en la humedad del suelo.



Requerimiento de agua del cultivo

La **Huella Hídrica Gris** es la que expresa la contaminación y se refiere a las cantidades de agua requeridas para que el agua pueda asimilar cargas de contaminantes en el ámbito de estándares establecidos por normativas ambientales vigentes (Hoekstra, 2003; Water Footprint Network, 2009).



Aplicación de nitrógeno por ha.



Marco metodológico

- **Fuentes de información**
- **Cálculo de la HH**
- **Cálculo de la HH extendida**

Fuentes de información

Datos		Archivo/Fuente
Climáticos	Evapotranspiración de referencia mensual	Base de Datos IMN
	Precipitación mensual	
Cultivo	Fecha siembra	MAG (Boletín Estadístico 22 SEPSA)/ICAFE/CORBANA/CONAR ROZ/FAO (CROPWAT)
	Coefficiente de Cultivo K_c	
	Duración etapas de desarrollo	
	Profundidad radicular	
	Agotamiento crítico	
	Factor respuesta rendimiento	
	Altura del cultivo	
Suelo	Humedad del suelo disponible (CC-PM)	FAO (CROPWAT)
	Tasa máxima de infiltración	
	Profundidad radicular máxima	
	Agotamiento inicial humedad del suelo	
Económicos	Rendimiento (m^3/ha)	MAG (Boletín Estadístico 22 SEPSA)
	Precios (colones/ m^3)	

Cálculo de Huella Hídrica

- Primero se calcularon las necesidades hídricas del cultivo de arroz de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas de cada región productora utilizando el software CROPWAT 8.0, desarrollado por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- La Huella Hídrica Verde (HH cultivo verde $\text{m}^3 \text{ tonelada}^{-1}$) se calculó como el requerimiento de agua de los cultivos (CWU verde, $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$), dividido por el rendimiento de los cultivos (R, ton ha^{-1}).
- La Huella Hídrica Azul (HH cultivo azul $\text{m}^3 \text{ tonelada}^{-1}$) calculó el cociente entre los volúmenes de extracción de fuentes de agua superficiales, subterráneas o de trasvase entre los rendimientos.
- El componente gris en la huella hídrica de un cultivo (HHcultivo, gris $\text{m}^3 \text{ tonelada}^{-1}$) se calcula como la tasa de aplicación de productos químicos en el campo por hectárea (AR, kg ha^{-1}) por la fracción de lavado y escorrentía (α) que para el nitrógeno es un 10%, dividido por la concentración máxima aceptable (C_{max} , kg m^{-3} , en Costa Rica: 50 mg L^{-1}) de acuerdo con la normativa nacional, menos de la concentración natural de los contaminantes considerados (C_{nat} , kg m^{-3}) y luego se divide por el rendimiento del cultivo (R, ton ha^{-1}).



- Clima/ETo
- Prec.
- Cultivo
- Suelo
- RAC
- Programación
- Patrón de Cultivo
- Sistema

ETo medida mensual - F:\ejercicio CROP...

Estación: 2005 Badajoz

	ETo
	mm/día
Enero	1.1
Febrero	1.8
Marzo	3.0
Abril	4.3
Mayo	5.1
Junio	6.2
Julio	6.9
Agosto	6.9
Septiembre	4.9
Octubre	2.9
Noviembre	1.5
Diciembre	1.2
Promedio	3.8

Precipitación mensual - F:\ejercicio CROPWAT\Archivos CROPWAT\2005 Badajoz.C...

Estación: Badajoz 2005 Método Prec. Ef: Método USDA S.C.

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	0.0	0.0
Febrero	4.8	4.8
Marzo	23.7	22.8
Abril	7.1	7.0
Mayo	24.9	23.9
Junio	0.0	0.0
Julio	0.1	0.1
Agosto	13.1	12.8
Septiembre	1.7	1.7
Octubre	98.4	82.9
Noviembre	21.4	20.7
Diciembre	46.4	43.0
Total	241.6	219.6

Data: climática

Data: cultivo

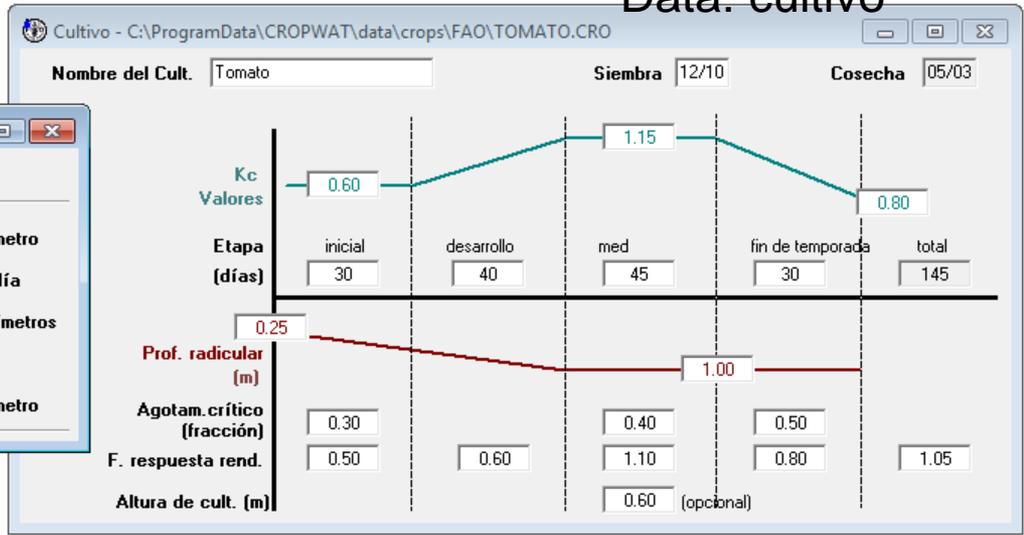
Data: suelos

Suelo - F:\ejercicio CROPWAT\Archivos CROPWAT\Suelo Badajoz.SOI

Nombre del suelo: Suelo Badajoz

Datos generales de suelo:

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	170.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precipitación	300	mm/día
Profundidad radicular máxima	900	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	0	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	170.0	mm/metro



Archivo ETo 2005 badajoz.pmm	Arch. de prec. 2005 badajoz.crm	Archivo de cultivo tomato.cro	Archivo de suelo suelo badajoz.soi	Siembra 12/10	Archivo pat. de cultivo	Arch. de progra.
---------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	------------------	-------------------------	------------------



Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo 2005 Badajoz

Cultivo Tomato

Est. de lluvia Badajoz 2005

Fecha de siembra 12/10

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Oct	2	Inic	0.60	1.76	15.8	31.0	0.0
Oct	3	Inic	0.60	1.48	16.2	25.3	0.0
Nov	1	Inic	0.60	1.15	11.5	11.1	0.4
Nov	2	Des	0.68	0.97	9.7	2.9	6.8
Nov	3	Des	0.84	1.12	11.2	6.7	4.5
Dic	1	Des	0.99	1.27	12.7	13.9	0.0
Dic	2	Des	1.14	1.34	13.4	17.4	0.0
Dic	3	Med	1.21	1.41	15.5	11.6	3.9
Ene	1	Med	1.21	1.39	13.9	0.1	13.8
Ene	2	Med	1.21	1.38	13.8	0.0	13.8
Ene	3	Med	1.21	1.66	18.3	0.0	18.3
Feb	1	Fin	1.18	1.89	18.9	0.7	18.3
Feb	2	Fin	1.07	1.96	19.6	1.0	18.6
Feb	3	Fin	0.96	2.15	17.2	3.2	14.0
Mar	1	Fin	0.89	2.33	11.7	3.3	8.3
					219.5	128.0	120.8

Clima/ETo

Prec.

Cultivo

Suelo

RAC

Programación

Patrón de Cultivo

Sistema

Archivo ETo
2005 badajoz.pmmArch. de prec.
2005 badajoz.crmArchivo de cultivo
tomato.croArchivo de suelo
suelo badajoz soiSiembra
12/10

Archivo pat. de cultivo

Arch. de progra.





Clima/ETo

Prec.

Cultivo

Suelo

RAC

Programación

Patrón de Cultivo

Sistema

Programación de riego de cultivo

ETo estación: 2005 Badajoz Cultivo: Tomato Siembra: 12/10 Red. Rend.: 0.0 %
 Est. de lluvia: Badajoz 2005 Suelo: Suelo Badajoz Cosecha: 05/03

Formato de Tabla:
 Program. de riego Momento: Regar a agotamiento crítico
 Bal. diario de agua de suelo Aplicación: Reponer a capacidad de campo
 Ef. campo: 90 %

Fecha	Día	Etapa	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
6 Feb	118	Fin	0.0	1.00	100	41	70.5	0.0	0.0	78.4	0.08
5 Mar	Fin	Fin	0.0	1.00	0	27					

Totales

Lámina bruta total	78.4	mm	Precipitación total	147.0	mm
Lámina neta total	70.5	mm	Precipitación Efectiva	100.6	mm
Pérdida total de riego	0.0	mm	Pérdida tot.prec.	46.4	mm
Uso real de agua del cultivo	217.2	mm	Def. de hum. en cosecha	46.0	mm
Uso pot. de agua del cultivo	217.2	mm	Requer. reales de riego	116.6	mm
Efic. de programación de riego	100.0	%	Efic. de precipitación	68.4	%
Deficiencia de programación de riego	0.0	%			

Reducción de rendimiento

Stagelabel	A	B	C	D	Estación
Reducciones en ETC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Factor de respuesta del rend.	0.50	0.60	1.10	0.80	1.05
Red. del rend.	0.0	0.0	0.0	0.0	%
Reducc. acum. del rendimiento	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %

Archivo ETo 2005 badajoz.pmm	Arch. de prec. 2005 badajoz.crm	Archivo de cultivo tomato.cro	Archivo de suelo suelo badajoz.soi	Siembra 12/10	Archivo pat. de cultivo	Arch. de progra.
---------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	------------------	-------------------------	------------------

Cálculo de Huella Hídrica

- ET del agua azul y verde

$ET_{\text{azul}} = \text{Lámina neta total} - \text{pérdida total de riego}$

$ET_{\text{verde}} = \text{Uso real del Agua} - ET_{\text{azul}}$

- HH en términos totales ($\text{m}^3 \text{ año}^{-1}$):

$HH_{\text{verde}} = 10 * \sum ET_{\text{verde}} * A$

$HH_{\text{azul}} = 10 * \sum ET_{\text{azul}} * A$

$HH_{\text{gris}} = L / (C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}) * 10^3$

Donde,

ET: Evapotranspiración del cultivo (mm año^{-1})

A: Superficie del cultivo (ha)

L: Carga del contaminante (kg año^{-1})

C_{max} : Estándar de calidad ambiental (mg l^{-1})

C_{nat} : Concentración natural del fondo (mg l^{-1})

- HH por unidad de producto ($\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$):

$HH_{\text{verde}} = 10 * \sum (ET_{\text{verde}}) / Y$

$HH_{\text{azul}} = 10 * \sum (ET_{\text{azul}}) / Y$

$HH_{\text{gris}} = HH_{\text{gris}}(\text{m}^3) / P$

Donde,

Y: Rendimiento del cultivo (ton ha^{-1})

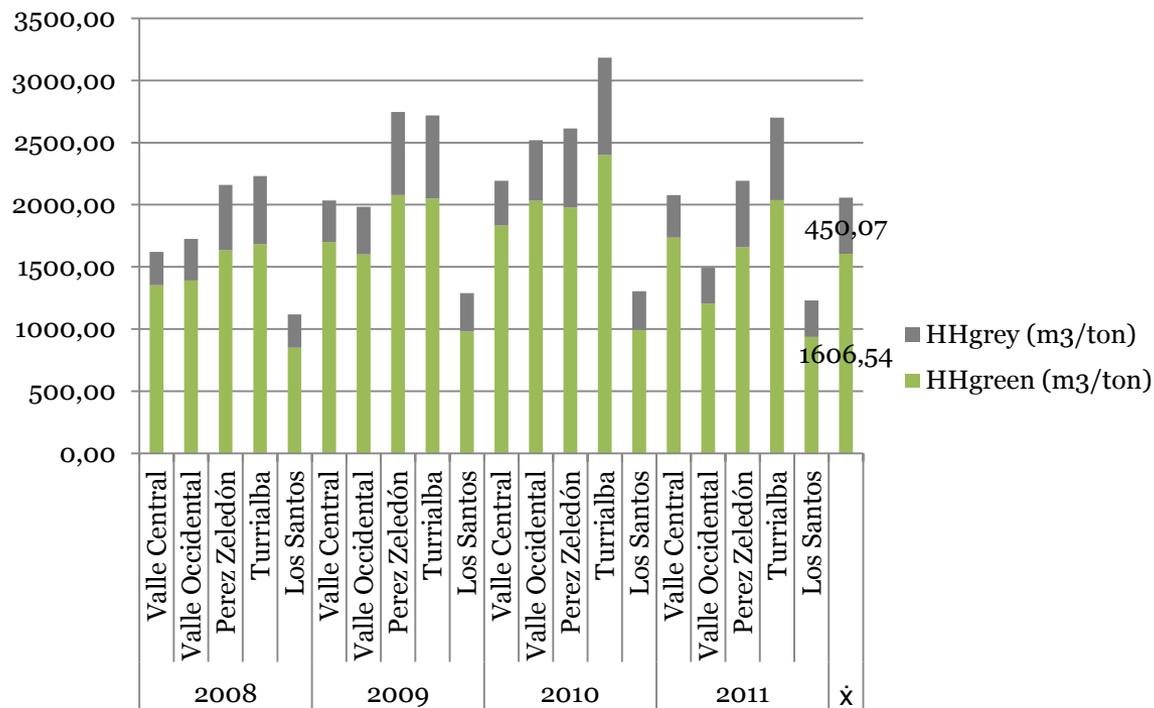
P: Producción del cultivo (ton)



Resultados y discusión

- **Café**
- **Banano**
- **Arroz**

Huella hídrica del Café



En todas las regiones productoras se observa una mayor participación de la huella verde que de la huella gris.

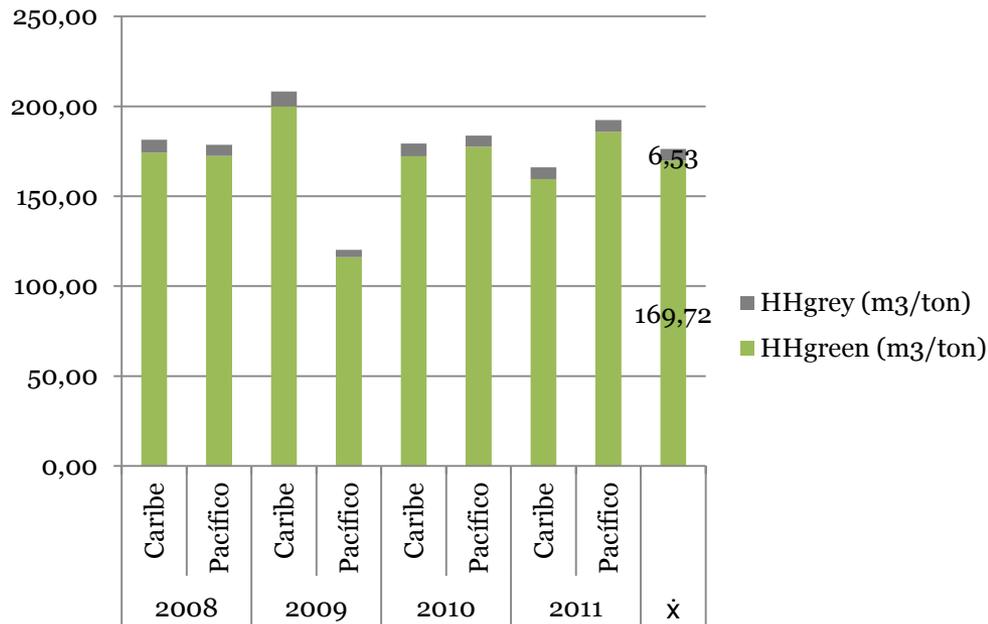
No está presente la huella azul en ningún caso ya que no se utilizan sistemas de riego generalizados para este cultivo en Costa Rica.

Turrialba y Pérez Zeledón han presentado las mayores huellas hídricas, mientras la zona de los Santos presenta la menor huella hídrica donde se observan valores mínimos de $1117 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ en 2008 y $1304 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ en 2010, fundamentalmente por los mayores rendimientos presentados en esta región combinado con los menores requerimiento de agua del cultivo que ascienden a $5509 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

La huella gris tiende a ser más importantes en Pérez Zeledón y Turrialba porque la recomendación de aplicación es la mayor con 970 Kg N ha^{-1} mientras la del Valle Central es $745,3 \text{ Kg N ha}^{-1}$.

Sin embargo, también influyen los volúmenes de agua requeridos para reducir las concentración del nutriente a la norma que establece el reglamento de cuerpos de agua superficiales que es de 50 ppm. Lo que resulta en promedios para Pérez Zeledón y Turrialba de $1940 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ y en Los Santos de $940 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$.

Huella hídrica del Banano

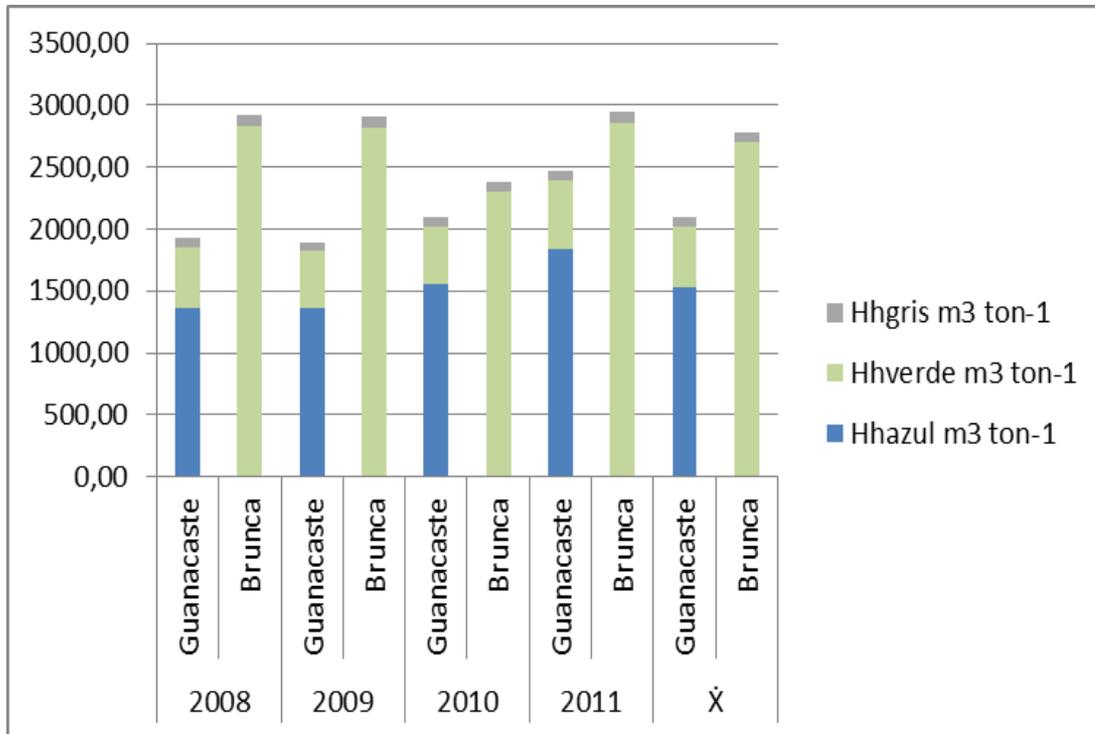


El cultivo del banano tampoco hace uso de técnicas de riego en el país, lo que explica que no presente huella hídrica azul.

Los resultados de huella verde y huella gris reflejan que durante el período de estudio rondó las 176,25 m³ ton⁻¹, salvo en el 2009 donde para el Caribe se registró el máximo de 208,27 m³ ton⁻¹ y el mínimo del Pacífico con 120,16 m³ ton⁻¹, donde se registran peculiares comportamiento del rendimiento: caída para el Caribe del 14,75% y aumento en el Pacífico de 32,75%.

La huella gris con un promedio de 6,53 m³ ton⁻¹ es considerablemente menor que la huella verde del cultivo promedio de 169,72 m³ ton⁻¹. Esto es, dado el volumen de agua requerido para producir las toneladas de banano con relación al volumen para reducir las concentraciones de nitrógeno cuyo promedio de aplicación es de 152 Kg N ha⁻¹ (IRET).

Huella hídrica del Arroz



Ambas regiones productoras, región Guanacaste y región Brunca, tienen mayor participación de la huella verde que de la huella gris.

En los sistemas de riego en la región Guanacaste, la Huella Hídrica Azul constituye su componente más importante, en promedio 73,12 %. Se encontró que la Huella Hídrica de esta región es menor a la de la región Brunca principalmente por razones de rendimiento.

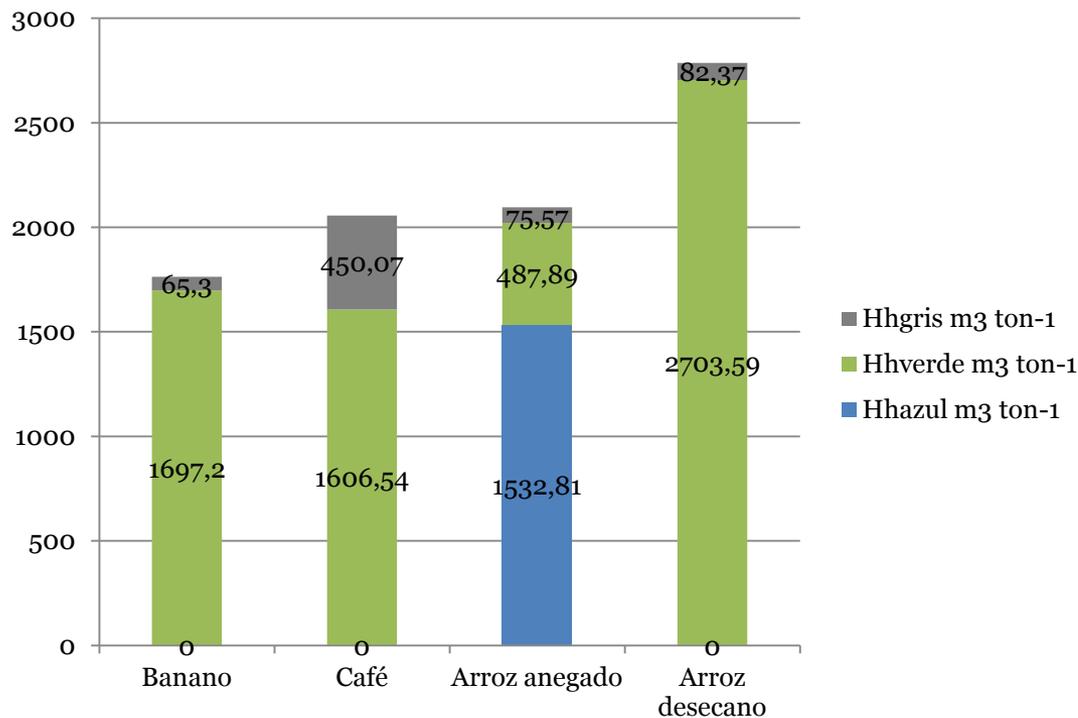
El comportamiento de la Huella Hídrica en la región Guanacaste es uniforme variando entre 1892,70 m³ ton⁻¹ y 2476,53 m³ ton⁻¹, con un promedio de 2096,27 m³ ton⁻¹.

La huella gris con un promedio de 78,97 m³ ton⁻¹ es considerablemente menor que la huella verde del cultivo promedio de 487,89 m³ ton⁻¹ (Guanacaste) y 2703,59 m³ ton⁻¹ (Brunca) dado el volumen de agua requerido para producir las toneladas de arroz con relación al volumen para reducir las concentraciones de nitrógeno cuyo promedio de aplicación es de 267 Kg N ha⁻¹ en Guanacaste y 345 Kg N ha⁻¹ en la región Brunca.



Conclusiones

- **Café**
- **Banano**
- **Arroz**



Los cultivos evaluados: banano, café, arroz anegado y arroz desecano presentan huellas hídricas crecientes de: 1762,50 m³ ton⁻¹; 2056,61 m³ ton⁻¹; 2096,27 m³ ton⁻¹ y 2785,96 m³ ton⁻¹ respectivamente.

La huella hídrica gris es siempre menor y poco significativa frente al resto de huellas (esto considerando únicamente N), salvo en café donde participa con un 21,88 %.

Si bien, el cultivo de arroz anegado es el único evaluado que presenta huella azul, se considera que la significativa diferencia en rendimientos en este sistema frente al seco incide en que su huella sea menor, aunque permanece como la 2da mayor de los cultivos evaluados.

Los requerimientos del cultivo, los factores edafoclimáticos y las aplicaciones de agroquímicos inciden en el comportamiento de la huella hídrica, sin embargo es notable el juego de los rendimientos en la construcción del indicador.

Recomendaciones

Este estudio presenta resultados preliminares basados en fuentes de macrodatos oficiales a escala nacional que requieren un proceso de afinamiento hasta llegar a niveles de mayor precisión por medio de estudios desarrollados in situ con la medición de los parámetros que contempla la metodología.

Si bien, nitrógeno es un elemento fundamental en el desarrollo de cultivos, es relativamente móvil y es ampliamente utilizado en la producción agrícola mundial, es preciso incursionar en la incorporación de otros ingredientes activos que son aplicados sustancialmente en diversos cultivos: Fungicidas, herbicidas, nematocidas, insecticidas y fertilizantes.

El estudio desarrollado evalúa la huella hídrica en el primer “eslabón” de la cadena de valor, es decir la producción, obviando la industrialización, el acopio, la distribución y comercialización, así como otros procesos poscosecha y de procesamiento de alimentos. Es necesario poder desarrollar el indicador hasta el consumidor final para que realmente tenga un alcance social más allá de lo que este indicador pueda participar en la orientación de políticas públicas en materia de gestión integral del recurso hídrico.

Finalmente, hay espacio para ampliar el análisis a otros bienes y servicios de mayor impacto en el consumo y contaminación del agua provenientes del sector agropecuario, de la generación energética –térmica, geotérmica e hidroeléctrica en particular-, en el turismo y en la industria.

Bibliografía

- Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. (2008) Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources, Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2011) The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Hydrology and Earth System Sciences, 15(5): 1577-1600.
- A.K. Chapagain a, A.Y. Hoekstra (2010) The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. Ecological Economics. ELSEVIER.
- Hoekstra, A.Y. (ed.) (2003) Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, The Netherlands, 12-13 December 2002, Value of Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2012) Series de datos hidrometeorológicos período 2008-2011. San José. Costa Rica.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2012) Boletín estadístico 22 SEPSA. San José. Costa Rica.
- Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2012) Base de datos CROPWAT. Roma. Italia.
- Instituto del Café de Costa Rica. (2012) Sector cafetalero: Sistema de información geográfica. Heredia. Costa Rica.
- Instituto Regional para el Estudio de Sustancias Tóxicas. (2012) Base de datos: aplicación de Nitrógeno por hectárea en cultivos. Heredia. Costa Rica.



HIDROCEC-UNA

Centro de Recursos Hídricos para
Centroamérica y el Caribe

Muchas Gracias
Muchas Gracias