

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Comparando la huella hídrica de dos chocolates con
diferente porcentaje de cacao como indicador de
sustentabilidad de la industria del chocolate ecuatoriano**

Paper

Polita Giulianna Borja Darquea

Ingeniería Industrial

Trabajo de titulación presentado como requisito

para la obtención del título de

Ingeniería Industrial

Quito, 16 de mayo de 2016

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERIA

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Comparando la huella hídrica de dos chocolates con diferente
porcentaje de cacao como indicador de sustentabilidad de la industria
del chocolate ecuatoriano**

Polita Giulianna Borja Darquea

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Cristina Camacho, MSc.

Firma del profesor

Quito, 16 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: Polita Giulianna Borja Darquea

Código: 100447

Cédula de Identidad: 1716139975

Lugar y fecha: Quito, mayo de 2016

Giulianna Borja-Darquea
Universidad San Francisco de Quito
Quito, Pichincha, 170157, Ecuador

Abstracto

A medida que la población mundial continúa creciendo, la presión para producir mayor cantidad de bienes exige un requerimiento creciente de uso de recursos como el hídrico. Debido a la preocupación mundial por el manejo de los recursos hídricos y la afectación que las actividades industriales tienen hacia éstos, muchas empresas alrededor del mundo han empezado a tomar conciencia frente al impacto que sus actividades tienen hacia la drástica reducción de agua fresca disponible. En el pasado, las pequeñas y grandes industrias, no han estado conscientes de la cantidad de agua utilizada para elaborar sus productos en vista que su enfoque ha sido tradicionalmente orientado a la rentabilidad económica, sin embargo, a medida que la problemática del agua en todo el mundo se ha hecho más evidente y sus consecuencias han afectado al desarrollo de la población, se ha buscado indicadores que permitan valorar mejor la forma como las empresas estiman el uso de sus recursos. En el presente trabajo, se analiza el indicador de la huella hídrica, mismo que facilita realizar estimaciones de la cantidad de agua usada en la producción de bienes de consumo y sus componentes. El trabajo se ha enfocado en la estimación de la huella hídrica del chocolate en dos empresas para así determinar si el proceso productivo del chocolate Ecuatoriano es amigable con el medioambiente. Además, se compararon ambos productos para determinar si su impacto ambiental en relación al uso del agua es el adecuado para finalmente determinar el impacto hídrico del chocolate ecuatoriano y su impacto en comparación con otros estudios realizados alrededor del mundo.

1. Introducción

El clima del planeta tierra ha ido cambiando con el paso de los años como resultado de la contaminación producida por los seres humanos (actividad antropogénica) desde el inicio de la revolución industrial (Hoekstra A. y Chapagain, 2007). La cantidad suficiente de agua fresca, ligada a una calidad adecuada de ésta, no son únicamente un prerrequisito y derecho para las sociedades humanas, sino para todos los ecosistemas naturales del planeta, que de forma directa o indirecta interactúan o necesitan de sistemas hídricos para su supervivencia (Costanza y Daly, 1992). Con el aumento de la población mundial, hay evidentemente un incremento sustancial y creciente de personas que se incorporan a la sociedad de consumo, situación que pone cada vez más, mayor presión a la demanda de agua fresca para la producción de bienes y alimentos en particular (Araya, 2009). Debido a esto, los casos del mal uso de este recurso para satisfacer la demanda se observan con mayor frecuencia, incluyendo escases y contaminación de agua; por ejemplo cuando los ríos se secan y existe un deterioro generalizado y considerable de la calidad d agua fresca (Postel, 2000). Más allá de esto, se genera un conflicto sobre el uso del agua, mismo que se basa sobre todo en un mal manejo de ésta (Simone, 2007). Como consecuencia de la mala administración del uso del agua fresca por parte de los gobiernos y empresas, y por la creciente preocupación generada por la escases y contaminación observadas (Hoesktra, 2010) se ha buscado implementar indicadores de la gestión integrada de recursos hídricos con el fin de

identificar los principales impulsores de la insostenibilidad para así encontrar soluciones que permitan satisfacer la alta demanda por alimentos, el suministro de agua doméstica de consumo y al mismo tiempo, proteger a los ecosistemas. Para entender las consecuencias que ha tenido la apropiación de los seres humanos sobre este limitado recurso, se requiere de un análisis de la cantidad de agua necesaria para el consumo humano o producción industrial, contrastado la cantidad de agua disponible en relación al lugar (país) y el tiempo (año) (Hoekstra y Chapagain, 2008; Lopez-Gunn y Llamas, 2008). El 86% del uso de agua en todo el mundo es para el cultivo de alimentos (Hoekstra y Chapagain, 2008). Por ende, la producción de alimentos tiene un gran impacto sobre el uso y la demanda de agua (Steinfeld et al., 2006; De Fraiture et al., 2007; Galloway et al., 2007; Peden et al., 2007). El agua fresca (también conocida como agua dulce) es el ingrediente básico en las operaciones y en la cadena de suministro de muchas compañías (Hoekstra, 2010). Hoy en día, las empresas enfrentan nuevos riesgos, por ejemplo si no tienen un buen manejo del agua que utilizan diariamente para sus procesos, pueden comprometer la imagen de la empresa frente a los ojos del cliente. De igual manera, existe un incremento de controles regulatorios, costos financieros por contaminación y uso inadecuado de agua en las operaciones del negocio (Rondinelli y Berry, 2000; Pegram et al., 2009). Debido a esto, es importante que las industrias alimenticias, al elaborar sus productos, sean responsables frente al uso sustentable y la conservación de agua fresca (Ercen, Aldaya y Hoekstra, 2011). Se estima que el 70% de uso de agua fresca en todo el mundo es para uso en la agricultura (Gleick, 1993; Bruinsma, 2003; Shiklomanov y Rodda, 2003; UNESCO, 2006), esto significa que se está utilizando un 86% del total de agua fresca a nivel mundial (Hoekstra y Chapagain, 2007). En el caso del Ecuador, uno de los productos que más se exporta es el cacao fino aroma, esta es una variedad de cacao que crece en el país. El 78% de la producción nacional de cacao sale como semillas de cacao y el resto se consume localmente (ProEcuador, 2016). El Ecuador es uno de los mayores proveedores de semillas de cacao fino aroma en el mundo, tiene una participación del 63% a nivel mundial (ProEcuador, 2016). El cacao denominado fino aroma es el cacao criollo originario del Ecuador, este es conocido por su sabor semiamargo-amargo, olor frutal o floral, su intensidad: mínima cantidad de cacao otorga un sabor único a las barras de chocolate más conocidas a nivel global), un chocolate con más del 50% de cacao es considerado de calidad y riqueza por la variedad de exóticos sabores que se pueden apreciar a partir del cacao, ya sea en su forma pura (100%) o en menor cantidad (50%); siendo uno de los productos base que más buscan las empresas chocolateras del mundo para la fabricación de los mejores chocolates (Ministerio Coordinador de Patrimonio, 2013). La producción y exportación Ecuatoriana del cacao por año se estima en 240 mil toneladas métricas, motivo por el cual es un producto de suma importancia para la economía del país (ProEcuador, 2011; Revista Alimentarya, 2015). A partir de la globalización y las nuevas políticas ambientales internacionales que tratan de alcanzar un desarrollo sostenible mundial, se da la necesidad de tener un indicador global de consumo de agua, mismo que pueda ofrecer información útil sobre el uso de dicho recurso (Moratilla, Moreno y Barrera, 2010). Por todo lo anteriormente señalado, es importante medir la Huella Hídrica (HH) de este producto, no solo por el interés económico que representa, sino también para fomentar un uso eficiente de agua fresca durante la elaboración del producto y a través de la cadena de suministro.

La HH es el indicador más utilizado para medir el estrés de agua ocasionado al medioambiente, mismo que estima del uso directo e indirecto del agua fresca para consumo o producción (Hoekstra, 2013). El uso directo de agua se relaciona a la

producción y fabricación de un producto o servicio, mientras que el uso indirecto involucra toda la cadena de suministro, desde la materia prima hasta el producto final (Business Assurance, 2015). La HH puede medirse de acuerdo a la necesidad, por ejemplo considerando procesos productivos de un producto, de un consumidor, de un grupo de consumidores, de una cuenca hídrica o de un área geográfica delimitada (Huella de Ciudades, s.f.). Lo valioso de este indicador es que se puede estimar a través de valores reales cuantificables la cantidad usada, por ejemplo considerando el agua que se evapora o se añade al producto o aquella que resulta contaminada a través de toda la cadena de suministro (Hoekstra et al., 2011).

2. Metodología. La Huella Hídrica (HH)

2.1 Descripción

La HH es un concepto creado por Arjen Hoekstra, bajo el concepto de ser un indicador del volumen de agua utilizado para el proceso de fabricación de un bien de consumo (o su proceso), tomando en cuenta la localización geográfica y climática donde se elabora dicho bien, y el uso del agua de manera directa o indirecta (Collado y Savaeedra, 2010).

2.2 Cálculo

Para poder calcular la HH, primero se necesita calcular 3 de sus componentes: la huella hídrica a) azul, b) verde y c) gris. Siendo: a) volumen de agua fresca que se evapora desde el recurso natural, esta es el agua que se encuentra a nivel superficial o subterránea, que es necesaria para producir un bien o servicio, conocida como la evapotranspiración (Araya, 2009). La evapotranspiración está compuesta por dos conceptos por lo que “el agua se pierde a través de superficie del suelo por evaporación (proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor y se retira de la superficie, a causa de la radiación solar directa) y otra parte por la transpiración del cultivo (vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de las plantas y su posterior remoción hacia la atmósfera, a través de los estomas a causa del gradiente de presión y velocidad del viento, esto incluye la radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica)” (FAO, 2006). a) Volumen de agua de riego proveniente de ríos, lagos, reservorios que se evapora y se transpira (Orr & Chapagain, 2006), b) volumen de agua de precipitación que se evapora o se incorpora en productos agrícolas por medio de la lluvia que cae desde la tropósfera hacia la superficie terrestre y que es aprovechada por las plantas para realizar sus procesos biológicos naturales. c) volumen de agua dulce que se contamina en la producción de un bien, misma que se requiere para asimilar una carga de contaminantes (Hoekstra et al., 2011). El cálculo de la HH se logra mediante la suma de los 3 componentes a), b) y c), que consideran el volumen de agua fresca directa e indirecta usada durante el proceso de producción (Ercin, Aldaya y Hoekstra, 2011; Araya, 2009; Chapagain y Tickner, 2012).

2.3 La Huella Hídrica del chocolate

La HH de un producto está conformada por la HH operacional (directa) y la HH de la cadena de suministro (indirecta). La HH operacional es el volumen de agua fresca que

se consume o contamina durante las operaciones de producción, es decir el agua que se incorpora al producto y que se evapora desde sus componentes básicos (directa), y el agua que se contamina por efecto del proceso productivo y que se elimina como agua de desecho (indirecta). La HH de la cadena de suministro, es el volumen de agua fresca que se consume o se contamina cuando se produce un bien o servicio, tomando en cuenta toda la materia prima necesaria para la producción. Tanto la HH operacional como la cadena de suministro consisten en dos partes: la HH puede estar directamente relacionada con los inputs o materia prima necesaria para la elaboración de un producto. En el caso de la elaboración del chocolate, y debido a que de éste se puede obtener subproductos (manteca de cacao y polvo de chocolate) que más tarde son combinados en distintas proporciones según el porcentaje de cacao que se requiera para la fabricación del chocolate, la HH de estos subproductos deben ser considerados para el cálculo de la HH total del producto final. Para el presente estudio, la HH relacionada con el transporte de materiales y la energía necesaria para realizar el proceso de producción no han sido considerados, en vista de no ser significativa en relación al total de HH en productos que se basan en alimentos de acuerdo a lo mencionado por Ercin et al. (2011) y Beckett (2000).

2.4 Objetivo del estudio

Aplicar el concepto de la HH en la cadena de suministro del chocolate, mediante el uso de la metodología estándar del manual para la valoración de la huella hídrica de la organización 'The Water foot print network': "The Waterfootprint Assessment Manual: Setting the Global Standard" (Hoesktra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen, 2012). Estimar la HH en la producción de dos formulaciones (58% y 100% cacao fino de aroma) de 50 gr. de chocolate para proponer opciones de reducción del uso de agua. Crear conciencia dentro de las empresas chocolateras ecuatorianas de la cantidad de agua usada en su proceso productivo.

2.5 Área de Estudio

2.5.1 Descripción General del Proceso Productivo

La HH del chocolate se midió considerando todo el proceso de producción del chocolate, desde la siembra de la planta de cacao (variedad 'fino de aroma') hasta la obtención del producto final como chocolate con una formulación dada. Se dividió al proceso de producción en tres partes para estimar de mejor manera la HH, ya que se tuvo acceso a dos empresas chocolateras, donde su forma de producción es distinta y se cuenta con todos los procesos involucrados en la cadena de suministro. La primera parte considera desde la siembra de la planta de cacao hasta la comercialización de la semilla (también llamada 'haba de cacao') proveniente del fruto de la planta, de acuerdo a lo que se puede observar en la Figura 1.

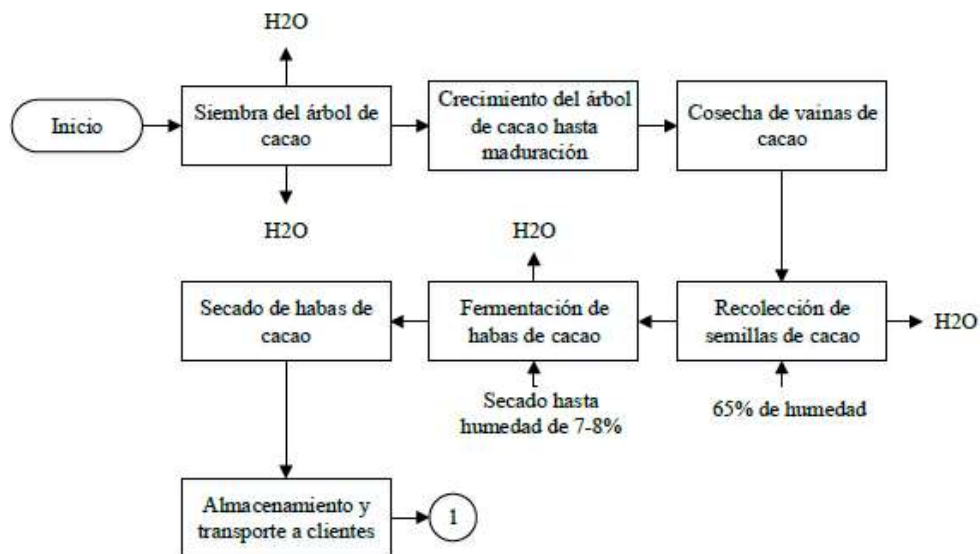


Figura 1. Proceso de siembra y recolección del cacao

La segunda parte es el procesado de la semilla o haba de cacao, misma que considera desde la llegada de ésta a la fábrica de chocolate hasta la elaboración de tabletas industriales. Estas pueden ser vendidas directamente al consumidor o a empresas que lo reciben como materia prima para realizar sus propias formulaciones (ver Figura 2).

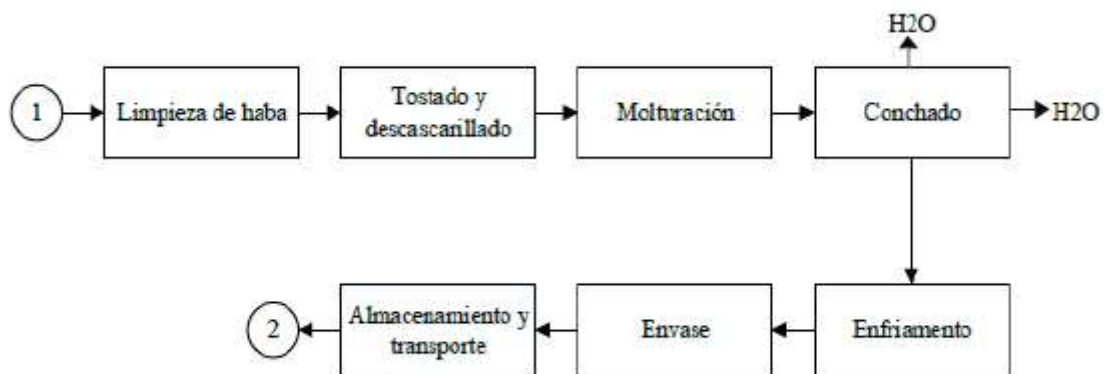


Figura 2. Procesado de la semilla de cacao para elaboración de chocolate

La tercera parte, descrita en la Figura 3, es la producción de chocolate en las industrias que reciben como materia prima las tabletas de chocolate y a partir de este, crean sus propias formulaciones que serán destinadas al consumidor final:

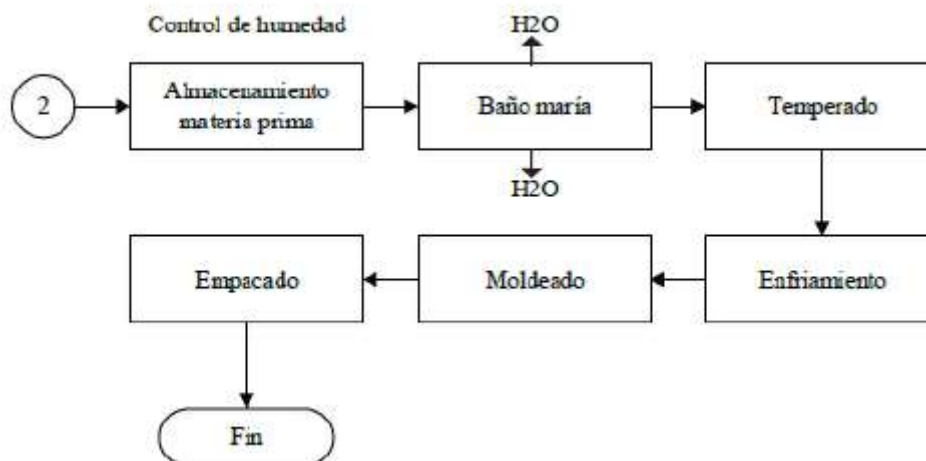


Figura 3. Procesamiento del chocolate para producto final

2.5.2 Lugar de Estudio

Para poder medir la HH de la cadena de suministro del chocolate, se contó con la ayuda de dos empresas chocolateras: Chocolate Leyenda y Hoja Verde. El presente estudio se realizó con estas dos empresas con el fin de cumplir con toda la cadena de suministro.

Chocolate Leyenda es una empresa que se dedica a la producción del chocolate desde la llegada del cacao fermentado, el cual mayormente proviene de Puerto Quito, hasta la elaboración de tabletas en su planta de producción localizada en Calderón. Dentro de su planta de producción realizan la limpieza del cacao, tostado y descascarillado, molturado, conchado, enfriamiento, envase, almacenamiento y transporte. Sus productos terminados son: coberturas de chocolate y tabletas con diferentes porcentajes de cacao (58%-100%) (Chocolate Leyenda, 2016). Para este estudio, se escogió el proceso de producción de una tableta de 50 gramos con 58% y 100% de cacao, ya que son uno de los productos más cotizados, según la empresa. Cada 15 días, eliminan 20 galones de agua contaminada que sale de las máquinas de conchado.

Chocolate Hoja Verde es una empresa que se dedica a la elaboración de tabletas de chocolate a partir del producto terminado de fábricas como Chocolate Leyenda. El origen del cacao del cual obtienen las tabletas de chocolate como materia prima, mayormente proviene del cantón Atacames. Una vez que reciben las tabletas de chocolate como materia prima, realizan sus propias recetas en su fábrica localizada en Cayambe. Este empresa tiene una gran variedad de productos ya que producen barras puras, barras con agregados (quinua, chía, maní), combinaciones, mini barras y bombones (HVG, 2016). Para este estudio, se escogió el proceso de producción de una barra de 50 gramos con 58% y 100% de cacao, con el fin de realizar una comparación de la HH de un chocolate con el menor porcentaje de cacao y uno con el máximo. La empresa utiliza 2 tanques de baño maría de 50 litros, cada 6 meses deben renovar los tanques con agua de riego, ya que el agua se evapora a partir de cada producción.

2.5.3 Ubicación geográfica

Para calcular la HH del cacao por medio de la aplicación del software CROPWAT 8.0, es necesario obtener datos meteorológicos cercanos al lugar donde se producen las semillas de cacao.

Las Figuras 3 y 4 presentan la posición geográfica de cada fábrica de chocolate donde se ha realizado el estudio.

El cacao que llega a la planta de producción del Chocolate Leyenda es de Puerto Quito, se identificó que la estación meteorológica más cercana es en La Concordia (M0025) (ver Figura 3) y la fábrica de producción se ubica en calderón.

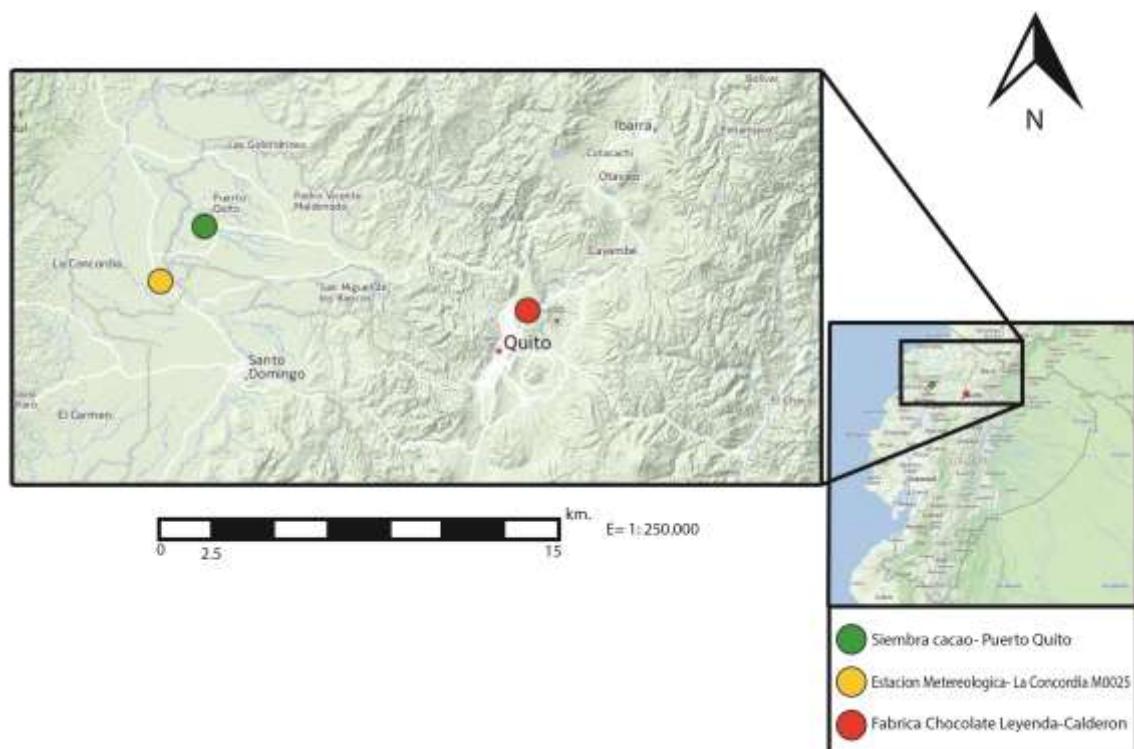


Figura 3. Ubicación geografía fábrica de chocolate Leyenda

El chocolate que llega a la empresa Hoja Verde, es hecho a partir del cacao proveniente de Atacames. La estación meteorológica más cercana es en Quinindé (M0156) (ver Figura 4) y la planta de producción se ubica en Cayambe.

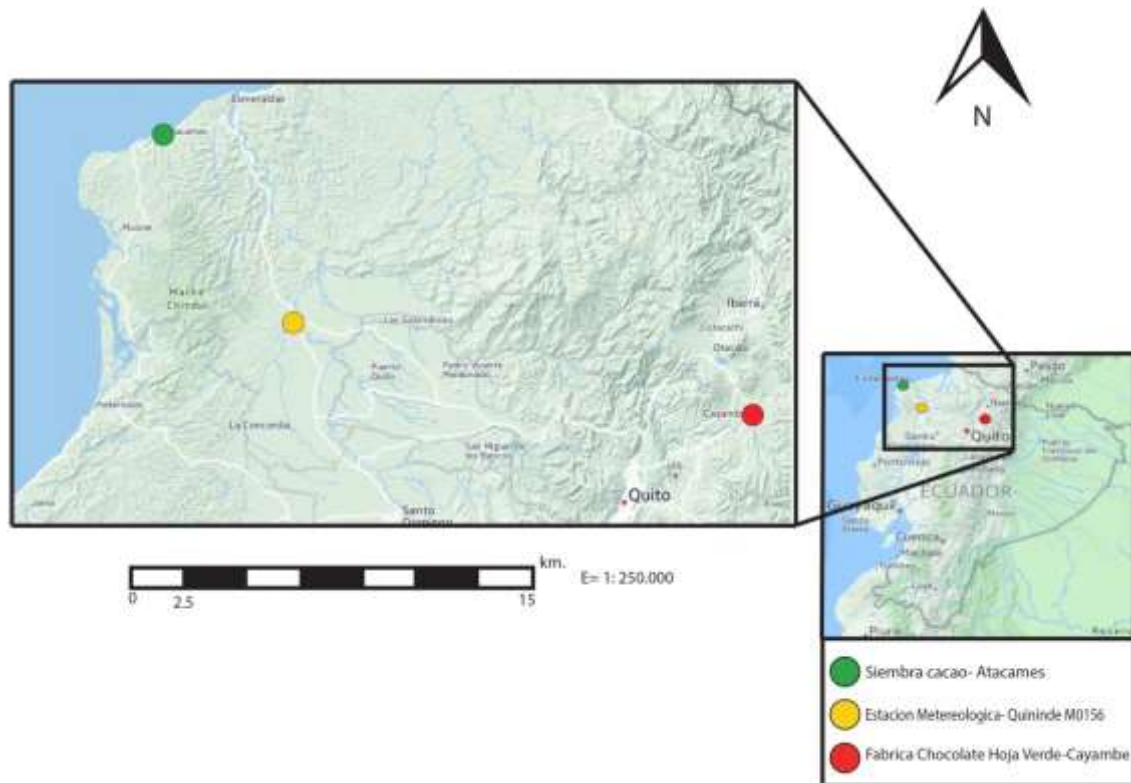


Figura 4. Ubicación geográfica empresa Hoja Verde

2.6 Alcance por proceso de producción

2.6.1 Cálculos de la HH

Para calcular la HH del cultivo de cacao (Figura 1, Sección 2.5), el método de Hoekstra (Hoekstra et al., 2011) sugiere usar las siguientes expresiones:

$$WF_{green/blue} = \frac{CWU_{green/blue}}{Y} \quad (1)$$

Donde:

- $WF_{green/blue}$ = HH azul y verde del cultivo cacao $\left(\frac{m^3}{ton}\right)$
- $CWU_{green/blue}$ = Uso de agua verde y azul en el cultivo de cacao $\left(\frac{m^3}{ha}\right)$
- Y = Rendimiento del cultivo $\left(\frac{ton}{ha}\right)$

CROPWAT 8.0 facilita el cálculo de la HH azul y verde a partir de los datos meteorológicos de las estaciones respectivas, siendo necesario obtener la temperatura máxima y mínima ($^{\circ}C$), Humedad (%), velocidad del viento $\left(\frac{km}{día}\right)$, horas de sol, precipitación (mm), ciclo de crecimiento del cultivo, coeficiente de cultivo Kc (relación entre las necesidades diarias de riego del cultivo y la evapotranspiración de referencia),

tipo de suelo, humedad total en el suelo $\left(\frac{mm}{metros}\right)$, rango máximo de infiltración $\left(\frac{mm}{día}\right)$, profundidad máxima de raíz (cm) y la humedad del suelo inicial $\left(\frac{mm}{metros}\right)$.

De igual manera, se utilizó la base de datos CLIMAWAT para la obtención de valores mensuales de algunos parámetros climáticos (FAOb, 2009). Los datos del área de cultivo fueron tomados de Monfreda et al. (2008); los parámetros del cultivo: coeficientes de cultivo, día de plantación y día de cosecha, rendimiento del cultivo, fueron tomados de Allen et al. (1998) y de Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2009a); se consideró dos fuentes para la obtención de datos más exactos. El tipo de suelo que necesita el cacao para su crecimiento es franco arenoso, con una humedad de $140\left(\frac{mm}{metro}\right)$ y con profundidad radicular de 100 cm (Gonzales, 2016). Una vez que se obtienen todos estos valores, se puede utilizar el modelo CROPWAT y de esta manera calcular el uso de agua fresca (riego y de lluvia) en el cultivo del cacao.

Para el cálculo de la HH gris del cultivo de cacao se utiliza la siguiente expresión (Hoekstra et al., 2011):

$$WF_{proc, grey} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} \quad (2)$$

Donde:

- L= Carga de agua contaminada (masa/tiempo).
- c_{max} = Calidad estándar del agua para el contaminante (masa/volumen)
- c_{nat} = Concentración natural de agua en el cuerpo

Una vez que se obtiene las 3 variables, se puede calcular la HH total del cultivo.

$$WF_{total, cultivo} = WF_{blue} + WF_{green} + WF_{grey} \quad (3)$$

Donde:

- WF_{blue} = Huella Hídrica azul
- WF_{green} = Huella Hídrica verde
- WF_{grey} = Huella Hídrica gris

El sistema de producción del chocolate no tiene únicamente como producto final el chocolate sino hay otros subproductos que son necesarios para su producción (Figuras 2 y 3, Sección 2.5). La literatura del manual de la huella hídrica de Hoekstra et al. (2011), recomienda que para calcular la HH de un producto con varias variables de entrada (materia prima) se debe utilizar el método de enfoque por etapas acumulativas (cálculo de la HH de un producto con varios productos). Este método permite calcular la HH del producto mediante la HH de cada materia prima que fue necesaria para el proceso de producción. En este caso, la materia prima que necesita el chocolate con 58% de cacao es azúcar, manteca de cacao y licor/pasta de cacao. Para el cálculo de la HH del chocolate con 100%, este procedimiento es el mismo pero con la diferencia que no se toma en cuenta la fracción de valor ya que es 100% licor de cacao, esto significa que no se le agrega ningún ingrediente más que el cacao (ingresa un ingrediente y sale un producto).

Como el objetivo del estudio no es calcular la HH de estos productos, se tomó el valor de su HH, de estudios previamente realizados por Mekonnen y Hoekstra (2011) y Water Footprint Network (2016). Las expresiones utilizadas en este método son:

$$WF_{prod[p]} = \left(WF_{proc[p]} + \frac{WF_{prod[i]}}{f_p[p,i]} \right) * f_v[p] \quad (4)$$

Donde:

- $WF_{prod[p]}$ = Huella hídrica del producto p
- $WF_{prod[i]}$ = Huella hídrica de la materia prima i
- $WF_{proc[p]}$ = Huella hídrica del agua azul utilizada en el proceso de producción
- $f_p[p, i]$ = Fracción del producto p que es procesado a partir de la materia prima i $\left(\frac{masa}{masa} \right)$
- $f_v[p]$ = Fracción de valor del ingrediente p $\left(\frac{unidad\ monetaria}{unidad\ monetaria} \right)$

El parámetro $f_p[p, i]$, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$f_p[p, i] = \frac{w[p]}{w[i]} \quad (5)$$

Donde:

- $f_p[p, i]$ = Fracción del producto p que es procesado a partir de la materia prima i $\left(\frac{masa}{masa} \right)$
- $w[p]$ = Cantidad del ingrediente p
- $w[i]$ = Cantidad de materia prima i

Para calcular el parámetro $f_v[p]$, mismo que se necesita la siguiente expresión:

$$f_v[p] = \frac{precio[p]*w[p]}{\sum_{p=1}^z (precio[p]*w[p])} \quad (6)$$

Donde:

- $f_v[p]$ = Fracción de valor del ingrediente p $\left(\frac{unidad\ monetaria}{unidad\ monetaria} \right)$
- Precio [p] = el rango del valor del ingrediente p en el mercado,
- $\sum_{p=1}^z (precio[p] * w[p])$ = Valor de todos los ingredientes necesarios para la producción de ese producto.

Finalmente, para el cálculo de la HH de un producto que solo necesita de un ingrediente para su fabricación, se utiliza la siguiente expresión:

$$WF_{prod[p]} = \left(WF_{proc[p]} + \frac{WF_{prod[i]}}{f_p[p,i]} \right) \quad (7)$$

Donde:

- $WF_{prod[p]}$ = Huella hídrica del producto p
- $WF_{prod[i]}$ = Huella hídrica de la materia prima i
- $WF_{proc[p]}$ = Huella hídrica del agua azul utilizada en el proceso de producción

- $f_p[p, i]$ = Fracción del producto p que es procesado a partir de la materia prima i
 $\left(\frac{\text{masa}}{\text{masa}}\right)$

3. Resultados

3.1 Chocolate Leyenda, 100% cacao

Tabla 1. HH del cacao proveniente de Puerto Quito.

| | Verde | Azul | Gris |
|--|----------|----------|------|
| ET (mm/año) | 1568.8 | 536.8 | - |
| UAC $\left(\frac{m^3}{ton}\right)$ | 15688 | 5368 | - |
| Y $\left(\frac{ton}{ha}\right)$ | | 1.2 | |
| HH $\left(\frac{m^3}{ton}\right)$ | 13408.55 | 4588.03 | 119 |
| TOTAL | | 18115.58 | |

HH de una barra de 50 gramos, 100% cacao:

$$18115.58 \frac{m^3}{ton}$$

Para el cacao proveniente de Puerto Quito, la HH verde es mayor a la HH azul, lo que implica que el cultivo de cacao requiere más agua de lluvia, que de riego.

3.2 Chocolate Leyenda, 58% cacao

Tabla 2. HH de los ingredientes del chocolate 58% cacao.

| Producto | HH del producto $\left(\frac{m^3}{ton}\right)$ |
|-------------------------|--|
| Azúcar | 920 |
| Pasta de cacao | 19372 |
| Manteca de cacao | 19872 |

HH de una barra de 50 gramos, 58% de cacao:

$$15981 \frac{m^3}{ton}$$

3.3 Chocolate Hoja Verde, 100% cacao

HH del cacao proveniente de Atacames:

Tabla 3. HH del cacao proveniente de Atacames.

| | Verde | Azul | Gris |
|---|--------------|-------------|-------------|
| ET (mm/año) | 1525.4 | 555.6 | - |
| UAC ($\frac{m^3}{ton}$) | 15254 | 5556 | - |
| Y ($\frac{ton}{ha}$) | | 1.2 | |
| HH ($\frac{m^3}{ton}$) | 13037.61 | 4748.72 | 119 |
| TOTAL | | 17905.32 | |

HH de una barra de 50 gramos, 100% cacao:

$$17905.32 \frac{m^3}{ton}$$

Para el cacao proveniente de Atacames, la HH verde es mayor que la HH azul, lo que implica que el cultivo de cacao requiere más de agua de lluvia, que de riego.

3.4 Chocolate Hoja Verde, 58% de cacao

Tabla 4. HH de los ingredientes del chocolate 58% cacao.

| Producto | HH del producto ($\frac{m^3}{ton}$) |
|-------------------------|---|
| Azúcar | 920 |
| Pasta de cacao | 6887 |
| Manteca de cacao | 5587 |

HH de una barra de 50 gramos, 58% de cacao:

$$15817 \frac{m^3}{ton}$$

3.5 Comparación resultados

A continuación se comparan los resultados obtenidos:

Tabla 5. Comparación HH del cacao según ubicación geográfica.

| HH cacao proveniente de Puerto Quito | HH cacao proveniente de Atacames |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| 18115.58 $\frac{m^3}{ton}$ | 17905.32 $\frac{m^3}{ton}$ |

Se observa que la HH del cacao proveniente de Puerto Quito es mayor que la HH del cacao de Atacames.

Tabla 6. Comparación de la HH del chocolate (estudios realizados vs valores obtenidos)

| Estudios realizados | Valores obtenidos |
|--------------------------------------|---|
| 17196 $\frac{m^3}{ton}$ ¹ | 18115.58 $\frac{m^3}{ton}$ ² |
| 17000 $\frac{m^3}{ton}$ ³ | 15980.95 $\frac{m^3}{ton}$ ⁴ |
| 24000 lt ⁵ | 17905.32 $\frac{m^3}{ton}$ ² |
| | 15816.77 $\frac{m^3}{ton}$ ⁴ |

4. Discusión

La HH del cacao que proviene de Puerto Quito es mayor que la HH del cacao de Atacames, lo cual puede deberse a las diferencias climáticas entre estas zonas. Puerto Quito se caracteriza por tener un clima lluvioso tropical, mientras que Atacames, uno incluso más tropical (INAMHI, 2016). Por ello, el cacao con mayor HH verde es el que proviene de Puerto Quito que tiene mayor precipitación y el cacao con mayor HH azul es el que proviene de Atacames, este necesita mayor agua de riego (ver Tablas 1 y 3).

Chocolate Leyenda y Chocolate Hoja Verde son empresas que se dedican a la elaboración de chocolate. Las dos fabrican los mismos productos, pero se puede observar diferencias al momento de cuantificar la HH de sus procesos. La HH de los chocolates de Chocolate Leyenda es mayor a la HH de los productos de Chocolate Hoja Verde. Esto se debe a que, en primer lugar, el cacao proveniente de Puerto Quito (proveedor de Chocolate Leyenda) tiene una mayor HH que el cacao proveniente de Atacames (proveedor de Chocolate Hoja Verde). Durante la producción de Chocolate Leyenda, hay un ingreso de agua de riego y un desecho de 20 galones (75.71 litros) de agua contaminada, la cual es utilizada por las máquinas de conchado. Por otro lado, en Chocolate Hoja Verde hay un ingreso de 50 litros de agua de riego a los tanques de

¹ Mekonnen y Hoekstra (2010), HH del chocolate.

² HH del chocolate con 100% de cacao de 50 gr (Chocolate Leyenda y Hoja Verde)

³ Water Footprint Network (2016), HH de un chocolate de 100 gr

⁴ HH del chocolate hoja con 58% de cacao de 50 gr (Chocolate Leyenda y Hoja Verde)

⁵ Mekonnen y Hoekstra (2011), HH de un chocolate de 1 kg

baño maría, los cuales se evaporizan con cada bache de producción. Para conocer con mayor exactitud la HH del Chocolate Hoja Verde, se debería estudiar los procesos productivos de sus proveedores de tabletas, para saber el volumen de agua utilizado por ellos y con el fin de saber si el valor de la HH cambia.

De igual manera, en la sección de resultados (Tablas 1, 2, 3 y 4) se puede observar que la HH del chocolate de 58% de cacao es menor que la HH del chocolate 100% de cacao (en cualquiera de las empresas). Esto implica que la HH de los ingredientes utilizados en la elaboración del chocolate no superan a la HH del cacao. Se requiere una mayor cantidad de agua en la obtención del cacao que en el proceso de producción del chocolate. Esto se debe a que en el proceso de producción no hay tanto uso de agua ya que únicamente la utilizan las máquinas de conchado o de baño maría (agua indirecta).

Al comparar los resultados obtenidos con datos de otros estudios realizados sobre la HH del chocolate (Tabla 6), se puede observar que los valores obtenidos en este estudio para la HH del chocolate con 100% de cacao es mayor. Esto puede deberse a que el chocolate con 100% de cacao es un chocolate puro y no se agrega ningún otro ingrediente (aumentando, a su vez, el valor de la HH). Una limitación de estudios de la HH del chocolate que han sido realizados es que no cuentan con información completa; mencionan la HH del chocolate, pero no el origen del cacao, el porcentaje de cacao, la masa del producto, etc.

Limitaciones respecto a la realización de este trabajo incluyen la falta de acceso a las plantaciones de cacao, falta de información actualizada y concreta sobre el cultivo de cacao, el crecimiento del cultivo, el rendimiento del cultivo, etc.

Falta información completa sobre el estudio de la HH del chocolate. Los estudios solo muestran cifras pero no procedimientos seguidos para poder conseguir tales resultados. Por ello, existen varias oportunidades para estudios a futuro, incluyendo: visitar plantaciones de cacao para confirmar la validez de datos utilizados para calcular la HH, buscar formas más eficientes de riego donde se puede utilizar más eficientemente el agua de lluvia y de riego, o realizar un estudio completo de la HH del chocolate dentro de alguna de las empresas (para obtener la HH del chocolate según su porcentaje de cacao) y ver soluciones para un buen manejo del agua. Se podría, por otro lado, estudiar el transporte del chocolate y sus componentes a lo largo de la cadena de abastecimiento del mismo para estimar la huella de carbono del proceso, ya que los camiones que llevan el cacao o el producto terminado deben recorrer grandes distancias para cumplir con su demanda. En este proceso, además de consumir agua, se libera CO_2 a la atmósfera, lo cual en exceso contribuye a la contaminación del ambiente.

Se recomienda que cada empresa realice un análisis costo-beneficio para conocer las ventajas económicas de invertir en conocimiento sobre métodos de ahorro de agua. De igual manera, se recomienda cuantificar la HH de absolutamente toda la cadena de suministro del chocolate, tomando en cuenta todos los recursos necesarios para la elaboración del mismo, como el transporte, las cajas de cartón, los plásticos utilizados, etc.

5. Conclusiones

La HH es un indicador adecuado para el propósito de medir el uso del agua a lo largo de la elaboración de un producto. El buen manejo de agua debería enfocarse desde la

plantación de cacao, ya que es en esta parte de la cadena de suministro es donde más agua es requerida (HH verde y azul) y donde se deben buscar soluciones más eficientes. A partir del valor obtenido de la HH del chocolate, se puede afirmar que el chocolate ecuatoriano es ligeramente más amigable con el medio ambiente, a comparación con otros estudios realizados sobre el valor de la HH del chocolate (Mekonnen y Hoekstra, 2010; Mekonnen y Hoekstra, 2011; Water Footprint Network, 2016). Esto es debido a que el cacao ecuatoriano crece en lugares donde la zona climática es lluviosa tropical o tropical, lo que implica que este utiliza más agua de lluvia que de riego. Considerando esto, a futuro se podrían realizar estudios para determinar maneras de reducir la HH del cacao si con la implementación de colectores de lluvia.

Muchas empresas chocolateras ecuatorianas no cuantifican el agua que utilizan para la elaboración de sus productos, por lo que no son conscientes de la cantidad de agua desperdiciada (menos aún según el porcentaje de cacao del chocolate). Dado que el agua es un recurso limitado, se debería concientizar a empresas regionales a cambiar su forma de pensar respecto al ambiente y buscar maneras de ser sustentables. Específicamente, es posible investigar cómo reusar el agua necesaria en sus procesos, ya que esta únicamente es para uso de las máquinas y no para mezclarla con el chocolate en sí.

Las empresas y sus trabajadores muchas veces se enfocan en elevar niveles de producción, operar al menor costo y con la menor cantidad de desperdicio. Parte de ese desperdicio es el agua requerida en la producción, a pesar de que en muchos casos no se contabilice o tome en cuenta. Por ello, si es posible, se debe buscar hacer un rediseño del producto en cuestión, su respectivo proceso productivo y sus materiales necesarios, para así lograr la conservación de energía, materiales y el ahorro de dinero, el cual puede ser invertido nuevamente en la búsqueda de soluciones sustentables que beneficien al medio ambiente y a todos los ecosistemas que necesitan de este recurso para su funcionamiento adecuado y supervivencia.

Referencias

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). "Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements FAO Irrigation and Drainage". Paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Araya, F. (2009). "Water Footprint; la huella que todos tenemos". Área Agroindustria. Fundación de Chile. Chile.
- Beckett, S. (2000). *La ciencia del chocolate*. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza. España.
- Bruinsma J. (2003). "World agriculture: towards 2015/2030: an FAO perspective". Earthscan, London, UK.
- Business Assurance. (2015). "Gestión del agua". Obtenido el 12 de febrero de 2016 desde <https://www.dnvgl.es/assurance/water-and-carbon/water-management.html>.
- Chapagain, A. y Tickner, D. (2012). "Water Footprint: Help or Hindrance". *Water Alternatives*. Volume 5. Issue 3.

- Climántica. (s.f.). “La evapotranspiración”. Obtenido el 13 de febrero de 2016 desde <http://es.contenidos.climantica.org/unidades/3/a-auga-en-movimiento/evapotranspiracion-e-escorrentia/a-evapotranspiracion>.
- Costanza R y Daly, H. (1992). “Natural capital and sustainable development”. *Conserv Biol* 6:37–46.
- De Fraiture, C., Wichelns, D., Rockström, J., Kemp-Benedict, E., Eriyagama, N., Gordon, L.J., Hanjra, M.A., Hoogeveen, J., Huber-Lee, A., Karlberg, L.. (2007). “Looking ahead to 2050: scenarios of alternative investment approaches” . *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. International Water Management Institute. Colombo, Earthscan, London, pp. 91–145.
- Ercin, E. y Hoekstra, A. (2012). “Carbon and Water Footprints”. Obtenido el 10 de febrero de 2016 desde <https://www.dropbox.com/home/Agua%20Virtual?preview=carbon+and+waterfootprint+manual.pdf>.
- Ercin, E., Aldaya, M. y Hoekstra, A. (2011). “The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent products”. Obtenido el 10 de febrero de 2016 desde <https://www.dropbox.com/home/Agua%20Virtual?preview=Ercin-et-al-2012-WaterFootprintSoy.pdf>.
- FAO. (2009a). “CROPWAT 8.0 Model”. Food and Agriculture Organization, Rome.
- FAO. (2009b). “CLIMWAT 2.0 Database”. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Gleick, P. (1993). “Water in crisis: a guide to the world’s fresh water resources”. Oxford University Press, Oxford.
- Gonzales, A. (2016). “Condiciones Edafoclimáticas para el cultivo del cacao”. Obtenido el 9 de marzo de 2016 desde https://www.academia.edu/7602272/Condiciones_Edafoclim%C3%A1ticas_para_el_cultivo_del_Cacao.
- Hoekstra, A. (2003). “Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade”. Value of Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands.
- Hoekstra, A. (2010). “The water footprint of animal products”. *The Meat Crisis: Developing more Sustainable Production and Consumption*. Earthscan, London, UK, pp. 22–33.
- Hoekstra, A., Chapagain, A. (2008). “Globalization of Water: Sharing the Planet’s Freshwater Resources” . Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Hoekstra, A., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M. (2011). “The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard”. Earthscan, London, UK.
- Hoekstra A. y Chapagain, A. (2007). “Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern”. *Water Resour Manage* 21(1):35–48

Huella de Ciudades. (s.f.). “Manual de Evaluación”. WaterFootprint Network.

INAMHI. (2012). “Anuario Meteorológico”. Obtenido el 28 de marzo de 2016 desde <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202012.pdf>

INAMHI. (2016). “Pronóstico del tiempo”. Obtenido el 29 de abril de 2016 desde <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>

Mekonnen, M. y Hoekstra, A. (2010). The Green, blue and grey water footprint of crops and derived crops products. Value of Water Research Report Series, No. 47, UNESCO.IHE.

Mekonnen M. y Hoekstra, A. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crops products. Hydrology and Earth Systems Sciences, 15(5): 1577-1600.

Ministerio Coordinador de Patrimonio. *Cacao: El fino aroma de nuestra identidad*. Noción Imprenta: Quito.

Monfreda, C., Ramankutty, N., Foley, J.A. (2008). “Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000”. Global Biogeochemical Cycles 22, GB1022.

Moratilla, F., Molina, M. y Barrera, M. (2010). “La huella hídrica en España”. Ciencia y Técnica de la Ingeniería Civil. Revista de Obras Públicas. N°3.514. Año 157.

Postel, S. L.; Daily, G.C. and Ehrlich, P.R. (1996). “Human appropriation of renewable fresh water”. Science 271 (5250): 785-788.

ProEcuador. (2014). “Boletín Dic/Ene 2015”. Obtenido el 13 de febrero de 2016 desde <http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BoletinDiciembre14-final.pdf>.

ProEcuador. (2011). “Análisis sectorial del cacao y elaborados”. Obtenido el 9 de febrero de 2016 desde <http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2011/11/PROEC-AS2011-CACAO.pdf>.

Revista Alimentaryá. (2015). “El cacao: La nueva súper fruta”. Obtenido el 9 de febrero de 2016 desde <http://alimentosecuador.com/site/el-cacao-la-nueva-super-fruta/>.

Simone, M. (2007). “La escasez de agua en el mundo y la importancia del acuífero guaraní para Sudamérica”. Obtenido el 18 de marzo de 2016 desde <http://www.caei.com.ar/sites/default/files/17.pdf>.

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C. (2006). “Livestock’s long shadow: environmental issues and options”. Food and Agriculture Organization, Rome. Organization, Rome.

Water Footprint Network. (2016). Chocolate. Obtenido el 23 de abril de 2016 desde <http://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/>