

DEPÓSITO LEGAL ZU2020000153
*Esta publicación científica en formato digital
es continuidad de la revista impresa*
ISSN 0041-8811
E-ISSN 2665-0428

Revista de la Universidad del Zulia

**Fundada en 1947
por el Dr. Jesús Enrique Lossada**



Ciencias

Sociales

y Arte

Año 14 N° 41
Septiembre - Diciembre 2023
Tercera Época
Maracaibo-Venezuela

Valor económico de la huella hídrica de cacao arriba (Theobroma Cacao)

Jairo Miguel Macías Dumes*
Sergio Leonardo Pino Peralta**

RESUMEN

Como estrategia para promover y apoyar el uso sostenible de los recursos hídricos, se estimó la huella hídrica del cultivo de cacao; además se identificaron y caracterizaron los procesos de cosecha de cacao para evaluar el impacto en los volúmenes de agua utilizado en dichos cultivos, se midió la evapotranspiración del agua verde y el agotamiento del agua azul que se encuentra en la cuenca de los ríos. Las estimaciones se llevaron a cabo siguiendo la metodología propuesta por (Hoekstra et al., 2021), considerando los datos locales necesarios para la estimación del uso de agua verde y azul en CROPWAT 8.0. Se encontró que los valores correspondientes a la HHV son menores que la media para Ecuador y que el valor económico de la huella hídrica del cultivo de cacao, es menor que el VET de la HH de los hogares y negocios de un sector de Guayaquil.

PALABRAS CLAVE: Cacao, economía verde, evapotranspiración, producción agrícola, riego.

* Máster en Administración de la Educación por la Universidad César Vallejo. Máster en Economía Mención Desarrollo Rural y Economista por la Universidad de Guayaquil. Docente para el Ministerio de Educación de Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3605-5436>. Email: jairo.mdumes@gmail.com

** Economista, Magíster en Economía Agrícola y Desarrollo Rural, Doctor en Ciencias Ambientales, Universidad de Guayaquil, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9254-1597>. E-mail: sergio.pinop@ug.edu.ec

Economic value of the water footprint of cocoa above (*Theobroma Cacao*)

ABSTRACT

As a strategy to promote and support the sustainable use of water resources, the water footprint of cocoa cultivation was estimated; in addition, cocoa harvesting processes were identified and characterized to evaluate their impact on water volumes used in these crops. The green water evapotranspiration and blue water depletion in the river basin were measured. The estimates were carried out following the methodology proposed by (Hoekstra et al., 2021), considering the local data necessary for estimating green and blue water use in CROPWAT 8.0. It was found that the values corresponding to the GWF are lower than the average for Ecuador and that the economic value of the water footprint of cocoa cultivation is lower than the TEV of the HH of households and businesses in a sector of Guayaquil.

KEYWORDS: Cocoa, green economy, evapotranspiration, agricultural production, irrigation

Introducción

De acuerdo con información proporcionada por la Organización Internacional de Cacao (ICCO), en el año 2021 la producción mundial de cacao fue de 4,7 millones de toneladas aproximadamente; de las cuales, los países africanos aportaron el 74,9%, siendo Costa de Marfil y Ghana los dos principales productores del grano con el 44%, 16% respectivamente; y, Ecuador apenas contribuyó con el 7% de la oferta mundial (The International Cocoa Organization - ICCO, 2021).

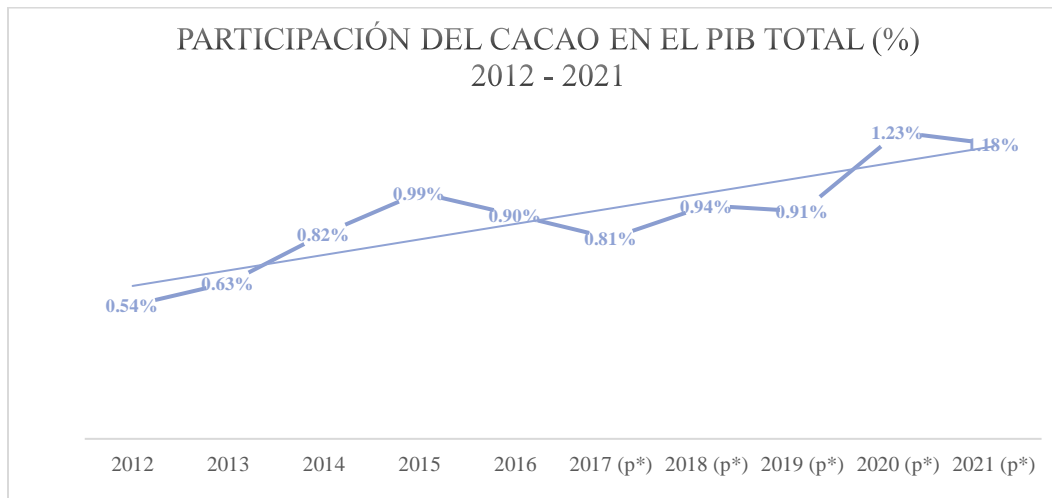
No obstante, Pino (2019) plantea que Ecuador es el líder en la producción y exportación de cacao fino o de aroma con aproximadamente el 61% del total mundial, información que coincide con Vignati & Gómez-García (2020, pág. 8). En el plano nacional, el cacao se ha producido desde hace más de cuatro siglos; y su contribución promedio en el periodo que va desde el año 2012 hasta el 2021 al PIB total ha sido del 0,65% y al PIB Agrícola fue del 8,29% aproximadamente, como se puede apreciar en la *Tabla 1*.

Tabla 1: Ecuador: PIB Total, PIB Agrícola y participación de las exportaciones de cacao

AÑOS	Miles de USD del 2007		Relación %	
	PIB TOTAL	PIB Agrícola	XC/PIBT	XC/PIBA
2012	64.362.433	4.667.557	0,54%	7,4%
2013	67.546.128	4.967.197	0,63%	8,5%
2014	70.105.362	5.258.169	0,82%	11,0%
2015	70.174.677	5.366.126	0,99%	12,9%
2016	69.314.066	5.356.735	0,90%	11,6%
2017 (p*)	70.955.691	5.593.352	0,81%	10,2%
2018 (p*)	71.870.517	5.540.845	0,94%	12,1%
2019 (p*)	71.879.217	5.511.269	0,91%	11,9%
2020 (p*)	66.281.546	5.469.445	1,23%	14,9%
2021 (p*)	69.088.736	5.490.774	1,18%	14,9%
PROMEDIO (2002 - 2019)			0,65%	8.29%

Nota. Datos tomados del Banco Central del Ecuador: Información estadística mensual No. 2048 - octubre 2022.

Figura 1: Ecuador, Contribución del cacao en el PIB Total



Nota. La figura muestra la contribución anual del cacao al PIB total de Ecuador en el periodo 2012 – 2021, mostrando una tendencia al alza. Fuente: Banco Central del Ecuador: Información estadística mensual No. 2048 - octubre 2022.

Al mismo tiempo, es imperativo mencionar que el sector cacaotero es un importante generador de empleo, dado a que se estima que aproximadamente 600.000 personas participan directamente en la actividad. La cadena de cacao participa en el 4% de la PEA nacional y el 12,5% de la PEA agrícola (Pino Peralta, 2019).

Tabla 2: Cacao Ecuador: producción y rendimiento

AÑOS	PRODUCCIÓN	SUPERFICIE	SUPERFICIE	RENDIMIENTO
	CACAO	PLANTADA	COSECHADA	
	(t)	(ha)	(ha)	(t/ha)
2002	60.267,00	383.680,00	363.544,00	0,17
2003	88.249,00	374.045,00	348.376,00	0,25
2004	89.661,00	366.724,00	336.178,00	0,27
2005	93.658,65	406.866,09	357.706,45	0,26
2006	87.561,51	407.868,35	350.027,71	0,25
2007	85.890,33	422.984,62	356.657,48	0,24
2008	94.299,64	455.414,30	376.604,27	0,25
2009	120.581,68	468.840,44	398.103,85	0,30
2010	132.099,79	470.054,09	360.025,44	0,37
2011	224.162,75	521.091,09	399.467,04	0,56
2012	133.322,99	507.721,28	390.176,28	0,34
2013	128.446,16	508.884,60	402.434,00	0,32
2014	156.215,97	461.029,50	372.636,70	0,42
2015	180.192,38	537.410,39	432.093,77	0,42
2016	177.551,30	559.616,72	454.257,46	0,39
2017	205.955,40	573.515,74	467.326,99	0,44
2018	235.182,41	573.832,76	501.950,19	0,47
2019	283.679,55	601.954,36	525.435,11	0,54
2020	327.902,56	590.578,54	527.347,42	0,62
2021	302.093,90	626.962,28	543.546,74	0,56

Nota. Datos tomados del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC): Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua – ESPAC

La

Tabla 2, muestra la producción de cacao en Ecuador durante el periodo que va desde el 2.012 hasta el año 2.021 teniendo un rendimiento promedio durante 0,37 toneladas producidas por hectárea cosechada.

Por lo tanto, es posible que haya oído afirmaciones como la “Primera ley de ecología: Todo está conectado con todo lo demás” de Commoner (1973, págs. 33-45) en la cual se sugiere que el mundo que nos rodea es un sistema donde las cosas influyen entre sí. En particular, esto significa que cuando realizas una acción, después de un tiempo experimentarás las consecuencias de ella. Esto se conoce como *retroalimentación* (Moxnes, 2000); es decir, si bien todo puede influir en todo, los problemas sociales también dependen de cómo interactúan las partes del sistema. Los efectos de retroalimentación pueden ser buenos o malos, de refuerzo o equilibrio, fuertes o débiles, y pueden ser rápidos o lentos (Leduc, 2021).

Teniendo en cuenta lo expuesto por Commoner (2012) y Leduc (2021), se puede plantear que la calidad del agua que se utiliza en el riego es uno de los factores más relevantes que inciden en la obtención de excelentes rendimientos en la cosecha del cacao. El presente artículo busca hacer la retroalimentación sobre la huella hídrica de la producción del cacao y a la vez estimar el valor económico de ésta. Como objetivo general se propuso estimar el valor económico de la huella hídrica de Cacao Arriba (*Theobroma Cacao*) en la Asociación Mollopongo El Tovar de la Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras – UNOCACE, con el propósito de establecer nuevas líneas estratégicas de comercialización asociativa en los mercados internacionales. Los objetivos específicos de la investigación son: Determinar la huella hídrica de la producción de cacao en la Asociación Mollopongo El Tovar de la Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras – UNOCACE. Calcular el valor económico de la huella hídrica de Cacao Arriba (*Theobroma Cacao*) en la Asociación Mollopongo El Tovar de la Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras - UNOCACE.

1. Fundamentación teórica

El cacao (*Theobroma Cacao*), se encuentra entre los *commodities* más estudiadas a nivel mundial como lo señalan García et al. (2021, pág. 612); además, en los países que lo producen es

de gran importancia económica dado a que su semilla es utilizada para la manufacturación de uno de los bienes más demandados a nivel internacional, el chocolate. (Nair, 2021, p. 204)

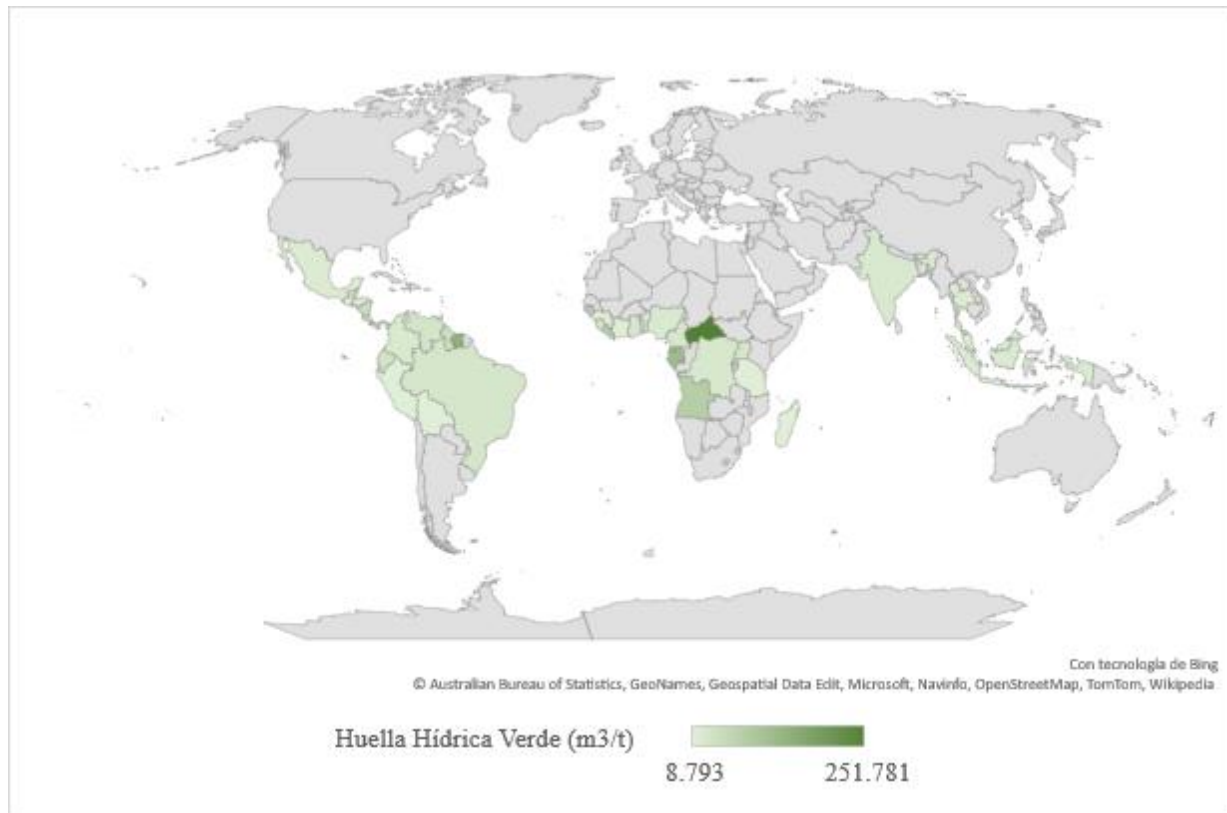
No se puede hablar de huella hídrica de un producto, sin antes conocer el concepto de la Huella Ecológica Nacional, el Ministerio del Ambiente de Ecuador la define de la siguiente manera:

La Huella Ecológica es un indicador que mide la cantidad de tierra y agua biológicamente productivas requerida para producir los recursos que consume y absorber los desechos generados a nivel nacional y per cápita. Es decir, cuantifica el suministro anual de recursos naturales renovables y la demanda de estos a nivel nacional. (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2020)

El concepto de huella hídrica y su estudio fueron introducidos por el holandés Arjen Hoekstra en el año 2002, y fue desde ese tiempo que ha sido difundido por The Water Footprint Network (Chafla Martínez et al., 2021, pág. 195); es de vital importancia mencionar que, dentro del contexto internacional, Zubieta Olcoz (2019) lo define a la HH como el “volumen de agua dulce utilizada para generar el producto en toda la cadena de suministro. Este indicador incluye tanto el uso de agua directo de un consumidor o productor como indirecto” (pág. 1). Por consiguiente, se puede señalar que el indicador de huella hídrica, al igual que la huella ecológica calcula la presión humana sobre las superficies de producción debido a la demanda uno o varios recursos naturales renovables. Sin embargo, es imperativo mencionar que una huella hídrica se produce en un lugar específico en un momento específico. Esto es muy importante ya que la cantidad de agua y la capacidad de asimilación disponible varían de un lugar a otro y de la época del año.

En cuanto al marco conceptual de huella hídrica, sobresale el estudio de Mekonnen & Hoekstra (Mekonnen & Hoekstra, 2011) en el cual estiman el promedio de la HHA y HHV para varios commodities a nivel global, durante del periodo que va desde el año 1.996 al año 2.005, organizando los cultivos por países productores; en el caso del cacao en grano se puede observar los promedio en la *Error! Reference source not found.*

Figura II: Indicador de HHV para el cacao en grano por países productores



Nota. La figura presenta el promedio de la huella hídrica verde del cultivo de cacao, por país productor expresado en (m³/ton), periodo (1996-2005). Los datos fueron obtenidos de (Mekonnen & Hoekstra, 2010)

Adicionalmente, Ferres et al., (2017) mencionan que de acuerdo con The Water Footprint Network Organization, existen tres componentes en la huella hídrica agrícola: azul, verde y gris; donde:

- La huella hídrica verde es el agua de la precipitación que se almacena en la zona de la raíz del suelo y se evapora, transpira o incorpora por las plantas. (The Water Footprint Network, 2017)
- La huella hídrica azul es el agua que se ha obtenido de recursos de agua superficial o subterránea y se evapora, se incorpora a un producto o se toma de una vertiente de agua y se devuelve a otro, o se restituye en un momento diferente. La agricultura de regadío, la

industria y el uso doméstico del agua pueden tener una huella hídrica azul. (Zubieta Olcoz, 2019)

- La huella hídrica gris es la cantidad de agua dulce requerida para asimilar contaminantes para cumplir con estándares específicos de calidad del agua. Además, contempla la contaminación de un origen específico que es descargada directamente a un recurso de agua dulce a través de una red de desagüe. (Ferrerres et al., 2017)

Condionalmente se puede enunciar que la huella hídrica verde es fuertemente significativa para la agricultura, mismo que concuerda con Ariza & Arévalo (2018) cuando señalaron que:

La huella hídrica verde tiene una mayor magnitud en relación con las otras huellas, es la única de las tres que no necesariamente se intenta reducir, puesto que no implica una competencia directa por agua, no obstante, sí representa una competencia territorial, que se ve representada en la ampliación de la frontera agrícola. (pág. 341)

Simultáneamente en el ámbito local, Borja Darquea (2016) plantea:

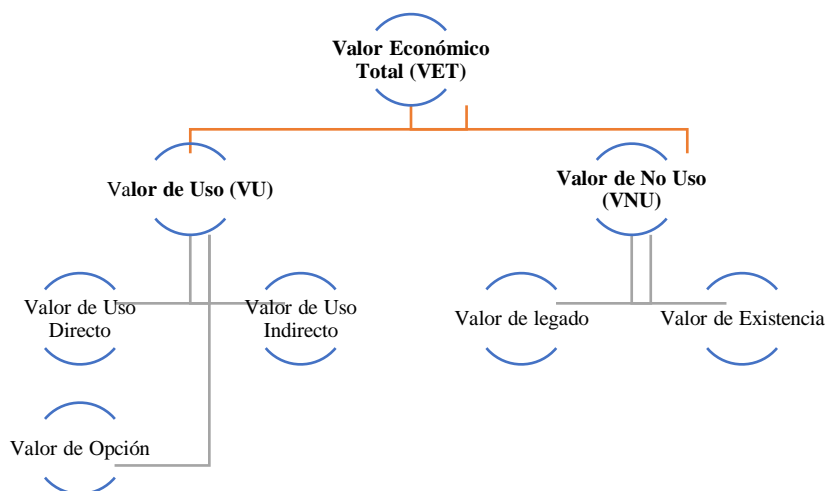
Muchas empresas chocolateras ecuatorianas no cuantifican el agua que utilizan para la elaboración de sus productos, por lo que no son conscientes de la cantidad de agua desperdiciada (menos aún según el porcentaje de cacao del chocolate). Dado que el agua es un recurso limitado, se debería concientizar 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. (pág. 19)

Cabe considerar que, para enfatizar la trascendencia del agua en el crecimiento económico, es necesario analizar los procesos mediante el cual se extrae, utiliza, y; en última instancia, se devuelve este recurso natural a la naturaleza. Evidentemente estos procedimientos juegan un papel muy importante para asegurar niveles aceptables de condiciones laborales que constituyen un facilitador clave en la generación de ingresos. (Pachito León, 2021)

En cuanto al concepto de valor económico, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL (2017) lo define como la cantidad unidades monetarias que el individuo debe de pagar, por un bien o servicio. Al mismo tiempo, señalan que el “valor económico total de

un recurso natural o un bien ambiental se compone de valores de uso y de no uso” CEPAL (2017, pág. 17), véase

Figura III: El valor Económico Total



Nota. La figura fue readecuada a partir de la presentada por Aznar & Estruch (2015)

Por otro lado, Cristeche & Penna (2008) señalan que las metodologías de valoración económica del medio ambiente son cuatro: “i) el método de los costos evitados o inducidos; ii) el método del costo de viaje; iii) el método de los precios hedónicos; iv) el método de la valoración contingente.”. Conjuntamente, mencionan:

“El denominador común de todas estas metodologías es que intentan asignar un valor a los bienes y a los servicios ambientales de la forma en que lo haría un mercado hipotético, que luego, en caso de así desearlo, permiten realizar una estimación de la función de demanda del bien o servicio ambiental en cuestión.” (pág. 7)

Posteriormente, Aznar & Estruch (2015) sugieren que existen muchos otros métodos para determinar el VET de activos y recursos naturales, y; que los señalados por Cristeche & Penna (2008) son considerados metodologías tradicionales, para lo cual expone sus ventajas e inconvenientes.

Tabla 3: Métodos tradicionales para el cálculo del VET

Método	Aplicable a	Descripción e importancia	Inconvenientes y limitaciones
Método del precio de mercado	Valores de uso directo, especialmente de productos provenientes de los humedales. (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)	El valor se estima a partir del precio en los mercados comerciales (ley de la oferta y la demanda). (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)	Las imperfecciones del mercado (subsídios, falta de transparencia) y las políticas distorsionan el precio de mercado. (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)
Método del Costo del daño evitado, del costo de reemplazo o del costo del sustituto	Valores de uso indirecto: protección costera, erosión evitada, control de la contaminación, retención del agua, etc. (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)	Se puede estimar el costo de la remoción del contaminante orgánico o de cualquier otro contaminante a partir del costo de la construcción y el funcionamiento de una planta de Tratamiento de agua (costo del sustituto). El valor del control de las inundaciones se puede estimar a partir del daño que podría causar la inundación (costo del daño evitado). (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)	Se presume que el costo del daño evitado o de los sustitutos es comparable al beneficio original. Pero muchas circunstancias externas pueden hacer cambiar el valor del beneficio original esperado y, en consecuencia, la aplicación de este método puede dar lugar a subestimaciones o sobreestimaciones. A las compañías de seguro les interesa mucho este método. (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)
Método del costo del viaje	Recreación y turismo (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)	Se estima el valor recreacional del sitio a partir de la suma de dinero que gasta la gente en llegar a ese lugar. (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)	Este método sólo sirve para obtener estimaciones. Es muy fácil obtener una sobreestimación, porque es posible que el sitio en sí mismo no sea el único motivo por el cual se viaja a la zona. También es necesario contar con muchos datos cuantitativos. (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)

Método de la estimación del precio hedónico	Algunos aspectos del valor de uso indirecto, del uso futuro y del uso. (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)	Se utiliza este método cuando los valores del humedal ejercen influencia en el precio de los bienes que se comercializan. El aire limpio, las grandes superficies de agua o los paisajes estéticos aumentar el precio de la vivienda o de la tierra. (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)	Este método sólo captura la voluntad de la gente de pagar por un beneficio percibido. Si la gente no es consciente del vínculo que existe entre el atributo ambiental y el beneficio para sí mismos, el valor no se reflejará en el precio. Este método exige un uso muy intensivo de datos. (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)
Método de la valoración contingente	Valores del turismo y del no uso. (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)	En este método se pregunta directamente a la gente cuánto está dispuesta a pagar por servicios ambientales concretos. A menudo es la única manera de estimar el valor del no uso. También se refiere a él cómo "método de la preferencia indicada". (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)	En las técnicas aplicadas en la entrevista se puede introducir varias posibles fuentes de sesgo. También es incierto si la gente en realidad está dispuesta a pagar la suma indicada en la entrevista. Es el método de valoración más controversial de los no correspondientes al mercado, pero es una de las pocas maneras de asignar un valor monetario al no uso de valores del ecosistema que no involucra compras en el mercado. (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015)

Nota. Adaptado de (Aznar Bellver & Estruch Guitart, 2015, págs. 51-52)

2. Metodología

El estudio se realizó en Ecuador, con datos de la Asociación Mollopongo El Tovar "Asoagrimole", misma que es una de las doce filiales de la UNOCACE - Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras, véase *Figura*, cuenta con 41 socios véase *Figura*, y tiene una extensión de 540 hectáreas sembradas de cacao (García García, 2022); además, dicha organización se encuentra ubicada específicamente en la parroquia Casacay, cantón Pasaje, provincia de El Oro; su principal actividad económica es la producción agrícola, siendo el cacao uno de los

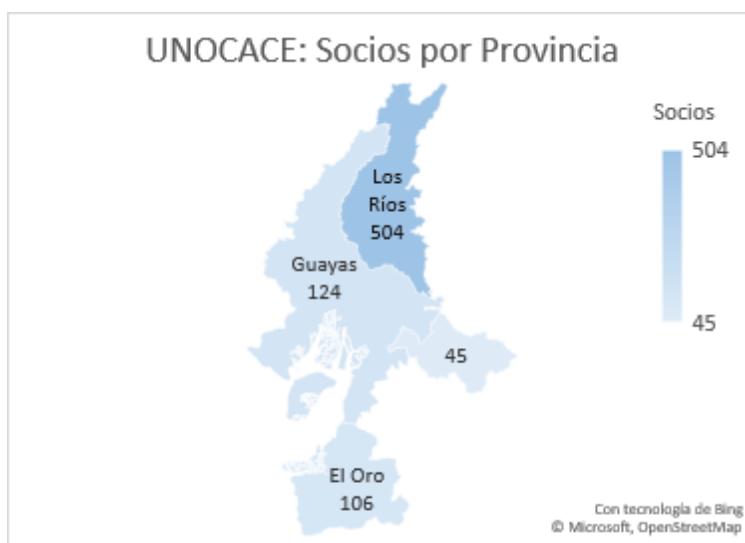
commodities que más se produce y comercializa a nivel local, (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Casacay, 2018, pág. 75).

Figura IV: UNOCACE: filiales por provincia



Nota. La figura presenta el número de filiales de la UNOCACE por provincias. Los datos fueron tomados de (UNOCACE, 2020)

Figura V: UNOCACE: Socios por provincia



Nota. La figura presenta el número de socios de la UNOCACE por provincias. Los datos fueron tomados de (UNOCACE, 2020)

En cuanto a la estimación del promedio de la huella hídrica de la producción del cacao en grano, se basó en los métodos plasmados en el apartado denominado “Cálculo de la huella hídrica verde, azul y gris de cultivos agrícolas o forestales” del (Manual de Evaluación de la huella hídrica: Establecimiento del estándar mundial) de Hoekstra et al., a continuación, se presentan las ecuaciones utilizadas y adecuadas para el cultivo de cacao:

$$HH_{cacao} = HH_{cacao,verde} + HH_{cacao,azul} + HH_{cacao,gris} \quad (1)$$

Donde:

- HH_{cacao} = Huella hídrica total del cacao
- $HH_{cacao,verde}$ = Huella hídrica verde del cultivo de cacao $\left(\frac{m^3}{t}\right)$
- $HH_{cacao,azul}$ = Huella hídrica azul del cultivo de cacao $\left(\frac{m^3}{t}\right)$
- $HH_{cacao,gris}$ = Huella hídrica gris del cultivo de cacao $\left(\frac{m^3}{t}\right)$

En cuanto a las huellas hídrica verde, azul y gris, Hoekstra et al., (2021, p. 67) sugieren utilizar las siguientes expresiones:

$$HH_{cacao,verde} = \frac{UAC_{verde}}{R} \quad (2)$$

Donde:

- $HH_{cacao,verde}$ = Huella hídrica verde del cultivo de cacao $\left(\frac{m^3}{t}\right)$
- UAC_{verde} = Uso de agua verde en el cultivo de cacao $\left(\frac{m^3}{ha}\right)$
- R = Rendimiento del cultivo de cacao $\left(\frac{t}{ha}\right)$

$$HH_{cacao,azul} = \frac{UAC_{azul}}{R} \quad (3)$$

Donde:

- $HH_{cacao,azul}$ = Huella hídrica azul del cultivo de cacao $\left(\frac{m^3}{t}\right)$
- UAC_{azul} = Uso de agua azul en el cultivo de cacao $\left(\frac{m^3}{ha}\right)$
- R = Rendimiento del cultivo de cacao $\left(\frac{t}{ha}\right)$

Para los componentes verde y azul del uso de agua del cultivo de cacao se utilizó las siguientes expresiones:

$$UAC_{verde/azul} = 10 \times \sum_{d=1}^{pcc} ET_{verde/azul} \quad (4)$$

Donde:

- $ET_{verde/azul}$ = Evapotranspiración del agua verde/azul $\left(\frac{mm}{día}\right)$
- 10 = Este factor convierte la profundidad del agua (en milímetros) en volúmenes de agua por superficie terrestre $\left(\frac{m^3}{ha}\right)$
- $\sum_{d=1}$ = Suma que se realiza a lo largo del periodo que abarca desde el día de la plantación hasta el día de la recolección.
- pcc = periodo que dura el crecimiento de cultivo en días

En el caso del cálculo de la Evapotranspiración de agua verde y azul se las puede estimar de acuerdo con las necesidades de agua del cultivo, por lo cual Hoekstra et al., (2021), manifiestan lo siguiente:

“La evapotranspiración de agua verde (ET_{verde}) se calcula como el mínimo entre la evapotranspiración total del cultivo (ET_c) y la precipitación efectiva (P_{efec}), con un intervalo de diez días. Cuando la precipitación efectiva es mayor a la evapotranspiración total del cultivo, la ET_{azul} es igual a cero. La evapotranspiración total de agua azul se obtiene sumando ET_{azul} durante todo el periodo de crecimiento.” (p. 173)

$$ET_{verde} = \text{mín} (ET_c, P_{efec}) \quad (5)$$

$$ET_{azul} = \text{máx} (0, ET_c - P_{efec}) \quad (6)$$

$$ET_c - NAC = K_c * ET_0 \quad (7)$$

Donde:

- ET_c = Evapotranspiración total del cultivo $\left(\frac{mm}{periodo}\right)$
- P_{efec} = Precipitación efectiva $\left(\frac{mm}{periodo}\right)$
- NAC = Necesidad real de agua del cultivo

- K_c = Coeficiente del cultivo
- ET_0 = Evapotranspiración de referencia

Hoekstra et al., (2021) señalan que, en caso de cultivos permanentes, se debe calcular la evapotranspiración durante todo el año; añaden también que se tiene que considerar el promedio anual de evapotranspiración durante el ciclo de vida completo de la cosecha. (pp. 68-69); por lo tanto, el cálculo de la ET_0 ($\frac{mm}{día}$), se lo realizó utilizando el software denominado CROPWAT en su versión 8.0, en el cual como señala Borja Darquea (2016), es necesario ingresar la temperatura máxima y mínima ($^{\circ}C$), Humedad (%), velocidad del viento ($\frac{km}{día}$), horas de sol, mismos que fueron recuperados a través del software CLIMWAT 2.0 for CROPWAT, seleccionando como la estación de Pasaje en Ecuador dado a que es la más cercana a la localización de estudio.

En cuanto al tiempo que el árbol de cacao da frutos desde que fue sembrado, Batista (2009) señala la que las mazorcas de cacao tardan en madurar de entre 3 a 5 años desde su cultivo, siendo el tercer año el inicio de la producción y a partir del quinto año la producción de cacao se considera muy importante debido a su rendimiento (pág. 77), esta condición puede variar dependiendo de las condiciones ambientales del lugar que se siembra la planta. Es imperativo señalar que según Torres Tarache (2022), “En un árbol nativo, la floración se da hasta los 3 años, pero en una especie híbrida interclonal la floración se da prematuramente, entre los 12 y 18 meses, haciéndolo durante todos los días del año” (pág. 31). Sin embargo, Nair (2021) señala que los días de madures de la vaina del cacao contados a partir de la polinización, puede ser estimada mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{2500}{T - 9} \quad (8)$$

Donde:

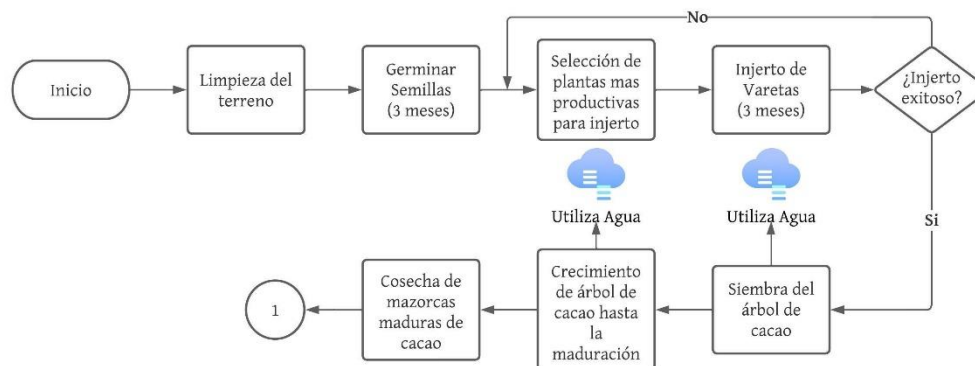
- N = Número de días para la cosecha contados desde el cultivo
- T = Temperatura promedio en grados Celsius

Por lo tanto, se determinó la cantidad de agua utilizada en el proceso productivo del cacao, mismo que va desde la siembra hasta el almacenamiento de las semillas cosechadas.

Figura VI. Proceso de siembra y recolección de mazorcas de cacao

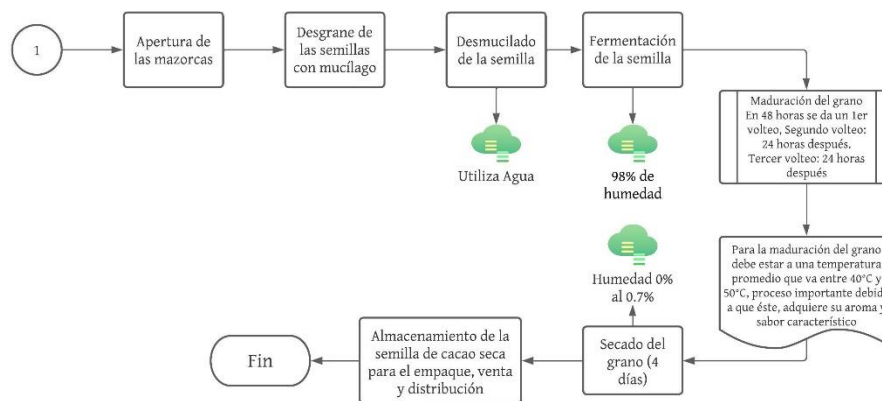
y *Figura*.

Figura VI. Proceso de siembra y recolección de mazorcas de cacao



Nota: La figura muestra el proceso de siembra y recolección de las mazorcas de cacao, además, muestra las etapas en las que utiliza el recurso agua.

Figura VII. Proceso de recolección y almacenamiento de semillas de cacao



Nota: La figura muestra el proceso de recolección y almacenamiento de las semillas de cacao para le empaque, venta y distribución, además, muestra las etapas en las que utiliza el recurso agua.

La circularidad del agua como viene ocurriendo ya no un concepto tan inocente como lo fue, ya que conduce a contaminar el agua de varias maneras como por ejemplo se puede agregar nutrientes, pesticidas y productos al agua a medida que circula por los campos agrícolas, lo que podría provocar erosión en el suelo entre otros efectos (Sauvé et al., 2021). Es por tal motivo que

Hoekstra et al., (2021) proponen el cálculo de la huella hídrica gris de para un cultivo permanente, considerando distintos factores:

$$HH_{cacao,gris} = \frac{\left(\frac{a \times TA}{c_{m\acute{a}x} - c_{nat}}\right)}{R} \quad (9)$$

Donde:

- a = Fracción de lixiviación-esorrentía superficial
- TA = Tasa de aplicación de sustancias químicas por hectárea $\left(\frac{kg}{ha}\right)$
- $c_{m\acute{a}x}$ = Concentración máxima permitida $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
- c_{nat} = Concentración natural para el contaminante en cuestión $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
- R = Rendimiento del cultivo de cacao $\left(\frac{t}{ha}\right)$

Adicionalmente se usó como referencia estudios como Water footprint assessment of the Colombian cocoa production (Ortiz-Rodriguez et al., 2015) en el cual se calculó la HH de la producción del cacao colombiano, y; Calidad y Cobertura de Riego del Río Chaguana en la zona agrícola de la parroquia Casacay del cantón Pasaje – Provincia El Oro (García García, 2022) en el cual se estimó la cantidad de agua requerida para el cultivo de cacao en dicha localidad.

Por otro lado, en cuanto a cifras de producción y exportación de cacao se recolectó datos estadísticos de fuentes secundarias oficiales como el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Ecuador – INEC, Boletines informativos mensuales del Banco Central del Ecuador – BCE, Asociación Nacional de Exportadores de Cacao de Ecuador – ANECACAO. Así mismo, los datos meteorológicos fueron solicitados al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI.

Respecto a la estimación de valor económico de la Huella hídrica de la producción de cacao en la Asociación Mollopongo El Tovar, el Método del Precio de Mercado y, además, se ha tomado como referencia estudios como El valor económico de la huella hídrica en el Estero Salado, sector la ciudad perdida en la ciudad de Guayaquil (Pachito León, 2021), ya que se alinea con el presente informe de investigación.

En cuanto al precio de mercado, se debe señalar que el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pasaje (2019), en el Art. 41 de la Ordenanza que regula los Servicios Públicos de Agua Potable, Saneamiento y Protección Ambiental en el Cantón Pasaje reguló el costo del agua potable en su jurisdicción para lo cual estableció tarifas diferenciadas como se muestran en la

Tabla 4, mismos que serán autoajustados anualmente según la inflación anual emitida por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INEC

Tabla 4: Pliego tarifario de consumo de agua potable

TARIFARIO CON MICROMEDICIÓN				
Categoría	de	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3
Consumidor	Cargo fijo	0 < x <= 25	25 < x <= 50	>50
		(m3/mes)	(m3/mes)	(m3/mes)
No residencial	USD \$ 0,96	USD \$ 0,50	USD \$ 0,60	USD \$ 0,70
TARIFARIO SIN MICROMEDICIÓN (COSTO FIJO MENSUAL)				
Categoría de Consumidor	Cargo fijo AA.PP.	Costo de servicio de Agua potable	Costo Total de AA.PP.	
Industrial	USD \$ 1,06	USD \$ 34,33	USD \$ 35,39	

Nota. Información tomada de (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pasaje, 2019, págs. 14-15),

De acuerdo con datos oficiales, la inflación anual de Ecuador al mes de octubre de 2.022 fue del 4,02%, por lo que se procedió a actualizar los precios de consumo de agua potable de acuerdo con la normativa aplicable. Véase la *Tabla 5*.

García (2022) señaló que, de acuerdo con testimonios provenientes de los agricultores, “desde el 2020 no hacen uso de los canales de riego porque las fincas del sector cuentan con la humedad necesaria en los suelos.” (2022, pág. 66), y; adicionalmente, el GAD Municipal de Pasaje mediante el artículo 57 de la Ordenanza que regula los Servicios Públicos de Agua Potable, Saneamiento y Protección Ambiental en el Cantón Pasaje, prohíbe utilizar el agua potable con fines distintos al consumo humano, como por ejemplo para realizar riegos en los campos o

huertos; además, con el supuesto de que la asociación realiza el riego de a los cultivos con agua potable, se decidió tomar como costo del producto el precio de USD \$ 0,73 dado a que el consumo del líquido vital es superior que $50 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$, todo esto con la finalidad de estimar el valor económico de la huella hídrica azul del cultivo de cacao de la Asociación Mollopongo El Tobar, quedando así, la siguiente expresión:

Tabla 5: Pliego tarifario de consumo de agua potable ajustado

TARIFARIO CON MICROMEDICIÓN				
Categoría de Consumidor	de Cargo fijo	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3
		0 < x <= 25 (m3/mes)	25 < x <= 50 (m3/mes)	50 >50 (m3/mes)
No residencial	USD \$ 1,00	USD \$ 0,52	USD \$ 0,62	USD \$ 0,73

TARIFARIO SIN MICROMEDICIÓN (COSTO FIJO MENSUAL)			
Categoría de Consumidor	Cargo fijo AA.PP.	Costo de servicio de Agua potable	Costo Total de AA.PP.
Industrial	USD \$ 1,10	USD \$ 35.71	USD \$ 36.81

Nota. Se estimó los precios de acuerdo con la inflación reportada por el INEC a octubre de 2.022

$$VET = HH_{cacao, azul} * C_p \quad (10)$$

Donde:

- VET = Valor económico total
- $HH_{cacao, azul}$ = Huella hídrica azul del cultivo de cacao
- C_p = Costo del producto

3. Resultados y Discusión

Los datos mostrados en la

Tabla 6, muestran la estimación mensual de la evapotranspiración potencial o máxima del cultivo durante el año, en la cual se puede observar que durante el mes de marzo la radiación

solar se encuentra en su punto máximo de $15 \left(\frac{MJ}{m^2 \text{ día}}\right)$, lo que significa que la evapotranspiración también se encuentra en su punto máximo de $3,44 \left(\frac{mm}{\text{día}}\right)$, se puede concluir que la *Rad* y la *ET_o* tienen relación directa, ya que si una incrementa o decrece, la otra tendrá el mismo comportamiento.

Tabla 6: Estimación de la Evapotranspiración de referencia *ET_o*

Mes	Temp Prom °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ET _o mm/día
Enero	27,50	80,00	104,00	2,30	12,90	3,06
Febrero	28,10	80,00	95,00	2,70	13,80	3,25
Marzo	28,40	80,00	104,00	3,50	15,00	3,51
Abril	28,10	79,00	104,00	3,70	14,60	3,42
Mayo	27,80	82,00	95,00	2,80	12,40	2,90
Junio	26,70	84,00	86,00	2,50	11,40	2,59
Julio	26,20	85,00	78,00	1,90	10,80	2,44
Agosto	25,40	85,00	86,00	1,80	11,40	2,52
Septiembre	25,80	86,00	86,00	1,20	11,10	2,50
Octubre	25,90	87,00	86,00	1,10	11,20	2,52
Noviembre	26,10	85,00	86,00	1,10	11,00	2,53
Diciembre	26,80	80,00	104,00	1,90	12,10	2,88
Promedio	26,98	82,75	92,83	2,21	12,31	2,84

Nota. Calculados a través del CROPWAT 8.0, tomando datos de CLIMWAT 2.0 for CROPWAT, y; de García García (2022)

En Ecuador, el Cacao posee dos ciclos de cosechas al año: el primero va desde enero hasta abril y el segundo ciclo empieza en el mes de septiembre y termina en diciembre, es por ello que el Coeficiente de cultivo del cacao *K_c*, varía durante los meses que representan a los ciclos antes mencionados. Como se puede observar en la

Tabla 7, el mes que el cultivo de cacao de la Asociación Mollopongo El Tovar necesita mayor cantidad de agua es marzo, representando 5,16 ($\frac{mm}{día}$), lo que significa que la necesidad neta de agua es de 51,6 ($\frac{m^3}{ha}$).

Tabla 7: Estimación de la Evapotranspiración total de agua verde y azul basada en la tabla de resultados NAC del modelo CROPWAT 8.0

Mes	Periodo	Etap	Kc	ETc	ETc	Prec, efec	Necesidad de Riego	ET azul	ET verde
			-	mm/día	mm/periodo	mm/periodo	mm/periodo	mm/periodo	mm/periodo
Ene	1	Inic	1,0 0	3,00	30,00	35,80	0,00	0,00	30,00
Ene	2	Inic	1,0 0	3,06	30,60	47,20	0,00	0,00	30,60
Ene	3	Inic	1,0 0	3,12	34,30	45,70	0,00	0,00	34,30
Feb	1	Inic	1,0 0	3,18	31,80	43,00	0,00	0,00	31,80
Feb	2	Inic	1,0 0	3,25	32,50	43,10	0,00	0,00	32,50
Feb	3	Inic	1,0 0	3,33	26,70	42,20	0,00	0,00	26,70
Mar	1	Inic	1,0 0	3,42	34,20	41,90	0,00	0,00	34,20
Mar	2	Inic	1,0 0	3,51	35,10	41,40	0,00	0,00	35,10
Mar	3	Inic	1,0 0	3,48	38,30	37,50	0,70	0,80	37,50
Abr	1	Des	0,9 9	3,41	34,10	34,10	0,00	0,00	34,10
Abr	2	Des	0,9 6	3,30	33,00	31,00	1,90	2,00	31,00

Abr	3	Des	0,9 4	3,05	30,50	24,20	6,40	6,30	24,20
May	1	Des	0,9 2	2,82	28,20	15,10	13,00	13,10	15,10
May	2	Des	0,8 9	2,59	25,90	7,80	18,10	18,10	7,80
May	3	Des	0,8 7	2,43	26,70	8,70	18,10	18,00	8,70
Jun	1	Des	0,8 4	2,28	22,80	10,60	12,10	12,20	10,60
Jun	2	Des	0,8 2	2,13	21,30	10,70	10,60	10,60	10,70
Jun	3	Med	0,8 0	2,03	20,30	9,80	10,40	10,50	9,80
Jul	1	Med	0,7 9	1,96	19,60	8,40	11,20	11,20	8,40
Jul	2	Med	0,7 9	1,92	19,20	7,40	11,80	11,80	7,40
Jul	3	Med	0,7 9	1,94	21,40	8,30	13,10	13,10	8,30
Ago	1	Med	0,7 9	1,97	19,70	9,70	10,00	10,00	9,70
Ago	2	Med	0,7 9	1,99	19,90	10,50	9,40	9,40	10,50
Ago	3	Med	0,7 9	1,98	21,80	9,90	11,90	11,90	9,90
Sep	1	Med	0,7 9	1,98	19,80	8,70	11,10	11,10	8,70
Sep	2	Med	0,7 9	1,97	19,70	8,00	11,70	11,70	8,00
Sep	3	Med	0,7 9	1,98	19,80	9,50	10,20	10,30	9,50
Oct	1	Fin	0,7 9	1,99	19,90	11,80	8,10	8,10	11,80

Oct	2	Fin	0,7 9	1,99	19,90	13,40	6,60	6,50	13,40
Oct	3	Fin	0,7 9	2,00	22,00	12,60	9,40	9,40	12,60
Nov	1	Fin	0,7 9	2,00	20,00	11,20	8,80	8,80	11,20
Nov	2	Fin	0,7 9	2,00	20,00	10,50	9,50	9,50	10,50
Nov	3	Fin	0,7 9	2,10	21,00	11,40	9,60	9,60	11,40
Dic	1	Fin	0,7 9	2,19	21,90	9,70	12,20	12,20	9,70
Dic	2	Fin	0,7 9	2,28	22,80	9,10	13,70	13,70	9,10
Dic	3	Fin	0,7 9	2,33	25,60	20,40	5,30	5,20	20,40
A lo largo del periodo total del cultivo				910,20	720,40	274,90	275,10	635,20	

Nota. Datos calculados a través del CROPWAT 8.0; los datos de la Evapotranspiración de agua verde y azul se calcularon de acuerdo con las ecuaciones 5 y 6

Con los datos presentado anteriormente se estimó la Huella Hídrica total para la Asociación Mollopongo El Tovar siendo los siguientes los resultados:

Se estimó el uso del agua verde en el cultivo de cacao en la Asociación Mollopongo El Tovar; es decir que, la cantidad de agua lluvia que se evapora es de $6.352 \left(\frac{m^3}{t}\right)$, y; además que el rendimiento promedio del cultivo de cacao en Ecuador durante el periodo 2001 – 2021 es de $0,37 \left(\frac{t}{ha}\right)$. Por lo que se puede afirmar que de acuerdo con los cálculos la huella hídrica verde es de $17.167,57 \left(\frac{m^3}{t}\right)$, como se puede observar en la

Tabla 8.

Tabla 8: Estimación de la huella hídrica verde del cultivo de cacao

$HH_{cacao, verde}$ (m ³ /t)	UAC_{verde} (m ³ /t)	Factor convertidor	ET_{verde} (mm/día)	R (t/ha)
17.167,57	6.352,00	10	635,20	0,37

Nota. Datos calculados a partir de la expresión 2 presentada por (Hoekstra et al., 2021)

Así mismo, se valoró el uso del agua azul en el cultivo de cacao; es decir que, la cantidad de agua de riego que se evapora en el campo es de 2.751 ($\frac{m^3}{t}$), y; además que el rendimiento promedio del cultivo es de 0,37 ($\frac{t}{ha}$). Por lo que se puede afirmar que, de acuerdo con los cálculos realizados la huella hídrica azul es de 7.435,14 ($\frac{m^3}{t}$), como se puede observar en la

Tabla 9.

Tabla 9: Estimación de la huella hídrica azul del cultivo de cacao

$HH_{cacao, azul}$ (m ³ /t)	UAC_{Azul} (m ³ /t)	Factor convertidor	ET_{azul} (mm/día)	R (t/ha)
7.435,14	2.751,00	10	275,10	0,37

Nota. Datos calculados a partir de la expresión 3 presentada por (Hoekstra et al., 2021)

En cuanto a la huella hídrica gris en los cultivos de la Asociación Mollopongo El Tovar es 0 como se puede observar en la

Tabla 10, debido a que esta produce cacao orgánico, y forma parte de la Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras – UNOCACE, misma que cuenta “con certificación orgánica para la UE de acuerdo a la norma CE834 / 2007 & CE889 / 2008, NOP para Estados Unidos, BioSuisse y Comercio Justo FLO”. (UNOCACE, 2020)

Tabla 10: Estimación de la huella hídrica gris del cultivo de cacao

$HH_{cacao, gris}$ (m ³ /t)	Fración de lixiviación-	Tasa de aplicación de sustancias	de Concentración máxima permitida (kg/m ³)	Concentración natural para el R (t/ha) contaminante
---	-------------------------	----------------------------------	--	---

escorrentía superficial		químicas por hectárea		en cuestión (kg/m ³)	
		(kg/ha)			
0,00	0,1	0	0,0008	0,00052	0,56

Nota. Valores fueron estimados a partir de la expresión 6 presentada por (Hoekstra et al., 2021), los datos correspondientes a la Concentración máxima permitida y a la Concentración natural para el contaminante en cuestión fueron tomados de (UNOCACE, 2018).

Utilizando la ecuación 1, se determinó que la Huella Hídrica total para el cultivo de cacao de la Asociación Mollopongo El Tovar es de 24.602,70 ($\frac{m^3}{t}$), cómo se puede observar en la **Tabla II**.

Tabla II: Estimación de la Huella Hídrica total para el cultivo de cacao en la Asociación Mollopongo El Tovar

HH _{Cultivo de cacao}	HH _{cacao, azul}	HH _{cacao, verde}	HH _{cacao, gris}
(m ³ /t)	(m ³ /t)	(m ³ /t)	(m ³ /t)
24.602,70	7.435,14	17.167,57	-

Nota. Datos calculados a partir de la expresión 1 presentada por (Hoekstra et al., 2021)

Se estimó que a un precio establecido de USD \$ 0,73 el metro cúbico de agua, el valor económico total de la huella hídrica azul del cultivo de cacao de la Asociación Mollopongo El Tovar es de USD \$ 5.427,65, como se puede observar en la

Tabla 12

Tabla 12: Estimación del Valor Económico de la Huella Hídrica azul del cultivo de cacao

Mes	Periodo	Etapas	R (t/ha)	ET _{azul} (mm/día)	Factor convertidor	UAC _{azul} (m ³ /t)	HH _{cacao, azul} (m ³ /t)	C _p USD \$ /m ³	VET USD \$/m ³
Ene	1	Inic	0,37	0,00	10,00	0,00	0,00	0,73	0,00
Ene	2	Inic	0,37	0,00	10,00	0,00	0,00	0,73	0,00
Ene	3	Inic	0,37	0,00	10,00	0,00	0,00	0,73	0,00

Feb	1	Inic	0,37	0,00	10,00	0,00	0,00	0,73	0,00
Feb	2	Inic	0,37	0,00	10,00	0,00	0,00	0,73	0,00
Feb	3	Inic	0,37	0,00	10,00	0,00	0,00	0,73	0,00
Mar	1	Inic	0,37	0,00	10,00	0,00	0,00	0,73	0,00
Mar	2	Inic	0,37	0,00	10,00	0,00	0,00	0,73	0,00
Mar	3	Inic	0,37	0,80	10,00	8,00	21,62	0,73	15,78
Abr	1	Des	0,37	0,00	10,00	0,00	0,00	0,73	0,00
Abr	2	Des	0,37	2,00	10,00	20,00	54,05	0,73	39,46
Abr	3	Des	0,37	6,30	10,00	63,00	170,27	0,73	124,30
May	1	Des	0,37	13,10	10,00	131,00	354,05	0,73	258,46
May	2	Des	0,37	18,10	10,00	181,00	489,19	0,73	357,11
May	3	Des	0,37	18,00	10,00	180,00	486,49	0,73	355,14
Jun	1	Des	0,37	12,20	10,00	122,00	329,73	0,73	240,70
Jun	2	Des	0,37	10,60	10,00	106,00	286,49	0,73	209,14
Jun	3	Med	0,37	10,50	10,00	105,00	283,78	0,73	207,16
Jul	1	Med	0,37	11,20	10,00	112,00	302,70	0,73	220,97
Jul	2	Med	0,37	11,80	10,00	118,00	318,92	0,73	232,81
Jul	3	Med	0,37	13,10	10,00	131,00	354,05	0,73	258,46
Ago	1	Med	0,37	10,00	10,00	100,00	270,27	0,73	197,30
Ago	2	Med	0,37	9,40	10,00	94,00	254,05	0,73	185,46
Ago	3	Med	0,37	11,90	10,00	119,00	321,62	0,73	234,78
Sep	1	Med	0,37	11,10	10,00	111,00	300,00	0,73	219,00
Sep	2	Med	0,37	11,70	10,00	117,00	316,22	0,73	230,84
Sep	3	Med	0,37	10,30	10,00	103,00	278,38	0,73	203,22
Oct	1	Fin	0,37	8,10	10,00	81,00	218,92	0,73	159,81
Oct	2	Fin	0,37	6,50	10,00	65,00	175,68	0,73	128,24
Oct	3	Fin	0,37	9,40	10,00	94,00	254,05	0,73	185,46
Nov	1	Fin	0,37	8,80	10,00	88,00	237,84	0,73	173,62
Nov	2	Fin	0,37	9,50	10,00	95,00	256,76	0,73	187,43
Nov	3	Fin	0,37	9,60	10,00	96,00	259,46	0,73	189,41
Dic	1	Fin	0,37	12,20	10,00	122,00	329,73	0,73	240,70
Dic	2	Fin	0,37	13,70	10,00	137,00	370,27	0,73	270,30
Dic	3	Fin	0,37	5,20	10,00	52,00	140,54	0,73	102,59
TOTAL DEL CICLO DE CULTIVO			275,10			2751,00	7435,14		5427,65

Nota. Datos calculados a partir de la expresión 9, presentada por (Pachito León, 2021)

Con la finalidad de realizar una comparativa de las huellas hídricas del cultivo de cacao se han utilizado estudios que estiman dichos indicadores como referencia, en el ámbito nacional tenemos a (Borja Darquea, 2016), quien procedió a comparar entre dos distintos tipos de chocolates que se producen en el país, además se consideró el trabajo de investigación de (Alcívar Párraga, 2021) ya que realizó su investigación en un sector rural de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. En el contexto internacional se distinguieron (Ortiz-Rodríguez et al., 2015), quienes estimaron la huella hídrica verde del cultivo de cacao en cinco municipios de distintos departamentos de Colombia, y (Mekonnen & Hoekstra, 2010), quienes calcularon la huella hídrica verde promedio de cacao y sus derivados para todos los países productores de cacao y estimaron el promedio a nivel mundial

Tabla 13.

Tabla 13: Huella Hídrica verde del cultivo de cacao y sus derivados por país productor

País	Huella Hídrica Verde (m ³ /t)	Cáscaras, pieles y otros desechos de cacao	Pasta de cacao sin desgrasar	Pasta de cacao total o parcialmente desgrasada	Manteca de cacao, grasa y aceite	Cacao en polvo, sin adición de azúcar u otro edulcorante	Cacao en polvo, con adición de azúcar u otro edulcorante
El Salvador	8.793	1.185	10.695	10.695	14.974	6.899	6.899
Bolivia	9.887	1.333	12.026	12.026	16.838	7.758	7.758
Tanzania	9.996	1.348	12.158	12.158	17.023	7.843	7.843
Madagascar	10.923	1.473	13.285	13.285	18.602	8.570	8.570
Perú	11.619	1.566	14.132	14.132	19.787	9.117	9.117
Costa de Marfil	14.038	1.893	17.074	17.074	23.907	11.015	11.015
Guatemala	14.094	1.900	17.142	17.142	24.002	11.058	11.058
Guinea	15.571	2.099	18.939	18.939	26.518	12.218	12.218
Togo	16.953	2.286	20.619	20.619	28.871	13.302	13.302

Malasia	17.671	2.382	21.493	21.493	30.095	13.865	13.865
Honduras	19.267	2.598	23.435	23.435	32.814	15.118	15.118
México	19.418	2.618	23.618	23.618	33.070	15.236	15.236
Tailandia	19.766	2.665	24.041	24.041	33.662	15.509	15.509
Indonesia	19.988	2.695	24.311	24.311	34.040	15.683	15.683
Nigeria	22.736	3.065	27.654	27.654	38.721	17.840	17.840
Colombia	22.865	3.083	27.811	27.811	38.941	17.941	17.941
India	23.726	3.199	28.858	28.858	40.407	18.616	18.616
República Democrática del Congo	25.749	3.471	31.318	31.318	43.851	20.203	20.203
Ghana	26.317	3.548	32.009	32.009	44.819	20.649	20.649
Sierra Leona	26.605	3.587	32.360	32.360	45.311	20.876	20.876
Camerún	27.924	3.765	33.963	33.963	47.555	21.910	21.910
Estados Federados de Micronesia	28.919	3.899	35.174	35.174	49.250	22.691	22.691
Congo	29.681	4.002	36.101	36.101	50.548	23.289	23.289
Brasil	30.247	4.078	36.789	36.789	51.512	23.733	23.733
Uganda	31.444	4.239	38.245	38.245	53.551	24.672	24.672
Venezuela	32.476	4.379	39.501	39.501	55.309	25.482	25.482
Ecuador	34.531	4.656	42.000	42.000	58.808	27.094	27.094
San Vicente y las Granadinas	41.340	5.574	50.282	50.282	70.404	32.437	32.437
Guyana	43.814	5.907	53.291	53.291	74.618	34.378	34.378
Belice	45.645	6.154	55.518	55.518	77.736	35.815	35.815

Nicaragua	47.567	6.413	57.855	57.855	81.009	37.323	37.323
Costa Rica	51.225	6.906	62.305	62.305	87.240	40.193	40.193
Samoa	54.667	7.370	66.491	66.491	93.101	42.894	42.894
Panamá	65.296	8.803	79.419	79.419	111.202	51.233	51.233
Angola	81.478	10.985	99.101	99.101	138.761	63.930	63.930
Liberia	81.519	10.991	99.151	99.151	138.831	63.963	63.963
Guinea Ecuatorial	115.090	15.517	139.984	139.984	196.005	90.304	90.304
Gabón	124.147	16.738	151.000	151.000	211.430	97.411	97.411
Surinam	149.891	20.209	182.312	182.312	255.273	117.610	117.610
Samoa Americana	171.348	23.102	208.410	208.410	291.815	134.446	134.446
República de Fiyi	228.501	30.807	277.924	277.924	389.149	179.290	179.290
República Centroafricana	251.781	33.946	306.240	306.240	428.798	197.557	197.557

Nota. La tabla presenta el promedio de la huella hídrica verde del cultivo de cacao, por país productor expresado en (m³/ton), periodo (1996-2005); Datos obtenidos de (Mekonnen & Hoekstra, The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCO-IHE, 2010)

En la *En cuanto* a la HH_{verde} de la Asociación Mollopongo El Tovar, es superior a los otros sectores dado a que su ubicación geográfica se encuentra al extremo sur del país *Figura*, donde existen distintos niveles de altitud, clima promedio, precipitaciones, radiación solar, humedad, técnicas de cultivo, etc., sin embargo, ésta es inferior al promedio para Ecuador calculado por (Mekonnen & Hoekstra, 2010), véase

Tabla 13.

Así mismo, para la HH_{azul} los datos obtenidos para Puerto Quito y Atacames son muy similares, sin embargo, los datos presentados por (Alcívar Párraga, 2021) son exorbitantes llegando a 62.430,80 (m³/t), lo que podría significar que en dicha Parroquia existen periodos

constantes de sequías por lo que deben utilizar mayor cantidad de agua para el riego de los cultivos de cacao.

Tabla 14, se puede inferir que las huellas hídricas verde del cultivo de cacao provenientes del Cantón Puerto Quito, del cantón Atacames y de la parroquia Monterrey del cantón La Concordia, tienen con corta diferencia dado a que se encuentran en provincias colindantes y su clima es muy parecido, es decir, similares promedios de temperaturas mensuales, niveles de radiación solar y de precipitaciones, teniendo como efecto parecidos niveles de producción de cacao por hectárea.

En cuanto a la HH_{verde} de la Asociación Mollopongo El Tovar, es superior a los otros sectores dado a que su ubicación geográfica se encuentra al extremo sur del país **Figura**, donde existen distintos niveles de altitud, clima promedio, precipitaciones, radiación solar, humedad, técnicas de cultivo, etc., sin embargo, ésta es inferior al promedio para Ecuador calculado por (Mekonnen & Hoekstra, 2010), véase

Tabla 13.

Así mismo, para la HH_{azul} los datos obtenidos para Puerto Quito y Atacames son muy similares, sin embargo, los datos presentados por (Alcívar Párraga, 2021) son exorbitantes llegando a 62.430,80 (m³/t), lo que podría significar que en dicha Parroquia existen periodos constantes de sequías por lo que deben utilizar mayor cantidad de agua para el riego de los cultivos de cacao.

Tabla 14: Ecuador: Comparación de la Huella Hídrica del cultivo de cacao de diferentes provincias

Procedencia del Cacao		HH_{verde}	HH_{azul}	HH_{gris}	$HH_{Cultivo\ de\ cacao}$
Provincia	Lugar	(m ³ /t)	(m ³ /t)	(m ³ /t)	(m ³ /t)
El Oro	Asociación Mollopongo El Tovar	17.167,57	7.435,14	-	24.602,70
Pichincha	Puerto Quito	13.408,55	4.588,03	119,00	18.115,58
Provincia de Esmeraldas	Atacames	13.037,61	4.748,72	119,00	17.905,33
Santo Domingo de los Tsáchilas	Parroquia Monterrey - La Concordia	13.664,60	62.430,80	0,02	76.095,42

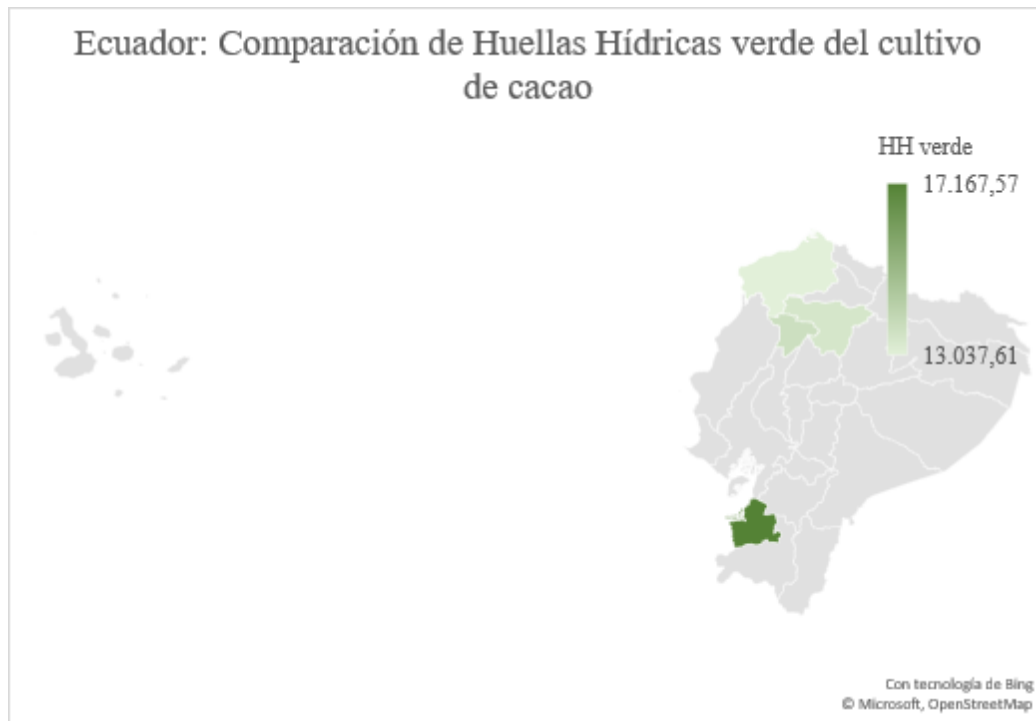
Nota. Datos de los sectores: Puerto Quito y Atacames fueron tomados de (Borja Darquea, 2016, págs. 15-16); la información correspondiente a la parroquia Monterrey se obtuvieron de (Alcívar Párraga, 2021, pág. 48)

Respecto a la HH_{gris} del cultivo de cacao es 0 (m³/t) debido a que en la Asociación Mollopongo El Tovar se fertiliza el cultivo con productos orgánicos por lo cual se cosecha Cacao Fino de Aroma con Certificación Orgánica.

En la **Tabla 15**, se puede observar que el municipio de Chaparral tiene la huella hídrica verde de 26.651,00 (m³/t), es más alta que las presentadas, incluso supera al promedio que (Mekonnen & Hoekstra, 2010) estimó para Colombia

Tabla 13. Adicionalmente la HH_{verde} de la Asociación Mollopongo El Tovar se encuentra por debajo de los promedios de Ecuador y Colombia.

Figura VIII: Ecuador: Comparación de Huellas Hídricas verde del cultivo de cacao



Nota. La figura presenta una perspectiva de Huellas Hídricas verde del cultivo de cacao en Ecuador de acuerdo con la información obtenida en los estudios presentados en el presente artículo.

Tabla 15: Comparación de la Huella Hídrica verde obtenida vs. Colombia

Procedencia del Cacao			HH verde
País	Provincia / Departamento	Lugar	(m ³ /t)
Ecuador	El Oro	Asociación Mollopongo El Tovar	17.167,57
Colombia	Antioquia	Apartadó	14.344,00
Colombia	Arauca	Tame	15.057,00
Colombia	Huila	Garzón	13.475,00
Colombia	Nariño	Tumaco	13.719,00
Colombia	Santander	San Vicente	22.758,00
Colombia	Tolima	Chaparral	26.651,00

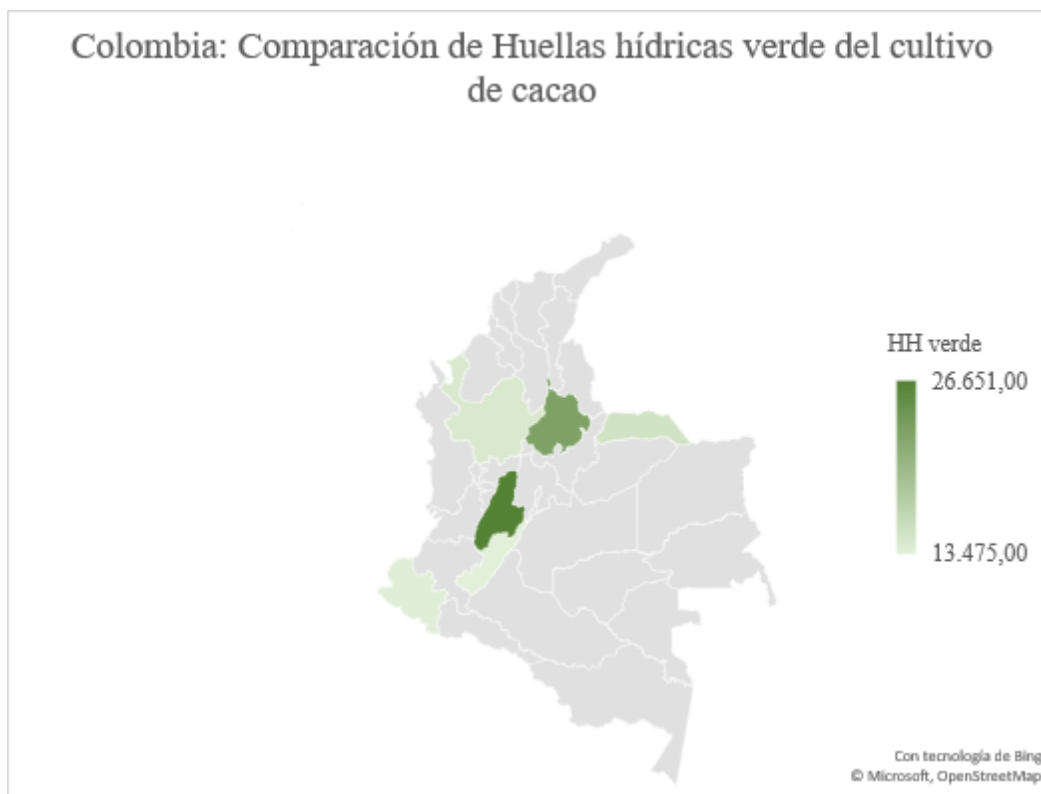
Nota. Datos de los municipios colombianos obtenidos de (Ortiz-Rodriguez et al., 2015)

La *Figura*, muestra la ubicación geográfica de los municipios y realiza un contraste de la HH_{verde} en el hermano país vecino.

En

Tabla 16, se puede observar que el valor económico de la Huella hídrica del cultivo de cacao de la Asociación Mollopongo El Tovar es menor que el VET de la HH de los hogares y de los negocios del sector denominado Ciudad Perdida en Guayaquil, lo que significa que dicha asociación destina poca agua para el riego de los cultivos, adicionalmente, en el presente caso se puede interpretar al VET como el monto que los órganos correspondientes pueden facturar anualmente a los consumidores o productores por el consumo del líquido vital.

Figura IX: Colombia: Comparación de Huellas hídricas verde del cultivo de cacao



Nota. La figura presenta una perspectiva de Huellas Hídricas verde del cultivo de cacao en Colombia de acuerdo con la información obtenida en los estudios presentados en el presente artículo.

Tabla 16: Comparación del Valor Económico Total de la Huella Hídrica

	Ciudad Perdida, Guayaquil	Negocios	Asociación Mollopongo El Tovar
	Hogares		Cultivo de Cacao
	USD/m ³	USD/m ³	USD/m ³
Valor Económico de la Huella Hídrica	9.328,17	18.604,8	5.427,65

Nota. Los datos del VET de la huella hídrica de los hogares y negocios fueron obtenidos de (Pachito León, 2021).

Conclusiones

Las comparaciones globales de la huella hídrica verde, utilizados para el análisis del cacao, fueron mucho más altas que los valores derivados de la información local en este estudio. Esto nos permite probar que los datos internacionales de la huella hídrica verde han sido sobreestimados.

El modelo utilizado para la estimación de la huella hídrica total del cultivo de cacao fue realizado con un alto rendimiento agrícola, evidenciando una buena utilización del recurso hídrico en la Asociación Mollopongo El Tovar.

El valor económico de la huella hídrica resultó menor al del estudio con el que se ha comparado, lo que confirma una vez más el buen uso del agua en el cultivo de cacao en la Asociación estudiada.

Referencias

Alcívar Párraga, E. M. (2021). *Análisis de la Huella Hídrica del sector agrícola en referencia al marco de sistema de gestión ambiental ambiental en la parroquia Monterrey cantón La Concordia*. Universidad Agraria del Ecuador. Retrieved 27 de Noviembre de 2022, from <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ALCIVAR%20PARRAGA%20ELISSA%20MISHELLE.pdf>

Ariza Camacho, W., & Arevalo Uribe, D. (2018). Estimación de la huella hídrica azul y verde de la producción cafetera en ocho cuencas en el sur del Departamento del Huila. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 337-353. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.22490/21456453.2284>

Aznar Bellver, J., & Estruch Guitart, A. V. (2015). *Valoración de activos ambientales* (Segunda ed.). Valencia, España: Universitat Politècnica de València. Retrieved 20 de Noviembre de 2022, from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/66822/PDF-Aznar?sequence=1>

Batista, L. (2009). *Guía Técnica el Cultivo de Cacao en la República Dominicana* (Primera ed.). (T. Suriel, Ed.) República Dominicana: Ingráfica C. por A. Retrieved 10 de Noviembre de 2022, from <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/01/cacao-1.pdf>

Borja Darquea, P. G. (Mayo de 2016). Comparando la huella hídrica de dos chocolates con diferente porcentaje de cacao como indicador de sustentabilidad de la industria del chocolate ecuatoriano. 22. Quito, Pichincha, Ecuador: USFQ, 2016. Retrieved 25 de Octubre de 2022, from Repositorio Digital Universidad San Francisco de Quito: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/5808>

Chafla Martínez, P., Chafla Altamirano, J., & Mancheno Corral, A. (09 de Febrero de 2021). Factores socioeconómicos en la estimación de la huella hídrica personal: el caso de la Pontificia

Universidad Católica del Ecuador. *Estudios de la Gestión: revista internacional de administración*(9), 191–215. <https://doi.org/https://doi.org/10.32719/25506641.2021.9.8>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (Mayo de 2017). *Curso teórico-práctico: Metodologías para la valoración económica del medio ambiente*. Retrieved 20 de Noviembre de 2022, from <https://www.cepal.org/es/cursos/curso-teorico-practico-metodologias-la-valoracion-economica-medio-ambiente>

Commoner, B. (1973). *El círculo que se cierra*. (I. Plaza & Janés, Ed.) Colección Tribuna. Retrieved 22 de Octubre de 2022, from https://books.google.com.ec/books/about/El_c%C3%ADrculo_que_se_cierra.html?id=lKrNAAAACAAJ&redir_esc=y

Commoner, B. (1 de Octubre de 2012). The Last Word. (S. P. Farrell, Entrevistador) New York City, New York, United States of America: The New York Times. Retrieved 22 de Octubre de 2022, from <https://www.nytimes.com/video/us/1194834005471/last-word-barry-commoner.html>

Cristeche, E., & Penna, J. A. (2008). *Métodos de valoración económica de los servicios ambientales* (Vol. III). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Retrieved 20 de Noviembre de 2022, from https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-metodos_doc_03.pdf

Ferreres, E., Villalobos, F. J., Orgaz, F., Mínguez, M. I., van Halsema, G., & Perry, C. J. (2017, Febrero 17). Commentary: On the water footprint as an indicator of water use in food production. *Irrigation Science*, 35(2), 83-85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00271-017-0535-y>

García García, M. A. (Octubre de 2022). *Calidad y cobertura de riego del río Chaguana en la zona agrícola de la Parroquia Casacay del Cantón pasaje Provincia El Oro*. Guayaquil, Ecuador: UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL - FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS. Retrieved 01 de noviembre de 2022, from <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/63701>

García, L., Angulo Castro, F., Hernández-Amasifuen, A. D., Corazon-Guivin, M. A., Albuquerque Vásquez, J., Guerrero-Abad, J., . . . Oliva, M. (Octubre de 2021). Estudios globales sobre el cadmio en relación con Theobroma cacao: Un análisis bibliométrico desde Scopus (1996-2020). *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 611-623. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.065>

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pasaje. (27 de Diciembre de 2019). Ordenanza que regula los Servicios Públicos de Agua Potable, Saneamiento y Protección Ambiental en el Cantón Pasaje. *Gaceta Oficial*(46), 2-55. Pasaje, El Oro, Ecuador. Retrieved 22 de Noviembre de 2022, from <https://www.pasaje.gob.ec/gaceta>

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Casacay. (Marzo de 2018). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Casacay*. Retrieved 5 de noviembre de 2022, from <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html>

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2021). *Manual de Evaluación de la huella hídrica: Establecimiento del estándar mundial* (First ed.). (S. AENOR Internacional, Ed., & A. Valdés de Anca, Trans.) Madrid, España: AENOR Internacional, S.A.U., 2021. Retrieved Noviembre 1, 2022, from https://waterfootprint.org/media/downloads/Water_Footprint_Assessment_Manual_Spanish.pdf

International Cocoa Organization - ICCO. (2018). *A working definition of fine or flavour cocoa*. Berlin. Retrieved 19 de Octubre de 2022, from <https://www.icco.org/wp-content/uploads/FFP-5-2-Rev.1-A-Working-Definition-of-Fine-or-Flavour-Cocoa-English.pdf>

Leduc, M. F. (15 de Abril de 2021). *Los 4 principios de la Ecología de Barry Commoner*. Retrieved 22 de Octubre de 2022, from Revista Luv.It: <https://read.luv.it/los-4-principios-de-la-ecologia-historia-sostenibilidad-barry-commoner-dia-de-la-tierra/>

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCO-IHE. Retrieved 4 de Noviembre de 2022, from <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report47-WaterFootprintCrops-Voll.pdf>

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. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (Mayo de 2020). *Cuentas Nacionales de Huella Ecológica*. Retrieved 24 de Octubre de 2022, from Sistema Nacional de Indicadores Ambientales y Sostenibilidad: <http://sinias.ambiente.gob.ec:8099/proyecto-sinias-web/estadisticasAmbientales.jsf?menu=03>

Moxnes, E. (Diciembre de 2000). Not only the tragedy of the commons: misperceptions of feedback and policies for sustainable development. (L. John Wiley & Sons, Ed.) *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, XVI(4), 325-348. Retrieved 23 de Octubre de 2022, from [https://imedeia.uib-csic.es/master/cambioglobal/Modulo_II_cod101606/M%C3%B3dulo%203.%20La%20desertificaci%C3%B3n%20como%20sistema/Desertificaci%C3%B3n%20como%20sistema%20\(I\)/Game/Moxnes,%202000%3B%20Misperceptions.pdf](https://imedeia.uib-csic.es/master/cambioglobal/Modulo_II_cod101606/M%C3%B3dulo%203.%20La%20desertificaci%C3%B3n%20como%20sistema/Desertificaci%C3%B3n%20como%20sistema%20(I)/Game/Moxnes,%202000%3B%20Misperceptions.pdf)

MPCEIP & GIZ. (2021). *Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador*. Quito, Ecuador: Centro de Innovación y Economía Circular CIEC. Retrieved 17 de noviembre de 2022, from

https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Libro-Blanco-final-web_may102021.pdf

Nair, K. P. (2021). *Tree Crops* (Primera ed.). Malaparamba, India: Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-62140-7>

Ortiz-Rodriguez, O. O., Naranjo, C. A., Gracia-Caceres, R. G., & Villamizar-Gallardo, R. A. (2015, Agosto). Water footprint assessment of the Colombian cocoa production. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(9), 823-828. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n9p823-828>

Pachito León, X. E. (Septiembre de 2021). El valor económico de la huella hídrica en el Estero Salado, sector de la ciudad perdida en la ciudad de Guayaquil. *bachelor Thesis*. Guayaquil, Ecuador: Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de Guayaquil. Retrieved 28 de Octubre de 2022, from <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/58638>

Pino Peralta, S. L. (8 de Agosto de 2019). Valoración económica del cambio de variedad de cacao en parcelas de productores de la provincia de Cotopaxi-Ecuador. *REVISTA CIENTÍFICA ECOCIENCIA*, VI(4), 1-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.21855/ecociencia.64.199>

Sauvé, S., Lamontagne, S., Dupras, J., & Stahel, W. (2021, june 24). Circular economy of water: Tackling quantity, quality and footprint of water. *Environmental Development*, 39(100651). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100651>

The International Cocoa Organization - ICCO. (2021). *May 2021 Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics*. Abidjan. Retrieved 19 de Octubre de 2022, from <https://www.icco.org/may-2021-quarterly-bulletin-of-cocoa-statistics/>

The Water Footprint Network. (2017). *What is a water footprint?* Retrieved 25 de Octubre de 2022, from <https://waterfootprint.org/en/water-footprint/what-is-water-footprint/>

Torres Tarache, C. E. (2022). *Plan de negocio para el cultivo de cacao (Theobroma Cacao) bajo un sistema agroforestal en el municipio de Paz de Ariporo (Casanare)*. UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS. Retrieved 10 de noviembre de 2022, from <http://hdl.handle.net/11634/30296>

UNOCACE. (2018). *REGULACIONES DE CADMIO PARA EL CHOCOLATE Y CACAO EN POLVO*. Retrieved 26 de Noviembre de 2022, from Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras: <https://new.unocace.com/regulaciones-de-cadmio-para-el-chocolate-y-cacao-en-polvo/>

UNOCACE. (2020). *Certificación Orgánica*. Retrieved 14 de noviembre de 2022, from Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras: <https://new.unocace.com/certificacion-organica/>

Vignati, F., & Gómez-García, R. (12 de Febrero de 2020). *Iniciativa Latinoamericana del Cacao: Boletín No. 8*. Banco de Desarrollo de América Latina - CAF, Caracas. Retrieved 19 de Octubre de 2022, from <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1530>

Zubieta Olcoz, L. (Mayo de 2019). Huella Hídrica de los principales cultivos en Navarra. Navarra, España. Retrieved 24 de octubre de 2022, from Universidad Pública de Navarra: <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/34632>