



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Estimación de la huella hídrica verde y azul en la producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) orgánica. Caso de estudio: Zona centro del Valle del Cauca

Luisa Fernanda Ramírez Ríos

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Administración
Palmira, Colombia
2019

Estimación de la huella hídrica verde y azul en la producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) orgánica. Caso de estudio: Zona centro del Valle del Cauca

Luisa Fernanda Ramírez Ríos

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería Ambiental

Director:

PhD. Carlos Humberto Mora Bejarano

Línea de Investigación:

Monitoreo, modelación y gestión de recursos naturales

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Administración
Palmira, Colombia

2019

Agradecimientos

A Dios por permitirme llegar hasta donde nunca pensé que podía llegar.

A mi familia por su motivación en todo lo que hago.

A mi esposo y mentor Dorance Becerra Moreno por su apoyo incondicional.

A mi hermano Juan Camilo Ramírez Ríos por su cariño e incondicionalidad.

Al profesor Carlos Humberto Mora Bejarano por su profesionalismo, experiencia, y
calidez humana.

A los ingenieros Christian Rodríguez Azcarate y Carlos Humberto Oviedo Sanabria por
su amistad y contribuciones a la realización de este estudio.

Resumen

El presente estudio estimó la huella hídrica verde y azul en la producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) orgánica en la zona centro del Valle del Cauca. Este primer acercamiento hacia la cuantificación de las cantidades de agua requeridas por el sector cañicultor para producir caña de azúcar en condiciones de siembra orgánicas, se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica definidos por Arjen Y Hoekstra et al., (2011) para el proceso de crecimiento de un cultivo agrícola.

La estimación de la huella de agua verde (agua de lluvia sobre el cultivo) y la huella de agua azul (agua superficial y subterránea usada para el riego del cultivo), se analizó para un área cultivada de 621,5 hectáreas ubicadas en la cuenca hidrográfica del río Amaime, sobre la zona centro del Valle del Cauca y a partir del trabajo de campo que aportó información hidro climatológica, el conocimiento sobre los procesos fisiológicos de las plantas y del suelo, además de las prácticas agrícolas en el contexto de estudio. Lo anterior, contó con información teórica requerida para la estimación de los requerimientos de agua a partir del programa computacional CROPWAT 8.0 propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO).

Los resultados de las estimaciones para la huella hídrica verde fueron de 117,07 m³/ton y para la huella hídrica azul de 37,44 m³/ton, para una huella hídrica total de 154,51 m³/ton, los cuales se analizaron frente al cultivo tradicional de caña de azúcar y la sostenibilidad ambiental para el área de estudio, finalmente considerados una aproximación inicial al cálculo de la huella hídrica verde y azul para cultivo de caña de azúcar orgánica.

Palabras clave: huella hídrica, agua verde, agua azul, gestión del recurso hídrico, caña orgánica, sostenibilidad ambiental.

Abstract

The present study estimated the green and blue water footprint in the production of organic sugarcane (*Saccharum officinarum*) in the central area of Valle del Cauca. This first approach towards the estimation of the quantities of water required by the sugar cane sector to produce sugarcane under organic sowing conditions was carried out following the guidelines established in the Manual of Water Footprint Evaluation por Arjen Y Hoekstra et al., (2011) defined for the process of growing an agricultural crop.

The estimation of the green water footprint (rainwater on the crop) and the blue water footprint (surface and ground water used for crop irrigation) was analyzed for a cultivated area of 621.5 hectares located in the basin hydrographic river of the Amaime river, on the center area of the Cauca Valley and from the field work that provided hydro climatological information, the knowledge about the physiological processes of the plants and the soil, besides the agricultural practices in the study context. The above, had theoretical information required for the estimation of water requirements from the computer program CROPWAT 8.0 proposed by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

The results of the estimates for the green water footprint were 117.07 m³ / ton and for the blue water footprint of 37.44 m³ / ton, for a total water footprint of 154.51 m³ / ton, which were analyzed against to the traditional cultivation of sugarcane and environmental sustainability for the study area, finally considered an initial approximation to the calculation of the green and blue water footprint for the cultivation of organic sugarcane.

Keywords: water footprint, green water, blue water, gray water, water resource management, organic cane, environmental sustainability.

Contenido

	Pág.
Resumen	V
Abstract.....	VI
Lista de figuras.....	X
Lista de tablas	XI
Lista de anexos	XIII
Introducción	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2. OBJETIVOS.....	8
2.1. OBJETIVO GENERAL	8
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
3. JUSTIFICACIÓN.....	9
4. MARCO TEORICO	13
4.1. HUELLA HÍDRICA.....	13
4.1.1. <i>Componentes de la Huella Hídrica</i>	14
4.1.2. <i>Agricultura</i>	15
ADICIONALMENTE A LA INFORMACIÓN CONCEPTUAL PRESENTADA EN LA TABLA 4-1 , A CONTINUACIÓN SE PRESENTAN DEFINICIONES A PARTIR DE LA RELACIÓN ENTRE LA HUELLA HÍDRICA, LA AGRICULTURA Y EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR:	24
4.2. LA AGRICULTURA Y SU HUELLA HÍDRICA.....	24
4.3. EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR Y SU RELACIÓN CON LA HUELLA HÍDRICA	25
5. ESTADO DEL ARTE	27
5.1. EL ORIGEN DE LA HUELLA HÍDRICA.....	27

5.2.	ESTUDIOS DE CASO BASADOS EN LA APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE HUELLA HÍDRICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR A NIVEL MUNDIAL.....	32
5.3.	ESTUDIOS DE CASO BASADOS EN LA APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE HUELLA HÍDRICA AGRÍCOLA Y DE CAÑA DE AZÚCAR EN COLOMBIA.....	37
5.4.	HUELLA HÍDRICA Y SOSTENIBILIDAD	42
6.	MATERIALES Y MÉTODOS	52
6.1.	CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA PARA EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR ORGÁNICA (ET _o CALCULADA POR CROPWAT 8.0).....	53
6.1.1.	<i>Huella Hídrica verde de un proceso agrícola (HH proc, verde)</i>	53
6.1.2.	<i>Huella Hídrica azul de un proceso agrícola (HH proc, azul)</i>	54
6.2.	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA ETO POR EL MÉTODO FAO PENNMAN-MONTEITH: DE FORMA MANUAL.	64
6.2.1.	<i>Evapotranspiración de referencia (ET_o)</i>	64
6.2.2.	<i>Radiación neta en la superficie del cultivo (R_n)</i>	65
6.2.3.	<i>Radiación extraterrestre (R_a)</i>	67
6.2.4.	<i>Flujo de calor del suelo (G)</i>	67
6.2.5.	<i>Temperatura media del aire a 2 metros de altura(T)</i>	68
6.2.6.	<i>Velocidad del viento a 2 metros de altura (u₂)</i>	68
6.2.7.	<i>Presión de vapor de saturación (e_s)</i>	68
6.2.8.	<i>Presión real de vapor (e_a)</i>	69
6.2.9.	<i>Déficit de presión de vapor (e_s -e_a)</i>	70
6.2.10.	<i>Pendiente de la curva de presión de vapor (Δ)</i>	70
6.2.11.	<i>Constante psicrométrica (γ)</i>	70
6.2.12.	<i>Precipitación efectiva (P_{ef})</i>	72
6.3.	ESTIMACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA HUELLA HÍDRICA DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR ORGÁNICA.	73
6.3.1.	<i>Sostenibilidad ambiental de la huella de agua verde</i>	73
6.3.2.	<i>Sostenibilidad ambiental de la huella de agua azul</i>	74
6.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS.....	74
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76
7.1.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	76
7.1.1.	<i>Municipio de Palmira</i>	78

7.1.2. Cuenca hidrográfica del río Amaime	91
7.2. HUELLA HÍDRICA PARA EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR ORGÁNICA (CÁLCULO DE LA ET ₀ PENNMAN-MONTEITH, POR CROPWAT 8.0).....	95
7.2.1. Huella hídrica verde	95
7.2.2. Huella hídrica azul.....	109
7.2.3. Huella hídrica total	112
7.3. COMPARACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA ESTIMADA A PARTIR DE LA ET ₀ POR EL MÉTODO FAO PENNMAN-MONTEITH: SOFTWARE CROPWAT 8.0 Y DE FORMA MANUAL.	114
7.3.1. Análisis estadístico de resultados.....	122
7.4. SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA HUELLA HÍDRICA DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR ORGÁNICA.	126
8. CONCLUSIONES	136
9. RECOMENDACIONES	138

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 7-1</i> Localización del área de estudio caña de azúcar orgánica.....	77
<i>Figura 7-2</i> Mapa geológico del Municipio de Palmira.	80
Figura 7-3 Mapa de sismicidad de Colombia.....	82
Figura 7-4 Mapa de geomorfología del Municipio de Palmira	84
Figura 7-5 Hidrografía de Palmira	86
Figura 7-6 Mapa de áreas susceptibles a inundación y deslizamientos.....	88
Figura 7-7 Cuenca hidrográfica del río Amaime	91
Figura 7-8 Zona productora y consumidora cuenca hidrográfica del río Amaime.	92
Figura 7-9 Resultados Cropwat 8.0, ventana Clima/Eto Penman-Monteith mensual	99
Figura 7-10 Resultados Cropwat 8.0, ventana Precipitación efectiva	100
Figura 7-11 Configuración del Cropwat 8.0 para metodología de cálculo de la precipitación efectiva para los requerimientos de agua del cultivo	101
Figura 7-12 Datos introducidos en la ventana Cultivo del Cropwat 8.0.....	102
Figura 7-13 Propiedades de retención de agua.....	103
Figura 7-14 Datos introducidos en la ventana Suelo del Cropwat 8.0.....	103
Figura 7-15 Resultados Cropwat 8.0, ventana Requerimiento de Agua del Cultivo	104
Figura 7-16 Comparación resultados de huella hídrica sobre caña de azúcar orgánica y no orgánica	113
Figura 7-17 Comportamiento ETo calculada mediante el Cropwat 8.0 y de forma manual.	117
Figura 7-18 Comparativo requerimientos de agua del cultivo de caña de azúcar orgánica vs precipitaciones en el área de estudio.....	128

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 4-1 Procesos fisiológicos en las plantas	16
Tabla 5-1 El origen de la huella hídrica	27
Tabla 5-2 Estudios de aplicación del concepto de Huella Hídrica de la caña de azúcar a nivel mundial.	33
Tabla 5-3 Estudios de aplicación del concepto de Huella Hídrica de la caña de azúcar en Colombia.	37
Tabla 5-4 Análisis metodologías utilizadas en análisis de sostenibilidad ambiental	45
Tabla 6-1 Información hidroclimatológica de la estación Palmira la Rita del área de influencia del estudio.	57
Tabla 6-2 Parámetros del cultivo requeridos para el cálculo de la evapotranspiración ...	58
Tabla 6-3 Información del suelo requerida para el cálculo de la evapotranspiración	59
Tabla 6-4 Variables requeridas en el módulo del Clima / ET_0 del CROPWAT 8.0.....	59
Tabla 6-5 Variables requeridas en el módulo de Precipitación del CROPWAT 8.0	60
Tabla 6-6 Variables requeridas en el módulo Cultivo del CROPWAT 8.0.....	60
Tabla 6-7 Variables requeridas en el módulo Suelo del CROPWAT 8.0	62
Tabla 6-8 Variables requeridas en el módulo de Patrón de cultivo del CROPWAT 8.0 ..	62
Tabla 7-1 Demanda de agua cuenca del río Amaime	94
Tabla 7-2 Información sobre la Estación Meteorológica Palmira La Rita.	95
Tabla 7-3 Datos Temperatura mínima mensual - Estación Palmira La Rita.....	96
Tabla 7-4 Datos Temperatura máxima mensual - Estación Palmira La Rita.....	96
Tabla 7-5 Datos humedad relativa - Estación Palmira La Rita.....	97
Tabla 7-6 Datos velocidad del viento - Estación Palmira La Rita.....	97
Tabla 7-7 Datos Radiación solar - Estación Palmira La Rita	98
Tabla 7-8 Datos insolación (calculados a partir de valores de Radiación solar)	98
Tabla 7-9 Datos precipitación - Estación Palmira La Rita.....	99

Tabla 7-10 Resultados simulación del software para precipitación efectiva y Evapotranspiración del cultivo.....	105
Tabla 7-11 Resultados Huella hídrica verde ($H.H_{verde}$) para el cultivo de caña de azúcar orgánica.....	106
Tabla 7-12 Resultados Huella hídrica azul ($H.H_{azul}$) para el cultivo de caña de azúcar orgánica.....	109
Tabla 7-13 Huella hídrica total ($H.H_{total}$) del cultivo de caña de azúcar orgánica	112
Tabla 7-14 Temperatura media mensual ($^{\circ}C$) de la estación meteorológica Palmira La Rita.....	115
Tabla 7-15 ETo Penman-Monteith calculada en forma manual.....	116
Tabla 7-16 Coeficiente del cultivo (K_c) y precipitación efectiva (P_{ef}).....	118
Tabla 7-17 Huella hídrica verde y azul del cultivo de caña de azúcar orgánica obtenida a partir de la ETo (método FAO Penman-Monteith), calculada en forma manual.....	119
Tabla 7-18 Comparación Huella hídrica total ($H.H_{total}$) del cultivo de caña de azúcar orgánica Cropwat 8.0 vs Cálculo Manual	121
Tabla 7-19 Calculo estadístico chi cuadrado huella hídrica verde Cropwat 8.0 / Manual	122
Tabla 7-20 Calculo estadístico chi cuadrado huella hídrica azul Cropwat 8.0 / Manual.....	124
Tabla 7-21 Huella hídrica total ($H.H_{total}$) del cultivo de caña de azúcar orgánica	127
Tabla 7-22 Requerimientos de riego cultivo de caña de azúcar orgánica frente a oferta hídrica cuenca hidrográfica del río Amaime	130
Tabla 7-23 Demanda y oferta hídrica cuenca hidrográfica del río Amaime	131
Tabla 7-24 Huella hídrica cultivo de la caña de azúcar tradicional y orgánico.....	132
Tabla 7-25 Huella hídrica cultivo de la caña de azúcar orgánico frente a huella hídrica cultivos tradicionales cuenca hidrográfica de Amaime	133

Lista de Anexos

A. Anexo: mapa localización y área de estudio cultivo de caña orgánica.....	139
B. Anexo: Mapa calidad del agua cuenca del rio Amaime	140
C. Anexo: mapa oferta hídrica cuenca del rio Amaime	141
D. Anexo: mapa demanda hídrica cuenca del rio Amaime	142

Bibliografía

- Aguilar-Rivera, N. (2018). A framework for the analysis of socioeconomic and geographic sugarcane agro industry sustainability. *Socio-Economic Planning Sciences*, (September 2017), 0–1. <http://doi.org/10.1016/j.seps.2018.07.006>
- Alcaldia de Palmira. (2012). Diagnóstico Territorial de Palmira 2012-2015, 297. Retrieved from http://fundacionprogresamos.org.co/anuarios_estadisticos/palmira/anuario_2016/pot.html
- Alcaldia de Palmira. (2013). Revisión Excepcional Plan De Ordenamiento Territorial Del Municipio De Palmira Secretaría De Planeación Municipal, 1–80.
- Alcaraz Ariza, F. J. (2012). Temperatura, luz, atmósfera, viento. *Geobotánica*, 13.
- Allan, J. A. (1993). Fortunately there are substitutes for water: otherwise our hydropolitical futures would be impossible. *Overseas Development Administration*, 26(July), 13–26.
- Allen G., R., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. *FAO:Estudios FAO Riego y Drenaje* 56, 297. <http://doi.org/10.1016/j.msea.2011.05.042>
- Almorox Alonso, J. (2010). Efecto de la radiación sobre las plantas. *Climatología Aplicada a La Ingeniería y Medioambiente*, 0–1.
- Amézquita, E. (1999). *Requerimientos de agua y nutrición de cultivos de flores*. XI

Congreso Nacional Agronómico, III Congreso Nacional de Suelos. Cali, Colombia.

- ANIF. (2017). *Mercados Industriales 2017*. Retrieved from http://anif.co/sites/default/files/publicaciones/private/restricted/2017/12/mercados_industriales-2017.pdf
- Arango Ramírez, A., Carmona, L. G., & Romero, S. A. (2014). Análisis de ciclo de vida en el sector agrícola:el caso del municipio de Viotá, Cundinamarca(Colombia). *Ambiente y Desarrollo*, 18(35), 117. <http://doi.org/10.11144/Javeriana.AyD18-35.acvs>
- Arequipa, Z. Y. J. (2013). Universidad Nacional De San Agustín.
- Arévalo, D. (2012). Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica. *WWF*, 67.
- Arevalo, D., Lozano, J. G., & Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 7, 103–126.
- Arévalo D. (2012). Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica. *Wwf*, 67.
- Arévalo, G. (2011). Requerimientos nutricionales del cultivo. *Fertilización y Enmienda*, 17–32.
- Arias, L. (2017). Caña de azúcar y acceso al agua en Candelaria, Valle Del Cauca, Colombia 1945-1970. *Temas Americanistas*, (38), 130–152.
- Artículo Huella Hidrica Colombia publicado. (2011).
- Asocaña. (2015). Aspectos Generales del Sector Azucarero El dulce sabor del 2013-2014, 116.
- Asocaña. (2018). Aspectos generales del sector agroindustrial de la caña. *Informe Anual 2017-2018*. Retrieved from <http://www.asocana.org/documentos/862018-E148DE81-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D,A3C4B5.pdf>
- Barbosa, E. A. A., Matsura, E. E., dos Santos, L. N. S., Gonçalves, I. Z., Nazário, A. A., &

- Feitosa, D. R. C. (2017). Water footprint of sugarcane irrigated with treated sewage and freshwater under subsurface drip irrigation, in Southeast Brazil. *Journal of Cleaner Production*, *153*, 448–456. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.167>
- Barnes, P. W., Tobler, M. A., Keefover-Ring, K., Flint, S. D., Barkley, A. E., Ryel, R. J., & Lindroth, R. L. (2016). Rapid modulation of ultraviolet shielding in plants is influenced by solar ultraviolet radiation and linked to alterations in flavonoids. *Plant Cell and Environment*, *39*(1), 222–230. <http://doi.org/10.1111/pce.12609>
- Beguería, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F., & Latorre, B. (2014). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: Parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, *34*(10), 3001–3023. <http://doi.org/10.1002/joc.3887>
- Boulay, A. M., Bare, J., Benini, L., Berger, M., Lathuillière, M. J., Manzardo, A., ... Pfister, S. (2018). The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *International Journal of Life Cycle Assessment*, *23*(2), 368–378. <http://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>
- Brockmeyer, B., & Spitzzy, A. (2011). Effects of sugar cane monocultures on origin and characteristics of dissolved organic matter in the Manguaba lagoon in northeast Brazil. *Organic Geochemistry*, *42*(1), 74–83. <http://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2010.10.009>
- Bruinsma, J. (2017). *World Agriculture: Towards 2015/2030 An FAO Study* (1st Editio). London. <http://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781315083858>
- Builes-Cedula, E. D. (2013). Cuantificación y análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica agrícola y pecuaria de la cuenca del río Porce Cuantificación y análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica agrícola y pecuaria de la cuenca del río Porce, 90.
- Caldeira, C., Quinteiro, P., Castanheira, E., Boulay, A. M., Dias, A. C., Arroja, L., & Freire, F. (2018). Water footprint profile of crop-based vegetable oils and waste cooking oil: Comparing two water scarcity footprint methods. *Journal of Cleaner Production*, *195*, 1190–1202. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.221>

-
- Cámara de Comercio de Palmira. (2016). SITUACIÓN ECONÓMICA DE PALMIRA Y SU ÁREA DE INFLUENCIA (PRADERA, FLORIDA Y CANDELARIA) Año 2015, 1–84.
- Campanello, P. I., Genoveva Gatti, M., Montti, L., Villagra, M., & Goldstein, G. (2011). Ser o no ser tolerante a la sombra: Economía de agua y carbono en especies arbóreas del bosque atlántico (Misiones, Argentina). *Ecología Austral*, 21(3), 285–300.
- Castillo-Rodríguez, Á., Castro-Chaparro, M., Gutiérrez-Malaxechebarría, Á., & Aldana-Gaviria, C. (2018). Estimación sectorial de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá generada en el año 2014. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 19–32. <http://doi.org/https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018002>
- CENICAÑA. (2015). Mesa del agua.
- Centro de ciencia y tecnología de Antioquia (CTA). (2013). Guía metodológica de aplicación de huella hídrica en cuenca, 121. <http://doi.org/10.1126/science.1191181>
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (Cenicaña). (2014). RMA 21 años sumándole tiempo al clima regional. *Carta Informativa*, 1–20.
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2004). Water footprint of nations. Volume 1: Main report. *Value of Water Research Report Series*, 1(16), 1–80. <http://doi.org/10.1016/j.clay.2013.01.001>
- Chouchane, H., Hoekstra, A. Y., Krol, M. S., & Mekonnen, M. M. (2015). The water footprint of Tunisia from an economic perspective. *Ecological Indicators*, 52, 311–319. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.015>
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA CVC. (2015). Guía Balance oferta - demanda de agua.
- CVC. (2007). Balance Oferta – Demanda De Agua Superficial Rio Amaime, 1–12.
- CVC. (2009a). *Caracterización Hidrológica Cuenca Amaime*. Palmira.
- CVC. (2009b). *Información general del recurso hídrico cuenca Amaime*. Palmira.
- CVC. (2010). Plan ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río amaime.

- CVC. (2013). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Amaime. Retrieved November 10, 2018, from <https://es.scribd.com/document/283380155/POMCH-Amaime-2013>
- CVC. (2017). Convenio No. 113 de 2016 Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC Fundación Ambiente Colombia Diciembre de 2017, (113).
- D'Ambrosio, E., De Girolamo, A. M., & Rulli, M. C. (2018). Assessing sustainability of agriculture through water footprint analysis and in-stream monitoring activities. *Journal of Cleaner Production*, 200, 454–470. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.229>
- DANE. (2012). Cuenta satélite piloto de la agroindustria del cultivo de caña de azúcar 2005-2012. *Dane*, 51. <http://doi.org/1>. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) [Internet]. [cited 2015 Mar 5]. Available from: <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/censos>
- Delgadillo-Vargas, O., Garcia-Ruiz, R., & Forero-Álvarez, J. (2016). Fertilising techniques and nutrient balances in the agriculture industrialization transition: The case of sugarcane in the Cauca river valley (Colombia), 1943-2010. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 218, 150–162. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2015.11.003>
- Delgado-garcía, S. M., & Manuel, J. (2013). Luna Azul ISSN 1909-2474 No. 36, enero - junio 2013, (36), 70–77.
- Espinel G, C. F., Hector J, M. C., & Espinoza Perez, D. (2005). Cadena de Cultivos Ecologicos en Colombia, (68), 30.
- Estrada-botello, M. A., Mendoza-palacios, J. D., & La, E. De. (2007). DIFERENTES TIPOS DE DRENAJE EN EL TRÓPICO HÚMEDO Inorganic nitrogen leaching in agricultural soil with different types of drainage in humid tropic, 23(1), 1–14.
- Fachinelli, N. P., & Pereira, A. O. (2015). Impacts of sugarcane ethanol production in the Paranaíba basin water resources. *Biomass and Bioenergy*, 83, 8–16. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.08.015>
- Fageria, N. K. (2016). *The use of nutrientes in crop plants*. <http://doi.org/10.1201/9781420075113>

-
- FAO. (2002). *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030*. [http://doi.org/ISBN 92-5-304761-5](http://doi.org/ISBN%2092-5-304761-5)
- FAO. (2014a). *Anuario Estadístico de la FAO*.
- FAO. (2014b). Nuestro Patrimonio Común. *Agricultura y Diálogo de Culturas*, 1.
- FAO, Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma.
- FAO Colombia. (2013). Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de caña de azúcar en el departamento del Valle del Cauca, 1–66. [http://doi.org/ISBN I3427S/1/08.13](http://doi.org/ISBN%20I3427S/1/08.13)
- FIBL. (2016). *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends*. <http://doi.org/10.1017/S0014479709007807>
- FIBL, & ECOMERCADOS. (2005). Mercado Europeo de Azúcar Orgánico. Comercio Justo.
- Garibay, S. V. (2003). La investigación en la agricultura orgánica y su importancia. *I Encuentro Mesoamericano y Del Caribe y III Encuentro Costarricense de Agricultores Experimentadores e Investigadores En Producción Orgánica.*, 1–6.
- Gerbens-Leenes, W., & Hoekstra, A. Y. (2012). The water footprint of sweeteners and bio-ethanol. *Environment International*, 40(1), 202–211. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2011.06.006>
- Gheewala, S. H., Silalertruksa, T., Nilsalab, P., Mungkung, R., Perret, S. R., & Chaiyawannakarn, N. (2014). Water footprint and impact of water consumption for food, feed, fuel crops production in Thailand. *Water (Switzerland)*, 6(6), 1698–1718. <http://doi.org/10.3390/w6061698>
- Giddings, B., Hopwood, B., & O'Brien, G. (2002). Environment, economy and society: Fitting them together into sustainable development. *Sustainable Development*, 10(4), 187–196. <http://doi.org/10.1002/sd.199>

- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Diversidad y estabilidad del agroecosistema*. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Gomez Mena, C. (2018). La agricultura es la principal causa de escasez de agua: FAO - Asociación de Consumidores Orgánicos.
- González, M. (2016). Análisis comparativo de la huella hídrica en agroecosistemas de la microcuenca Alto Rio Ubaté, 167.
- González Rodríguez, C., Losada, C. M., & Barros, S. G. (2014). El modelo de nutrición vegetal a través de la historia y su importancia para la enseñanza. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 11(1), 2–12.
- Gosling, S. N., & Arnell, N. W. (2016). A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*, 134(3), 371–385. <http://doi.org/10.1007/s10584-013-0853-x>
- He, S., Zhong, Y., Sun, Y., Su, Z., Jia, X., Hu, Y., & Zhou, Q. (2017). Topography-associated thermal gradient predicts warming effects on woody plant structural diversity in a subtropical forest. *Scientific Reports*, 7(January), 1–10. <http://doi.org/10.1038/srep40387>
- Hernández Arrázola, A. M., Landero Madera, K. E., & Rodríguez Miranda, J. P. (2018). Estado Actual de la Planificación de las Cuencas Hídricas en el Departamento de Sucre (Colombia). *Procesos Urbanos*, (5), 75–78. <http://doi.org/10.21892/2422085x.412>
- Hernandez Escobar, H. A. (2014). Agua Virtual Y Economía Colombiana - Una Inspección Agua Virtual Y Economía Colombiana - Una Inspección Cuantitativa Y Regional *. *Perfiles Libertadores*, 84–94.
- Hernández, G. (2010). Modelamiento Ecohidrológico de la Humedad del Suelo en el Valle del Río Cauca, 230.
- HI caña de azucar mexico 2014.pdf. (n.d.).
- Hodson de Jaramillo, E., Castaño, J., Poveda, G., Roldán, G., & Chavarriaga, P. (2017).

- Seguridad alimentaria y nutricional en Colombia. *Retos y Oportunidades de La Seguridad Alimentaria y Nutricional En Las Américas: El Punto de Vista de Las Academias de Ciencias*, 221–251.
- Hoekstra, A. Y. (2003). Virtual Water Trade. *Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water*, 12(12), 1–244.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2009). Water Footprint Manual State of the Art 2009. *Water Footprint Network*, (november), 131.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual. Febrero 2011*. <http://doi.org/978-1-84971-279-8>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*.
- Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. (2002). A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. *Water Research*, 49(11), 203–9.
- Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. (2008). The water footprint of food. *Water for Food*, 109(9), 49–60. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-799968-5.00007-5>
- Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2010). The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. Volume 1: Main Report. *Value of Water Research Report Series No. 47*, 1(16), 80. <http://doi.org/10.5194/hess-14-1259-2010>
- IAEA. (2007). Agricultura y seguridad alimentaria.
- IDEA; CVC. (2008). PERFIL AMBIENTAL URBANO MUNICIPIO DE PALMIRA, 55. Retrieved from http://www.idea.palmira.unal.edu.co/paginas/proyectos/paginas/perfil_comuna5/perfil_amb.pdf.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2015a). Estudio Nacional del Agua: Información para la toma de decisiones.
- IDEAM. (2015b). *Estudio Nacional del Agua. Instituto de Hidrología, Meteorología y*

Estudios Ambientales. Estudio Nacional del Agua 2014.

IDEAM. (2019). *Estudio Nacional del Agua 2018*. Bogotá.

Issn, R., Rom, R. A., Id, O., & Econ, C. (2017). Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas Abriendo Camino al Conocimiento Agua virtual y desarrollo sostenible Virtual water and sustainable development Agua virtual y desarrollo sostenible, 5(10).

Jorrat, M. del M., Araujo, P. Z., & Mele, F. D. (2018). Sugarcane water footprint in the province of Tucumán, Argentina. Comparison between different management practices. *Journal of Cleaner Production*, 188, 521–529. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.242>

Jurado Valencia, J. (2015). Rentabilidad económica, beneficios ambientales y sociales en el cultivo de caña de azúcar orgánica del proyecto Ebenezer en el municipio de Santander de Quilichao. *Journal of Applied Microbiology*, 119(3), 859–867.

Kongboon, R., & Sampattagul, S. (2012). The water footprint of sugarcane and cassava in northern Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 40, 451–460. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.215>

Kumar, A., Maurya, B. R., & Raghuwanshi, R. (2014). Isolation and characterization of PGPR and their effect on growth, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 3(4), 121–128. <http://doi.org/10.1016/j.bcab.2014.08.003>

Li, C., Xu, M., Wang, X., & Tan, Q. (2018). Spatial analysis of dual-scale water stresses based on water footprint accounting in the Haihe River Basin, China. *Ecological Indicators*, 92(November 2016), 254–267. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.046>

Liu, J., Liu, Q., & Yang, H. (2016). Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality. *Ecological Indicators*, 60, 434–441. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.019>

Lovarelli, D., Bacenetti, J., & Fiala, M. (2016). Water Footprint of crop productions: A

-
- review. *Science of the Total Environment*, 548–549, 236–251. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.022>
- M, I. I. S., M, J. M. C., Rojas, F. M., Ortiz, J. F., Gordillo, S., & Perdomo, D. A. (2017). Software para el cálculo de la huella ambiental en la producción de cacao Software for calculating the environmental footprint in cocoa production, 4–10.
- Machado, M. R. (2014). Plant cells in the context of climate change. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 57(1), 126–137. <http://doi.org/10.1590/s1516-89132014000100018>
- Madero Morales, E., Ramírez Alzate, J. A., Albán, Á., Escobar, B. Y., García, L. F., & Peña Artunduaga, M. E. (2011). Compactación de suelos cultivados con caña de azúcar en la zona sur del Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 244–251. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122011000300005&lang=pt
- Margulis, L., & Sagan, D. (2010). El proceso de nutrición en las plantas, 241–258.
- Mattedi, M. A. (2015). Pensando com o desenvolvimento regional: subsídios para um programa forte em desenvolvimento regional. *Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional - RBDR*, 2(2), 59–105. <http://doi.org/10.7867/2317-5443.2014>
- McCranie, K. D., Faulkner, M., French, D., Daddis, G. A., Gow, J., & Long, A. (2011). Identificación de características asociadas con la mayor eficiencia en el uso de agua para la producción de caña de azúcar. *Journal of Strategic Studies*, 34(2), 281–293. <http://doi.org/10.1080/01402390.2011.569130>
- Mejía, M., Burbano, R., García, M., & Baena, D. (2014). Respuesta fotosintética de *Eucalyptus grandis* W. Hill a la disponibilidad de agua en el suelo y a la intensidad de luz. *Agronomía*, 63, 311–317.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, 1(48), 42. <http://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
- Mekonnen, M. M., & 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. <http://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*, 15(3), 401–415. <http://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2014). Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment. *Ecological Indicators*, 46, 214–223. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.013>

Mekonnen, M. M., Pahlow, M., Aldaya, M. M., Zarate, E., & Hoekstra, A. Y. (2015). Sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution in latin America and the Caribbean. *Sustainability (Switzerland)*, 7(2), 2086–2112. <http://doi.org/10.3390/su7022086>

Mesa, M. (2016). *CÁLCULO COMPARATIVO DE LA HUELLA HÍDRICA COMO CRITERIO DE SOSTENIBILIDAD PARA EL SISTEMA PRODUCTIVO DE CAÑA PANELERA*. Bogotá, D.C.

MinTIC. (2017). Proyeccion Demografica DANE 2005-2017 Municipio De Palmira, Valle del Cauca | Datos Abiertos Colombia. Retrieved November 5, 2018, from <https://www.datos.gov.co/Salud-y-Proteccion-Social/Proyeccion-Demografica-DANE-2005-2017-Municipio-De/u35c-spt3/data>

Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2003). *Applied Statistics and Probability for Engineers* (Third Edit). United States of America.

Morábito, J., Salatino, S., Hernández, R., Schilardi, C., Álvarez, A., & Palmieri, P. R. (2015). Distribución espacial de la evapotranspiración del cultivo de referencia y de la precipitación efectiva para las Provincias del centro-noreste de Argentina. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 47(1), 109–125.

Morakinyo, T. E., & Lam, Y. F. (2016). Simulation study on the impact of tree-configuration, planting pattern and wind condition on street-canyon's micro-climate and thermal comfort. *Building and Environment*, 103, 262–275. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.025>

No Title. (2016).

-
- Novoa, V., Ahumada-Rudolph, R., Rojas, O., Munizaga, J., Sáez, K., & Arumí, J. L. (2019). Sustainability assessment of the agricultural water footprint in the Cachapoal River basin, Chile. *Ecological Indicators*, 98(October 2018), 19–28. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.048>
- Pahlow M., S. J. & F. G. (2015). Water Footprint Assessment to inform Water Management and Policy Making in South Africa. *Water SA*, 41(3), 300–312. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v41i2.02>
- Palhares, J. C. P., & Pezzopane, J. R. M. (2015). Water footprint accounting and scarcity indicators of conventional and organic dairy production systems. *Journal of Cleaner Production*, 93, 299–307. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.035>
- Parada - Puig, G. (2012). El agua virtual: conceptos e implicaciones. *Orinoquia*, 16(1), 69. <http://doi.org/10.22579/20112629.268>
- Paz, S. et al. (2012). Escenario de demanda hídrica agrícola para la optimización del riego de los pequeños productores de la zona plana de la cuenca del río Guabas . small producers from the flat lands of the Guabas river basin, 5–12.
- Pellicer-Martínez, F., & Martínez-Paz, J. M. (2016). The Water Footprint as an indicator of environmental sustainability in water use at the river basin level. *Science of the Total Environment*, 571, 561–574. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.022>
- Pepin, N., Bradley, R. S., Diaz, H. F., Baraer, M., Caceres, E. B., Forsythe, N., ... Yang, D. Q. (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change*, 5(5), 424–430. <http://doi.org/10.1038/nclimate2563>
- Peralta, Y. (2012). *PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL SUELO SEMBRADO EN CAÑA DE AZUCAR EN EL INGENIO MANUELITA*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2012071302010531749001
- Pérez-Viloria, M., & Gónima, L. (2014). El contenido del vapor de agua de la atmósfera como indicador del calentamiento global en una zona del caribe de colombia. *Cuadernos de Investigacion Geografica*, 40(2), 477–495. <http://doi.org/10.18172/cig.2517>

- Pérez, M. A., Peña, M. R., & Alvarez, P. (2011a). Agro Industria Cañera y uso del agua: análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles en Colombia. *Ambiente & Sociedade*, XIV(2), 153–178. <http://doi.org/10.1590/S1414-753X2011000200011>
- Pérez, M. A., Peña, M. R., & Alvarez, P. (2011b). Agro Industria Cañera y uso del agua: análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles Mesa Sandoval, M. A., & Rodriguez Carrero, D. O. (2016). Cálculo comparativo de la huella hídrica como criterio de sostenibilidad para el sistema prod. *Ambiente & Sociedade*, XIV(2), 153–178. <http://doi.org/10.1590/S1414-753X2011000200011>
- Pfister, S., Koehler, A., & Hellweg, S. (2009). Assessing the Environmental Impact of Freshwater Consumption in Life Cycle Assessment. *Environmental Science & Technology*, 43(11), 4098–4104. <http://doi.org/10.1021/es802423e>
- PROCAÑA. (2018). Las aguas subterráneas del Valle.
- Quintero, M., Romero, M., Monserrate, F., Pareja, P., Valencia, J., Uribe, N., ... Hincapie, L. (2014). Huella Hídrica en la agricultura Colombiana, 1–31.
- Quiroga, alberto, Fernández, romina, & Álvarez, C. (2018). *Análisis y evaluación de propiedades físico hídrica de los suelos*.
- R Core Team. (2018). R: The R Project for Statistical Computing. Retrieved October 7, 2018, from <https://www.r-project.org/>
- Rack, M., Valdivia, S., & Sonnemann, G. (2013). Life Cycle Impact Assessment - Where we are, trends, and next steps: A late report from a UNEP/SETAC Life Cycle Initiative workshop and a few updates from recent developments. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(7), 1413–1420. <http://doi.org/10.1007/s11367-013-0569-1>
- Raffo, D. (2014). La radiación solar y las plantas : un delicado equilibrio. *Fruticultura*, 40–44.
- Renderos, R. (2016). Huella Hídrica del Cultivo de Caña de Azúcar, (June).
- Rendón, E. (2015). La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación

-
- en el Perú. *Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL*, 2(1), 32–47.
- Rendueles, C. (2015). Karl Polanyi y la apuesta por la institucionalización. *Revista de Economía Crítica*, 20(segundo semestre), 182–191.
- Restrepo, S. (2015). *El uso del agua en el cultivo de caña de azúcar. Una mirada desde la huella hídrica*. Santiago de Cali: Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental ACODAL.
- Ridoutt, B. G., & Pfister, S. (2013). A new water footprint calculation method integrating consumptive and degradative water use into a single stand-alone weighted indicator. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(1), 204–207. <http://doi.org/10.1007/s11367-012-0458-z>
- Rodriguez, C. I., De Ruiz Galarreta, V. A., & Kruse, E. E. (2015). Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. *Journal of Cleaner Production*, 90, 91–96. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.075>
- Rojas Padilla, J., Perez Rincon, M., Madera Parra, C., Guimarães Protá, M., & Dos santos, R. (2013). Análisis comparativo de modelos e instrumentos de gestión integrada del recurso hídrico en Suramérica: los casos de Brasil y Colombia. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 8(1), 73–97. <http://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Roser, M., & Ortiz-Ospina, E. (2017). World Population Growth. *Published Online at OurWorldInData.Org*.
- RStudio Team. (2016). RStudio: Integrated Development Environment for R. Retrieved October 7, 2018, from <https://www.rstudio.com/>
- Ruiz Corral, J. A., Medina García, G., González Acuña, I. J., Flores López, H. E., Ramírez Ojeda, G., Ortiz Trejo, C., ... Martínez Parra, R. A. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), centro de investigación regional del pacífico centro, campo experimenta centro Altos de jalisco*. <http://doi.org/978-607-37-0188-4>
- Sánchez, I. I., Medina, F., & Cabrera, J. M. (2018). Diseño de software para calcular la huella de carbono e hídrica durante la producción de café and water footprint during

coffee production Software Design for Carbon and Water Footprint Calculation in Coffee Production, *14*(24).

Scanlon, B. R., Faunt, C. C., Longuevergne, L., Reedy, R. C., Alley, W. M., McGuire, V. L., & McMahon, P. B. (2012). Groundwater depletion and sustainability of irrigation in the US High Plains and Central Valley. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(24), 9320–9325. <http://doi.org/10.1073/pnas.1200311109>

Scarpore, F. V., Hernandez, T. A. D., Ruiz-Corrêa, S. T., Kolln, O. T., Gava, G. J. D. C., Dos Santos, L. N. S., & Victoria, R. L. (2016). Sugarcane water footprint under different management practices in Brazil: Tietê/Jacaré watershed assessment. *Journal of Cleaner Production*, *112*, 4576–4584. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.107>

Schyns, J. F., & Hoekstra, A. Y. (2014). The added value of Water Footprint Assessment for national water policy: A case study for Morocco. *PLoS ONE*, *9*(6). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0099705>

Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., ... Teuling, A. J. (2010). Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, *99*(3–4), 125–161. <http://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004>

Siebert, S., & Döll, P. (2010). Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology*, *384*(3–4), 198–217. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.07.031>

Silalertruksa, T., & Gheewala, S. H. (2018). Land-water-energy nexus of sugarcane production in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, *182*, 521–528. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.085>

Silva, H. V., Alves-Silva, E., & Santos, J. C. (2016). On the relationship between fluctuating asymmetry, sunlight exposure, leaf damage and flower set in *Miconia fallax* (Melastomataceae). *Tropical Ecology*, *57*(3), 419–427.

Singh, D., Basu, C., Meinhardt-Wollweber, M., & Roth, B. (2015). LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *49*, 139–

147. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.117>

Soler Ramirez, C. H. (2014). *Determinación de los patrones de interceptación de radiación solar y estados fenológicos a partir de la acumulación térmica en híbridos de pimentón (Capsicum annuum L.)*. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.

Su, M. H., Huang, C. H., Li, W. Y., Tso, C. T., & Lur, H. S. (2015). Water footprint analysis of bioethanol energy crops in Taiwan. *Journal of Cleaner Production*, 88, 132–138. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.020>

Sun, S., Wang, Y., Engel, B. A., & Wu, P. (2016). Effects of virtual water flow on regional water resources stress: A case study of grain in China. *Science of the Total Environment*, 550, 871–879. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.016>

Torres, J. (Cenicaña). (1995). *Riegos. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*. Cali. Retrieved from <http://books.google.com/books?id=HZw0AQAAIAAJ&pgis=1>

UNESCO. (2012). *World Water Development Report Volume 4: Managing Water under Uncertainty and Risk*. UN Water Report (Vol. 1). <http://doi.org/10.1608/FRJ-3.1.2>

United Nations World Commission on Environment and Development. (1987). Brundtland Report: Our Common Future. *United Nations*, 300. [http://doi.org/10.1016/0022-2364\(91\)90424-R](http://doi.org/10.1016/0022-2364(91)90424-R)

USAID PARAGUAY. (2010). Azúcar orgánica.

Vanham, D., & Bidoglio, G. (2014). The water footprint of agricultural products in European river basins. *Environmental Research Letters*, 9(6). <http://doi.org/10.1088/1748-9326/9/6/064007>

Vega, D. I., Redondo, J. M., Olivar, G., Vega, I., Olivar, J. M., & De, G. T. (n.d.). Tendencias-Del-Consumo-De-Agua-En-La-Produccion-De-Bioetanol-En-Colombia, XXI(c), 93–106. <http://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd21-41.tcap>

Vega Ibarra, D. I., Redondo, J. M., & Olivar, G. (2017). Tendencias del consumo de agua en la producción de bioetanol en Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, XXI(c), 93–106.

<http://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd21-41.tcap>

Veldkamp, T. I. E., Wada, Y., Aerts, J. C. J. H., & Ward, P. J. (2016). Towards a global water scarcity risk assessment framework: incorporation of probability distributions and hydro-climatic variability Towards a global water scarcity risk assessment framework : incorporation of probability distributions and hydro-climatic .

WFN. (2007). Global Footprint Network 2007 Annual Report.

WFN. (2008). 08 A time for change. Global Footprint Network Annual Report, 24.

Wickham, H; Bryan, J. (2017). Read Excel Files [R package readxl version 1.2.0]. Retrieved October 7, 2018, from <https://cran.r-project.org/web/packages/readxl/index.html>

Wolter, K., & Timlin, M. S. (2017). El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *International Journal of Climatology*, 31(7), 1074–1087. <http://doi.org/10.1002/joc.2336>

Wu, H., Franklin, S. B., Liu, J., & Lu, Z. (2017). Relative importance of density dependence and topography on tree mortality in a subtropical mountain forest. *Forest Ecology and Management*, 384, 169–179. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.049>

WWAP. (2012). *United Nations world water development report 4: managing water under uncertainty and risk* (Vol. 20).

WWAP. (2014). *The United Nations world water development report 2014* (Vol. 1).

WWAP. (2015). *The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world*.

WWF. (2014). Informe de planeta vivo . Resumen, 36.

Zarate, E., & Kuiper, D. (2013). Evaluación de Huella Hídrica del banana para pequeños productores en Perú y Ecuador Water Footprint Assessment of Bananas Produced by Small Banana Producers in Peru and Ecuador Reporte final GOOD STUFF INTERNATIONAL – Switzerland Autores : Erika Zarate &

- Zhang, Y., Zhang, J., Tang, G., Chen, M., & Wang, L. (2016). Virtual water flows in the international trade of agricultural products of China. *Science of the Total Environment*, 557–558, 1–11. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.166>
- Zhang, Z. Y., Yang, H., Shi, M. J., Zehnder, A. J. B., & Abbaspour, K. C. (2011). Analyses of impacts of China's international trade on its water resources and uses. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(9), 2871–2880. <http://doi.org/10.5194/hess-15-2871-2011>
- Zhuo, L., Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016a). Consumptive water footprint and virtual water trade scenarios for China - With a focus on crop production, consumption and trade. *Environment International*, 94, 211–223. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.019>
- Zhuo, L., Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016b). The effect of inter-annual variability of consumption, production, trade and climate on crop-related green and blue water footprints and inter-regional virtual water trade: A study for China (1978-2008). *Water Research*, 94, 73–85. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2016.02.037>