

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

La Huella Hídrica del bambú gigante (*Dendrocalamus asper*) como indicador de sustentabilidad en la construcción Sistematización de experiencias prácticas de investigación y/o intervención

José Antonio Chuquimarca Carrión

Ingeniería Industrial

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Industrial

Quito, 13 de mayo de 2016

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN

La Huella Hídrica del bambú gigante (*Dendrocalamus asper*) como indicador de sustentabilidad en la construcción

José Antonio Chuquimarca Carrión

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Cristina Camacho, Msc.

Firma del profesor

Quito, 13 de mayo de 2016

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: José Antonio Chuquimarca Carrión

Código: 00102156

Cédula de Identidad: 1103477863

Lugar y fecha: Quito, mayo de 2016

La Huella Hídrica del bambú gigante (*Dendrocalamus asper*) como indicador de sustentabilidad en la construcción

José A. Chuquimarca* y Pablo F. Dávila

Universidad San Francisco de Quito, Departamento de Ingeniería Industrial, Colegio de Ciencias e Ingenierías "El Politécnico", Diego de Robles y Vía Interoceánica, Quito, Ecuador

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del Artículo:

Keywords:

Dendrocalamus asper

CROPWAT 8.0

Water Footprint Accounting

Huella de Agua

Evapotranspiración

ABSTRACTO

A medida que el uso de recursos hídricos por parte del ser humano incrementa gracias al aumento de la demanda y el uso industrial, es necesario buscar indicadores que faciliten cuantificar el aprovechamiento del agua y la contaminación involucrada detrás de la producción y fabricación de bienes de consumo. En particular para aquellos bienes que requieren mucha agua para su producción y que por ende estarían afectando negativamente los recursos hídricos disponibles, como es el caso de materiales usados para construcción provenientes de recursos madereros y similares. El objetivo del presente estudio es determinar la cantidad de agua necesaria para producir bambú gigante (*Dendrocalamus asper*) como materia prima en la construcción, aplicando los conceptos de Hoekstra et al (2012) para el cálculo de la Huella Hídrica como indicador de uso y aprovechamiento del agua. El estudio demuestra que si bien se requiere de una alta cantidad de agua para obtener bambú gigante como materia prima, el cultivo puede ser considerado sustentable y amigable al medioambiente debido a que tiene un menor uso de agua en comparación a otras especies madereras del país usadas con el mismo fin. © 2016. All rights reserved.

Introducción

De acuerdo a la UNESCO (2006), en muchas regiones del mundo, la severa escasez de agua de consumo es un fenómeno común, donde la correcta administración del suministro de agua fresca (dulce) es un reto importante, sobre todo en aquellos productores de bienes y servicios que requieren de dicho recurso. Según estudios de Hoekstra y Chapagain (2008), alrededor del 86% de toda el agua utilizada en el mundo se destina para cultivar alimentos y productos vegetales. Por lo tanto, la elección de un producto de origen vegetal tiene un gran impacto en la demanda y utilización de agua (Steinfeld et al, 2006), situación que estimula el incremento de la demanda del bien dependiendo del tipo de producto que se consume, su origen, procesamiento y distribución hasta el consumidor final.

El agua fresca es un componente esencial en la cadena de suministro de muchas empresas. El mal manejo de los suministros de agua puede provocar problemas para la empresa, tales como daño a la imagen corporativa, necesidad de un mayor control regulatorio, riesgos financieros causados por la contaminación e incluso depredación de los recursos hídricos (Rondinelli y Berry, 2000; Pegram et al., 2009), además de costos financieros y ambientales.

Existe la necesidad que la industria adopte un enfoque responsable hacia el uso sostenible del agua que usa en sus procesos con el afán de minimizar el impacto ambiental y para eso es necesario utilizar indicadores ambientales que permitan comprender mejor el estado actual del uso de recursos. Dos de los indicadores ampliamente utilizados en la actualidad para cuantificar el uso industrial del agua son los denominados Huella Hídrica (HH) y Agua Virtual (AV). El presente estudio se enfoca en el cálculo de la Huella Hídrica del bambú gigante de la especie *Dendrocalamus asper* como

materia prima para la construcción y en comparación con otros materiales usados para el mismo fin como son maderas de distintas especies. Se buscó determinar si el bambú gigante, aún con su alto requerimiento de agua para su crecimiento, puede ser catalogado como una materia prima de bajo impacto ambiental de acuerdo a su HH. Particularmente porque la HH es un indicador integral del uso de recursos de agua dulce en la elaboración de un producto, que va más allá de las medidas restrictivas de extracción de agua (Hoekstra et al, 2012) y en vista que en el Ecuador, en la última década, ha existido un crecimiento considera en la producción de bambú como material de construcción (INBAR, 2015).

El bambú ya es calificado como un recurso amigable con el ambiente por contribuir a la disminución de la amenaza sobre los bosques debido a que es considerado como un sustituto directo de muchos productos de madera (León & Fausto, 1990), adicionalmente se lo considera como la especie vegetal que posee la mayor cantidad de secuestro de carbono (Kleiner, 2007).

En el Ecuador, la especie de bambú gigante *Dendrocalamus asper* es una de las especies con mayor crecimiento en el sector industrial para la producción de alternativas de madera debido a su rápido crecimiento y propiedades como material de construcción (García Pazmiño, 2015). Liese & Köhl (1999) reportaron que ésta especie de bambú puede llegar a medir hasta 40 metros de alto en condiciones ideales y en el Ecuador el tamaño oscila entre 20 a 35 metros de altura (INBAR, 2015). Siendo una de las plantas que más rápido crece, la cantidad y requerimientos de agua son mucho mayores en sus primeros años de desarrollo. Teniendo rangos de requerimiento de precipitación de 1000mm a 4050mm (Mercedes, 2006), en un periodo de crecimiento de 6 años (2009-2015). El proceso de crecimiento total de la planta desde su germinación hasta la cosecha puede durar entre 5 a 7 años (Acevedo, 2014).

En el presente estudio se analizó la cantidad de agua total requerida por el bambú gigante y se comparó con otras especies arborícolas usadas en la construcción para determinar si el bambú es efectivamente un material de construcción que puede ser considerado como altamente sustentable y amigable con el medioambiente en base únicamente a la medición de la Huella Hídrica.

Metodología

La Huella Hídrica del Bambú gigante como materia prima de construcción se calculó mediante la utilización de la metodología propuesta por Hoekstra et al, en el Water Footprint Assesment Manual (WFAM), 2012. Este manual sirvió como base en el estudio ya que es el estándar oficial para medir la huella de agua (WFN, 2015).

De acuerdo al WFAM la cuantificación de la Huella Hídrica de un producto se da como el resultado de la suma los tres diferentes tipos de huella de agua (Azul, Verde y gris).

$$HH_{Total} = HH_{Azul} + HH_{Verde} + HH_{Gris} [Volumen/Masa] [1]$$

(Hoekstra et al., 2012)

Donde:

HH_{Azul} : es la huella de hídrica azul, la que está relacionada con el consumo de recursos de agua azul (acuíferos superficiales y subterráneos) a lo largo de la cadena de suministro de un producto y que no vuelven a su fuente natural (Fleijoo, 2015).

HH_{Verde} : es la huella hídrica verde y relaciona con el consumo de agua de precipitación o lluvia (Fleijoo, 2015).

HH_{Gris} : es la huella hídrica gris que es el agua contaminada en el proceso de producción del producto o el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes sobre la calidad de agua del ambiente (Fleijoo, 2015). De este modo se procedió a calcular la huella hídrica mediante cuatro etapas.

Primero, se levantó el proceso de producción del bambú, desde la etapa de cultivo hasta la post cosecha, con el fin de identificar los diferentes tipos de agua en la producción de la materia prima, como se muestra en la Figura 1.

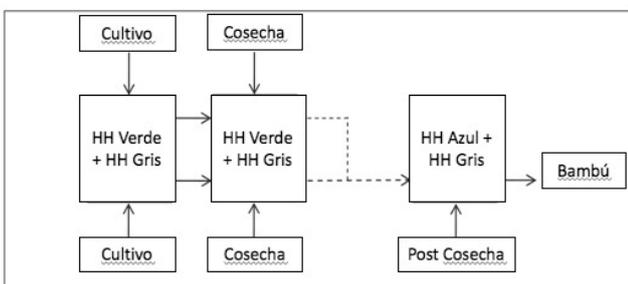


Figura 1. Proceso de producción del bambú gigante y sus tipos de agua. Segundo, una vez identificados los tipos de agua en el proceso de producción del bambú, se procedió a calcular la Huella de Agua verde, en base a las ecuaciones [2] y [3], para estimar la cantidad de agua por precipitación absorbida por el bambú en los 6 años de cultivo (años 2010-2015).

$$HH_{verde} = \frac{AUC_{verde}}{y} [2]$$

Siendo:

HH verde: Huella Hídrica verde.

AUC verde: Cantidad de agua verde utilizada en el cultivo.

y : Rendimiento del cultivo (T/ha) (Hoekstra, 2003).

$$AUC_{verde} = 10 \times \sum_{d=1}^{lpc} ET_{verde} [m^3/ha] [3]$$

En donde ET verde representa la evapotranspiración del agua verde. El factor 10 está destinado a convertir milímetros en metros cúbicos (m^3/ha). La sumatoria es realizada durante el periodo comprendido entre el día de la planificación (día 1) hasta el día de la cosecha ("lpc" significa longitud del periodo de crecimiento en días). (Hoekstra, 2003).

Debido a que el bambú es un cultivo perenne se debe de promediar la evapotranspiración del cultivo desde el día de siembra hasta su cosecha (INBAR, 2015). Para calcular la evapotranspiración del bambú *Dendrocalamus asper*, se utilizó la herramienta CROPWAT 8.0 desarrollada por la FAO (Allen et al, 1998; FAO, 2009a). En base a la estación meteorológica más cercana a la plantación se recolectaron las siguientes variables y datos necesarios de entrada para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo. La Tabla 2 muestra las coordenadas del lugar del estudio con relación a la estación climatológica del INAMHI de La Concordia.

Lugar	Latitud	Longitud	Distancia
Finca Barlovento	0G 03' 30" S	79G 36' 25" W	10 Km
Estación Climatológica La Concordia	0G 1' 29" S	79G 22' 49" W	10 Km

Tabla 2. Coordenadas geográficas lugar de estudio y finca.

Las variables de entrada son necesarias para contabilizar la evapotranspiración del cultivo, se dividen en los 4 módulos del software, los cuales son:

1. Clima/ETo: Temperatura mínima (°C), Temperatura Máxima (°C), Humedad (%), Velocidad del viento (m/s) (FAO, 2013). De los últimos 6 años.
2. Precipitación mensual (mm) (FAO, 2013). De los últimos 6 años.
3. Cultivo: Coeficiente de cultivo (Kc), Etapas de crecimiento (días), Profundidad radicular (m), Fracción de agotamiento crítico, Respuesta de rendimiento, Altura de cultivo (m) (FAO, 2013)
4. Suelo: Tipo de suelo, Humedad de suelo disponible total (mm/metro), Tasa máxima de infiltración de la precipitación (mm/día), Profundidad radicular máxima (cm), Agotamiento inicial de humedad del suelo (%). Ver Tabla 3. (FAO, 2013)

Un ejemplo de la carga de datos de entrada en el CROPWAT 8.0 se muestra en el Anexo 1.

Los valores para cada uno de los módulos del CROPWAT 8.0 se obtuvieron de fuentes gubernamentales y científicas de la siguiente manera:

1. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI): Módulos 1 y 2.
2. FAO (2009a) y Allen et al. (1998): Módulo 3. Ver Tabla 3.
3. Proyecto Nacional MAGAP SIGTIERRAS y del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) : Modulo 4.

Las variables de salida de los diferentes módulos del sistema son Insolación (h), Evapotranspiración (mm/día), Precipitación Efectiva (mm), Humedad de suelo inicialmente disponible (mm/metro) y los requerimientos de agua de cultivo (RAC) (FAO, 2013). La huella de agua verde se obtendrá mediante la selección del mínimo entre la evapotranspiración y la precipitación efectiva, para cada año del ciclo de vida del bambú (Hoekstra

et al, 2012). Luego se promediaron estos valores y se obtuvo la huella verde total del proceso.

Tipo de Suelo: Franco

Datos Generales del Suelo	Cantidad
Humedad del suelo disponible total (CC-PMP)	170 mm/m
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	10 mm/día
Profundidad radicular máxima	50 cm
Agotamiento inicial de humedad de suelo (% de ADT)	0%
Humedad del suelo inicialmente disponible	170 mm/m

Fuente: CROPWAT 8.0 (2012b) y FAO (2015)

Tabla 3. Datos de suelo y rendimiento medio de cultivo a utilizar en CROPWAT 8.0.

Tercero, se calculó la Huella de Agua azul para el proceso de post cosecha mediante la cuantificación de agua utilizada al momento de lavar el bambú, llenado de las piscinas para el tratamiento del producto y agua utilizada para la mezcla del pentaborato. Es decir midiendo la cantidad de agua requerida para tratar una hectárea de bambú cosechada. En este caso la recolección de datos fue manual en el lugar del estudio y se estimó una Huella azul de $89.3 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Cuarto, se calculó la huella hídrica gris mediante la ecuación [4], recopilando información de requerimientos tanto como de fertilizantes, insecticidas y químicos para el tratamiento del bambú en su ciclo de vida. Las Tablas 4 y 5 muestra los contaminantes utilizados en el cálculo de la huella gris por año y proceso.

$$HH_{Gris} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} \quad [4]$$

(Hoekstra, 2003).

Siendo:

L: Capacidad de contaminante (insecticidas y fertilizantes) utilizados en kg/tiempo.

Cmax: Concentración máxima de un contaminante (kg/m^3)

Cnat: Concentración natural del contaminante (kg/m^3)

De esta manera, la huella hídrica gris se calcula por separado para cada contaminante. El volumen total de agua requerida por tonelada de contaminante se calcula teniendo en cuenta el volumen de contaminante y la concentración máxima permitida en el cultivo. La concentración natural de contaminantes en el cuerpo de agua receptor se supone despreciable (Hoekstra, 2003).

Insumo	Dosis (gr/tallo)	Unidad	Cmax (kg/m^3)	Cnat (kg/m^3)
Cosecha				
Fertilizante	100	kg	0.98	0
Insecticida	5	kg	0.98	0
Post Cosecha				
Pentaborato	500	gr	0.788	0

Fuente: INBAR (2015)

Tabla 4. Contaminantes utilizados para el cálculo de la HH gris por proceso.

Año	Fertilizante (kg/ha)	Insecticida (kg/ha)	Pentaborato (kg/ha)
2010	200	10	16000
2011	200	10	

2012	300	15	
2013	300	15	
2014	400	20	
2015	400	20	
Total	1800	90	16000
Promedio	300	15	16000

Tabla 5. Resultado de cantidad de contaminantes por proceso.

Resultados y Discusión

En base a la metodología planteada se calculó la huella de agua verde, azul y gris del bambú como materia prima de construcción durante la etapa de cultivo hasta la cosecha, las cuales se muestran en la Tabla 6.

Año	Huella Azul (m^3/ton)	Huella Verde (m^3/ton)	Huella Gris (m^3/ton)
2010	-	167.81	0.214
2011	-	127.45	0.214
2012	-	97.13	0.321
2013	-	77.82	0.321
2014	-	76.88	0.429
2015	-	74.60	0.429
SUMA	-	621.68	1.92
MEDIA	-	103.61	0.32

Tabla 6. Huella hídrica del proceso de cultivo y cosecha de bambú.

Se puede observar que los valores de huella verde tienen una tendencia negativa, lo cual coincide con los datos de entrada en base a menor cantidad de precipitación en la zona en dichos años junto con un aumento notable en la temperatura.

Los valores de la huella gris en este proceso tienen una tendencia de crecimiento lineal debido a la cantidad de fertilizantes e insecticidas se necesitan cada dos años para suplir con el crecimiento adecuado del bambú por hectárea.

Por otra parte, la huella azul en este proceso es nula debido a la naturaleza del cultivo. El bambú en condiciones adecuadas, en una zona tropical con precipitación alta, como es el caso de La Concordia, no necesita riego ni requerimiento de agua para su crecimiento que no sea la de precipitación (INBAR, 2015).

Sin embargo, cambios en las variables de entrada del CROPWAT 8.0 pueden alterar significativamente el resultado de los datos. Por ejemplo, debido a que en la plantación ni en estudios realizados en Ecuador existe información sobre los valores del coeficiente de cultivo en el bambú, se optó por tomar datos obtenidos de la literatura. En base a estudios realizados por Piouceau et al. (2014), para cinco especies de plantas de bambú bajo climas tropicales se obtuvo los coeficientes de cultivo que durante el crecimiento varían entre 1.1-1.9. Siendo 1.1 para la etapa inicial, 1.9 etapa media y 1.3 para la etapa final.

Futter defiende que no se puede generalizar el proceso de analizar los bosques y productos forestales solo con análisis de la huella de agua verde. Debido a que en países nórdicos o en diferentes condiciones climáticas, el requerimiento de riego puede ser mayor para cultivos industrializados y que requieran una gran cantidad de huella azul que no se está considerando (Futter, 2013). De la misma manera, para el caso de suelos diferentes, Liese

& Köhl (1999) aseguran que el no considerar los diferentes tipos de suelo dentro de un área de estudios puede sesgar Los datos del tipo de suelo fueron obtenidos del MAGAP-SIGTIERRAS, donde por medio del software ARCGIS se pudo observar que existen cuatro tipos de suelo en la plantación con mayor porcentaje de suelo “franco”. Para el estudio se tomaron en cuenta los diferentes suelos, dando una pequeña variación en los resultados ya que el comportamiento es similar.

En caso de que la variación del coeficiente de cultivo sea notable esto se verá reflejado en los resultados finales del estudio, en especial en los de la huella verde. De la misma manera, autores como Futter (2013) y sus colegas critican el análisis de la huella hídrica para productos forestales ya que no tener en cuenta la Evapotranspiración como un componente central en el ciclo hidrológico puede dar lugar a estimaciones inapropiadas o incorrectas de los impactos de los recursos hídricos del sector forestal, en especial con sus coeficientes de cultivos y datos climáticos adecuados.

Se debe de tener muy en cuenta que la utilización de una herramienta como el CROWPAT 8.0 permite al agricultor determinar la cantidad de agua que requiere el cultivo y la evapotranspiración verde y azul del cultivo (McKinsey, 2009).

Los resultados de la Huella Hídrica del proceso de post cosecha se muestran en la Tabla 8. En esta tabla se puede evidenciar que la huella verde fue 0 ya que no obtiene agua de precipitación y el agua utilizada en el sistema es netamente azul proveniente de una fuente subterránea. La huella gris está basada en los requerimientos del pentaborato para el mantenimiento del bambú.

En esta sección el rendimiento y la capacidad de las huellas azul y gris pueden variar debido a la demanda de ventas del bambú en el año. Se recomienda siempre hacer un seguimiento al gasto de agua por medidor y su relación en costo para tener datos mucho más certeros.

Huella Azul (m^3/T)	Huella Verde (m^3/T)	Huella Gris (m^3/T)
0.56	0.00	0.021

Tabla 7. Huellas Hídrica del proceso de Post Cosecha

Luego, en base a los resultados de los dos procesos se calcula la Huella Hídrica total, siendo la suma de los dos procesos, es de $104 m^3/T$ y las diferentes huellas se muestran en la Tabla 8.

Huella Azul (m^3/T)	Huella Verde (m^3/T)	Huella Gris (m^3/T)
0.56	103.61	0.34

Tabla 8. Huellas de bambú finales.

Además, se realizó una comparación de la huella hídrica verde por metro cúbico de madera al año con especies madereras utilizadas en la construcción como el Pino, Eucalipto, Picea y Planifolio-Frondosas tomadas de un estudio tomado por Ercin y Hoekstra (2015). En esta comparación se multiplicó la huella hídrica verde en metros cúbicos por los años necesarios de cultivo para cosecha. Siendo el bambú el tipo de materia prima de construcción con menos utilización de agua por metro cúbico de madera. Los resultados se muestran en la Tabla 9.

Especie	HH Verde al año (m^3 Agua/ m^3 Madera)	Años de Cultivo	Total (m^3 Agua/ m^3 Madera)
Bambú	110	5	550
Pino	600	30	18000

Eucalipto	280	20	5600
Picea	520	20	10400
Planifolio-Frondosas	520	35	18200

Fuente: Hoekstra (2015)

Tabla 9. Comparación de Huella hídrica verde entre especies madereras. De la misma manera, en la Tabla 10, se calculó la productividad aparente de los diferentes tipos de materia prima maderera, es decir para calcular el costo de la utilización de agua por metro cúbico. En este caso el bambú es el más alto, pero se debe de considerar que la mayor cantidad de agua utilizada en la producción del bambú es proveniente de la lluvia por lo que el costo puede aún disminuir. Lastimosamente debido a limitantes de información no se pudo calcular la cantidad económica o el gasto total de agua en dólares al año de la empresa, se recomienda para futuros estudios tomar en cuenta todos los parámetros correspondientes.

Cultivo	\$ /T	HH Cultivo (m^3/T)	PAA ($$/m^3$)
Bambú	\$671.20	104.5139796	\$6.42
Pino	\$576.00	600	\$0.96
Eucalipto	\$987.43	280	\$3.53
Picea	\$808.88	520	\$1.56

Fuente: BCE (2015)

Tabla 10. Comparación de la productividad aparente entre especies madereras.

4. Conclusiones

La Evapotranspiración de bosques se interpreta como una huella de agua verde de la silvicultura en lugar de verlo como parte de un ciclo hidrológico natural. Además, se puede considerar al bambú como un producto apto para la producción en el Ecuador en zonas con precipitación alta. Durante el año 2014, Ecuador exportó en $6239,41 m^3$ de agua virtual, dividiéndose en $31.53 m^3$ fue de agua azul, $6189.72 m^3$, agua verde y $18.14 m^3$ agua gris. Asimismo, acorde a la productividad aparente, el bambú es un cultivo muy rentable ya que la mayor parte del agua necesitada para su cultivo es de precipitación tendiendo una productividad de $6,42 \$/m^3$.

Comparado con otras especies madereras, el bambú tiene un rendimiento anual de $110 m^3$ de agua por m^3 de madera al año. La huella hídrica total calculada en la plantación fue de $104.51 m^3/ton$. La alta rentabilidad y el crecimiento acelerado de la planta puede generar mayores niveles de ingresos de manera sustentable y ser un diferenciador frente a otros productos de construcción.

Para futuros estudios, se debe de incluir los costos anuales relacionados al uso de agua en la empresa. También, realizar estudios de toda la cadena de suministro hasta el proceso de exportación del bambú. Comparar, evaluar y analizar la HH de la guadua angustifolia (caña guadua) que es el tipo de bambú con mayor número de hectáreas en el Ecuador.

El autor recomienda utilizar este estudio como referencia para buscar calcular y minimizar la huella de agua del bambú en las diferentes plantaciones, de este modo buscar una certificación de sostenibilidad y protección del recurso hídrico para utilizarlo como factor diferenciador del producto al momento de exportar.

Finalmente, el bambú gigante como materia prima de construcción es sostenible en cuanto a los requerimientos de agua ya que la mayor cantidad

de requerimiento de agua que necesita para su producción es huella de agua verde (precipitación) que no tiene un costo relacionado con la producción y puede ser reutilizable para suplir parte de la HH azul. De la misma manera, comparado con el ciclo de vida de otras especies madereras de construcción como el Pino, Eucalipto y Picea el requerimiento de agua es mucho menor en el bambú con $550 \text{ m}^3 \text{ Agua/m}^3 \text{ Madera}$ al año.

Agradecimientos

A mi familia y en especial mi madre. Profesores y amigos: Pablo Dávila, Cristina Camacho y Amado Karland (Carlos Peñaherrera) por su apoyo y motivación en la realización de este estudio.

REFERENCIAS

- Acevedo, P. J. (2014). LA BIO-CONSTRUCCIÓN COMO UNA ALTERNATIVA EN LA BÚSQUEDA DE LA SOSTENIBILIDAD: EL CASO DEL BAMBÚ. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 14(1).
- Allen, R.G et al., 1998. Crop Evapotranspiration – Guide- lines for Computing Crop Water Requirements FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Allen, R., 2006. *Agricultural Water*. Elsevier.
- BCE (Banco Central del Ecuador). (2016). Comercio Exterior: Estadísticas – Consultas Totales por Nandinas. Obtenido el 23 de abril de 2016 de http://www.portal.bce.fin.ec/vto_bueno/seguridad/ComercioExteriorEst.jsp
- Ercin, A.E., Aldaya, M.M. & Hoekstra, A.Y., 2011. Corporate water footprint accounting and impact assessment: the case of the water footprint of a sugar-containing carbonated beverage. *Water Resources Management* 25 (2), 721–741. 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.
- Ercin, A. E., & Hoekstra, A. Y. (2012). Carbon and Water Footprints— Concepts, Methodologies and Policy Responses. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- FAO, 2009a. CROPWAT 8.0 Model. Food and Agriculture Organization, Rome.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2013a. Factores que afectan la viabilidad de los pequeños agricultores. Obtenido el 3 de enero de 2015 de <http://www.fao.org/docrep/005/y4137s/y4137s01.htm>
- FAO WATER (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Water Division. 2013b. Land and Water Division. CropWat. Obtenido el 3 de enero de 2015 de http://www.fao.org/nr/water/infoces_databases_cropwat.html
- Flejoo, K. 2015. *La huella Hídrica*. Bogotá: aclimatecolombia.
- Fojel, R. (2012). *Cambio climático, alteraciones ambientales y pobreza en el Paraguay*. Buenos Aires : Clacso.
- Futter, M. N., et al. 2014. Is the water footprint an appropriate tool for forestry and forest products: The Fennoscandian case. *Ambio*, 43(2), 244-256.
- García Pazmiño, C. G. (2013). *Estudio de comportamiento de demanda para el uso de caña guadua y bambú gigante en Ecuador* (Doctoral dissertation, SANGOLQUÍ/ESPE/2013).
- Hoekstra, A. 2003. *Virtual water trade. Proceedings of the International Expert*. The Netherlands: The Netherlands.

- Hoekstra, A.Y. & Chapagain, A.K., 2008. *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources*. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Hoekstra, Arjen et al., 2012. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Earthscan, London, UK.
- INBAR (International Network for Bamboo And Rattan). (2015). *Environmental Sustainability*. Obtenido el 4 de marzo de 2015 de <http://www.inbar.int/our-work/environmental-sustainability/>
- Kleiner, K. (2007). The corporate race to cut carbon. *Nature Reports Climate Change*, Vol. 3, pp. 40–43.
- León, E. D., & Fausto, C. (1990). *Identificación de productos de AUM en la costa sur de Guatemala. Informe interno* (No. CATIE L579id). CATIE, Turrialba (Costa Rica). Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido. Dirección General de Bosques y Vida Silvestre, Guatemala (Guatemala).
- Liese, W., & Köhl, M. 1999. Bamboo: Past-Present-Future. *American Bamboo Society, Newsletter*, 20.
- Piouceau, J., Panfili, F., Bois, G., Anastase, M., Dufossé, L., & Arfi, V. (2014). Actual evapotranspiration and crop coefficients for five species of three-year-old bamboo plants under a tropical climate. *Agricultural Water Management*, 137, 15-22.
- Pegram, G., Orr, S. & Williams, C., 2009. *Investigating Shared Risk in Water: Corporate Engagement with the Public Policy Process*. WWF, Godalming, UK.
- Rondinelli, D.A. & Berry, M.A., 2000. Environmental citizenship in multinational corporations: social responsibility and sustainable development. *European Management Journal* 18 (1), 70–84.
- Steinfeld, H., et al., 2006. Live- stock's long shadow: environmental issues and options. Food and Agriculture Organization, Rome.
- UNESCO, 2006. *Water a Shared Responsibility: the United Nations World Water Development Report 2*. UNESCO Publishing, Paris/Berghahn Books, Oxford.
- Water Footprint Network. (2014). *Water Footprint Network*. Obtenido el 2 de enero de 2015 de <http://waterfootprint.org/>

Anexos

Anexo 1.

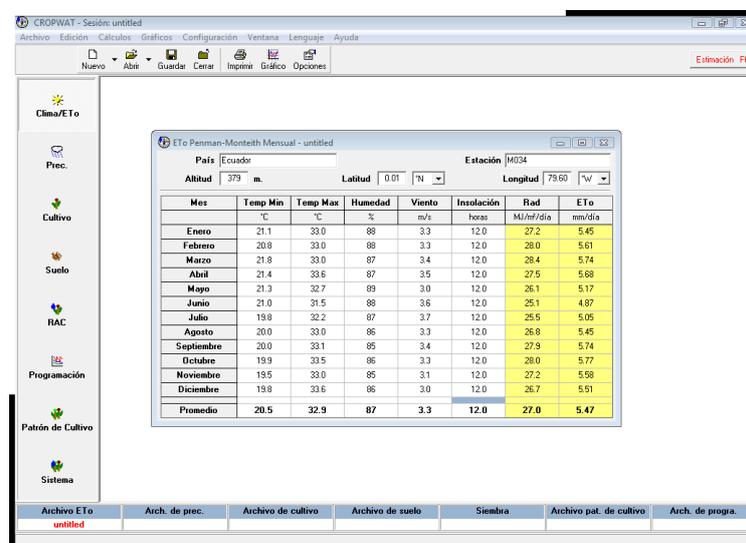


Figura 2. Ejemplo carga de datos en CROPWAT 8.0

