

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL  
ECUADOR FACULTAD DE ECONOMÍA**

**Disertación previa a la obtención del título de  
Economista**

***Gestión Hídrica y Metabolismo Hídrico en la  
producción agrícola Ecuatoriana: análisis de  
la huella hídrica en el año 2010***

Andrés Eduardo Silva Villalobos  
anesilvav@gmail.com

Directora: Ec. Verónica Cordero  
VICORDERO@puce.edu.ec

Agosto, 2015

## Resumen

En la presente disertación se analizaron los problemas de gestión y contabilidad de los recursos hídricos a nivel nacional, tomando como eje principal las relaciones entre la actividad agrícola nacional y el agua asociada a su producción, ya que esta actividad demanda el 80% de los recursos hídricos que son utilizados a nivel nacional, y es el soporte central de la seguridad alimentaria. Se tomó el análisis de Huella Hídrica para estimar los flujos de agua que fueron necesarios para dicha producción en el año 2010. De esta forma se integró el estudio de los flujos físicos del agua en su gestión, analizado una dimensión distinta a la monetaria tradicional. Para la producción agrícola se tomaron los 6 productos considerados como más representativos por sus niveles de producción, y estos son: banano, caña y palma africana de los cultivos permanentes, y maíz, arroz y papa para los cultivos transitorios.

**Palabras clave:** recursos hídricos, producción agrícola, asociada, seguridad alimentaria, huella hídrica, flujos físicos, banano, caña, palma, arroz, maíz, papa.

# **Gestión Hídrica y Metabolismo Hídrico en la producción agrícola Ecuatoriana: análisis de la huella hídrica en el año 2010**

## **Contenido**

<b>Introducción</b>	<b>7</b>
<b>Metodología de Trabajo</b>	<b>9</b>
<b>Fundamentación Teórica</b>	<b>11</b>
1. Relaciones entre los procesos económicos y el medio ambiente.	11
1.1 Economía Ecológica	13
1.2 Metabolismo Socioeconómico	18
1.3 Metabolismo Hídrico: estudio de los flujos de agua en el proceso económico.	22
1.4 Ciclo Hidrológico	25
<b>Capítulo 1: Estado y Gestión de los Recursos Hídricos en el Ecuador</b>	<b>30</b>
1.1 Escasez del agua	30
1.2 Información General	31
1.3 Economía	32
1.4 División Hidrográfica del Ecuador	33
1.5 Fuentes de Agua	35
1.6 Usos y Demanda del agua	38
1.7 Institucionalidad de la Gestión de los Recursos Hídricos en el Ecuador	49
<b>Capítulo 2: Situación de la Producción Agrícola Ecuatoriana y su Relación con los Recursos Hídricos</b>	<b>55</b>
2.1 Situación del sector agrícola ecuatoriano	55
2.2 Riego y Agricultura	58
2.3 Análisis del uso de suelo	58
<b>Capítulo 3: Evaluación de la huella hídrica de los productos más representativos de la producción Agrícola Ecuatoriana</b>	<b>68</b>

3.1 Establecer objetivos y alcance	69
3.2 Metodología para la estimación de Huella hídrica de los cultivos	71
3.3 Estimación de la Huella Hídrica de los cultivos	72
3.4 Análisis de Resultados	77
<b>4. Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>88</b>
<b>5. Referencias Bibliográficas</b>	<b>90</b>
<b>6. Anexos</b>	<b>98</b>

## Índice de Gráficos

Gráfico 1: Economía Neoclásica y Economía Ecológica	14
Gráfico 2: Metabolismo Socioeconómico	18
Gráfico 3: Extracciones de agua a nivel mundial	22
Gráfico 4: Variación del PIB 2000-2012	33
Gráfico 5: Demarcaciones Hidrográficas	34
Gráfico 6: Potencial Hídrico del Ecuador	35
Gráfico 7: Principales usos de agua por región	38
Gráfico 8: Extracciones de agua por sector y por origen	39
Gráfico 9: Acceso al agua potable	41
Gráfico 10: Porcentaje bajo riego por Regiones	44
Gráfico 11: Cronología Institucional de la Gestión de Recursos Hídricos	50
Gráfico 12: PIB agrícola como porcentaje del PIB Nacional, 2000-2012	56
Gráfico 13: Superficie de labor agrícola por porcentajes 2010	59
Gráfico 14: Porcentaje de Cultivos permanentes en la producción nacional 2010	60
Gráfico 15: Porcentaje de Cultivos transitorios en la producción nacional 2010	60
Gráfico 16: Metabolismo Hídrico.	66
Gráfico 18: Etapas del coeficiente de cultivo (kc).	74
Gráfico 19: HH promedio nacional, de la Producción Agrícola año 2010.	79
Gráfico 20: Porcentajes de HH Nacional y de Producción Nacional por cultivos 2010	82
Gráfico 21: HH nacional de la Producción Agrícola año 2010	83
Gráfico 22: Porcentajes de HH Nacional y de Producción Nacional por Provincias 2010	86

## Índice de Cuadros

Cuadro 1: Flujos de materiales en las economías	21
Cuadro 2: Huella hídrica ejemplos	24
Cuadro 3: Fuentes de agua	26
Cuadro 4: Políticas y acciones para la Gestión Hídrica	29
Cuadro 5: Concesiones de Agua por Uso y Caudal	40
Cuadro 6: Superficie bajo UPA	42
Cuadro 7: Área bajo infraestructura de riego por tipos de sistemas	43
Cuadro 8: Distribución inequitativa del riego en el Ecuador, 2005	45

Cuadro 9: Principales problemas y demandas de los sistemas de riego y drenaje por regiones.	47
Cuadro 10: Estadísticas del Banano a nivel nacional por provincias, año 2010.	61
Cuadro 11: Estadísticas de la caña de azúcar a nivel nacional por provincias, año 2010.	62
Cuadro 12: Estadísticas de la palma africana a nivel nacional por provincias, año 2010.	63
Cuadro 13: Estadísticas del arroz a nivel nacional por provincias, año 2010.	64
Cuadro 14: Estadísticas de la papa a nivel nacional por provincias, año 2010.	64
Cuadro 15: Estadísticas del maíz a nivel nacional por provincias, año 2010.	65
Cuadro 16: Cultivos permanentes y transitorios por Provincias 2010	68
Cuadro 17: Clima/ETo provincia de Los Ríos año 2010.	73
Cuadro 18: Precipitación mensual y efectiva, provincia Los Ríos año 2010	73
Cuadro 19: Características específicas del Banano	75
Cuadro 20: Características del tipo de suelo	76
Cuadro 21: Huella Hídrica Promedio del Banano 2010	76
Cuadro 22: Huella Hídrica Nacional del Banano 2010	77
Cuadro 23: HH promedio nacional de la Producción Agrícola Ecuatoriana año 2010	78
Cuadro 24: Huella Hídrica Nacional del Banano 2010	81
Cuadro 25: HH promedio nacional de la Producción Agrícola Ecuatoriana año 2010	85

## Introducción

El agua brinda a la humanidad un sin número de servicios ambientales, sociales y culturales, también genera energía y alimento, fluye por el planeta haciendo posible la vida en su camino, sin embargo, los seres humanos no somos conscientes de cómo estamos usándola, ni del impacto que estamos generando sobre este recurso tan importante. Otra característica importante del agua, es que está en relación con la mayor parte de los procesos productivos, sobre todo en la agricultura, se estima que el 70% del agua dulce<sup>1</sup> a nivel mundial se emplea para la producción agrícola.

Por lo tanto, cada alimento que ingerimos tiene incorporada una importante cantidad de agua en su cadena productiva que fue necesaria para su elaboración. Al analizar estos flujos de agua, se genera información importante para mejorar la gestión de este recurso, y desarrollar la producción agrícola en función de la disponibilidad de los recursos hídricos. Adicionalmente, cada cosecha tiene características únicas, como el suelo donde se siembra, el clima donde se desarrolla y en general su medio ambiente, que causan que cada cultivo utilice diferentes cantidades de agua en cada región, por lo que, el análisis de los flujos de agua cobra mayor relevancia, aportando directrices para la toma de decisiones, que puedan garantizar seguridad hídrica a una región.

La mayor parte de las personas no es consciente de la gran cantidad de agua que se utiliza en la producción de sus alimentos. Se necesitan 130 litros para llenar una bañera, pero unos 2.400 lt<sup>2</sup> para producir una sola hamburguesa. El agua que utilizamos para cocinar, bañarnos, la cisterna del inodoro, lavar el auto y otras actividades domésticas, suele proceder de fuentes de fuera de nuestra región, además hay varios productos y bienes se producen en el extranjero y son importados, sin embargo la mayoría de las personas ignoran de donde proviene el agua que usa en su día a día. Entonces, las corrientes de productos del comercio internacional se podrían considerar como ríos de agua virtual que fluyen entre países, por el agua asociada a su proceso de producción.

Por otro lado, la expansión demográfica, el crecimiento de las economías y una mala gestión del agua están sometiendo a los recursos de agua potable a presiones sin precedentes. No se puede continuar utilizando el agua indiscriminadamente como se ha venido haciendo, es preciso cambiar la forma

---

<sup>1</sup> AQUASTAT es el sistema de información global sobre el agua, desarrollado por la División de Tierras y Aguas de la FAO. El principal objetivo del programa es recopilar, analizar y suministrar información sobre recursos hídricos, usos del agua, y la gestión del agua en el sector rural, con especial énfasis en los países de África, Asia, América Latina y el Caribe.

<sup>2</sup> Water footprint , Product Water footprint

en que gestionamos los recursos hídricos, tanto las partes científica como política, tienen la responsabilidad compartida de trabajar conjuntamente en el desarrollo de soluciones sostenibles a los problemas de agua que ya existen y los que van surgiendo (RÍO+20,2012;1).

Hoy en día gran parte de los ecosistemas en los estados desarrollados sufren de un grave deterioro, por lo que buscan una mejor gestión de sus recursos hídricos, ya que no se trata solo de la transferencia de agua de una región a otra, sino de la externalización de impactos ambientales, económicos, sociales y culturales motivados de forma especial por intereses políticos y económicos. (Collado y Saavedra, 2010;5)

Ecuador es un país con una vasta actividad agrícola y dotado de climas diversos y tierras fértiles donde se cultivan gran variedad de productos tanto para consumo local como para la exportación, lo que hace imprescindible considerar además de la dimensión monetaria y real de la economía, la dimensión física de los procesos económicos, generando la oportunidad de obtener valiosa información para los tomadores de decisiones, y generar una nueva cultura del agua, donde sea importante de donde viene y a dónde va el agua que usamos.

En la fundamentación teórica se tomó como marco a la Economía Ecológica para analizar las relaciones entre los procesos económicos y el medio ambiente, y profundizando en el tema se llegó al análisis de dichas relaciones mediante el metabolismo socioeconómico, que tiene como uno de sus planteamientos principales el análisis de los flujos físicos de los materiales en los procesos económicos.

En el primer capítulo se analiza la situación de los recursos hídricos en el Ecuador, en función de su disponibilidad, usos, localización, fuentes junto con las instituciones y políticas que ha direccionado su gestión.

En el segundo capítulo se analiza la producción agrícola ecuatoriana para definir los principales cultivos que serán estudiados y su relación con los recursos hídricos y la seguridad alimentaria.

Finalmente en el tercer capítulo se realiza la estimación de la huella hídrica para los cultivos y provincias seleccionados, analizando de esta forma los flujos físicos de agua que son utilizados para la producción agrícola, y las implicaciones que tienen en la gestión de los recursos hídricos.

# Metodología de Trabajo

## Pregunta General

En qué forma se gestiona el recurso Agua para la producción agrícola ecuatoriana?

## Preguntas específicas

1. Cómo han evolucionado las políticas de gestión hídrica en el Ecuador?
2. Como se desarrolla el metabolismo hídrico de la producción agrícola ecuatoriana?
- 3.Cuál es la huella hídrica de los 6 productos de mayor producción en el Ecuador en el año 2010?

## Objetivo General

Analizar la gestión de los recursos hídricos en la producción agrícola ecuatoriana, integrando el análisis del .metabolismo hídrico.

## Objetivos específicos

1. Analizar la evolución de las políticas sobre la gestión del agua en el Ecuador.
2. Analizar el metabolismo hídrico de la producción agrícola ecuatoriana.
3. Determinar la huella hídrica de los 6 productos de mayor producción agrícola en el Ecuador en el año 2010.

## Procedimiento metodológico

La presente disertación utiliza un tipo de reflexión mixta; en la primera parte que abarca los capítulos I y II, se trata el contenido referente al estado y gestión de los recursos hídricos en la agricultura ecuatoriana de manera factual, a través de las evidencias sobre la gestión hídrica a lo largo del tiempo, en las diferentes instituciones relacionadas, para determinar las características y relaciones importantes que direccionan este recurso.

En la segunda parte que implica el cálculo de los flujos físicos del agua asociados a la agricultura ecuatoriana, se plantea una reflexión metodológica a partir de la metodología propuesta en el libro "Manual de Evaluación de la huella hídrica"<sup>3</sup>,

---

<sup>3</sup>Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain, Maite M. Aldaya and Mesfin M. Mekonnen. Earthscan, London y Washington DC, 2011.

presentado por la organización Water Footprint Network, que será la guía principal para obtener la información necesaria para la estimación y cálculo de la Huella Hídrica. Para realizar dichos cálculos es necesaria información meteorológica específica del año de estudio seleccionado, esta se tomó del Anuario Meteorológico 2010, publicado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI), y la información específica sobre las características de cada cultivo se estiman indirectamente a través del programa CROPWAT 8.0. En el tercer capítulo de la presente disertación se presenta la explicación detallada de la estimación y cálculo de la huella hídrica mediante un ejemplo de cálculo.

# Fundamentación teórica

## 1. Relaciones entre los procesos económicos y el medio ambiente.

..."Debido a la ley de la entropía, entre el proceso económico y el medio ambiente hay un nexo dialéctico. El proceso económico cambia el medio ambiente de forma irrevocable y es alterado, a su vez, por ese mismo cambio también de forma irrevocable..." (Georgescu, 1975)

Uno de los principales retos de la humanidad es la administración responsable, efectiva y sustentable de los recursos con los que cuenta el planeta, ya que la sociedad actual está agotando muy de prisa sus recursos naturales. Aunque los problemas ambientales, y su relación con la actividad productiva de la sociedad se pueden analizar desde tiempos remotos, es en los últimos decenios que aparecen importantes preguntas y respuestas con respecto a la relación entre actividad humana y medio natural, así como a las posibles soluciones e instrumentos necesarios para resolverlos (Aguilera y Alcántara,1994;6). A pesar de ello, la viabilidad económica y ecológica han sido tratadas como variables independientes por casi la totalidad de las naciones, la reflexión sobre estos temas y su incorporación en las políticas económicas es una tarea que la economía debe enfrentar de manera urgente.

El planeta está habitado por más de 7,000 millones de personas, y cada una produce un impacto heterogéneo sobre el medio ambiente, varía de país a país y es consecuente con el nivel de desarrollo, e incluso varía de individuo a individuo, en cada grupo social o dentro de una misma comunidad o nación. El reto consiste en conciliar las necesidades de hoy con las del mañana, y solo será posible si las naciones cambian radicalmente el modo de dirigir, gestionar, administrar y distribuir las relaciones entre los procesos económicos y los recursos naturales. Generar un desarrollo equitativo que considere los límites de la naturaleza es indispensable. Sin embargo, el crecimiento económico, las demandas de justicia social, las necesidades ecológicas, los requerimientos técnicos productivos y la conservación de la biodiversidad, entre otros temas importantes, causan conflictos y tensiones que necesitan ser atendidas (Vargas, 2010;cap 25).

La economía tradicional se centró en los aspectos mecanicistas de los fenómenos, al considerar que cualquier proceso económico puede ser revertido, de tal manera que todo quede de la misma forma que al principio, y de esta forma se generó la ilusión de la no afectación ambiental, quedando relegados aspectos importantes de las relaciones e impactos de la actividad económica, ya que en realidad sucede lo contrario, todos los procesos físicos, naturales y

tecnológicos ocurren de tal manera que la disponibilidad de las materias primas utilizadas se transforman y decrecen, el proceso se vuelve irreversible y genera un impacto en el medio ambiente (Georgescu, 1975, p. 2).

El proceso económico no es un proceso aislado y autónomo, funciona mediante un intercambio que altera el medio ambiente de una forma acumulativa, y a su vez es alterado por esas modificaciones. Esta relación con el medio ambiente es uno de los elementos que definen la estructura económica, y puede exponer los flujos de materiales y de energía que son necesarios para que funcionen las sociedades (Georgescu, 1975, p. 2). Este flujo de materiales contiene un flujo energético, ya que los procesos económicos demandan materias primas como gas natural, petróleo, biocombustibles, carbón, etc, que se utilizan esencialmente para la producción de energía, y que se consideran en la perspectiva económica dominante, la economía neoclásica<sup>4</sup>, únicamente como flujos monetarios.

El análisis de los procesos económicos y su impacto en el medio ambiente han dado pie para el desarrollo de varias áreas de reflexión académica y teórica, que analizan la relación del hombre con la naturaleza y el impacto de la economía en los recursos naturales. Desde la teoría económica dos de ellas centran su atención en los recursos naturales, pero generalmente se presentan como opuestas: la economía ecológica y la economía ambiental.

La economía ambiental presenta el estudio de los problemas ambientales con la perspectiva e ideas analíticas, incluyendo varias de sus herramientas, de la economía neoclásica, centrandó su análisis en aquellos recursos que siendo de utilidad directa para el ser humano, resulten además apropiables, valorables y productibles (Field, 1995, p. 3). Se enfoca en la *valoración monetaria del medio ambiente*, utilizando principalmente el análisis costo-beneficio, para tomar decisiones sobre temas públicos, definir políticas o programas que protejan los beneficios ambientales de la sociedad. Este análisis es una herramienta importante para la evaluación económica del manejo de los recursos naturales, y mantiene dos características principales: la primera consiste en la estimación de valores de uso y valores de cambio<sup>5</sup>, y la segunda plantea la sustitución entre bienes ambientales<sup>6</sup> (Field, 1995;cap 6)

---

<sup>4</sup> La economía neoclásica es principalmente crematística, es decir se ocupa de la parte monetaria, y tiene una concepción metafísica de la realidad económica que funciona como un perpetuum mobile, lubricado por el dinero. Las empresas venden bienes y servicios, y con esto remuneran los factores de producción (tierra, trabajo y capital) (Martinez Alier, 1998).

<sup>5</sup> El valor de uso se deriva del uso consuntivo, del uso no consuntivo, o del uso indirecto de los recursos naturales. Mientras el valor de cambio es el valor de una mercancía para ser intercambiada en el mercado por otras mercancías con valores de uso diferentes.

<sup>6</sup> Los servicios ambientales son las funciones que brinda un ecosistema y que son utilizadas por la sociedad, generando beneficios económicos, ecológicos y sociales (Duarte, 2007).

La valoración monetaria busca correlacionar los daños ocasionados por la contaminación y el costo que los individuos están dispuestos a pagar por repararlos, sin embargo, pierde de vista el deterioro ambiental en términos económicos, es decir, los costos o beneficios de producción y/o consumo de algún bien o servicio que no son reflejados en el precio de mercado de los mismos. A estos costos que no están incluidos se los conocen como externalidades (Aguilera y Alcántara, 1994).

En esta metodología de valoración se evidencia un problema, ya que los beneficios y costos ambientales tienen valor de uso pero no siempre poseen valor de cambio en el mercado. Un ejemplo es el caso del agua, que posee un sin número de valores de uso, alimentación, riego, limpieza, etc, sin embargo, no posee un valor claramente definido en el mercado. Entonces, como manifiesta Vargas (2006;25), es necesaria la transformación de estos valores a términos monetarios, utilizando técnicas de valoración monetaria para los elementos que se encuentran fuera del mercado, y adicionalmente, mantener el supuesto de que todos los bienes se pueden expresar en términos monetarios equivalentes, de acuerdo a su utilidad para todas las personas.

Estas limitantes hacen necesaria una valoración alternativa que vaya más allá de la valoración monetaria de los recursos naturales, e integre todos los elementos relevantes para interpretar las relaciones entre los sistemas naturales y los procesos económicos. Esta fue la razón principal para tomar la economía ecológica como eje para el análisis de la problemática del recurso agua en esta disertación.

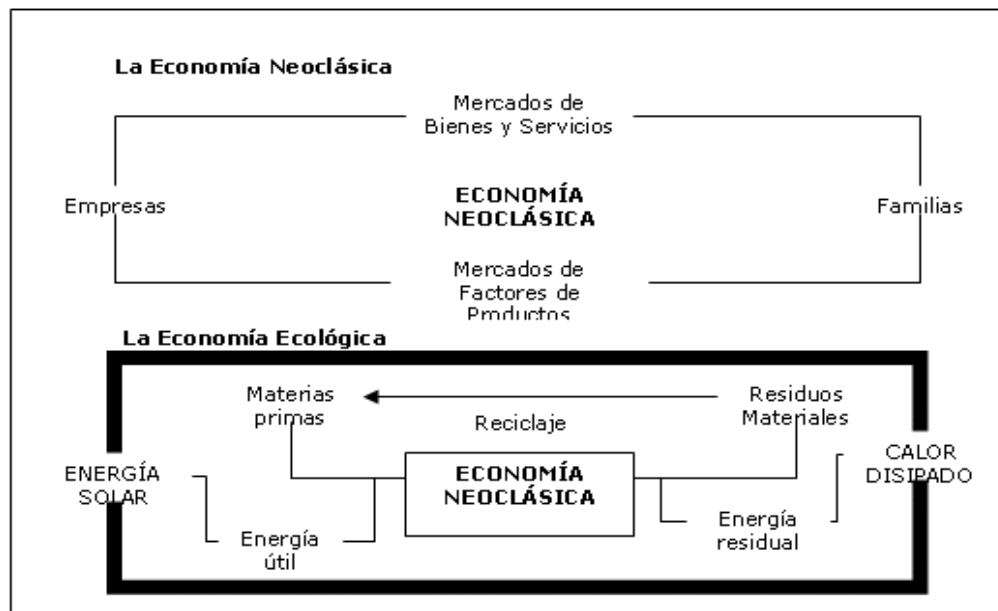
## **1.1 Economía Ecológica**

Para desarrollar el proceso económico el ser humano no utiliza únicamente recursos naturales de manera aislada, utiliza ecosistemas, ya que estos son modificados por el sistema socioeconómico, que debe, a su vez, adaptarse a los cambios que va generando, a través de nuevas instituciones y normas sociales de comportamiento (Aguilera y Alcántara, 1994, p. 19). Una de las principales reflexiones de la economía ecológica es resolver el cómo usar de forma sostenible los recursos no renovables. Para ello, propone un enfoque eointegrador, con métodos interdisciplinarios que integren los planteamientos económicos y ecológicos, conectando las prácticas tradicionales de valoración económica, con los análisis de la ecología y la termodinámica, reconociendo los efectos físicos que ocasionan los procesos económicos sobre el medio ambiente (Naredo, 2001, p. 8).

La economía ecológica percibe al planeta como un sistema abierto a la entrada de energía solar y materiales, que producen dos tipos de residuos: el calor

disipado o energía degradada (entropía<sup>7</sup>), y los residuos materiales (Gráfico1), es decir, la naturaleza juega el doble papel de suministradora de recursos y receptora de residuos. (Martinez Alier, 1998, p.19)

**Gráfico 1: Economía Neoclásica y Economía Ecológica**



Fuente y elaboración: Juan Martínez Alier (1998), Curso de Economía Ecológica.

Aguilera (1994,18) propone que las nociones biofísicas fundamentales sobre las que se articula la Economía Ecológica son tres (Daly, 1991, cit Aguilera, 1994, p.19):

1) La primera ley de la termodinámica: la materia y la energía no se crean ni se destruyen, sino que sólo se transforma. Esta ley se ha utilizado para sustentar los planteamientos mecanicistas de la economía, negando los cambios cualitativos que se dan en los recursos utilizados, pero en realidad y de acuerdo con la citada Ley, la generación de residuos es algo inherente a los procesos de producción y consumo.

2) La Entropía o Segunda Ley de la Termodinámica: según esta ley, la materia y la energía se degradan continuamente e irreversiblemente desde una forma disponible a una forma no disponible, lo que implica que en todo proceso hay energía que se pierde. Por lo tanto, se puede afirmar desde la termodinámica que el valor económico de la materia y energía viene dado por su disponibilidad para ser utilizada, y al no estar disponible su valor es nulo.

<sup>7</sup> La materia y la energía se degradan continuamente e irreversiblemente desde una forma disponible a una forma no disponible. Porque entre proceso y proceso una parte de energía se disipa en forma de calor y no puede volver a ser aprovechada.

3) La tercera implica respetar la capacidad de asimilación de los ecosistemas, junto con la imposibilidad de extraer más de lo que se puede considerar como su rendimiento sostenible o renovable, de lo contrario los ecosistemas serían destruidos y con ellos el ser humano.

Considerando estos tres aspectos, la economía ecológica los lleva a la práctica mediante la contabilización de los flujos de energía y los ciclos materiales de la economía, analizando las relaciones entre los ciclos económicos y los ciclos biogeoquímicos<sup>8</sup>, estos ciclos permiten que los elementos como el agua, carbono, oxígeno, nitrógeno, entre otros, se encuentren disponibles para ser aprovechados una y otra vez por otros organismos, ya que se reciclan mediante procesos naturales, desde el medio ambiente hacia los organismos, y viceversa (CIIFEN, 2005). Al considerar que estos ciclos son vulnerables a los procesos económicos, su reciclaje y administración se convierten en un punto clave en el mantenimiento de la vida, de otro modo, los nutrientes se agotarían y la vida desaparecería.

Es así que desde la revolución industrial las sociedades humanas desarrollaron su economía sobreexplotando ineficientemente y de manera desigual los stocks de materiales terrestres, especialmente de los combustibles fósiles. A medida que la economía crece también lo hace el impacto ambiental sobre la naturaleza, el cual puede ir más allá de la frontera de sostenibilidad<sup>9</sup>, generando una contaminación sin fronteras y un cambio climático que degrada los ecosistemas y amenaza la biodiversidad y la propia supervivencia de la especie humana, sobre todo de las generaciones futuras (Naredo, 2002, p.18).

Consecuentemente, la actividad económica coexiste con la parte física que la sustenta, por lo que debe considerar todos los elementos que componen los ecosistemas y las fronteras de sostenibilidad de los recursos naturales, y además necesita de un flujo constante de energía para poder desarrollarse, de tal manera que la disponibilidad de la energía implicada decrece, y la entropía aumenta, es decir, que el desarrollo actual afecta inevitablemente el desarrollo de las futuras generaciones (Ferrín, 2004, p. 4).

### **1.1.1 El flujo de energía en la economía**

La energía que se consume para sostener los actuales modos de producción proviene dos fuentes:

---

<sup>8</sup> Los ciclos biogeoquímicos constituyen un sistema regulador de la hidrosfera y la biosfera. Estos ciclos describen los movimientos y las interacciones de los elementos químicos esenciales para la vida a través de la geósfera, a través de procesos físicos, químicos y biológicos que tardan cientos, e incluso miles de años en terminar un ciclo.

<sup>9</sup> La frontera de sostenibilidad es el nivel de impactos ambientales en el que empiezan a decaer las capacidades medioambientales.

En primer lugar está el flujo de energía solar, que es permanente y puede usarse sin ser agotado ni destruido, y en segundo lugar la energía que proviene de los depósitos de combustibles fósiles. Estos últimos guardan una estrecha relación con la energía solar de épocas geológicamente remotas, esta ha sido captada y se ha depositado en los suelos de la tierra a través del tiempo (Ferrín, 2004, p. 4).

Por su parte, el ser humano necesita del consumo de alimentos para generar calorías y poder trabajar, lo que Alfred Lotka<sup>10</sup> llamó uso de energía endosomática. Esta energía viene determinada por la biología humana y varía entre 2000 a 3000 kilocalorías<sup>11</sup> diarias, y no puede alterarse más allá de este rango, ya que es necesaria para mantener las funciones básicas del organismo. (Martínez Alier, 1998, p.18). Por otro lado, está la energía utilizada en los hogares, el transporte y en la producción, como los combustibles fósiles, se conoce como energía exosomática. Este tipo de energía no guarda relación directa con la biología del ser humano (Martínez, 1998, p.11), sino que es influenciado por la riqueza de cada individuo, esta puede aumentar o disminuir proporcionalmente al ingreso del individuo.

Las economías preindustriales usaron principalmente la energía solar directa, convertida por la fotosíntesis en biomasa<sup>12</sup>, que luego podía usarse como alimentación, en vivienda o vestimenta, pero con la revolución industrial y las nuevas fuentes de energía, carbón, petróleo y gas natural, creció considerablemente la oferta y demanda de energía. (Martínez, 1998, 10). Hoy en día las principales fuentes de energía en las sociedades industriales son el carbón, el petróleo y el gas. Estas energías, proceden de épocas geológicamente remotas, y son extraídas y consumidas a un ritmo mucho más rápido que el de su producción geológica, por lo que se catalogan como recursos no renovables. En efecto, no se puede hablar sobre producción de estos recursos, ya que se produjeron hace miles de años, lo que ocurre actualmente es una rápida extracción y posteriormente destrucción de los mismos. (Martínez, 1998,13). Según la ley de la entropía, una vez quemados los combustibles fósiles, la energía se transforma, una parte en calor que se disipa y no puede ser utilizada nuevamente para generar trabajo. Por lo tanto, la energía es un elemento fundamental en los procesos económicos, y tanto sus fuentes como sus usos, deben ser considerados y analizados para mejorar su gestión y sustentabilidad.

---

<sup>10</sup> (Lemberg, 1880-Nueva York, 1949) Matemático estadounidense. Especializado en estadística, se le considera el fundador de la demografía matemática. Estudió la evolución de las poblaciones y definió los conceptos de población estable, población estacionaria y tasa de crecimiento natural.

<sup>11</sup> Kilocaloría: cantidad de calor necesaria para elevar un grado la temperatura de un litro de agua.

<sup>12</sup> Las plantas transforman la energía solar mediante la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica. La biomasa se forma de materia orgánica, incluyendo sus residuos y desechos, que pueden ser aprovechados para la producción de energía.

### **1.1.2 La agricultura moderna**

En este contexto, es importante analizar una actividad primordial para la economía como lo es la agricultura moderna, la cual utiliza dos tipos de flujos de energía: energía solar que es capturada y transformada por las plantas mediante la fotosíntesis, y los combustibles fósiles que se introducen a través de trabajos mecánicos, fertilizantes, uso de plaguicidas, etcétera. El primer flujo es natural, abundante, gratuito y limpio; el segundo correspondiente a los recursos no renovables que mantienen costos variables que se ajustan al mercado y generan desechos contaminantes que distorsionan el delicado equilibrio del medio ambiente. (FAO, 2012, p. 109)

El riego y la adición de fertilizantes incrementan la productividad por hectárea de tierra o por hora de trabajo, mejorando la capacidad de acumulación de biomasa vegetal. Los sistemas agrícolas dependen de la energía solar pero también reciben energía proveniente de combustibles fósiles, del esfuerzo humano, sus animales o incluso maquinaria. Así se favorece el crecimiento de ciertas especies vegetales incrementando su productividad, por el laboreo y la selección artificial. De esta forma, los sistemas agrícolas son ecosistemas simplificados que rejuvenecen continuamente permitiendo aumentar la energía alimentaria disponible. Se suele señalar que los sistemas agrícolas llegan a ser más eficientes que los sistemas naturales no intervenidos, principalmente porque su productividad es mayor, pero al costo de intensificar el uso de energía, agua, pesticidas y la producción de desechos.

La agricultura moderna mantiene los ecosistemas naturales en una etapa de sustitución temprana, por un lado excluye a las especies de árboles, y por otro al sembrar, define qué especies crecerán. De esta forma se interfieren los parámetros más importantes de los ecosistemas. Esto ocasiona un sesgo hacia la selección de animales y plantas que el ser humano necesita, alterando patrones de competencia y de criterios de selección para las especies salvajes, lo que incluso podría conducir a su extinción (Fischer y Harbel, 1998;3).

El objetivo principal de la agricultura moderna es el comercio, por ello pretende maximizar la productividad, a través de la implementación de tecnología y el uso de combustibles fósiles, y necesita de una inversión en capital para sistemas de riego, fertilizantes, pesticidas, maquinaria, que le permitan maximizar la producción por hectárea sembrada. El problema se genera cuando esta maximización no considera los ecosistemas que le rodean y genera externalidades, sobre todo en el suelo y el agua. Mientras, la agricultura tradicional se realiza bajo condiciones naturales, inclusive utilizando solamente agua lluvia (cultivos bajo secano), y generalmente es una agricultura de subsistencia, por lo que su productividad es menor, la inversión baja y las externalidades prácticamente nulas.

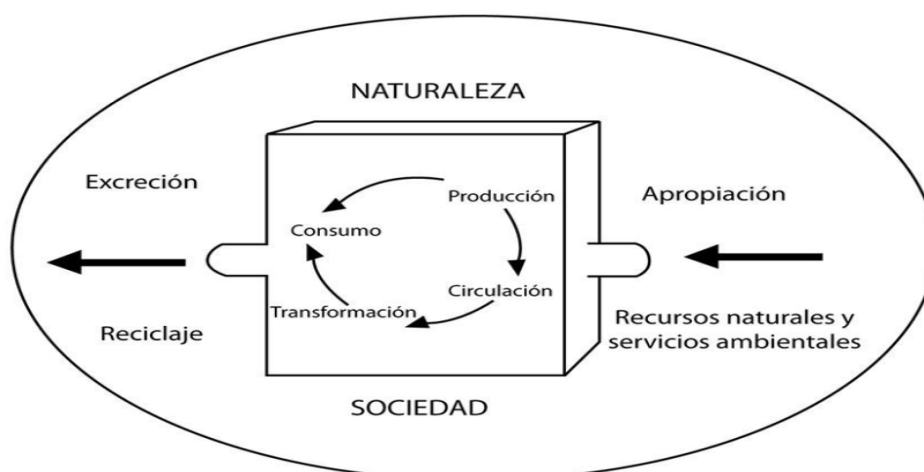
## 1.2 Metabolismo Socioeconómico

El metabolismo es un concepto que viene de la biología y se refiere a los procesos internos que permiten que un organismo vivo se desarrolle, mediante un intercambio continuo de materia y energía con su medio ambiente. De forma equivalente, los sistemas sociales mediante un flujo de energía convierten las materias primas, que extraen del medio ambiente, en productos manufacturados, servicios y, finalmente, desechos (Fischer y Harbel, 1998;2).

Estos procesos necesariamente establecen relaciones entre los seres humanos y la naturaleza, que según Toledo y Gonzales (2007,4) son siempre dobles: individuales o biológicas y colectivas o sociales. Las relaciones biológicas se sustentan en la reproducción natural de los recursos que se extraen de su biósfera local, como el agua, aire y la biomasa vegetal o animal, junto con los residuos que provocan: calor, agua y sustancias mineralizadas y orgánicas. Para cada uno de estos residuos existe un mecanismo natural de reciclaje, capaz de transformar los desechos en recursos nuevamente utilizables (Georgescu, 1975, p. 3). A nivel social, el conjunto de individuos extrae materia y energía de la naturaleza por medios tecnológicos que se mantienen básicamente de la movilización de recursos no renovables, combustibles fósiles, metales u otros minerales de yacimientos geológicos, y excretan residuos y calor disipado. (Fischer y Harbel, 1998,4).

Estos dos niveles de relaciones entre los seres humanos y la naturaleza, biológico y social, corresponden a la energía endosomática y energía exosomática respectivamente, y en conjunto constituyen los flujos de energía bio-metabólica y socio-metabólica que forman el proceso general de metabolismo entre la sociedad y la naturaleza. (Toledo, Gonzales, 2007, 5)

**Grafico 2: Metabolismo Socioeconómico**



Fuente y elaboración: González, etc (2011) Metabolismos, naturaleza e historia: hacia una teoría socio-ecológica de las transformaciones

El metabolismo socioeconómico sigue el siguiente proceso: *apropiación, circulación, transformación, consumo y excreción de materiales y energías* provenientes de la biósfera (Gráfico 2). De esta forma se constituye la dinámica del metabolismo socioeconómico para interpretar la relación entre naturaleza y sociedad como un proceso de doble determinación, integrando al sistema social como una parte de los sistemas naturales y no sobre ellos, prestando especial atención en los flujos materiales que circulan en la sociedad (Toledo, Gonzales, 2007, p.5).

Se puede medir el metabolismo socioeconómico considerando dos aspectos: el primero que relaciona la productividad de los materiales y se mide en [kg/año]. Y en segundo lugar se puede medir la productividad de la energía: el metabolismo socioeconómico tiene que ser mayor o igual a la producción energética que corresponde a la suma de las necesidades de energía biológica de todos sus miembros<sup>13</sup> (Fischer y Harbel, 1998;2-3).

En efecto, la forma en que los seres humanos se organizan en sociedad cambia irrevocablemente la naturaleza, que es alterada a su vez por ese mismo cambio, de esta forma se perfila la *determinación recíproca entre sociedad y naturaleza*, y se establece el metabolismo social como marco conceptual para el estudio de dicha relación, centrándose su análisis en el proceso metabólico, no sólo como un fenómeno físico, sino considerando la parte intangible de la sociedad que opera para los procesos materiales del metabolismo. Los cambios que se producen en los diferentes ecosistemas por la relación ser humano-naturaleza, para desarrollar su metabolismo socioeconómico, merecen ser analizados, ya que estos determinan sus relaciones con la energía y el flujo de materiales, y pueden ser resumidos en el término: colonización de la naturaleza.

Mediante esta colonización los seres humanos a través del trabajo, se apropian y transforman los ecosistemas y materias primas en productos manufacturados, servicios y finalmente en desechos, cambiando importantes parámetros de los sistemas naturales y alterando el equilibrio que reinaría en ausencia de estas intervenciones (Fisher y Harbel, 1998; 6).

Mantener este metabolismo implica una mayor producción de desechos y de contaminación, y a su vez demanda más trabajo para mantener las intervenciones en los sistemas agrícolas. El reconocimiento de esta dinámica resulta vital para mantener un metabolismo social ecológicamente sustentable, sin afectar la reproducción de su base material. Por lo tanto, las dinámicas, capacidades y umbrales de los ecosistemas que forman la base material de la producción, es decir, su metabolismo, deben ser consideradas como parte esencial en la gestión de los recursos naturales y en tal sentido, la colonización

---

<sup>13</sup> Actualmente, en las sociedades industriales, el insumo energético per cápita es aproximadamente de 40 veces superior a las necesidades de energía biológica de los individuos.

de la naturaleza es un acto por el cual los seres humanos, mediante el trabajo, hacen circular una fracción de materia o energía desde el espacio natural hasta el espacio social, alterando el equilibrio y los servicios ambientales que mantienen los ecosistemas (Toledo y Gonzales, 2007;. 13).

### **1.2.1 Producción primaria bruta (PPB)**

La PPB es la energía solar incorporada anualmente a través de la fotosíntesis a un ecosistema como biomasa, y es capturada por los seres vivos fotosintéticos que son los principales productores primarios de biomasa, ya que funcionan como una puerta de entrada de la energía a los ecosistemas y en efecto, la cantidad de energía que un ecosistema es capaz de aprovechar es igual a la de su propia producción. De esta forma, para las sociedades agrícolas la PPB es un límite absoluto, ya que a pesar de las innovaciones tecnológicas no pueden llevar su metabolismo energético más allá. De la misma forma, para las sociedades industriales la PPB es un limitante, ya que es la única fuente de energía alimentaria para seres humanos y animales. Sin embargo la biomasa se explota sin preocuparse por su reproducción (Fisher y Herbal, 1998; 6), manteniendo la falsa ilusión del crecimiento indefinido y los recursos inagotables.

Entonces, la proporción de PPB de la que se ha apropiado la sociedad, es un buen indicador de la escala del metabolismo social frente al entorno natural. Si una sociedad se apropia del 100% de la PPB (Fisher y Herbal, 1998;10), consume más de lo que está cultivando y no tarda en agotar su propia base alimentaria. Este exagerado consumo limita a las demás especies, ya que no deja suficiente espacio medioambiental para su pleno desarrollo. Es decir, que cada fragmento del espacio natural posee un límite para su apropiación ordenada, más allá de la cual se transgrede su capacidad de renovación, y finalmente, contra su propia existencia, lo que arroja la necesidad de contabilizar los principales flujos de materiales que atraviesan el metabolismo socioeconómico (Toledo y Gonzales, 2007;10).

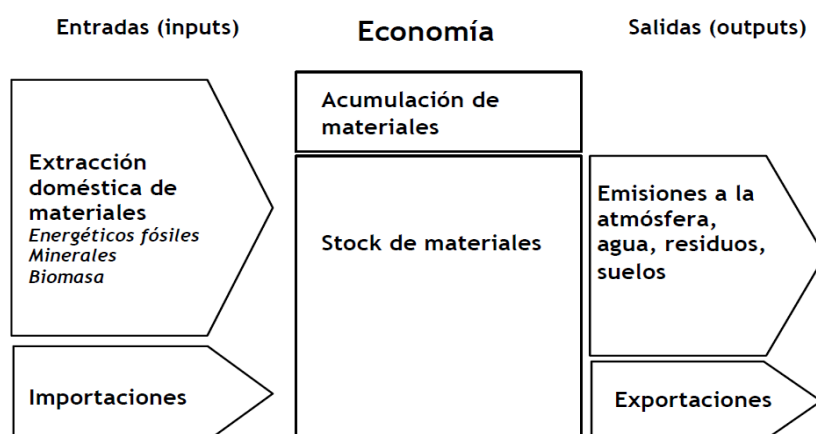
### **1.2.2 La contabilidad de los flujos materiales (MFA<sup>14</sup>)**

La MFA es una propuesta metodológica que analiza cómo se constituye la base material de las economías y permite cuantificar el intercambio físico de una economía con el medio ambiente. Sus indicadores permiten averiguar el grado de dependencia material de una economía, pues las cadenas extractivas y productivas implican tanto las extracciones y vertidos directos e indirectos procedentes de la producción y el consumo, como también los que entran y salen del sistema económico mediante las transacciones comerciales, como se observa en el Cuadro No. 1 (Madrid, 2007; 26).

---

<sup>14</sup> Material Flow Accounting

### Cuadro 1: Flujos de materiales en las economías



Fuente y Elaboración: González-Martínez (2010)

La contabilización se realiza en unidades físicas (toneladas) las cuales describen la extracción, transformación, consumo y eliminación final de elementos químicos, materias primas o productos. Todos los materiales tanto biológicos, minerales y energéticos que se utilizan en la economía, se contabilizan en esta metodología, exceptuando agua y aire, principalmente porque representan casi el 95% del metabolismo de una sociedad industrial y su contabilidad causaría un efecto desequilibrante frente a los otros recursos (González, Martínez, 2010; 35).

Para la contabilidad de dichos recursos existen varias metodologías que consideran estos aspectos, como el agua virtual y la huella hídrica las cuáles serán las más importantes para esta disertación. También, hay que tomar en cuenta que no se puede considerar que cada tonelada de materiales extraída causa el mismo efecto ambiental, imposibilitando la búsqueda de impactos ambientales concretos (Velázquez, 2008; 30).

Cuando se analiza el flujo de materiales se debe tomar en cuenta tanto los productos importados como los exportados. El problema se presenta para los materiales importados, ya que se trata de una materia movilizada desde su fuente de extracción, que pueden provenir de distintos lugares del globo, hasta la generación de un bien final o servicio, y adicionalmente, no existe una metodología universal para la MFA, la desarrollada por EUROSTAT<sup>15</sup> es la mayormente aceptada.

Superando estas limitaciones, el contabilizar los flujos materiales permite visualizarlos de una forma ventajosa y útil, en contraposición con la contabilidad monetaria tradicional, que no recoge los materiales sin valor monetario,

<sup>15</sup> Eurostat (Statistical Office of the European Communities,) es la oficina estadística de la Comisión Europea, que produce datos sobre la Unión Europea y promueve la armonización de los métodos estadísticos de los estados miembros.

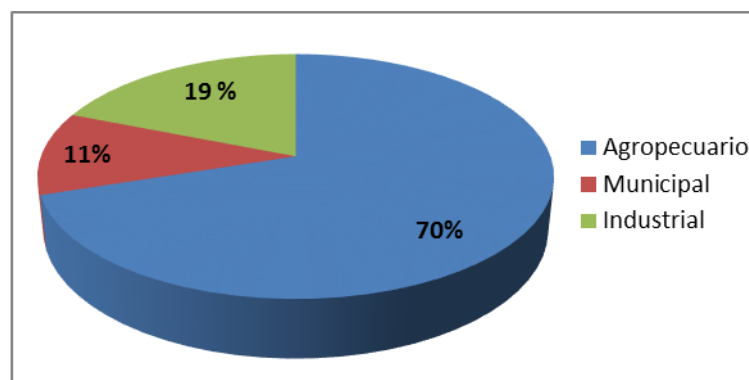
perdiéndose prácticamente la totalidad de los flujos ocultos, y por tanto las externalidades. (Madrid, 2007; 28)

En este contexto, es esencial analizar los flujos de agua, ya que las principales reacciones metabólicas de los seres vivos necesitan agua, y ésta circula a través las cadenas productivas, aportando una parte esencial para la producción y extracción de recursos, pero la mayor parte del tiempo es subestimada.

### 1.3 Metabolismo Hídrico: estudio de los flujos de agua en el proceso económico.

Los seres humanos usan una gran cantidad de agua en sus actividades, la mayor parte de ella se dedica a la agricultura, 70%, tal como se muestra en el gráfico 3, donde el 30% restante se distribuye en actividades industriales y uso doméstico, es por esto que la presente investigación centra el análisis de los flujos de agua en el sector agrícola y considera los principales productos del país. El consumo total de agua y su contaminación son generalmente considerados como una función directa de una multitud de actividades que al final generan degradación del recurso hídrico con el fin de satisfacer necesidades de las comunidades y la producción para la economía mundial (Arjen et al, 2011;19).

**Gráfico 3: Extracciones de agua a nivel mundial**



Fuente: AQUASTAT<sup>16</sup>

Elaboración: Andrés Silva

Es importante visualizar el uso del agua en las cadenas productivas ya que mejora la comprensión del carácter global del agua dulce y permite cuantificar los efectos del consumo y el comercio en el uso de los recursos hídricos. (Arjen et al, 2011;19). También con el fin de sensibilizar el uso de este recurso tan

<sup>16</sup> AQUASTAT es el sistema de información global sobre el agua, desarrollado por la División de Tierras y Aguas de la FAO. El principal objetivo del programa es recopilar, analizar y suministrar información sobre recursos hídricos, usos del agua, y la gestión del agua en el sector rural, con especial énfasis en los países de África, Asia, América Latina y el Caribe. Esto permite encontrar información completa y actualizada con regularidad a nivel global, regional y nacional.

valioso, ya que la mayor parte del tiempo se mantiene oculto entre los procesos productivos, y no se le concede la importancia que le corresponde.

Para comprender el impacto en los recursos hídricos y los residuos que se generan, es importante conocer los usos que se dan al agua, y conocer también su ciclo natural, para así comprender como el creciente comercio internacional de productos intensivos en agua provoca desgaste de los recursos naturales y una distribución inequitativa de los mismos. Adicionalmente, los productos agrícolas y ganaderos, las fibras naturales o la bioenergía se generan en un espacio desconectado de los consumidores, quienes desconocen los procesos de producción de la gran variedad de productos que consumen, así como del ciclo del agua o los residuos que generan, lo que no les permite tomar decisiones acertadas de consumo. Es por ello que el impacto total del consumo de un producto sobre los recursos hídricos sólo se puede calcular estudiando la cadena de suministro y el origen del producto (Arjen et al, 2011,20).

Entonces, *el metabolismo hídrico* se presenta como un marco de análisis que pone en contexto social, ambiental, tecnológico, geográfico e institucional las estimaciones hídricas, en base, y como analogía, al metabolismo social, ya que estudia las entradas y salidas de los flujos de agua de una economía, tanto en cantidad como en calidad, (Beltrán y Velázquez, 2011; 22).

Estos flujos hídricos en la economía son de gran importancia por su necesidad y usos a varios niveles, sin embargo no se ha incluido en la mayor parte de estudios sobre metabolismo socio económico (Beltrán y Velázquez, 2011; 20) debido a sus características especiales: 1) es fuertemente desequilibrante ya que al compararla con los demás materiales el agua se usa hasta 20 veces más; 2) las grandes carencias de información estadística sobre el agua; 3) no se considera la situación geográfica del recurso ya que los flujos de materiales no estudian la asociación de los recursos a nivel geográfico. (Madrid, 2007,29)

Superando las limitaciones mencionadas, es imprescindible analizar los flujos hídricos que son transformados por los sistemas sociales y económicos para implementar su gestión y minimizar sus impactos.

### **1.3.1 Contabilidad de los Recursos Hídricos**

Normalmente al hablar del consumo o uso del agua se hace referencia a la cantidad empleada de la misma, dejando de lado la calidad del recurso, que es determinante al momento de definir sus usos<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> La economía neoclásica considera al agua como un bien libre, es decir que no tiene ni dueño ni precio, pero en realidad es un bien común, con increíble valor y no siempre monetario (Ayres y Kneese, 1969).

Como afirma Madrid Cristina (2007; 38) la MFA no considera ni la cantidad, ni la calidad de los flujos de agua, sin embargo, es importante incorporar en el análisis del metabolismo socioeconómico algunos indicadores como la Huella Hídrica (HH) y el Agua Virtual (AV). El AV y HH analizan los flujos de agua oculta en el metabolismo socioeconómico, en analogía con los flujos ocultos de materiales, que se movilizan de manera intencionada y por medios tecnológicos pero que no son considerados en la economía. (Beltrán y Velázquez, 2011;25). Los estudios de carácter empírico que aplicaron los conceptos de AV y HH se han centrado en la producción agrícola, y se han aplicado a nivel mundial, así como a escala nacional y regional.

### 1.3.2 Huella hídrica y Agua virtual

Una persona consume directamente para sus necesidades aproximadamente unos 100 litros de agua al día, sin considerar el agua que usa indirectamente, es decir el agua contenida en los productos que consume, principalmente en los alimentos (Cuadro 2), si se contabiliza este consumo oculto de agua, esta medida puede llegar a 4000 lt/día, unas cuarenta veces más que el cálculo habitual (Collado y Saavedra, 2010: 8).

**Cuadro 2: Huella hídrica ejemplos**

Producto	Huella Hídrica
1 kg arroz	2500 lt
1 lt cerveza	300 lt
1 lt leche	1000 lt
1 kg pan	1600 lt
1 kg azucar	1800 lt
1 kg algodón	10000 lt
1 kg carne	15400 lt

Fuente: Water Food Print

Elaboración: Andrés Silva

La **huella hídrica (HH)** es un indicador global de apropiación de los recursos de agua dulce, de forma directa e indirecta, para un consumidor, o productor, esta apropiación se refleja en el agua asociada a los productos y actividades adherentes al consumo de cada productor o consumidor. Por lo tanto, la huella hídrica de un producto es el volumen de agua asociada para su producción, medida a lo largo de su cadena de suministro, y muestra los volúmenes de consumo de agua por fuentes y volúmenes de contaminación. La parte no consumida de la extracción de agua (devuelta a la cuenca) no es parte de la huella hídrica (Arjen et al, 2011; 23).

La HH está compuesta por: **huella hídrica azul**, que es el consumo de los recursos de agua superficial (ríos, lagos) y subterránea a lo largo de la cadena de suministro de un producto, este consumo refleja la pérdida de la masa de agua disponible en la superficie en un área de captación. Las pérdidas de agua se producen cuando se evapora, vuelve a otra zona de captación o al mar, o se incorporan al producto (Arjen et al, 2011;24).

La **huella hídrica verde** se refiere al uso humano de los flujos de precipitaciones en la superficie de la tierra, en la medida en que no se pierde por filtro o río abajo, sobre todo para los cultivos o la producción forestal. En otras palabras, se refiere al agua de la lluvia aprovechada para los cultivos. Y la **huella hídrica gris** se define como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes sobre las concentraciones naturales del lugar y la calidad del agua (Arjen et al, 2011;24).

El otro indicador que permite la contabilidad de los recursos hídricos es el **agua virtual (AV)**, el cual se analiza en el contexto de flujos de aguas internacionales o interregionales. Si una región exporta o importa un producto, también exporta o importa volúmenes agua de forma indirecta o "virtual". En este sentido se puede hablar de exportación o importación de agua virtual, o sobre los flujos o comercio de agua virtual (Arjen et al, 2011;39).

Es importante mencionar que la demanda de agua suele considerarse en función de las necesidades de los usuarios de la región, y por lo general se deja de lado la demanda de los productos de exportación. Sin embargo, el comercio de productos intensivos en agua y sus efectos, tanto en los exportadores como en los importadores, generan la necesidad de estudiar más a fondo la relación entre el comercio de agua virtual, la escasez de agua y la soberanía alimentaria.

Entonces, ambos indicadores señalan la responsabilidad de los productores y consumidores en el uso del agua, que apuntan a un cambio de paradigma en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y en las políticas hídricas, agropecuarias y comerciales. (Collado y Saavedra, 2010, 8)

*Los cálculos y la metodología para la HH que se aplicará en la presente investigación se detallan en el capítulo 3, donde se realiza un ejercicio de cálculo de la huella hídrica aplicado al caso del banano, que representa uno de los 6 productos seleccionados de mayor producción agrícola en el Ecuador.*

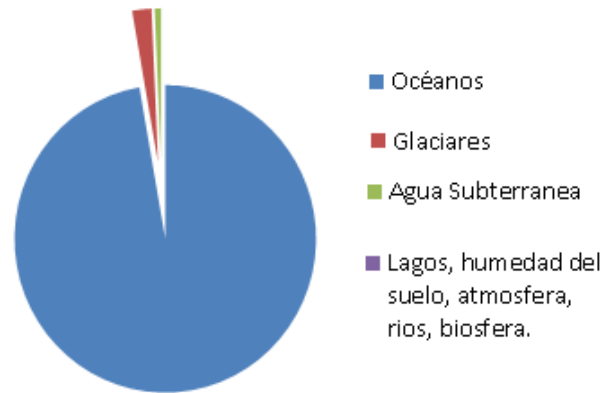
## **1.4 Ciclo Hidrológico**

El ciclo hidrológico se basa en el permanente movimiento, transferencia y cambios de estado de las masas de agua a nivel del planeta, impulsado principalmente por la energía solar y la gravedad, que autorregulan el ciclo en

perfecta armonía (Ordoñez, 2011,6). Pero este se ha visto alterado por la intervención de las actividades humanas, generando escasez y deterioro de la calidad de las fuentes de agua.

**Cuadro 3: Fuentes de agua**

RESERVORIOS	VOLUMEN Km <sup>3</sup>	PORCENTAJE %
Océanos	1370	97,25228
Glaciares	29	2,05862
Agua Subterranea	9,5	0,67438
Lagos, humedad del suelo, atmosfera, rios, biosfera.	0,2073	0,01472
Total	1.409	100



Fuente: Pidwirny,2006 Elaboración: Andrés Silva

El agua viaja en la atmosfera desde un reservorio a otro, los océanos acumulan la mayor cantidad de agua, un 97% a nivel global, pero ésta basta cantidad de agua no es apta para el consumo humano por ser agua salada. Mientras las fuentes de agua dulce apenas representan 3% restante, y no todo este volumen está disponible, ya que el 2% se encuentra congelado en los glaciares dejando solo el 1% de agua dulce disponible para el consumo humano (Cuadro 3). Sin embargo, los océanos suministran la mayor parte del agua como producto de la evaporación. De esta evaporación aproximadamente el 91% de agua es devuelta a las cuencas oceánicas por medio de la precipitación. El 9% restante ingresa a las zonas continentales donde los factores climatológicos la transforman (Ordoñez, 2011:8).

El ciclo hidrológico comienza con la evaporación del agua desde la superficie del océano, impulsada por la energía solar. A medida que se eleva, el aire humedecido se enfría y el vapor se transforma en agua líquida. (Condensación). Las gotas se juntan movidas por el viento formando nubes, que más tarde caerán por su propio peso y el efecto de la gravedad en forma de lluvia o precipitación. Parte del agua que cae a la tierra es aprovechada por los seres vivos; otra se escurre por el terreno hasta llegar a un río, un lago o el océano. (Escorrentía). Otro parte se filtra a través del suelo, formando capas de agua subterránea. (Percolación). Posteriormente toda esta agua volverá a la atmósfera, debido principalmente a la evaporación, de esta forma el ciclo se mantiene permanente. (Ordoñez, 2011:10).

Mediante la evaporación, el agua se limpia de impurezas, pero hay otro proceso que también purifica el agua, y es parte importante del ciclo: la transpiración de

las plantas. Esta consiste en la vaporización del agua contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. En el proceso fisiológico de alimentación de las plantas las raíces absorben agua de la tierra, la cual se desplaza a través de tallos y troncos, movilizándolo consigo a los elementos que necesita para nutrirse. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales. (FAO, 2006:1)

La comprensión y enseñanza del ciclo del agua es el primer paso para concientizar sobre la importancia del buen manejo de este recurso. Al considerar que las áreas cultivadas intervienen en el ciclo, se evidencian los flujos ocultos de agua que llegan a los hogares con los alimentos, y resaltan la necesidad de una gestión integral de los mismos.

#### **1.4.1 Gestión de los recursos hídricos**

La gestión hídrica tiene como principales desafíos satisfacer las necesidades de la producción agrícola, reducir la pobreza y garantizar la seguridad alimentaria, y contribuir a la sostenibilidad del medio ambiente, a través de políticas, leyes e instituciones que permitan administrar eficientemente los recursos hídricos disponibles. Si bien, el agua interviene en un sin número de actividades y procesos, sociales, culturales, energéticos, agrícolas, económicos, etc., la agricultura es un factor clave y determinante, porque la producción de alimentos y otros productos agrícolas absorben aproximadamente el 70% de las captaciones de agua dulce, a nivel mundial, de ríos y napas subterráneas (FAO, 2015, p. agricultura)

Usar y administrar el agua eficientemente es responsabilidad de todos, desde los gobiernos hasta los pequeños agricultores. No hay lugar en un sistema de gestión eficiente del agua para grupos elitistas o económicamente aventajados. Los propios agricultores, son las personas que tienen mayor necesidad de mejorar la gestión del agua. Permitir a los individuos y comunidades entender las opciones para la gestión del agua, y otorgarles la responsabilidad de escoger entre ellas, podría cambiar las relaciones entre el ser humano y el agua (FAO, 2007:7).

Los servicios que proporcionan los ecosistemas resultan amenazados por la forma en que se cultivan los alimentos, el agua utilizada en agricultura no llega a los humedales, cursos de aguas, deltas, plantas y animales, lo que afecta directamente a los ecosistemas y las economías. (IWMI, 2007:2). Existen dos aspectos fundamentales para maximizar la producción agrícola para un volumen dado de agua: las personas y la tecnología. El uno no puede ser aislado del otro, ya que la mejor tecnología es inútil si las personas no pueden usarla u obtener beneficio de ella (FAO, 2007,7).

Para hacer frente a esta situación es necesario mejorar la productividad agrícola y desarrollar las potencialidades de la gestión del agua, además de implementar cambios en la educación, la política y en las técnicas de producción. Las áreas de cultivo de secano cuentan con el mayor potencial de incremento de la productividad, y es allí donde la mayoría de la población pobre del mundo se asienta y donde la gestión del agua es indispensable para dicho aumento. (IWMI, 2007: 3)

Los sistemas de abastecimiento de agua que se construyan, deberán servir para fines múltiples, y administrarse de manera que proporcionen protección y servicios a los ecosistemas, y que permitan garantizar la seguridad alimentaria. Los esfuerzos también deben concentrarse en mejorar la productividad con el apoyo de las instituciones, adaptándose a las necesidades cambiantes. (IWMI, 2007: 4)

En la gestión del agua intervienen los sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos que se establecen para desarrollar y manejar los recursos hídricos y el suministro de agua en los diferentes niveles de la sociedad de una forma coherente hacia el desarrollo sustentable. Es a través del diseño y generación de políticas, que la gestión hídrica pretende alcanzar sus principales objetivos, en el Cuadro 4 se detallan las políticas más relevantes, que están diseñadas para optimizar las relaciones entre los recursos hídricos, la agricultura y ser humano (Foro Centroamericano, 2012: 31).

Mediante estas políticas también se busca alcanzar la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza, administrándolas con el mejor criterio en base a información clara y precisa. Una forma de mejorar la gestión del agua es obteniendo mayores cultivos con menos agua. Estas mejoras dependen en gran medida de la intervención estatal mediante capacitaciones a los agricultores y la dotación de infraestructuras de riego en pro del incremento de la productividad en los diferentes sistemas agrícolas. (FAO, 2007:8)

**Cuadro 4: Políticas y acciones para la Gestión Hídrica**

	<b>POLÍTICAS</b>	<b>ACCIONES</b>
<b>1</b>	Nuevas formas de pensar sobre el agua y la agricultura	Seguridad alimentaria, reducir la pobreza y conservar los ecosistemas. La lluvia como una fuente primaria de agua La agricultura como ecosistema agrícola, que proporciona servicios e interactúa con otros ecosistemas
<b>2</b>	Mejorar el acceso y el uso del agua en la agricultura para luchar contra la pobreza	Mejorar los medios de vida de los pequeños agricultores: asegurar el acceso al agua mediante derechos e inversiones en infraestructuras. Implementar sistemas de uso múltiple (uso doméstico, producción de cultivos, acuicultura, agroforestería y ganadería).
<b>3</b>	Gestionar la agricultura con miras a fortalecer los servicios de los ecosistemas	Los agroecosistemas brindan servicios adicionales a la producción de alimento; fibras y proteína de origen animal. Cambios en los ecosistemas, a raíz del uso mayor o intensivo de tierras y aguas, plantea difíciles decisiones.
<b>4</b>	Aumentar la productividad del agua.	35% de aumento en la productividad del agua reduciría el consumo adicional de los cultivos de un 80 al 20%, junto con reducciones en los costos ambientales y sociales. Iniciativas focalizadas, en pro de los pobres, impulsando la productividad del agua en cultivos agrícolas de sistemas mixtos.
<b>5</b>	Mejorar los sistemas de secano	Mejoras en la conservación de la humedad del suelo y aplicando riego complementario. Aumentar la productividad del agua para sacar de la pobreza a los grupos más numerosos de personas. Sistemas mixtos de agricultura y ganadería ofrecen buenas oportunidades.
<b>6</b>	Adaptar las técnicas de riego	Integrar el riego en los sistemas de producción agrícola, para apoyar directamente a la agricultura de alto valor y formar parte la gestión agropecuaria.
<b>7</b>	Reformar las instituciones estatales.	Cambios de política respecto a las inversiones en gestión del agua para la agricultura de regadío y de secano. Negociaciones y coaliciones entre la sociedad civil y el sector privado. Las instituciones estatales encargadas de gestionar los recursos hídricos necesitan reformarse y evaluarse.
<b>8</b>	Optimizar y generar sistemas de información	Mantener bases de datos actualizadas y unificadas entre instituciones. Implementar investigación y desarrollo. Ir más allá de la cuantificación monetaria.

Fuente: IWMI 2007

Elaboración: Andrés Silva

# Capítulo 1: Estado y Gestión de los Recursos Hídricos en el Ecuador

El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.”

Constitución de Montecristi, artículo 12, 2008

Como se mencionó en la sección anterior el recurso hídrico resulta de suma importancia para la humanidad, la vida económica y social del país dependen directamente de los recursos hídricos, su gestión impulsa el desarrollo del sistema y su supervivencia. El agua es fuente, producción y energía, un recurso imprescindible, a nivel social, cultural, económico y biológico, por lo tanto, es indispensable tener una óptica clara sobre su situación (CEPAL, 2012: 5).

A continuación se analiza el estado de los recursos hídricos en el Ecuador y la evolución de las políticas que han direccionado la gestión hídrica, desde las diferentes instituciones y en el marco legal, resaltando los problemas más relevantes y sus posibles causas y soluciones.

## 1.1 Escasez del agua

El planeta contiene aproximadamente 1400 millones de kilómetros cúbicos de agua, pero solo el 0,003%, unos 45 mil kilómetros cúbicos se consideran recursos de agua dulce que se encuentran disponible para beber, higiene, agricultura e industria. Sin embargo, no todo este flujo de agua es accesible, gran parte se dispersa demasiado rápido como para ser capturado. De hecho, solo unos 14 mil kilómetros cúbicos están económicamente disponibles, (FAO, 2007:4), es decir, que a pesar de la basta cantidad de agua que existe en el planeta, solo una mínima porción está disponible para la satisfacción de las necesidades del ser humano.

La disponibilidad futura de agua está siendo afectada por el cambio climático, que está relacionado directamente con las actividades del ser humano, modificando los patrones de lluvia, incrementando el riesgo de sequías e inundaciones, provocando el deshielo de los glaciares, alterando los flujos de las grandes cuencas fluviales, reteniendo sedimentos, erosionando los deltas productivos, se está extrayendo agua de los acuíferos costeros y fuentes subterráneas a un ritmo mayor que el de su reposición, práctica claramente insostenible. (RIO+20, 2012:3)

El agua es un recurso finito y vulnerable, la población mundial se triplicó en el siglo pasado, pero el uso de agua se ha multiplicado por seis. Las naciones tienen que tomar decisiones difíciles respecto a la asignación del agua para equilibrar las demandas conflictivas de hogares, agricultores, la industria, los

ecosistemas y la energía hidroeléctrica. Mejorar de forma continua de la gestión seguirá siendo un aspecto clave para alcanzar el uso sostenible del agua. (GWP, 2009:2)

De ahí que aproximadamente más de mil millones de personas carecen de fuentes de agua potable y una de cada seis deba recorrer grandes distancias para abastecerse de este recurso. Madrid (2007, 12) sostiene que un país sufre escasez de agua si sus recursos no alcanzan los 1.000 m<sup>3</sup> por persona y año, o cuando la demanda supera el suministro de agua dulce en un área determinada. La escasez se presenta con la insatisfacción de la demanda, lo que genera a su vez conflictos entre usuarios, el agotamiento irreversible de las aguas subterráneas, y las consecuencias negativas para el medio ambiente. Puede aparecer a cualquier nivel, suministro o demanda, pero también es una construcción social: prácticamente todas sus causas derivan de la intervención humana en el ciclo del agua. (FAO, 2013: IX)

Tres aspectos caracterizan la escasez de agua: falta física de agua disponible para satisfacer la demanda; el nivel de desarrollo de las infraestructuras que controlan el almacenamiento, distribución y acceso; y la incapacidad institucional para aportar los servicios de agua necesarios. (FAO, 2013: IX)

En el Ecuador en las tres últimas décadas se observan dos fenómenos que avanzan de manera simultánea, la intensificación en el uso del agua para la agricultura y la masificación de la producción bajo riego en ciertas regiones. Las agro exportaciones son intensivas en agua mediante sistemas de riego, a diferencia de lo que ocurría en el pasado que esa producción en lo fundamental, era de secano (FRH, 2008:7). El sector agrícola es el más afectado por la escasez de agua, y a su vez es el mayor demandante de este recurso. El consumo de alimentos está aumentando y el uso agrícola del agua tiene consecuencias directas aguas abajo, ya que la producción de biomasa precisa grandes cantidades de agua que se perderán por transpiración y esto supone una pérdida hidrológica local que reduce la disponibilidad del agua (FAO, 2013: X).

## **1.2 Información General**

La geografía, el clima y la población juegan un papel fundamental para comprender la distribución y demanda del agua a nivel nacional. Ecuador se encuentra ubicado en el noroeste de América del Sur, limita al norte y nordeste con Colombia, al sur y sudeste con Perú y al oeste con el Océano Pacífico, por lo que se ve influenciado por corrientes marinas<sup>18</sup>, que determinan en gran medida el clima y las precipitaciones. Relacionando el territorio y la cantidad de recursos naturales, el Ecuador es uno de los países que posee mayor disponibilidad y

---

<sup>18</sup> Principalmente la corriente fría de Humboldt, la corriente submarina Ecuatorial y la corriente cálida de El Niño.

variabilidad de recursos naturales a nivel mundial, con diversos, ecosistemas y condiciones climáticas, con un gran número de microclimas y ecosistemas, que le permiten ser considerado un país megadiverso<sup>19</sup>, con gran variedad de suelos fértiles, que le otorgan un alto potencial agrícola (SENAGUA y Cuenca, 2008:7).

La precipitación media anual del país es de 2274 mm<sup>20</sup>, pero existe una gran heterogeneidad de la distribución espacial de los caudales en las diferentes regiones geográficas del Ecuador, dadas por las diversas condiciones físico-climáticas en el territorio nacional, lo que provoca sequías en ciertas zonas e inundaciones en otras, sobre todo en la región costa (FAO, 2015, p. clima).

La población total del país para el año 2010, fue de 14.833.499 millones de habitantes, según el Censo Nacional 2010, ésta se encuentra prácticamente dividida en porcentajes iguales entre Sierra y Costa y un menor porcentaje, alrededor del 12% en la Amazonía. Esta región constituye el 45 % del área total del país, donde por su clima tropical experimenta continuas y abundantes precipitaciones y altas temperaturas, y es en esta zona donde se concentra la mayor cantidad de agua y paradójicamente la menor población (CEPAL, 2012 :7).

### **1.3 Economía**

La economía ecuatoriana, es relativamente pequeña, altamente sensible del entorno internacional, con una tasa de apertura del 84.5%, desde el año 1970 depende principalmente de los precios del petróleo y exportaciones primarias, mismas que representaron el 76% del total de exportaciones en al 2010. En el año 2009 mantuvo un coeficiente de Gini<sup>21</sup> de 0.49, que denota un alto nivel de inequidad en la distribución de riqueza (BCE, 2010, Características).

En los últimos años el Producto Interno Bruto (PIB) ha mantenido importantes tasas de crecimiento, con la excepción del 2009, debido a la recesión global, el PIB creció apenas el 0,36 %. Tras recuperarse de estos efectos, la economía alcanzó un fuerte crecimiento del 7,8% en 2011, producto también de los altos precios del petróleo en los mercados internacionales. En 2012 y 2013 el crecimiento se desaceleró moderadamente con tasas del 5,1% y el 4,6%, respectivamente (Gráfico 4). Y en el primer trimestre de 2014 esta tendencia se mantuvo, con un crecimiento anual del PIB del 4,9%. Seis sectores impulsan el crecimiento de la economía nacional: construcción, manufactura no petrolera, la

---

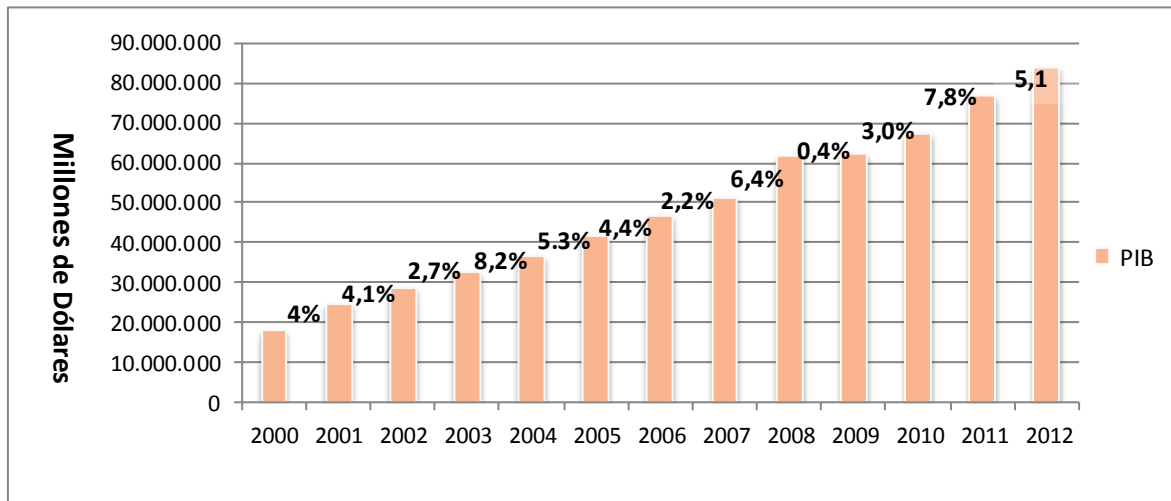
<sup>19</sup> El país es considerado como uno de los 17 países a nivel mundial con mayor biodiversidad por kilómetro cuadrado

<sup>20</sup> AQUASTAT

<sup>21</sup> Éste coeficiente es una medida de concentración del ingreso, propiedades, tierra, etc, entre los individuos de una región, en un determinado periodo. Toma valores entre 0 y 1, donde 0 indica que todos los individuos tienen el mismo ingreso y 1 indica que sólo un individuo tiene todo el ingreso.

agricultura, el transporte, la enseñanza y el petróleo y minas (BCE, 2014, Sector Real).

**Gráfico 4: Variación del PIB 2000-2012**



Fuente: BCE

Elaboración: Andrés Silva

El análisis de los recursos hídricos en la presente disertación se centra en torno a la actividad agrícola, esta representa un papel fundamental en el desarrollo económico y social del país, es la actividad donde se utiliza la mayor cantidad de agua y el eje central de la seguridad alimentaria.

Para el Ecuador en 2012, la actividad agrícola representó el 11% del PIB, unos 7000 millones de dólares aproximadamente. Por otro lado, en el año 2010 la población económicamente activa (PEA) fue de 7,5 millones de habitantes, y la población total económicamente activa para agricultura, ganadería y caza fue de 2,2 millones de personas, es decir el 29% la PEA (INEC, p.96). Según datos de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) la superficie cultivable para el año 2010 fue de 11.7 millones de hectáreas (has), de las cuales se cultivaron aproximadamente el 20%, es decir 2.4 millones de has, lo que deja un margen potencial por desarrollar.

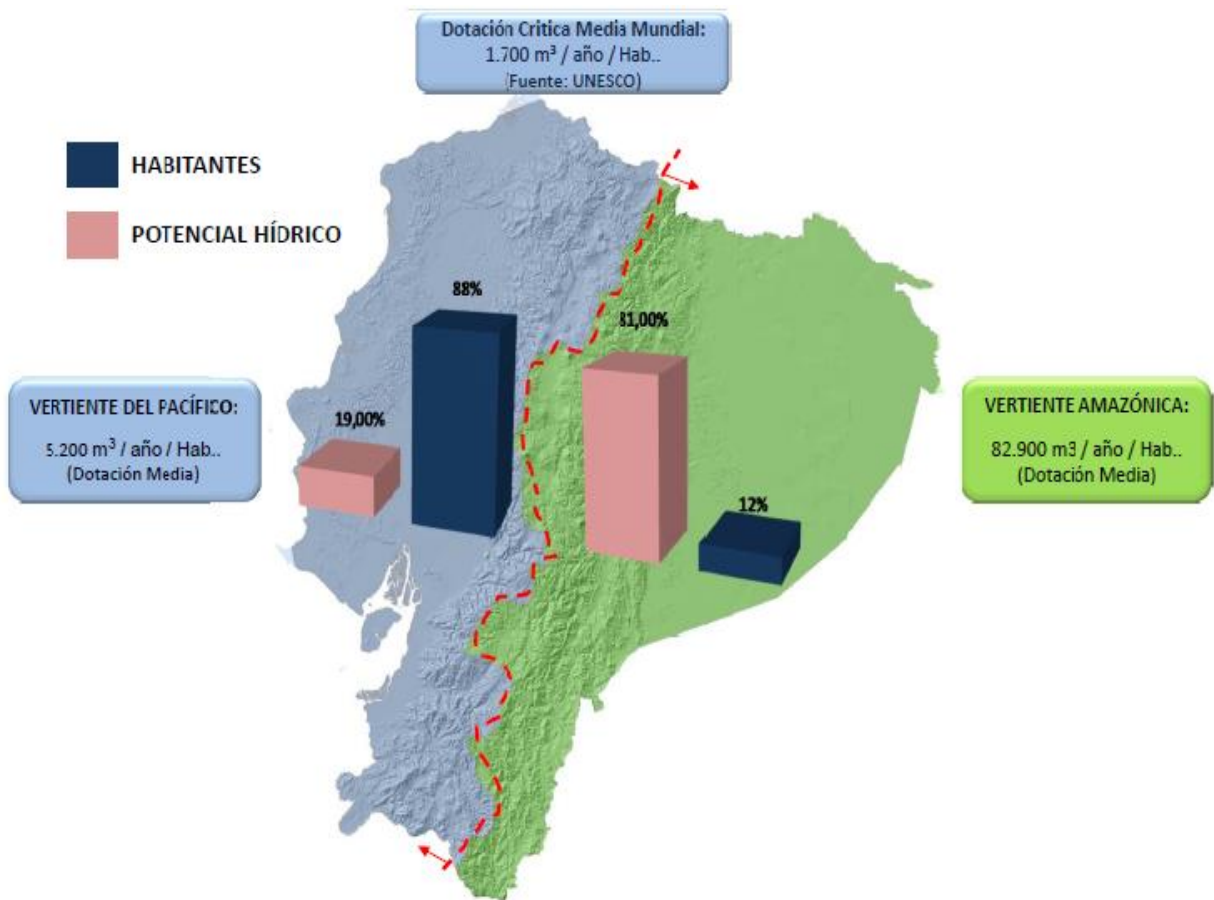
#### **1.4 División Hidrográfica del Ecuador**

Mediante Resolución Ministerial No. 2011-245 se aprobó la metodología Pfafstetter<sup>22</sup> para la delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador, en el marco de la gestión por cuencas hídricas. Se define cuenca

<sup>22</sup> Base del sistema de delimitación y codificación de unidades hidrográficas, que se va constituyendo en el estándar internacional. Consiste en asignar identificadores a una unidad hidrográfica para relacionarla con sus unidades internas locales y con las unidades colindantes. El sistema es jerárquico y las unidades son delimitadas desde las uniones de los ríos (punto de confluencia de ríos) o desde el punto de desembocadura de un sistema de drenaje en el océano.



**Gráfico 6: Potencial Hídrico del Ecuador**



Fuente y elaboración: SENAGUA 2014

Entonces, el territorio nacional está conformado por 79 cuencas hidrográficas, que corresponden: 7 a la vertiente hídrica del Amazonas y representan un 48% de la superficie del territorio nacional, y 72 cuencas hacia la vertiente del Pacífico, la cual enmarca un área que representa el 52% del territorio nacional (CNRH, 2002, pág. 15). Como se observa en el Gráfico 6 la vertiente Amazónica representa el 81% del potencial hídrico del país, sin embargo allí se asienta solamente el 12% de la población nacional. Esto causa que la mayor parte de la presión sobre los recursos hídricos se concentre en la vertiente del Pacífico, que corresponde a la región de la costa y concentra el 44% de la población nacional. Considerando está marcada diferencia entre la disponibilidad y presión sobre los recursos hídricos entre las dos vertientes, toma importancia definir el uso que se da a estos recursos, de tal manera que se puedan generar políticas de gestión. La distribución espacial y el potencial hídrico ecuatoriano se presentan en Gráfico 7.

### 1.5 Fuentes de Agua

El crecimiento demográfico y el desarrollo económico constituyen factores importantes para determinar las demandas futuras de agua. Por un lado la

población creciente demanda mayores flujos de agua para satisfacer sus necesidades, y a su vez presiona al sector económico a generar bienes y servicios que necesitan recursos hídricos para poder ser producidos.

En los últimos años, se ha registrado una disminución de las precipitaciones en el país, ocasionada por varios factores: el incremento de la demanda de agua, la expansión de la frontera agrícola hacia ecosistemas ricos en almacenamiento y regulación del agua como en el caso de los páramos, donde se produce una pérdida de la capacidad de almacenamiento y regulación de la escorrentía, así como del agua que proviene del deshielo de los glaciares, a lo que se suma el aumento de la frecuencia de los fenómenos climáticos extremos. El crecimiento urbano también provoca algunos problemas, como la competencia por el uso del agua entre las ciudades y las zonas rurales, reducción de la superficie agrícola bajo riego, y una baja rentabilidad de las parcelas bajo riego y contaminación mediante aguas servidas (MAGAP, 2013: 37). Consecuentemente, los usuarios contarán con menor disponibilidad de agua, sobre todo acceso al agua para riego, lo que genera importantes impactos sobre la productividad agrícola y sobre la seguridad alimentaria nacional.

Los caudales disponibles de agua superficial permiten determinar el volumen de concesiones para usos de agua que se pueden otorgar sin causar afectaciones sobre la disponibilidad del recurso, y en el caso de la infraestructura del riego, tienen relevancia al momento de asignar nuevas concesiones de agua. Según la CEPAL (2012,9) sin considerar obras artificiales de regulación, los caudales disponibles de agua superficial provienen de dos vertientes:

Vertiente del Pacífico: 5.200 m<sup>3</sup>/habitante/año.

Vertiente Amazonas: 89.900 m<sup>3</sup>/habitante/año.

En relación con la dotación crítica media mundial de agua, 1700 m<sup>3</sup>/año/hab<sup>24</sup>, Ecuador mantiene en sus dos vertientes un balance positivo, sobre todo en la vertiente del Amazonas. Sin embargo, por las características climáticas y geográficas se presentan cuencas deficitarias en ciertas épocas del año principalmente en la provincia de Manabí (sistemas hidrográficos de Jama, Portoviejo y Jipijapa) y al este y sur del golfo de Guayaquil (sistemas de Taura, Balao y Arenillas-Zarumilla) (CEPAL, 2012:11). Esta situación se ve agravada por las grandes concentraciones demográficas en zonas críticas, sobre todo en la costa, y por la escasa participación ciudadana con escasos y nulos niveles de conciencia sobre los recursos hídricos.

### **1.5.1 Agua subterránea y embalses**

---

<sup>24</sup> Dato tomado de SENAGUA 2009 que hace referencia a UNESCO

La información disponible sobre los recursos de agua subterránea es escasa, desde el año 1989 no se dispone de estudios para su gestión (CEPAL, 2012,12). En Ecuador, la explotación de aguas subterráneas tiene generalmente fines de consumo doméstico e industrial. Sin embargo, actualmente hay un gran volumen de extracción a través de pozos para cultivos de alta rentabilidad, especialmente el banano (MAGAP, 2013: 36).

De los 3.590 pozos que ha identificado el INAMHI, el 26% cuenta con estudios y tiene información técnica, mientras que del 74% restante no se conoce ninguna información sobre la cantidad y calidad del agua (SENAGUA, 2009: 15). Esta brecha de información y control deja campo abierto para la explotación ilegal de aguas subterráneas, ya que la mayoría de acuíferos no están registrados. El caudal autorizado para pozos es mínimo, frente a la cantidad real de agua subterránea que se extrae. Las fincas perforan pozos extrayendo agua sin dar cuenta al estado. Para el sector privado el uso de agua subterránea es beneficioso, ya que es de excelente calidad y el acceso está dentro de la propia finca, no existe control sobre los caudales utilizados y no hay conflictos con otros usuarios. (FRH, 2008:24).

Bajo esta óptica SENAGUA y la Escuela Superior Politécnica del Litoral, son responsables de emprender la elaboración del Mapa Hidrogeológico, que permitirá tomar acciones para el desarrollo de la gestión integral de los acuíferos mediante políticas y programas, basados principalmente en una explotación sustentable del agua subterránea (CEPAL, 2012:12).

Otro uso importante que se le da al recurso hídrico es la generación eléctrica, donde según FAO (2015: Lagos y embalses) para 2011, el volumen de agua para hidroelectricidad, agua potable, riego y control de inundaciones era de 7.69 km<sup>3</sup>, a través de 12 presas multipropósito alrededor del territorio nacional. El embalse de Daule Peripa es el más importante, con una capacidad total de 6.30 km<sup>3</sup>, abasteciendo de agua potable a 2 millones de personas aproximadamente, regando 94 mil hectáreas y aportando con 210 MW<sup>25</sup> de electricidad. Le siguen las presas de La Esperanza, que se concentra en el riego y control de inundaciones, con 17 mil has, Chongón y Tahuin con 42 mil y 7 mil has respectivamente. (SENAGUA, 2011, 6). Para el año 2016 se espera que entren en funcionamiento ocho grandes proyectos hidroeléctricos, estos son: Coca-Codo-Sinclair, Sopladora, Minas-San Francisco, Delsintanisagua, Manduriacu, Mazar-Dudas, Toachi-Pilatón y Quijos.

Desde el punto de vista ambiental la energía hidroeléctrica es una de las más limpias, sin embargo los embalses que se construyen suponen un impacto

---

<sup>25</sup> El megavatio es una unidad de potencia, la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo, en el Sistema Internacional equivalente a un millón de vatios 1 MW = 1 000 000 W

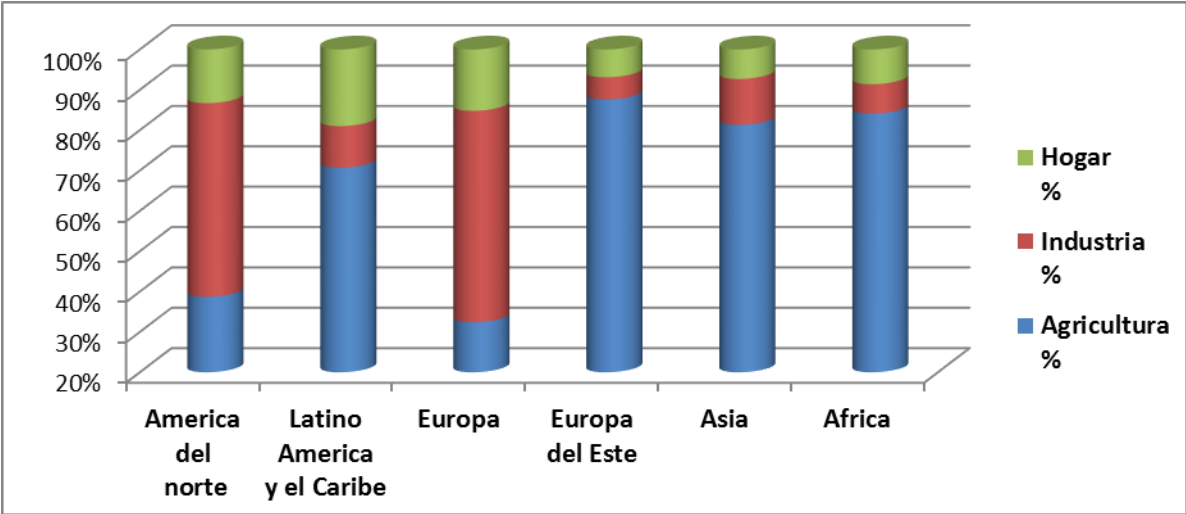
importante. El embalse altera gravemente el ecosistema fluvial, ya que se destruyen hábitats y modifica el caudal del río. Con frecuencia su construcción exige trasladar a pueblos enteros y sepultar bajo las aguas tierras de cultivo, bosques y otras zonas silvestres. La construcción de embalses es costosa, pero su costo de explotación es bajo y es una forma de energía rentable económicamente.

Según el Ministro de Electricidad y Energía Renovable, Dr. Esteban Albornoz Veintimilla, en el pasado solo se utilizaba el 15% del potencial hidroeléctrico del país, produciendo el 40% de la energía eléctrica. Con los ocho proyectos en plena ejecución, más del 90% de la energía que se producirá a partir de origen hidroeléctrico. Estos proyectos son pilares en el cambio de la matriz energética.

**1.6 Usos y Demanda del agua.**

El agua interviene en una serie de actividades y cuestiones económicas, ambientales, sociales, culturales y políticas, incluyendo la agricultura, la energía, el desarrollo urbano, las finanzas, el comercio y la seguridad nacional (RIO+20, 2012:3), constituye el soporte físico de la vida acuática, regula la temperatura mundial mediante las corrientes marinas, es la más abundante de las sustancias sobre la Tierra, sus flujos se mueven en unos rangos sólo comparables con los flujos del aire. Los requisitos básicos de agua para el cuerpo humano son los mismos para todo el mundo, entre 2 y 4 litros al día, pero la cantidad de agua consumida en el día a día varía enormemente, dependiendo de la posición geográfica y del poder adquisitivo (RIO+20, 2012:1). Con un crecimiento demográfico exponencial, en 7000 millones de personas se estima la población mundial para el 2015, y considerando tanto la cantidad como la calidad del agua, la pregunta que surge es si en el futuro habrá suficiente agua para todos (FAO, 2007:4).

**Gráfico 7: Principales usos del agua por región**



Fuente: FAO water, Water at a glance 2007

Elaboración: Andrés Silva

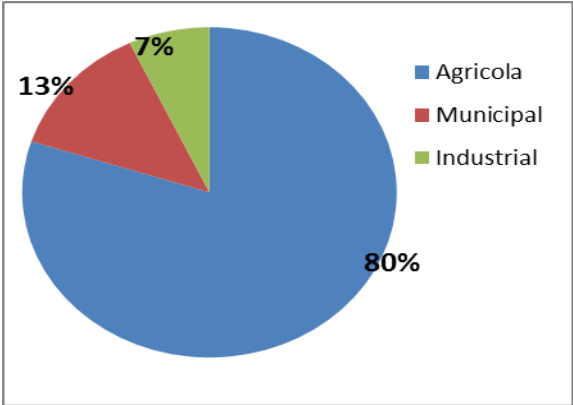
El recurso hídrico está inmerso en la mayor parte de los procesos productivos, se estima que la agricultura es la actividad donde se usa la mayor cantidad de agua a nivel mundial, el 70 % de todas las captaciones, y este porcentaje es aún mayor para los países en desarrollo, un 84% aproximadamente. Los países en desarrollo usan mayoritariamente sus recursos hídricos en la producción agrícola, ya que son exportadores de materias primas, mientras los países desarrollados concentran el uso del agua en la industria como es el caso de EEUU y Europa (Gráfico 7).

En las zonas agrícolas los cultivos demandan la mayor parte agua superficial, y esta no se devuelve a los ríos, regresa directamente a la atmósfera mediante la evapotranspiración, y una cantidad mínima pasa a formar parte de las plantas, alterando así el ciclo hidrológico. El uso consuntivo<sup>26</sup> principal del agua es el agrícola, según datos de SENAGUA publicados en el 2011, con el 80% del caudal utilizado, seguido por el uso municipal de 13% y la industria con el 7% (Gráfico 8).

Es de suma importancia considerar que cada alimento contiene en su cadena productiva, la cantidad de agua necesaria para su elaboración, entonces, las personas consumen mucha más agua de forma indirecta al ingerir alimentos, que en los usos directos de la misma. Cuantificar estos flujos, nos brinda una nueva óptica para mejorar la Gestión de los recursos hídricos, para este fin esta disertación propone la introducción de indicadores como la HH y el AV, que permiten visualizar de forma detallada los flujos de agua que genera este sector.

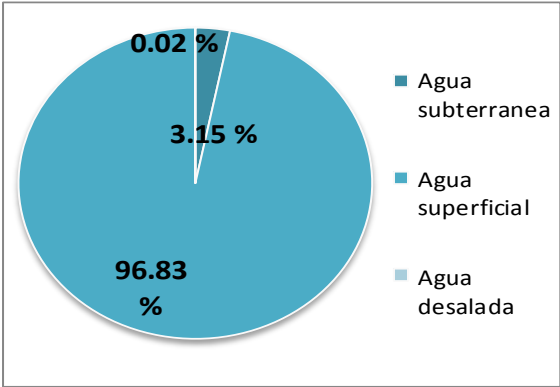
**Gráfico 8 :**

**Extracciones de agua por sector**



Fuente: SENAGUA 2011  
Elaboración: Andrés Silva

**Extracciones de agua por origen**



Fuente: AQUASTAT datos al 2007  
Elaboración: Andrés Silva

<sup>26</sup> Los usos y demandas del agua pueden considerarse como consuntivos y no consuntivos. Los usos no consuntivos no alteran la calidad del agua; como los embalses para producción energética, la navegación, etc, mientras que los usos consuntivos cambian el agua de una fuente tanto en cantidad como en calidad (Consejo de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, p. usos de agua).

Por otro lado, Aguilera (1994:113) afirma que el agua es apenas considerada por los economistas como un elemento integrante de la riqueza nacional, se considera como un factor de producción del cual se espera obtener mayores beneficios monetarios por cada unidad física utilizada. Considerando todas las funciones y necesidades que abarca el agua a varios niveles, Aguilera Klink<sup>27</sup> la considera como un *activo ecosocial*, un factor de cohesión social, económica y ambiental, por lo que el tratarla como una mercancía puede conllevar a situaciones de conflicto.

Con respecto al uso municipal del agua en el Ecuador casi la totalidad del consumo de agua de las zonas urbanas regresa a los ríos pero en menor calidad, a través del sistema de alcantarillado, y prácticamente sin ningún tipo de tratamiento. (CEPAL, 2014:13). El 69% de la población se asienta en zonas urbanas según el Censo Nacional del 2010, sin embargo, solo las ciudades de Cuenca y Babahoyo tienen un manejo adecuado de las aguas servidas, es decir el 0,8% a nivel nacional (SENAGUA, 2009:14). Evidentemente, esta situación causa graves problemas de contaminación de las fuentes hídricas que pueden derivar en problemas de salubridad y escasez de agua.

**Cuadro 5: Concesiones de Agua por Uso y Caudal**

	N Concesiones	% Del total	Caudal (l/s)	% Del total
<b>Riego</b>	32856	48,14	498830	17,259
<b>Uso Doméstico</b>	22564	33,06	44291	1,532
<b>Abrevadero</b>	9693	14,20	1237	0,043
<b>Industrias</b>	1809	2,65	55325	1,914
<b>Agua Potable</b>	535	0,78	39080	1,352
<b>Termales</b>	285	0,42	726	0,025
<b>Piscícolas</b>	218	0,32	18349	0,635
<b>Hidroelectricidad</b>	171	0,25	2225829	77,011
<b>Fuerza Mecánica</b>	54	0,08	6299	0,218
<b>Aguas de Mesa</b>	34	0,05	208	0,007
<b>Balneología</b>	23	0,03	102	0,004
<b>Otros</b>	2	0,003	15	0,001
<b>TOTAL</b>	<b>68244</b>	<b>100</b>	<b>2890291</b>	<b>100</b>

Fuente: SENAGUA 2009

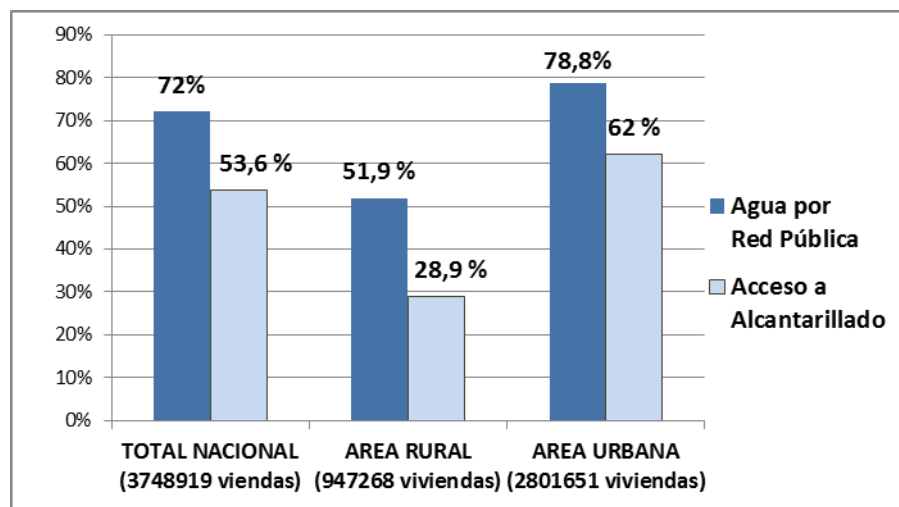
Elaboración: Andrés Silva

<sup>27</sup> Federico Aguilera Klink es un economista ecológico español, catedrático de Economía Aplicada de la Universidad de La Laguna, Tenerife, Canarias desde 1981. En el 1979 contribuyó a implantar, por primera vez en una facultad universitaria española, una asignatura que relacionaba la economía con el medio ambiente y, posteriormente, la economía con la ecología. En el año 2004 ganó el Premio Nacional de Economía y Medio Ambiente.

Para el año 2008 según datos de SENAGUA se concedieron 68.244 autorizaciones para uso de agua en varias actividades que se detallan en la Cuadro 5. En total se entregó un caudal de 2.890 m<sup>3</sup>/s, aunque la cantidad realmente utilizada sea mucho mayor. El 77% fue para el sector hidroeléctrico, con un total de 171 concesiones localizadas en todo el país, sin embargo este es un uso no consuntivo, por lo que la calidad del agua es afectada de forma mínima. El riego también ocupa una parte importante del caudal total (17%), y a su vez el mayor porcentaje de concesiones a nivel nacional (48%), este es un uso consuntivo, que altera el caudal disponible y también genera contaminación, de ahí que, la gestión del riego represente la parte fundamental en la gestión de los recursos hídricos.

### 1.6.1 Agua Potable

**Gráfico 9: Acceso al agua potable 2013**



Fuente y elaboración: Semplades 2014

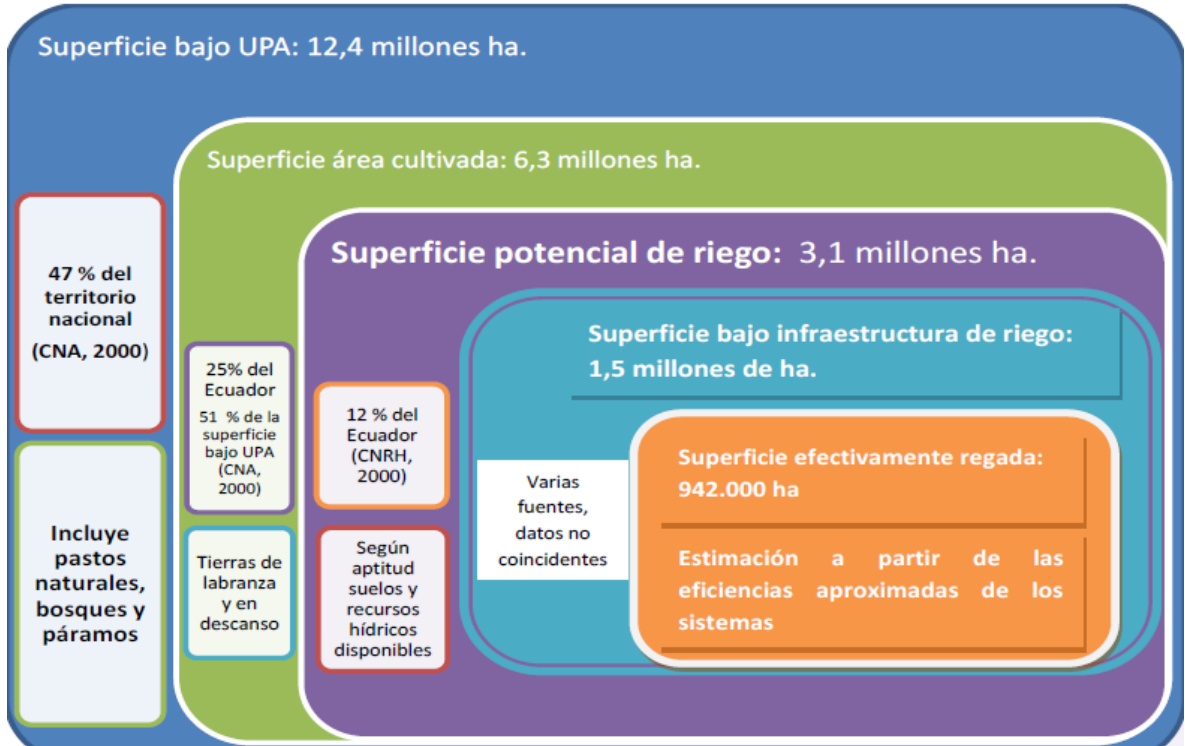
La cobertura nacional de los servicios básicos de agua evolucionó de forma positiva a nivel nacional, alcanzando el acceso al agua por la red pública para el año 2013 un 72 %, y para el acceso al alcantarillado sanitario la cobertura fue de 53.6%, y aunque la evolución sea positiva aún existe un déficit importante por ser solventado (Gráfico 9). Aunque a nivel urbano el acceso a la red pública y el alcantarillado sanitario, 78,8% y 62% respectivamente, presenta importantes deficiencias, el problema se centra en la zona rural, donde la cobertura apenas alcanza el 51.9% para la red y el 28.9 % para el alcantarillado (Senplades, 2014,9). Esta importante deficiencia es una de las causas de pobreza por necesidades insatisfechas, ya que genera condiciones insalubres que consecuentemente conllevan a enfermedades.

Por lo tanto "el acceso de la población rural a los servicios de agua potable y alcantarillado es muy bajo. El gran desafío del país es reducir las brechas

existentes entre las áreas urbanas y las áreas rurales en la dotación de estos servicios” (Senplades, 2014: 9). De esta forma se generan mejores condiciones de vida para las personas en el sector rural, reduciendo enfermedades y pobreza, y se generan incentivos para la producción agrícola.

**1.6.2 Agua para Riego.**

**Cuadro 6: Superficie bajo UPA<sup>28</sup>**



Fuente y Elaboración: MAGAP 2013

La gestión hídrica en la producción agrícola ecuatoriana está ligada directamente al riego, este puede solucionar los problemas de distribución espacial y temporal del agua, incrementar y diversificar la producción agrícola en pro de la seguridad alimentaria y mitigar los riesgos de sequías y heladas, siempre que se aplique estratégicamente, para lo cual es necesario evaluar las necesidades de cada sistema.

Según datos del Tercer Censo Agropecuario 2000, 12,4 millones de Ha corresponde a Unidades de Producción Agropecuaria (UPA), de las cuales se cultivaron 6,3 millones de Ha. La superficie potencialmente regable, es decir, la

<sup>28</sup> una UPA está conformada por uno o varios terrenos dedicados a la producción agropecuaria, los cuales están bajo una gerencia que puede ser ejercida por una persona, un hogar, una empresa, o cualquier otra forma de dirección, y comparten los mismos medios de producción. Tienen una superficie igual o mayor a 500 m<sup>2</sup>, o menor a 500 m<sup>2</sup>, pero producen algún producto agropecuario que fue vendido durante el período de referencia.

que integra la aptitud de los suelos para riego que cuentan además con los recursos hídricos disponibles, se estima en 3'130.000 Ha, de las que fueron regadas aproximadamente 1,5 millones de Ha. Tomando en cuenta los múltiples problemas que enfrentan los sistemas de riego públicos y comunitarios, y considerando sus niveles de eficiencia, el área efectivamente regada se estima en unas 942.100 Ha (Cuadro 6). La tasa efectiva de riego es de 62%, que podría incrementarse mediante la implementación de nuevas técnicas, rehabilitación de obras, cambio de reglas para el reparto del agua, capacitaciones a los usuarios, etc (MAGAP, 2013, 43).

**Cuadro 7: Área bajo infraestructura de riego por tipos de sistemas**

<b>Tipo de Sistemas</b>	<b>Área bajo infraestructura de riego (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Públicos	266000	18
Privados particulares	420000	28
Comunitarios	466000	31
Subtotal	1152000	77
Sin concesión	348000	23
<b>Total</b>	<b>1500000</b>	<b>100</b>

Fuente: III Censo Nacional Agropecuario, 2000; base de datos de la SENAGUA  
Elaboración: MAGAP 2012

Es importante resaltar que un 23% del área regada se hace sin concesión, o de forma ilegal, ya que no cuenta con autorización estatal, y el 28 % corresponde a sistemas de infraestructura privados, en conjunto el 51% de la infraestructura de riego no se encuentra en manos estatales, frente al 18% que corresponde a sistemas de riego público (Cuadro 7). Esta distribución de los sistemas de riego y por lo tanto del agua, beneficia al sector privado, y denota la falta de infraestructura de riego para el sector público.

La distribución del riego a nivel nacional varía para cada región, a continuación se resaltan algunas características importantes:

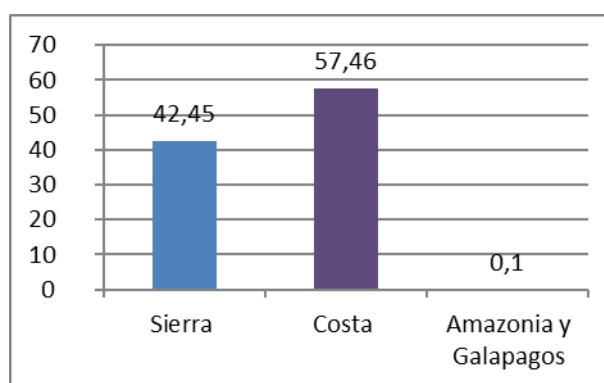
En la **Costa** se riegan aproximadamente 500 mil Ha, concentrándose allí el 57% del área regada a nivel nacional. La cuenca del Río Guayas es la más importante del país, cuenta con unos 40 mil kilómetros<sup>2</sup> de extensión, y las tierras más fértiles, sin embargo la precipitación es mínima en ciertas épocas del año. Adicionalmente cuenta con una importante dinámica de comercio con el mercado mundial, gracias a sus puertos marítimos (MAGAP, 2013,39). Los problemas más importantes en esta región, se dan por la salinización<sup>29</sup> de los

<sup>29</sup>Su causa principal es la acumulación del agua sobre la superficie del suelo, no filtrando correctamente o por exceso de riego. Esta acumulación hace que las sales del propio suelo se

suelos, desechos mineros, agroquímicos, problemas de uso urbano, y azolvamiento de aguas<sup>30</sup>. A lo que se adiciona un déficit hídrico estacional (MAGAP, 2013,40).

En la **Sierra** se riegan 362.255 Ha, es decir el 42,45% del área bajo riego a nivel nacional. Esta región es menos propensa a inundaciones en los suelos destinados a la agricultura, pero en zonas áridas con riego hay riesgos de salinización del agua y los suelos, lo que hace necesario resolver los problemas de drenaje (MAGAP, 2013,39).

**Gráfico 10: Porcentaje bajo riego por regiones**



Fuente: MAGAP 2013

Elaboración: Andrés Silva

La **zona Oriental** se ve constantemente bajo precipitaciones, por lo que el área bajo riego es mínima, 614 Ha, y sus principales problemas son de drenaje<sup>31</sup> y salinización de suelos. Los suelos de esta región son poco fértiles, y acarrean problemas de drenaje agrícola. No obstante también cuenta suelos aptos para el cultivo de especies tropicales.

En la **Región Insular** según el III CNA (2000) se identificaron 81 Ha con riego. En el Gráfico 10 se puede apreciar claramente que el riego se concentra en la Sierra y en la Costa, siendo marginal en el Oriente y la Región Insular. (Gráfico 10)

La concentración de las tierras es un problema latente en el Ecuador, y una de sus consecuencias es la concentración del riego:

---

degraden y se acumule sal sobre la superficie, alterando la fertilidad, los cultivos y en la última etapa ya no se puede cultivar.

<sup>30</sup> El fenómeno en el cual se acumula el lodo o basura en los lechos de los ríos, presas, depósitos subterráneos, etc. Y que tiene como resultado la transformación del medio ambiente, lo cual acarrea un gran impacto para el ecosistema de esa región.

<sup>31</sup> El drenaje agrícola es el conjunto de obras necesario de construir en una parcela cuando existen excesos de agua sobre su superficie o dentro del perfil del suelo, con el objeto de desalojar dichos excedentes en un tiempo adecuado, para asegurar un contenido de humedad apropiado para las raíces de las plantas y conseguir así su óptimo desarrollo.

“El Ecuador tiene una estructura agraria con altos niveles de concentración que no han variado en los últimos 50 años. El coeficiente de Gini para la distribución de tierra en 1954 era de 0,86, en 1974 0,85 y para el año 2000 fue de 0,81. Ello a pesar de la expansión en el número de predios: 145% y de la superficie agrícola: 55,4%. A pesar del reducido cambio en la desigualdad agregada son observables algunas modificaciones: a) crecimiento en el número de las unidades menores a 1 hectárea; b) incremento en el número y peso en superficie de las unidades medias entre 5 y 50 hectáreas; c) crecimiento en la superficie ocupada por las unidades entre 50 y 500 hectáreas y, d) reducción en el número y superficie de los más grandes predios, es decir aquellos con más de 500 hectáreas” (Chiriboga cit en Zapatta, Gasselin, 2005, 12).

**Cuadro 8: Distribución inequitativa del riego en el Ecuador, 2005**

Tipo de sistemas	Beneficiarios (%)	Área (%)	Caudal (%)
<b>Privado</b>	1	63	64
<b>Comunal</b>	86	22	13
<b>Sistemas Públicos</b>	12	16	23
<b>Total</b>	100	100	100

Fuente: CNRH, 2005

Elaboración: FRH 2008

Con la concentración de la tierra también se observa concentración de tecnología, créditos, y principalmente la concentración del agua. Los sistemas comunales de riego, en su mayoría de la población campesina, representan el 86% de los usuarios, sin embargo, solo tienen el 22% del área regada y únicamente acceden al 13% del caudal. Mientras, el sector privado, representa el 1% de usuarios y ocupa el 67% del caudal. Sin duda que el acceso inequitativo al agua causa un problema importante de inequidad social, esta concentración beneficia a grandes y medianos propietarios, y sólo de forma marginal a los pequeños (Zapatta, Gasselin, 2005, 12), tal como se muestra en el cuadro 8.

Una labor importante para solucionar los problemas de riego, es trabajar sobre su eficiencia, ya que hay una inversión comunitaria y estatal en este campo que está subutilizada, con un nivel de eficiencia de riego del 63%; esta brecha deja un margen para optimizar y mejorar el uso del agua, el desarrollo productivo y organizacional en los sistemas de riego, capaz de incrementar considerablemente la producción agrícola (MAGAP, 2013, 46).

Además, el Estado debe superar la visión del riego solamente como infraestructura, ya que muchos sistemas se construyeron desconectados de los

ecosistemas y de las necesidades de los agricultores, ya que estas relaciones hacen que la infraestructura funcione de forma óptima. Hay que reconocer las capacidades de las organizaciones comunitarias y de regantes, e implementar políticas articuladas entre varios sectores pero orientadas hacia el mismo fin (MAGAP, 2013, 61).

A continuación en el Cuadro 9 se presenta un resumen de los problemas y demandas de los sistemas de riego y drenaje por regiones.

**Cuadro 9: Principales problemas y demandas de los sistemas de riego y drenaje por regiones.**

Problemas	Costa	Sierra	Amazonía	Insular
<b>Sociales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escasa información procesada.</li> <li>• Falta de capacitación y actualización de conocimientos</li> <li>• Politización de las organizaciones</li> <li>• Falta de procedimientos para la buena gestión de la juntas y mecanismos de control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento de los usuarios después de terminado un sistema de riego</li> <li>• Desgaste de de las acequias y fuentes de agua</li> <li>• Problemas técnicos de conducción</li> </ul>	<p>No existe infraestructura para riego y drenaje, sino más bien se evidencia la presencia de infraestructura de protección, como es el caso de muros cercanos a puentes</p>	<p>El principal problema es la falta de información y de conocimientos acerca de la necesidad de implementar infraestructura de riego</p>
<b>Técnicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deficiente funcionamiento de los sistemas de riego por falta de organización</li> <li>• Falta de mantenimiento d la infraestructura de canales y bombas</li> <li>• Falta de técnicos especializados para la supervisión y AT</li> <li>• Ejecución de malos contratos</li> <li>• Proyectos en zonas con poco potencial productivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de mantenimiento de las acequias</li> <li>• Sobreexplotación de las fuentes de agua</li> <li>• Caudales bajos y limitaciones en el uso del agua</li> <li>• Falta de evaluación continua en el desempeño de los sistemas de riego</li> <li>• Fragilidad en la sostenibilidad del sistema de riego.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe infraestructura de riego y drenaje</li> <li>• Es notoria la falta de un sistema de drenaje</li> <li>• La lluvia es impredecible y frecuente todo el año y no hay sistemas que permitan captar y almacenar esta agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe ningún tipo de proyecto de infraestructura de riego y drenaje</li> <li>• Es notoria la falta de infraestructura de riego y drenaje</li> </ul>
<b>Del recurso agua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad de agua para los cultivos decrece</li> <li>• Reducción de los recursos hídricos por la deforestación</li> <li>• Abuso en explotación de recursos ocasiona problemas de inundaciones y azolvamiento de cursos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de los recursos hídricos.</li> <li>• Explotación de los recursos trae problemas de inundaciones y acumulación de sedimentos</li> </ul>	<p>La falta de infraestructura de riego y drenaje ocasiona problemas de inundaciones y acumulación de sedimentos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existen pocas fuentes de agua</li> <li>• Niveles de contaminación de acuíferos</li> </ul>

Fuente: Talleres regionales para la formulación del PNRD 2013.  
Elaborado por: ESPOL. Estudio 6 para el PNRD

Como se puede ver en el cuadro 9 se agrupan los problemas más importantes relacionados con riego a nivel nacional en tres categorías principales: Sociales, Técnicos y del Recurso agua, a continuación se enumeran aquellos que son transversales en cada categoría y merecen atención inmediata de las autoridades.

#### Problemas sociales:

- La falta de información y capacitación, que causan políticas desarticuladas de las necesidades reales de cada región. Obviamente son necesarias para mejorar la gestión del riego.
- Escasa planificación en los nuevos sistemas de riego, que no toman en cuenta el incremento de la demanda para la producción agrícola, que posteriormente causan problemas de funcionamiento.

#### Problemas Técnicos:

- Falta de mantenimiento, evaluación y organización de los sistemas de riego. Sin estos procesos los sistemas se deterioran y difícilmente pueden ser mejorados. Esto también incide en la falta de información para la generación de políticas.
- En el mismo sentido al no contar con técnicos especializados, los proyectos se realizan en forma empírica, por lo que no alcanzan sus niveles óptimos de producción.
- Principalmente en la costa se da una sobre explotación de las fuentes hídricas, ya que allí se concentra la producción agrícola, y esta situación deriva en una pobre disponibilidad de agua (caudales mínimos).
- En la región oriental son más importantes los sistemas de drenaje que los de riego, por las abundantes precipitaciones durante todo el año. Sin embargo estos son escasos. También se necesita implementar sistemas de captación de agua lluvia para mejorar la disponibilidad de agua superficial.

#### Problemas del recurso agua:

- Los problemas sociales y técnicos del sector riego, junto con la sobre explotación de los recursos, y el incremento de la demanda de agua, derivan en inundaciones, azolvamientos y acumulación de sedimentos, y finalmente en la reducción de los recursos hídricos disponibles.

## **1. 7.- Institucionalidad de la Gestión de los Recursos Hídricos en el Ecuador**

El sistema institucional para el manejo del agua en el Ecuador se ha desarrollado en función de las necesidades sectoriales, riego, agua potable, generación eléctrica, entre otras, y de esta forma se conformaron las instituciones especializadas para cada sector. (GPW, 2003: 13)

En 1944 se creó la Sección de Riego e Hidrología, bajo dependencia del Ministerio de Obras Públicas pero con un protagonismo débil, atendiendo problemas básicos de riego. En el mismo año se expidió la Ley de Riego y Saneamiento, donde se establecieron responsabilidades más específicas del Estado (MAGAP, 2013: 47), y durante este período se creó la Caja Nacional de Riego (CNR), como institución autónoma a nivel nacional, para dirigir los proyectos de riego del país, sin embargo, nunca ejecutó una verdadera función de carácter nacional. Subsistió hasta 1966, año en que se crea el Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI). (MAGAP, 2013: 48)

El INERHI concentró todas las competencias de rectoría, regulación, planificación y ejecución, encargándose de la ejecución de obras y de la definición de las políticas. Tuvo importantes logros, como la publicación de 12 tomos de información recopilada hasta 1980 sobre recursos hidrológicos, la publicación del primer Plan Nacional de Riego y la construcción de los sistemas de riego más importantes a nivel nacional, sin embargo con una gran concentración en la costa beneficiando a los grandes agroexportadores (Arboleda, 2010).

En 1972 se expide la Ley de Aguas, donde se responsabilizó al INERHI de toda la planificación del recurso, mientras las concesiones se otorgaban por períodos de 10 años en el caso del riego, y muchas competencias recayeron en manos de los distintos directorios de agua, por lo que el Estado no pudo controlar todo el sistema (MAGAP, 2013: 49). Los cambios del marco legal e institucional tenían como objetivo fomentar el rol del sector privado en la gestión del agua, para la liberalización de los derechos de uso y aprovechamiento de las aguas. Adicionalmente, la implementación en inversión de infraestructura en riego generó un fuerte endeudamiento por parte del Estado<sup>32</sup> (MAGAP, 2013:50).

El 28 de octubre 1994 a través del Decreto 2224 de Organización del Régimen Institucional de Aguas se eliminó el INERHI y se lo sustituyó por el Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), como organismo responsable de planificar y dictar

---

<sup>32</sup> En 2003, el 4,62% del monto total de la deuda externa del sector público podía ser atribuido al sector del riego y drenaje. (PNDR 212-2027)

políticas sobre los recursos hídricos en el ámbito nacional, junto con el Proyecto de Asistencia Técnica al Subsector Riego (PAT-RIEGO). (GPW, 2003, 15).

Este decreto establece la política de descentralización administrativa de la gestión pública del agua, con énfasis en riego, para transferir las funciones que antiguamente realizaba el INERHI a las Corporaciones Regionales de Desarrollo (CRDs): CORSINOR (Corporación de la Sierra Norte), CORSICEN (Corporación de la Sierra Centro), CODERECH (Corporación de Desarrollo Regional de Chimborazo) y CODELORO (Corporación de Desarrollo de El Oro) (Arboleda, 2010)

El CNRH fue un ente regulador que se concentró en administrar las concesiones de agua, correlacionando el volumen de agua en litros/segundo, las fuentes de dónde provenía, el tiempo de concesión y la tarifa determinada por el mismo consejo. El Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG, era la principal entidad involucrada, responsable del sector agropecuario, incluyendo el subsector riego, pero no se definieron políticas ni planificación para ordenar y apoyar al sector riego. En 1998 la constitución establece el marco necesario para la delegación de servicios públicos a la empresa privada, como riego, saneamiento y alcantarillado, en los Artículos 247 y 249.

**Gráfico 11: Cronología Institucional de la Gestión de Recursos Hídricos**



Fuente y elaboración: SENAGUA 2009

Se puede observar en el Gráfico 11 que la gestión de los recursos hídricos se condujo bajo una dispersión y debilitamiento institucional que redujo substancialmente la capacidad de gestión, y generó varios problemas como: conflictos de competencia, inequitativo desarrollo institucional, y una diezmada capacidad de las entidades para la recaudación (Zapatta, Gasselin, 2005: 15).

Las políticas de apoyo a las grandes empresas agroexportadoras y el abandono sistemático a la pequeña agricultura familiar, agravaron la problemática de concentración de los recursos hídricos, debilitando la institucionalidad estatal. Además, se generó una confusión y superposición de competencias junto con una gestión desarticulada, provocando el abandono de la planificación hídrica nacional y el desmantelamiento de las entidades encargadas de monitorear el comportamiento de los recursos hídricos del país (MAGAP, 2013, 50).

### **1.7.1 Nuevo modelo de gestión de riego**

Con Decreto Ejecutivo 1.088 del 15 de mayo del 2008 se creó la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA)<sup>33</sup> como entidad responsable de conducir y regir los procesos de gestión del agua de una manera integrada y sustentable en el marco de las cuencas hidrográficas. El CNRH se incorporará a la Secretaría Nacional del Agua, así como el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI), y los organismos de las cuencas hidrográficas.

El art. 2, numeral 1 del decreto define el desarrollo de una gestión integral de los recursos hídricos, con una visión sustentable y ecosistémica en armonía con la gestión de los recursos naturales, la protección ambiental, los derechos humanos, ciudadanos y de la naturaleza, al acceso al agua y las actividades económicas y sociales que aprovechan estos recursos.

En el art. 15 se enumeran las principales competencias de SENAGUA:

1. Ejercer Rectoría Nacional en la gestión y administración del agua
2. Establecer las políticas y normas que rijan la gestión del agua
3. Formular el Plan Nacional de Gestión del Agua y asegurar que los programas y proyectos sean coherentes con el Plan Nacional de Desarrollo.
4. Establecer políticas de recuperación del uso del agua mediante tarifas diferenciadas.
5. Normar el manejo de cuencas hidrográficas en lo concerniente a los recursos hídricos.

---

<sup>33</sup> <http://www.derecho-ambiental.org/Derecho/Legislacion/DECRETO-SENAGUA-1088-05-2008.pdf>

6. Coordinar y articular acciones de conservación con las entidades públicas que prestan servicio con el agua.
7. Formular estudios y desarrollar acciones de fortalecimiento del sistema institucional encargado de la gestión integrada del agua.
8. Formular programas y acciones para asegurar la disponibilidad del agua en sus fuentes a través de políticas
9. Establecer con universidades, escuelas politécnicas y la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología un sistema articulado de apoyo a los programas de formación e investigación.
10. Ejercer las competencias que la ley de aguas otorgaba al Consejo Consultivo de Aguas
11. En general asumir todas las competencias, representaciones y delegaciones atribuidas al CNRH, con excepción a las del Instituto Nacional de Riego.

Se aprecian importantes cambios en la gestión del agua, marcados por la gestión de cuencas hídricas, que reemplaza la fundamentada en la división política administrativa del país, e integra el Consejo Intersectorial, a la Autoridad Única del Agua, para buscar una equidad en los usos del agua, he ir más allá del sesgo que se mantuvo hacia el sector riego.

En el Octavo encuentro Nacional del Foro de los Recursos Hídricos (CAMAREN, 2014,2), llevado a cabo en Quito, para tratar los temas más relevantes para el país sobre recursos hídricos, y propuestas para cada uno de ellos, se planteó que la gestión de los recursos hídricos debe centrarse en los mandatos de la Constitución<sup>34</sup>, principalmente en:

- El orden de prelación de los usos del agua para consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas.
- Consulta previa, libre e informada
- Gestión democrática del agua.

Adicionalmente en el Foro de los Recursos Hídricos se plantean acuerdos generales para el pleno desarrollo de la gestión del agua (CAMAREN, 2014:2):

- Aplicación del principio de precaución<sup>35</sup>

---

<sup>34</sup> Ley de aguas, Título IV.

<sup>35</sup> El principio de precaución en materia ambiental exige tomar medidas que reduzcan la posibilidad de sufrir un daño ambiental grave a pesar de que se ignore la probabilidad precisa de que éste ocurra, exige la adopción de medidas de protección antes de que se produzca realmente el deterioro del medio

- Considerar como principio central la prioridad del agua para la vida en la planificación y el financiamiento de la inversión pública.
- Excluir toda posibilidad de privatización, directa o indirecta, para impulsar la gestión compartida entre el Estado y las comunidades
- El derecho humano al agua debe ser respetado y cumplido, mediante la participación real de las y los pobladores
- Planificación de los recursos hídricos debe estar articulada con la planificación ambiental y territorial, con el objetivo de lograr el uso racional, eficiente y el acceso equitativo al agua.
- En apego a la Ley Orgánica de Soberanía Alimentaria, se debe respetar y precautelar la garantía del derecho de las personas, comunidades y pueblos a la autosuficiencia de alimentos sanos, nutritivos y culturalmente apropiados de forma permanente.

Los abundantes recursos hídricos que dispone el Ecuador están siendo consumidos a diario bajo una demanda que aumenta con la población creciente, lo que por otro lado, incrementa los niveles de contaminación y como se analizó anteriormente, la mayor parte de agua se usa en la producción de alimentos para el mercado nacional e internacional. Por lo tanto, es importante determinar de qué forma se producen los alimentos, y cuánta agua se asocia a dicha producción, y esta información será una base para generar políticas que guarden una relación intrínseca con el ciclo del agua y las cadenas productivas que atraviesa.

Las instituciones que fueron responsables de la gestión de los recursos hídricos fueron desarticuladas con cada cambio de administración, perdiendo la continuidad de los procesos, y enfocando sus políticas en ciertos sectores, como el riego y las concesiones de aguas, dejando de lado una planificación nacional. En consecuencia los problemas se agravaron y fue recién en el 2008 que se nombra la autoridad única del agua, con una visión de gestión integral de los recursos hídricos, consiguiendo dar paso a una gestión por cuencas hídricas que sin duda son un avance para el manejo de los recursos hídricos y la generación de políticas. Sin embargo quedan grandes desafíos por superar, algo que se debe resaltar es la falta de tratamiento de aguas negras a nivel nacional, que a su vez denota la falta de interés por parte de los ciudadanos en temas de recursos hídricos. La inequidad en la distribución de los sistemas de riego es otro aspecto que ha caracterizado la gestión de los recursos hídricos nacionales, esta situación debe ser abordada desde diferentes frentes e integrando varios sectores, para generar igualdad de oportunidades entre grandes y pequeños agricultores.

---

ambiente, operando ante la amenaza al medio ambiente . Luis G. Jimenez Arias (2008, 73). *Bioethics and the Environment*.

En el siguiente capítulo se analiza el sector agrícola ecuatoriano, para determinar los principales cultivos y las regiones geográficas donde se producen, resaltando su relación con el agua.

## **Capítulo 2: Situación de la Producción Agrícola Ecuatoriana y su Relación con los Recursos Hídricos**

*El agua, siembra, riega y cosecha el desarrollo.*

### **2.1 Situación del sector agrícola ecuatoriano**

Desde su nacimiento como república, el Ecuador se consolidó como un país fundamentalmente agrícola. Su historia moderna se ve ligada al auge y las crisis del sector agroexportador, con énfasis en distintos productos que han tenido épocas de expansión y crisis y han sido factores determinantes de la expansión económica del país. El cacao fue en el primer producto de exportación, y su hegemonía económica se extendió a lo largo de un siglo, desde 1820 hasta 1920, cuando empezó su definitivo declive. (DEL THE, 2011:1)

La economía agraria ecuatoriana hasta mediados del siglo XX, se caracterizó por la presencia del latifundio, que era el soporte de la hacienda serrana y costeña. Mientras la sierra se dedicó a la producción de granos, cereales y ganado, en la costa predominó el monocultivo del cacao, que se convirtió en el centro de la acumulación y la base del modelo agroexportador. (DEL THE, 2011:2). Este modelo causó el ingreso de la economía ecuatoriana al mercado internacional en condiciones subordinadas, ya que su crecimiento dependió de los ciclos de auge y caída de las exportaciones.

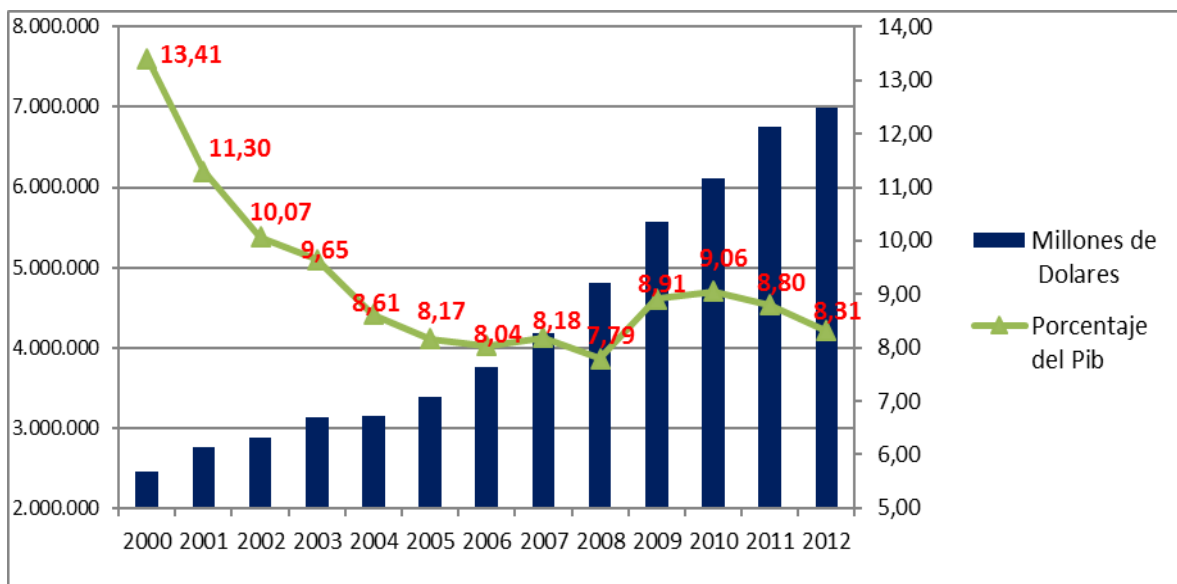
Tras la caída de los precios del cacao, la producción bananera fue tomando protagonismo paso a paso. El banano que en promedio representó el 3,5% del total de las exportaciones en la década de 1940, creció casi diez veces para la siguiente década representando el 32% de las exportaciones, y continuó con la misma tendencia en hasta mediados de los años 60 (Baquero y Mieles, 2015:2).

La década de los 60 se caracterizó por cambios profundos en la economía nacional. A partir de 1963 se desarrolló un proyecto político dirigido hacia la diversificación de la economía mediante la sustitución de importaciones y la transformación de los rezagos feudales de producción hacia una modernización del sector agrícola (Yépez: 51). La Reforma Agraria de 1964 junto con la de 1972 buscaban la redistribución de la tierra, y aunque sus logros fueron limitados, la reforma significó el punto sin retorno para las formas feudales de producción y el inicio de cambios estructurales en el uso de la tierra, el balance entre diferentes cultivos y la aplicación de nuevas tecnologías en la agricultura (Yépez:52).

Para la década de los 80, la propuesta neoliberal fomentó la producción industrial y dejó de lado la producción agroalimentaria. Impulsó las exportaciones de ciertos productos tradicionales y no tradicionales, diezmando las políticas de apoyo a los medianos y pequeños productores, reduciendo inversiones para riego, control de inundaciones, procesos de capacitación, innovación tecnológica y dio apertura generalizada a las importaciones de productos alimenticios industrializados (FRH, 2008,4). La población campesina fue la más afectada por estas políticas, se incrementaron los niveles de pobreza, detonando el proceso migratorio, se agravó el desarrollo desigual en el sector rural, y se descapitalizaron, consolidándose así su estructura minifundista<sup>36</sup>. Esto los llevó a depender cada vez más de actividades distintas a las agrícolas para mantener su economía (FRH, 2008:5).

Todo esto sucedía mientras crecía la industria agroexportadora con productos como el banano, flores, piña, entre otros, junto con la producción de productos de alta rentabilidad para el mercado interno, como la caña, la palma africana, arroz y ganadería intensiva. (FRH, 2008:4). Esta industria demanda y concentra mayores recursos, especialmente tierra, agua e infraestructura productiva, también es intensiva en insumos como fertilizantes, agroquímicos y maquinaria pesada.

**Gráfico 12: PIB agrícola en millones de dólares y como porcentaje del PIB Nacional, 2000-2012**



Fuente: BCE boletín estadístico 2013

Elaboración: Andrés Silva

<sup>36</sup> Minifundio es una finca agrícola de extensión reducida que dificulta su explotación, y permite al agricultor obtener una producción mínima para la supervivencia.

Desde el año 2000 el PIB agropecuario ha tenido una tendencia a la baja. En este año representaba un 13.41 % del total del PIB nacional, y para el año 2008 este porcentaje bajó al 7,79 %, más de 5 puntos. Para el 2010 se ve una variación positiva, 9.06 %, sin embargo, para el 2012 la tendencia sigue a la baja, representando el 8.31% del PIB (BCE, 2014). (Gráfico 12)

Esta tendencia a la baja se da por varios aspectos que afectan al sector agrícola, entre los más importantes tenemos una producción agrícola que crece para la agro exportación, con una estructura productiva orientada al monocultivo, sin tomar en cuenta las potencialidades de un desarrollo independiente y las necesidades de la población, y en consecuencia decrecen cada vez más los terrenos cultivados para el consumo interno. En la producción campesina, sobre todo indígena, faltan líneas de crédito, asesoría técnica, así como mecanismos adecuados y justos de comercialización (BCE, 2014).

### **2.1.1 Seguridad Alimentaria**

El agua es esencial para la seguridad alimentaria, su escasez es la mayor causa de hambrunas y desnutrición, sobretodo en áreas donde las personas dependen de la agricultura para su alimentación y sus ingresos, principalmente en los países en desarrollo. La seguridad alimentaria se define como el acceso a un suministro adecuado y suficiente de alimentos para mantener una vida activa y saludable, las regiones con mejor acceso al agua, tienden a menores niveles de desnutrición. (FAO, 2007:4)

El agua se está tornando más escasa y costosa, con mayores competidores para su uso, junto con un clima impredecible. Por ello, toma relevancia el debate *sobre qué puede cultivarse y para qué debe cultivarse*, esto se relaciona directamente con la alimentación de las personas, la comida para animales, la fibra y los biocombustibles, entre otros productos intensivos en agua (Foro Centroamericano, 2012: 13).

Hay que tomar en cuenta que la disponibilidad de agua varía drásticamente para cada región, pero incluso en áreas con limitados o irregulares suministros, las mejoras continuas en la gestión pueden incrementar considerablemente la producción agrícola. Esta es la clave para mejorar la seguridad alimentaria y reducir la pobreza, sobre todo en las áreas rurales donde se asienta la mayor parte de la población con bajos recursos. (FAO, 2007:4)

El derecho a la alimentación no es negociable. Alimentar la creciente población solo será posible si la producción agrícola se incrementa de forma considerable y

sostenible. Por lo tanto, mejorar la gestión del agua para la agricultura se convierte en clave para lograr de la seguridad alimentaria.

## **2.2 Riego y Agricultura.**

En la actualidad, aproximadamente el 40% de los alimentos que se consumen a nivel mundial provienen de campos regados, sin embargo, solo se riega el 20% del área potencial (FRH, 2008, 7). La Reforma Agraria no cambió la distribución del agua en el país, a partir de los años 70 la intensificación de la agricultura de exportación, tiene como requerimiento central el riego y el drenaje. La agricultura empresarial en el Ecuador tiene los más altos niveles de rentabilidad, mientras que en las otras formas de producción, los excedentes son escasos, como en buena parte de la agricultura campesina (FRH, 2008,p.10).

Es necesario ampliar y mejorar la superficie y sistemas de riego de los sistemas de producción campesinos, ya que mediante el riego se reducen los niveles de inequidad en el campo, al diversificar la producción y aumentar los ciclos productivos, incrementar el nivel de empleo y generar mayor producción de alimentos para la población rural y del país, aumentar las exportaciones e incrementar el nivel de productividad; así como los niveles de ingreso (FRH, 2008,p.11).

Los cultivos para consumo nacional provienen principalmente de pequeñas y medianas fincas productoras, mayoritariamente campesina, que trabaja con riego entre el 4% y el 25% de su superficie. Mientras, los cultivos para exportación son intensivos en uso de agua, ya que prácticamente toda su superficie se cultiva bajo riego. En el 2000 el área regada de los cultivos para exportación cubría, entre el 79% al 100% del total cultivada (FRH, 2008,p.9).

Desde la perspectiva de los flujos de agua este punto es crítico, ya que sugiere que Ecuador es un exportador de *agua virtual* incorporada en commodities, que salen de la frontera nacional y llevan los flujos ocultos de agua que fueron necesarios para su producción, reduciendo la disponibilidad nacional de recursos hídricos. Este comercio de productos intensivos en agua y sus efectos, tanto en los exportadores como en los importadores, se aborda mediante el marco metodológico del metabolismo hídrico, analizando la huella hídrica de los productos más representativos de la producción nacional, en el capítulo siguiente.

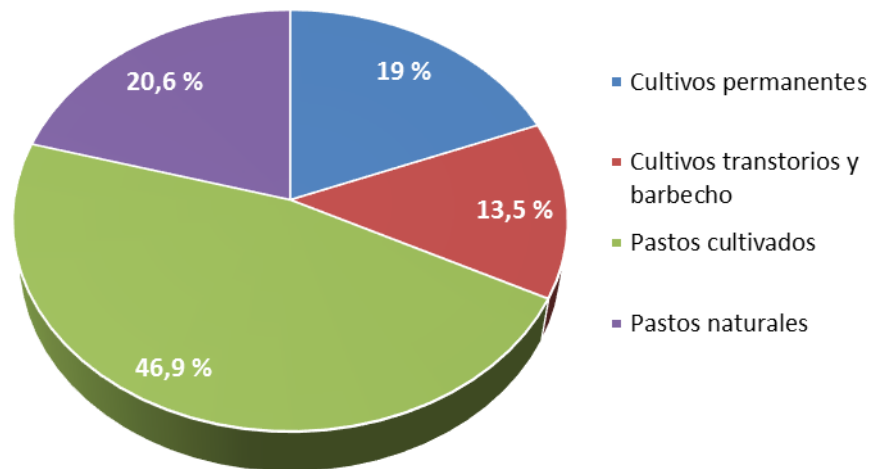
## **2.3 Análisis del uso de suelo**

El uso del suelo se divide según categorías de utilización de las tierras, determinadas en la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua,

ESPAC, y estas son: cultivos permanentes, cultivos transitorios y barbecho, descanso, pastos cultivados, pastos naturales, montes y bosques, páramos y otros usos.

Esta disertación centra su análisis en *la superficie de labor agrícola*, que en el año 2010 fue de 7,3 millones de Has y corresponde a las mismas categorías del uso de suelo, exceptuando: otros usos, páramos, y montes y bosques. Está conformada por: pastos naturales 20,6%, pastos cultivados 46,9%, cultivos permanentes 19%, y cultivos transitorios y barbecho con él 13,5%, según datos de la ESPAC, y como se muestra en el Gráfico 13 (2010).

**Gráfico 13: Superficie de labor agrícola por porcentajes año 2010**

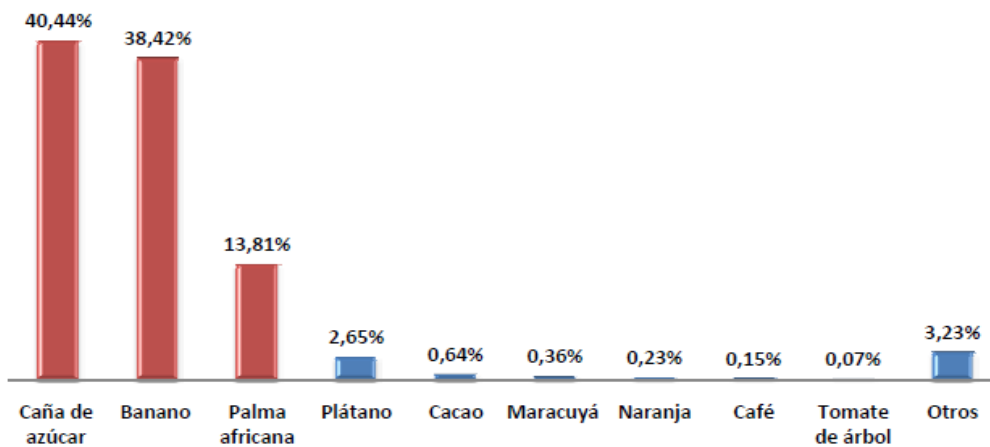


Fuente: ESPAC 2010

Elaboración: Andrés Silva

Los cultivos permanentes tienen un extenso periodo de producción que permite realizar cosechas durante varios años, sin tener que volver a sembrarlos, entre ellos está por ejemplo el banano y la palma, que se destinan a la alimentación, exportación o para materias primas industriales u otros usos; en 2010 los cultivos permanentes ocuparon el 18,55% de la superficie de labor agrícola. La caña de azúcar representó el 40,4% de la producción nacional de cultivos permanentes, el banano el 38,4% y la palma africana el 13,8% con 8,3, 7,9 y 2,9 millones de toneladas métricas de producción respectivamente, y entre los tres cultivos representan el 92,6 % de la producción de cultivos permanentes en el año 2010, tal como se muestra en el Gráfico 14. De los cultivos permanentes se toman estos tres para realizar la estimación de la huella hídrica.

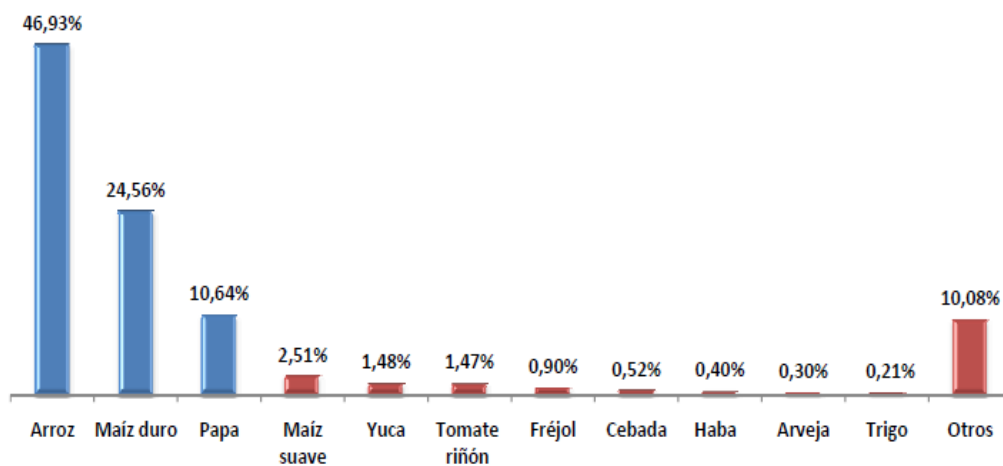
**Gráfico 14: Porcentaje de Cultivos permanentes en la producción nacional 2010**



Fuente: ESPAC 2010 Elaboración: INEC

Por otro lado, los cultivos transitorios tienen un ciclo vegetativo menor a un año, y se destinan a la alimentación tanto humana como animal e incluso para materias primas industriales y representan el 13.24% de la superficie de labor agrícola. El arroz con 46,9 %, maíz duro 24,5 % y la papa con 10,6% (Gráfico 15), fueron los cultivos de mayor producción con 1,7, 0,87 y 0,39 toneladas métricas respectivamente para el año 2010. Entre los tres cultivos representan el 82% de la producción nacional de cultivos transitorios, y también desempeñan un papel fundamental en la dieta nacional (INEC: 2011). Sobre estos tres cultivos transitorios son se realizara la estimación de la huella hídrica.

**Gráfico 15: Porcentaje de Cultivos transitorios en la producción nacional 2010**



Fuente: ESPAC 2010 Elaboración: INEC

### 2.3.1 Cultivos Permanentes Banano

La producción de banano se concentra en las provincias de Los Ríos 49%, El Oro 24% y Guayas 21,7 %, con más del 94% de la producción nacional y el 71% de la superficie plantada (Cuadro 10). La producción de banano se realiza bajo riego en un 95% de sus áreas de cultivadas, y presenta un rendimiento agrícola nacional de 33,4 tm/ha, que frente a un rendimiento de 38.5 tm/ha en Colombia para el mismo periodo, nos da una idea de la eficiencia del cultivo en el país.

**Cuadro 10: Estadísticas del Banano a nivel nacional por provincias, año 2010.**

PROVINCIA	BANANO					
	Superficie plantada (Ha)	% A Nivel Nacional	Producción (Tm)	% A Nivel Nacional	Rendimiento Agrícola (Tm/Ha)	% de Área bajo riego
LOS RIOS	67.934	29	3887126	49,0	57,22	94,31
EL ORO	57.657	24	1892647	23,9	32,83	98,74
GUAYAS	42.299	18	1719362	21,7	40,65	93,68
LOJA	18.510	8	61794	0,8	3,34	15,51
ESMERALDAS	12.005	5	35410	0,4	2,95	17,51
MANABI	11.392	5	45625	0,6	4,01	2,67
Resto	27.623	12	289095	3,6	10,47	
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>237.420</b>	<b>100</b>	<b>7931059</b>	<b>100</b>	<b>33,41</b>	<b>94,86</b>

Fuente: Visualizador de Estadísticas Agropecuarias del Ecuador ESPAC  
Elaboración: Andrés Silva

El rendimiento agrícola es la relación entre la producción total de un cultivo por cada hectárea de terreno utilizada. Se mide en toneladas métricas (1000kg) por hectárea (Tm/ha). Depende de las características genéticas de cada planta, las características del suelo y de las condiciones ambientales. Estas pueden ser afectadas por el hombre de distintas formas, pero el riego es quizá la más antigua y determinante. La correlación entre estos tres aspectos determina el rendimiento de un cultivo. En efecto, una misma variedad mantiene diferentes rendimientos de una localidad geográfica a otra.

La producción de banano es especialmente sensible a los mercados internacionales, ya que más del 60% de su producción se realiza para la exportación. Sus problemas suelen relacionarse con los precios de exportación y por otro lado por las plagas que diezman la producción. La Sigatoka Negra es una plaga típica en el banano, pero su

eliminación es costosa y requiere de varias fumigaciones, lo que deriva en la contaminación del suelo y el agua.

## Caña de Azúcar

La caña es un cultivo importante en el Ecuador, ya que de él se extrae el azúcar, ingrediente fundamental de muchos alimentos elaborados y semielaborados de consumo masivo, y forma parte de la canasta básica nacional. También se usa como materia prima para la producción de biodiesel y adicionalmente es una fuente importante de trabajo a través de los ingenios azucareros, y las industrias que basan su producción en el azúcar (CINCAE, 2004: 2).

**Cuadro 11: Estadísticas de la caña de Azúcar a nivel nacional por provincias, año 2010.**

PROVINCIA	AZUCAR					
	Superficie plantada (Ha)	% A Nivel Nacional	Producción (Tm)	% A Nivel Nacional	Rendimiento Agrícola (Tm/Ha)	% de Área bajo riego
<b>GUAYAS</b>	89831	77,46	<b>6579879</b>	<b>78,83</b>	73,25	95,38
<b>IMBABURA</b>	7458	6,43	<b>666124</b>	<b>7,98</b>	89,32	99,92
<b>CAÑAR</b>	9026	7,78	<b>555519</b>	<b>6,66</b>	61,55	98,50
LOJA	7575	6,53	428790	5,14	56,61	99,92
LOS RIOS	1235	1,06	96870	1,16	78,44	S/D
CARCHI	842	0,73	20000	0,24	23,75	32,66
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>115967</b>	<b>100,00</b>	<b>8347182</b>	<b>100,00</b>	<b>71,98</b>	<b>95,80</b>

Fuente: Visualizador de Estadísticas Agropecuarias del Ecuador ESPAC  
Elaboración: Andrés Silva

Los principales problemas en la producción de caña se dan por el uso de tierras aptas para la producción de alimentos, en la producción de combustibles, el uso intensivo de agroquímicos, la acaparación del agua, y en la fase industrial, la contaminación por los residuos, especialmente la vinaza (CINCAE , 2004: 4).

La caña de azúcar es el cultivo de mayor producción a nivel nacional, su principal producción se da en las provincias de Guayas, Imbabura y Cañar con el 93% de la producción y el 91,7 % de la superficie cultivada. Mantienen también un alto porcentaje de riego, el 96% en promedio y un rendimiento agrícola del 63 tm/ha como promedio nacional (Cuadro 11).

## Palma Africana

A nivel nacional la superficie cosechada de palma africana ha tenido un crecimiento generalizado, es así que su tasa anual de promedio de variación se ubica en 6.29% entre el periodo 2005 y 2012. Su producción se concentra en la costa, principalmente en la provincia de Esmeraldas 64,8%, en el área nororiental de la región amazónica, 10,3%, y en la provincia de los Ríos con un 9.6%, sumando entre las tres regiones el 74,5 % de la producción nacional y el 84% del área cultivada. El área bajo riego para este cultivo es pequeña, representa el 8,67 % de la superficie sembrada y mantiene un rendimiento agrícola promedio de 11.12 Tm/ha (Cuadro 12).

**Cuadro 12: Estadísticas de la Palma Africana a nivel nacional por provincias, año 2010**

PROVINCIA	PALMA AFRICANA					
	Superficie plantada (Ha)	% A Nivel Nacional	Producción (Tm)	% A Nivel Nacional	Rendimiento Agrícola (Tm/Ha)	% de Área bajo riego
<b>ESMERALDAS</b>	152679	61,51	<b>1.848.332</b>	<b>64,84</b>	12,11	4,65
<b>NORORIENTE (Napo, Orellana, Sucumbios)</b>	24102	9,71	<b>293.565</b>	<b>10,30</b>	12,18	5,09
<b>LOS RIOS</b>	31276	12,60	<b>275.322</b>	<b>9,66</b>	8,80	5,13
SANTO DOMINGO	16364	6,59	225.992	7,93	13,81	6,87
RESTO	23779	9,58	207.253	6,88	8,72	
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>248200</b>	<b>100,00</b>	<b>2.850.464</b>	<b>100</b>	<b>11,12</b>	<b>8,67</b>

Fuente: Visualizador de Estadísticas Agropecuarias del Ecuador ESPAC  
Elaboración: Andrés Silva

Los frutos de la palma son cultivados y llevados a las plantas extractoras de aceite. Este se utiliza en la industria alimenticia para hacer manteca vegetal y actualmente también se utiliza para la producción de biocombustibles.

### 1.3.2 Cultivos Transitorios

#### Arroz

Observamos que la provincia del Guayas es la principal productora de arroz con el 59% de la producción nacional, le sigue la provincia de los Ríos con un 36%, es decir que entre las dos provincias alcanzan el 95% de la producción de arroz a nivel nacional y el 94% de la superficie plantada. Prácticamente la mitad de la producción nacional se hace con sistemas de riego, y mantiene un promedio de rendimiento agrícola de 4.12 tm/ha (Cuadro 13).

**Cuadro 13: Estadísticas del Arroz a nivel nacional por provincias, año 2010**

PROVINCIA	ARROZ					
	Superficie plantada (Ha)	% A Nivel Nacional	Producción (Tm)	% A Nivel Nacional	Rendimiento Agrícola (Tm/Ha)	% de Área bajo riego
GUAYAS	248.783	60,07	1009263	59,15	4,06	59,96
LOS RIOS	140.941	34,03	615660	36,08	4,37	28,28
MANABI	14.375	3,47	47354	2,78	3,29	44,97
RESTO	10.052	1,99	33918	1,85	3,37	
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>414.151</b>	<b>100</b>	<b>1706195</b>	<b>100</b>	<b>4,12</b>	<b>49,02</b>

Fuente: Visualizador de Estadísticas Agropecuarias del Ecuador ESPAC  
Elaboración: Andrés Silva

## Papa

**Cuadro 14: Estadísticas de la Papa a nivel nacional por provincias, año 2010**

PROVINCIA	PAPA					
	Superficie plantada (Ha)	% A Nivel Nacional	Producción (Tm)	% A Nivel Nacional	Rendimiento Agrícola (Tm/Ha)	% de Área bajo riego
CARCHI	6.330	13	167.427	44	26,45	24,96
COTOPAXI	11.033	23	63.637	17	5,77	33,81
CHIMBORAZO	12.914	27	47.448	12	3,67	26,75
TUNGURAHUA	4.298	9	43.931	11	10,22	27,76
PICHINCHA	4.305	9	42.538	11	9,88	43,53
RESTO	8.996	19	19.253	5	2,14	
<b>TOTAL</b>	<b>47.876</b>	<b>100</b>	<b>384.234</b>	<b>100</b>	<b>8,03</b>	<b>32,37</b>

Fuente: Visualizador de Estadísticas Agropecuarias del Ecuador ESPAC  
Elaboración: Andrés Silva

La papa, que es una parte fundamental de la dieta nacional se cosecha principalmente en la sierra, siendo Chimborazo la provincia con mayor superficie de cultivo, 27%, pero la provincia del Carchi genera mayor producción (44%) por mantener un alto rendimiento agrícola (26.45tm/ha). El área bajo riego representa un 32 %, con un rendimiento agrícola promedio a nivel nacional de 8.03 tm/ha. Las provincias del Carchi 44%, Cotopaxi 17% y Chimborazo 12%, concentran el 73% de la producción nacional y el 63% de la superficie cultivada (Cuadro14).

## Maíz duro y seco

La provincia de los Ríos acoge la mayor producción a nivel nacional de maíz duro y seco, con un 54%. Le siguen la provincia del Guayas y Loja, con 18% y 12% respectivamente. Las tres provincias representan el 74% de la producción agrícola nacional de maíz, y una superficie plantada del 71%. El área bajo riego es pobre para este cultivo y representa el 13% de la superficie plantada. El rendimiento promedio de la producción nacional es de 2,75 tm/ha, que es el más bajo para los cultivos analizados (Cuadro 15).

**Cuadro 15: Estadísticas del Maíz duro y seco a nivel nacional por provincias, año 2010**

PROVINCIA	MAIZ DURO Y SECO					
	Superficie plantada (Ha)	% A Nivel Nacional	Producción (Tm)	% A Nivel Nacional	Rendimiento Agrícola (Tm/Ha)	% de Área bajo riego
LOS RIOS	120.621	38	466.195	54	3,86	12,25
GUAYAS	55.566	18	158.522	18	2,85	7,81
LOJA	46.516	15	108.024	12	2,32	12,13
MANABI	56.395	18	98.740	11	1,75	5,83
RESTO	36.120	11	36.547	4	1,01	
<b>TOTAL</b>	<b>315.218</b>	<b>100</b>	<b>868.028</b>	<b>100</b>	<b>2,75</b>	<b>12,91</b>

Fuente: Visualizador de Estadísticas Agropecuarias del Ecuador ESPAC  
Elaboración: Andrés Silva

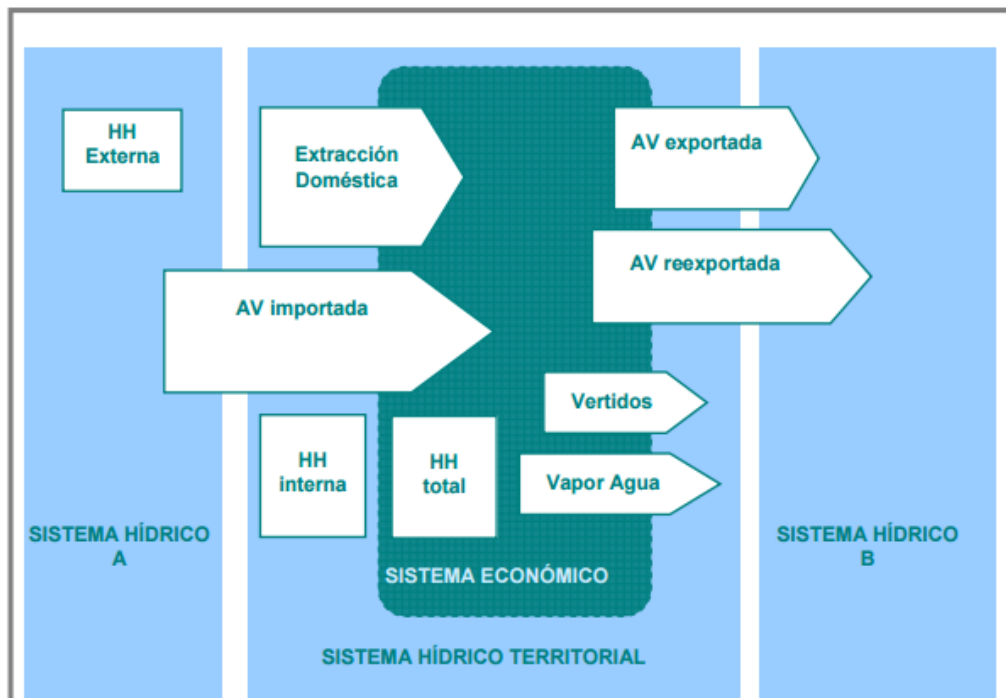
De esta forma quedan evidenciados los cultivos y provincias que serán considerados para la estimación de la huella hídrica, tomando como punto de referencia los niveles de producción más elevados de los diferentes cultivos en las distintas regiones donde son cultivados.

Como ya se mencionó, el Metabolismo Hídrico (MH) analiza la gestión del agua a través de sus flujos físicos mediante la huella hídrica (HH) y el agua virtual (AV) como indicadores de referencia en la estimación de flujos físicos, que han sido aplicados habitualmente en estudios de la producción agrícola (Madrid y Velázquez, 2008: 2).

El MH recoge los flujos de agua internos y externos de un sistema. Los flujos internos que ocurren dentro del territorio nacional serían: el agua potable, el agua para riego y el agua que se usa en la industria local (Gráfico 16). Los flujos externos

proviene de sistemas hídricos fuera del territorio nacional, y son determinados por las importaciones y exportaciones de AV, principalmente de los productos agrícolas, y en los productos intensivos en agua (Madrid y Velázquez, 2008: 3). Estos flujos dependen de parámetros físicos que varían en función de la localización y la estacionalidad, como el clima, el tipo de suelo, los caudales; así mismo el impacto derivado de la explotación de los recursos depende del lugar y el momento en el que se consumen. (Madrid y Velázquez, 2008, 32).

**Gráfico 16: Metabolismo Hídrico.**



Fuente: Eurostat 2001; Hoekstra & Chapagain 2007a.

Elaboración: Madrid y Velázquez, 2008

Las provincias del Guayas y Los Ríos tienen la mayor superficie de actividad agrícola, con mayor diversidad de productos, banano, maíz, arroz, y azúcar, y los más altos niveles de producción, lo que denota la concentración de la producción agrícola en la región de la costa y consecuentemente de los recursos hídricos.

El banano y la caña de azúcar se cosechan casi en su totalidad con sistemas de riego, ya que las fuentes de agua naturales no están disponibles para todo el ciclo de cultivo. El banano es el principal producto agrícola de exportación, y con él se exporta el agua asociada a su producción o agua virtual, mientras que el cultivo de caña se utiliza en la industria nacional casi en su totalidad quedando un pequeño

margen para la exportación. Las provincias de Esmeraldas, Manabí, Loja y el Oro también presentan importantes superficies y producción agrícola aunque mayoritariamente en un solo producto, palma, maíz, maíz y banano respectivamente.

Para el análisis de la huella hídrica se toman las provincias más representativas por sus niveles de producción, que se muestran en los Cuadros del 10 al 15, y posteriormente para la estimación de la huella hídrica también son necesarios los valores del rendimiento agrícola para cada cultivo y provincia que también están disponible en dichos cuadros. En el siguiente capítulo se realiza la evaluación de la huella hídrica en la producción agrícola de los productos determinados, para lo cual se aplica la metodología descrita en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica, publicada por la organización Water Foot Print en el año 2011, junto con el software Croopwat, que es una herramienta de apoyo a las decisiones desarrollada por la División de la FAO de Tierras y Aguas, y se aplica para calcular los requerimientos de agua de los diferentes cultivos.

### 3. Evaluación de la Huella Hídrica en la Producción Agrícola

“La evaluación de la huella hídrica es una herramienta de análisis, que ayuda a comprender cómo las actividades y productos se relacionan con la escasez del agua, su contaminación, y los impactos asociados. Y qué se puede hacer para asegurar que las actividades y productos no contribuyan a un uso insostenible del agua dulce” (Arjen et al, 2011: 7)

Esta evaluación se realiza en tres etapas que se muestran a continuación.

#### 3.1 Establecer objetivos y alcance

El presente estudio pretende evidenciar el volumen de agua asociada a la producción de los 6 productos nacionales de mayor representatividad, centrándose en la contabilidad directa de Huellas hídricas, para generar una sensibilización sobre el uso del agua en las áreas de producción, especialmente, de recursos hídricos asignados a cultivos de exportación de bajo valor y tomando como año de referencia el 2010.

Se realiza el análisis en el proceso de producción de los cultivos para cada una de las provincias donde son más representativos, (Cuadro 16) y se contabiliza su HH desde la siembra hasta la cosecha, ya que en este proceso se usa prácticamente toda el agua necesaria. Se estima la huella hídrica azul y verde, dejando de lado la huella gris por la poca disponibilidad de información.

**Cuadro 16: Cultivos permanentes y transitorios más representativos por Provincias 2010**

<b>CULTIVOS</b>	<b>PRODUCTOS</b>	<b>PROVINCIAS</b>		
<b>TRANSITORIOS</b>	PAPA	CARCHI	COTOPAXI	CHIMBORAZO
	MAIZ DURO	LOS RIOS	GUAYAS	LOJA
	ARROZ	LOS RIOS	GUAYAS	
<b>PERMANENTES</b>	BANANO	LOS RIOS	GUAYAS	EL ORO
	AZUCAR	IMBABURA	GUAYAS	CANAR
	PALMA AFRICANA	LOS RIOS	ESMERALDAS	NORORIENTE

Fuente: Visualizador de la ESPAC

Elaboración: Andrés Silva

### 3.2 Metodología para la estimación de Huella hídrica de los cultivos

Según Arjen, (2011: 36), para estimar la Huella hídrica de un cultivo (HH producto) es necesario analizar la huella hídrica de su proceso de crecimiento, a partir de la suma de sus tres componentes: HH verde, HH azul y HH gris.

$$(1) \quad \mathbf{HH\ producto = HH\ verde + HH\ azul + HH\ gris} \quad [\text{m}^3/\text{ton}]$$

La huella hídrica azul es un indicador que muestra el uso consuntivo de agua dulce superficial o subterránea, que generalmente se equipara con la evaporación para su cuantificación, pero también se debe considerar el agua que se incorpora a un producto, y el agua que no vuelve a la misma cuenca.

Mientras, la huella hídrica verde es el volumen de precipitación consumida durante un proceso de producción, que no provoque escorrentía o se sume a las aguas subterráneas, pero que se mantenga en el suelo, en su superficie o la vegetación.

Para calcular la HH del crecimiento del cultivo, se usa *el componente azul y verde del uso de agua del cultivo (UAC azul, verde)*, dividido por su rendimiento agrícola (Y), como se muestra en las siguientes fórmulas: (Arjen et al, 2011: 36).

$$(2) \quad \mathbf{HH\ azul, producto} = \frac{\mathbf{UAC_{azul}}}{\mathbf{Y}} \quad [\text{m}^3/\text{ton}]$$
$$(3) \quad \mathbf{HH\ verde, producto} = \frac{\mathbf{UAC_{verde}}}{\mathbf{Y}} \quad [\text{m}^3/\text{ton}]$$

Los componentes de uso de agua del cultivo verde y azul (UAC, m<sup>3</sup>/ha) dependen principalmente de la acumulación de la *evapotranspiración* diaria (ET, mm/día) durante todo el periodo de crecimiento, como se observa en las ecuaciones (4) y (5), por lo tanto es necesario calcular en primer lugar los valores de ET.

$$(4) \quad \mathbf{UAC\ azul} = 10 \times \sum_{d=1}^{tc} \mathbf{ET_{azul}} \quad \text{m}^3/\text{ha}$$

$$(5) \quad \mathbf{UAC\ verde} = 10 \times \sum_{d=1}^{tc} \mathbf{ET_{verde}} \quad \text{m}^3/\text{ha}$$

Dónde:

**Σ** = Es la sumatoria del ciclo de crecimiento completo del cultivo, desde la siembra (día 1) hasta la cosecha

**tc** = son los días que corresponden al ciclo de crecimiento del cultivo.

**ET** = corresponde a la evapotranspiración del cultivo, expresado en mm/día

El factor **10** convierte la profundidad del agua medida en mm a volumen de agua en superficie en m<sup>3</sup>/ha

**3.2.1 Evapotranspiración (ET):** Es la suma de dos procesos separados, que ocurren simultáneamente, la evaporación del agua que está sobre la superficie del suelo y por otra parte la transpiración del cultivo. En la *evaporación* el agua en estado líquido se transforma en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante, esta puede ser: lagos, ríos, suelos, vegetación mojada, etc. La radiación solar, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos determinantes del proceso de la evaporación (FAO, 2006,1).

En la *transpiración* el agua que está contenida en los tejidos de la planta se vaporiza y pasa a formar parte de la atmósfera. Mediante las raíces el agua y algunos nutrientes son absorbidos del suelo y transportados a través de la planta. Casi toda esta agua se pierde por transpiración y solo una mínima fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales (FAO, 2006:3). Entre los factores que afectan directamente la transpiración tenemos: la radiación solar, la variación de presión del vapor, la velocidad del viento, la humedad atmosférica, el contenido de agua en el suelo, la salinidad del suelo y del agua de riego, las características y prácticas de cultivo, el estado de desarrollo y el medio donde se produce (FAO, 2006:3).

En las etapas iniciales de un cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, es decir, que casi se llega al 100% de ET, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre gran parte del suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal, más del de 90% de la ET ocurre como transpiración (FAO, 2006:4).

La **ET** se estima indirectamente por medio del modelo CROPWAT 8.0. Este modelo utiliza datos del clima, como temperatura mínima, máxima, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar, volumen de precipitación, propiedades del suelo y las características de cada cultivo. Fue desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y Alimentación (FAO) (Arjen et al, 2011: 37).

El cálculo de la ET para cada cultivo se realiza en cuatro pasos en dicho programa:

**1)** En primer lugar, en el módulo Clima/ET<sub>o</sub>, se estima la *Evapotranspiración del cultivo de referencia*<sup>37</sup> (**ET<sub>o</sub>**), a partir de datos meteorológicos, aplicando el método

---

<sup>37</sup> Para la ET<sub>o</sub>, la superficie de referencia es un cultivo hipotético de pasto, con una altura uniforme asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de 70 s m<sup>-1</sup> y un albedo de 0,23, creciendo

de FAO Penman-Monteith (Anexo A), método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración (FAO, 2006:17). Esta metodología requiere datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento. Para este estudio se tomaron datos del Anuario Meteorológico 2010, publicado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

**2)** En segundo lugar, se determina la precipitación efectiva<sup>38</sup> (Pe<sub>eff</sub>), para lo cual se necesita la información de precipitación mensual de un año en específico, que también se obtuvo del Anuario Metodológico 2010.

**3)** En tercer lugar, se usó los datos específicos de cada cultivo: coeficiente de cultivo (k<sub>c</sub>), etapas (días), profundidad radicular (m), agotamiento crítico (fracción), respuesta rendimiento y altura del cultivo (h). Esta información se obtiene del Estudio *Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, (FAO: 2006).

**4)** En la última etapa se necesitan las características generales de los suelos de cada Provincia. Al no contar con esta información específica, se aplica en el programa CROPWAT 8.0, la opción de suelo Light Soil (terreno de textura suelta, franco arenoso), para todas las provincias y todos los cultivos del estudio. Ya que la mayoría de las plantas crecen mejor en suelos francos arenosos, estos tienen más arena que el suelo franco común. Este hecho mejora su drenaje, textura y habilidad para retener nutrientes, generando buenas condiciones de cultivo.

Luego de procesar toda la información requerida en el programa CROPWAT 8.0, y al finalizar los cuatro pasos descritos, la evapotranspiración del cultivo es calculada, multiplicando E<sub>To</sub> por K<sub>c</sub> según se indica en la fórmula 6.

$$(6) E_{Tc} [\text{mm/dec}] = K_c \times E_{To}$$

La evapotranspiración de un cultivo (E<sub>Tc</sub>) será diferente a la del cultivo de referencia (E<sub>To</sub>), ya que sus características de cobertura del suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieren de las correspondientes a la superficie hipotética de pasto que representa la E<sub>To</sub>, y estas particularidades específicas de cada cultivo están incorporadas en el coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>) (FAO, 2006:90).

---

activamente y dando sombra totalmente al suelo, que requiere riego una vez por semana aproximadamente.

<sup>38</sup> Es la parte de la precipitación que puede ser efectivamente utilizada por las plantas. Esto significa que no toda la precipitación está a disposición de los cultivos, ya que una parte se pierde a través de la escorrentía superficial y de la percolación profunda.

### 3.2.2 Requerimiento de riego (Req.Riego)

Una vez estimado el  $ET_c$ , se procede a calcular el volumen de riego que requiere cada cultivo para satisfacer su demanda hídrica.

$$(7) \text{Req.Riego} = ET_c - Peff \text{ [mm/dec]}$$

Donde Req.Riego corresponde a la ET azul del cultivo, y la  $Peff$  al ET verde del cultivo. A continuación se sustituyen estos valores en las ecuaciones (4) y (5), donde se obtienen los valores de UAC verde y azul.

La necesidad de agua para riego está ligada a la precipitación disponible y a la cantidad de agua requerida para completar el ciclo vegetativo de los cultivos durante un período determinado. Si la precipitación llega efectivamente a las raíces para ser utilizada por las plantas, y supera los requerimientos de las mismas, el riego es inútil, entonces, el  $ET_c$  es igual a la precipitación efectiva ( $Peff$ ), y en el caso contrario, es necesario el riego y se estima con la ecuación (7).

Se reemplazan los valores obtenidos en las ecuaciones (4) y (5) en las ecuaciones (2) y (3) obteniendo así la HH azul y HH verde. Finalmente para obtener la HH del cultivo se reemplaza los valores obtenidos en la ecuación (1).

### 3.3 Estimación de la Huella Hídrica

Una vez descrita la metodología a continuación se realizará un ejemplo del cálculo de la HH de la producción del banano en la provincia de Los Ríos, mediante el programa CROPWAT 8.0, para mostrar el procedimiento que se realizó con los demás cultivos analizados y así comprender los resultados que se presentan más adelante.

**1)** Para los datos del clima de la provincia de los Ríos, se tomó la información de la estación meteorológica Babahoyo-UTB (M051) del Anuario Meteorológico 2010. Con esta información se trabajó para todos los cultivos que se analizaron en dicha provincia (Cuadro 17). Con estos datos se obtuvo el valor de la  $ET_o$ .

**Cuadro 17: Clima/ETo provincia de Los Ríos año 2010**

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m <sup>2</sup> /día	mm/día
Enero	23.2	35.1	79	86	8.1	21.5	4.75
Febrero	23.6	32.0	81	86	5.9	18.7	4.11
Marzo	24.0	32.0	82	86	5.6	18.3	4.02
Abril	24.1	32.4	82	86	5.7	17.8	3.94
Mayo	23.7	31.6	82	86	5.4	16.3	3.61
Junio	22.1	29.8	82	86	5.3	15.5	3.30
Julio	21.2	29.6	81	95	5.8	16.5	3.43
Agosto	20.5	29.2	78	95	6.0	17.7	3.66
Septiembre	20.6	29.9	78	86	6.4	19.2	3.95
Octubre	20.5	30.7	80	86	7.0	20.3	4.19
Noviembre	20.1	29.5	80	95	6.5	19.1	3.89
Diciembre	21.1	30.3	81	104	6.4	18.7	3.81
Promedio	22.1	31.0	81	90	6.2	18.3	3.89

Fuente: Anuario Meteorológico 2010 (INAMHI)

Elaboración: Andrés Silva

**Cuadro 18: Precipitación mensual y efectiva, provincia Los Ríos año 2010**

Mes	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	207.3	141.8
Febrero	632.6	482.1
Marzo	259.7	183.8
Abril	381.9	281.5
Mayo	142.1	89.7
Junio	4.9	0.0
Julio	7.3	0.0
Agosto	0.8	0.0
Septiembre	2.2	0.0
Octubre	0.0	0.0
Noviembre	6.5	0.0
Diciembre	373.7	275.0
Total	2019.0	1453.8

Fuente: Anuario Meteorológico 2010 (INAMHI)

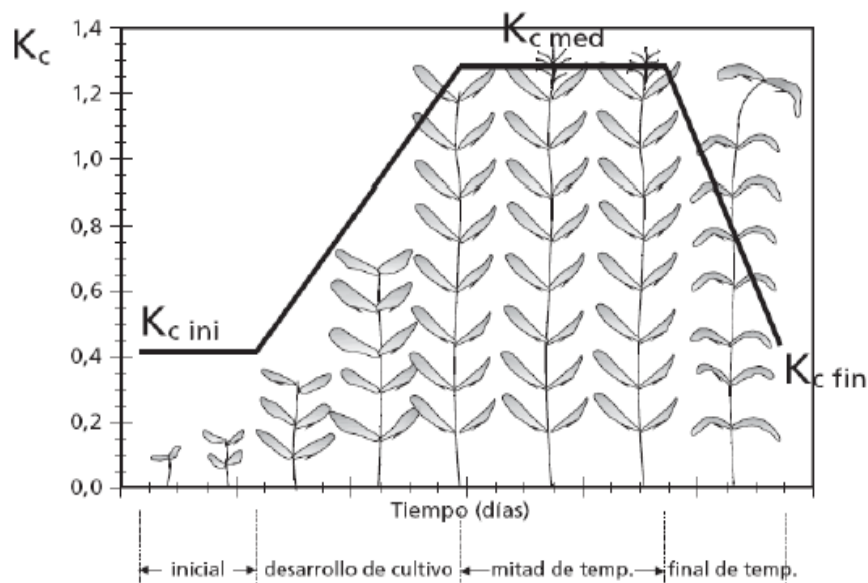
Elaboración: Andrés Silva

**2)** Para la estimación de la precipitación efectiva, los datos se tomaron de la misma estación meteorológica M051 (Cuadro 18), y se escogió la opción de Precipitación

confiable en el programa (ecuación FAO/AGLW). Este análisis se desarrolló en el Servicio de Aguas de la FAO para estimar la precipitación confiable, como el efecto combinado de la precipitación y las pérdidas estimadas debido a la Escorrentía Superficial y a la Percolación Profunda (FAO, 2006:174). Con esta información se trabajará para todos los cultivos que se analicen en la provincia de Los Ríos

**3)** La información específica para cada cultivo se toma del Estudio FAO Riego y Drenaje: Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos 2006, que trabaja de forma complementaria con el programa CROPWAT 8.0.

**Gráfico 18: Etapas del coeficiente de cultivo (kc).**



Fuente y Elaboración: FAO 2006

El **Coefficiente de cultivo ( $K_c$ )** integra las características que distinguen a un cultivo típico de campo del pasto de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo. En consecuencia, distintos cultivos poseerán distintos valores de  $k_c$ . Por otra parte, las características del cultivo que varían durante el crecimiento del mismo también afectarán al valor del coeficiente  $K_c$ . Por último, debido a que la evaporación es un componente de la evapotranspiración del cultivo, los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectarán al valor de  $K_c$  (Gráfico 18) (FAO, 2006:91).

Los rangos generales para **las etapas de crecimiento** (etapa/días) varían para cada cultivo, así como la duración total de la temporada de crecimiento, para

distintos tipos de clima y diferentes localidades. Esta información se tomó de las Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos 2006.

La cantidad de agua que un cultivo puede extraer a través de su zona radicular, depende principalmente del tipo de suelo y la **profundidad radicular (m)** de cada cultivo. El tipo de suelo fue Light Soil por sus características óptimas para el cultivo, y la profundidad radicular se tomó de las Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos 2006.

**Cuadro 19: Características específicas del Banano**

kc valores		ETo (mm/día)	ETc (mm/día)	Fracción de agotamiento (p)	Profundidad radicular max (m)
<b>Kc ini</b>	1	3,89	3,89	0,39	0,5 - 0,9
<b>Kc med</b>	1,2	3,89	4,668	0,36	
<b>Kc fin</b>	1,1	3,89	4,279	0,38	

$$p = p_{\text{standard}} + 0,04 (5 - ETc)$$

etapa	días	Ky*	h max (m)	pstandard
<b>Inicial</b>	120	1,35	4	0,35
<b>desarrollo</b>	60	1,3		
<b>Media</b>	180	1,25		
<b>Final</b>	5	1,2		
<b>Total</b>	365	1,2		

Fuente: FAO 2006 Elaboración: Andrés Silva

Sobre **la fracción de agotamiento (p)**, se tiene la información considerando una a una  $ET = 5\text{mm/día}$ , por lo que se procede ajustarla para la ET de cada etapa del cultivo, mediante la ecuación:  $p = p_{\text{standard}} + 0,04 (5 - ETc)$ . Donde  $p_{\text{standard}}$  es el valor de la fracción de agotamiento con  $ET = 5\text{mm/día}$ , y la  $ETc$  se obtiene multiplicando  $ETo$  por cada valor de  $Kc$ .

**\*Ky** corresponde al **factor de respuesta de rendimiento**. Para cada uno de los períodos de cultivo, se produce una disminución en el rendimiento debido al déficit de agua durante cada período, éste es relativamente pequeño en el período vegetativo y de maduración y relativamente grande durante la floración y período de formación de rendimiento (FAO, 2006: 174). Estos valores se tomaron de las Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos 2006.

Todas las características específicas del banano se recogen en el Cuadro 19, y ésta es la información requerida por el programa CROPWAT 8.0 para la estimación del requerimiento de riego de cada producto.

**4)** Para las **características del suelo**, como ya se mencionó, se usa la opción proporcionada por el modelo, Light Soil, para todas las estimaciones y todas las provincias.

**Cuadro 20: Características del tipo de suelo**

Tipo de suelo: Light Soil (franco arenoso)		
Datos Generales del suelo	Cantidad	
Humedad del suelo disponible total	60,0	mm/m
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	40	
Profundidad radicular max.	900	cm
Agotamiento Inicial de humedad de suelo	0	%
Humedad del suelo inicialmente disponible	60,0	mm/m

Fuente y elaboración: CROPWAT 8.0

Finalmente, al procesar todos los datos ingresados en el modelo CROPWAT 8.0, se obtienen los valores de  $ET_c$ , y a continuación se calcula la ET verde (689,6 mm/dec) y la ET azul (812,14 mm/dec) como se muestra en el **Anexo B**. Estos valores se reemplazan en las ecuaciones (4) y (5) para estimar UAC azul y verde en ( $m^3/ha$ ). A continuación estos valores se dividen entre el rendimiento del Banano, ecuaciones (2) y (3) de donde se obtiene la Huella Hídrica promedio azul y verde del Banano para la provincia de los Ríos en el año 2010 (Cuadro 21).

**Cuadro 21: Huella Hídrica Promedio del Banano año 2010**

BANANO	ET (mm/dec)		UAC ( $m^3/ha$ )		Y (ton/ha)	HH ( $m^3/ton$ )		
	verde	azul	verde	azul	rendimiento	verde	azul	Total
Los Ríos	689,6	812,4	6896	8124	57,22	120,52	141,98	262,50
Guayas	481,5	1006,3	4815	10063	40,65	118,45	247,55	366,00
El Oro	547,5	1382,8	5475	13828	32,83	166,77	421,20	587,97
					<b>Promedio</b>	<b>135,25</b>	<b>270,24</b>	<b>405,49</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006, Anuario Meteorológico 2010 INHAMI  
Elaboración: Andrés Silva

La *Huella Hídrica promedio* representa el volumen de agua en metros cúbicos (m<sup>3</sup>), asociada a la producción de una tonelada (ton) de un cultivo a nivel nacional, *lo que es equivalente a litros sobre kilogramos*, es decir, cuántos litros de agua son necesarios para producir un kilogramo de cultivo. Para el caso del Banano observamos que su HH promedio nacional es de 405,5 litros de agua necesarios para producir 1 kilogramo de Banano. Y se componen de 135.25 lt de HH verde y 270,3 lt de HH azul.

Al multiplicar el valor de la HH promedio por la producción de cada cultivo en cada provincia, se obtiene el volumen de agua en metros cúbicos asociada a la producción agrícola en el año 2010. Para el caso del Banano observamos que su HH nacional (Se habla de HH nacional a pesar de que no se cuantifico la HH para todas las provincias, sin embargo se tomaron las provincias con el mayor nivel producción, en el caso del banano las provincias de Los Ríos, Guayas y El Oro representan más del 94% de dicha producción) es de 2762,5 millones de metros cúbicos, que fueron necesarios para la producción de 7,5 millones de toneladas de banano a nivel nacional en el periodo 2010 (Cuadro 22).

**Cuadro 22: Huella Hídrica Nacional del Banano 2010**

BANANO	HH (m <sup>3</sup> /ton)			(ton)	Millones (m <sup>3</sup> )		
	verde	azul	Total	Producción	HH Nacional verde	HH Nacional azul	HH Nacional
Los Ríos	120,52	141,98	262,5	3887126	468,47	551,89	1020,35
Guayas	118,45	247,55	366	1719362	203,66	425,63	629,29
El Oro	166,77	421,2	587,97	1892647	315,63	797,18	1112,82
<b>Promedio</b>	<b>135,25</b>	<b>270,24</b>	<b>405,49</b>	<b>TOTAL</b>	<b>987,76</b>	<b>1.775</b>	<b>2762,46</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006, Anuario Meteorológico 2010 INHAMI  
Elaboración: Andrés Silva

Una vez comprendida la metodología y el procedimiento de cálculo, esta se aplicó para la estimación de las Huellas Hídricas para cada cultivo y cada provincia seleccionados. En los Anexos del B al R, se detallan las tablas obtenidas mediante el programa CROPWAT 8.0 para la estimación de los valores de ET verde y azul para cada cultivo y provincia.

### 3.4 Análisis de Resultados

En primer lugar se analizan los resultados de la HH promedio a nivel nacional, estos valores se detallan en el Cuadro 23 y el Gráfico 19.

**Cuadro 23: HH promedio de la Producción Agrícola Ecuatoriana año 2010**

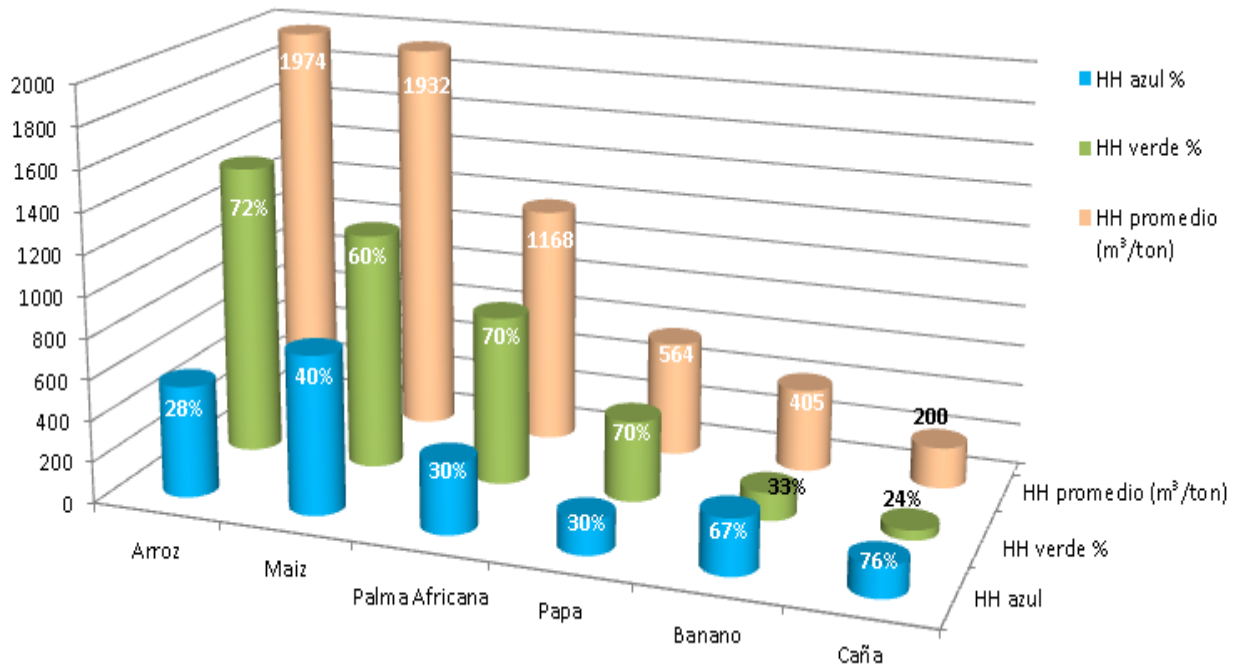
	Producto	HH azul (m <sup>3</sup> /ton)	HH verde (m <sup>3</sup> /ton)	HH promedio nacional (m <sup>3</sup> /ton)
<b>Cultivos Permanentes</b>	Banano	270,24	135,25	405,49
	Palma Africana	344,57	823,02	1167,59
	Caña	152,22	48,06	200,28
<b>Cultivos Transitorios</b>	Maíz	773,33	1158,91	1932,23
	Papa	169,50	394,27	563,77
	Arroz	543,45	1430,89	1974,34
			<b>TOTAL</b>	<b>6243,71</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006, Anuario Meteorológico 2010 INHAMI, ESPAC  
Elaboración: Andrés Silva

El arroz y el maíz son los cultivos que presentan la HH promedio más elevada, ambos cultivos transitorios, con 1975,34 (lt/kg) y 1932 (lt/kg) respectivamente. Para el caso del arroz su HH elevada se da porque se siembra bajo condiciones de inundación y en dos etapas del año, en enero generalmente aprovechado el agua de lluvia, lo que se refleja en la HH promedio verde 72%, y en julio principalmente bajo riego, ya que las precipitaciones no son suficientes para cultivar arroz durante todo el año, y esto se observa en la HH promedio azul, 28%. (Gráfico 19). Es importante aclarar que el agua que proviene de la precipitación y es capturada por los cultivos corresponde a la HH verde, mientras el agua de riego se considera en la HH azul, ya que ésta proviene de una fuente de agua superficial o subterránea.

El maíz también presenta una HH promedio elevada, compuesta en un 40% de HH azul y el 60% restante de HH verde (Gráfico 19). Esto implica que el maíz necesita de un importante aporte de agua mediante sistemas de riego para cubrir sus requerimientos de cultivo, y presenta una elevada huella hídrica promedio principalmente por el bajo rendimiento agrícola del maíz, siendo el más bajo para los cultivos analizados, con un promedio de 2,75 ton/ha. El máximo rendimiento agrícola para el maíz a nivel mundial se registra en EEUU, con 10 ton/ha, lo que hace más evidente la baja productividad del maíz a nivel nacional. Sin embargo, este rendimiento ha venido mejorando desde el año 2000 cuando era de 1,50 ton/ha, donde el papel del gobierno ha tenido gran influencia, impulsando políticas para el acceso de semilla mejorada; y paquetes tecnológicos de alto rendimiento, fertilizantes edáficos y agroquímicos (Sumba :3).

**Gráfico 19: HH promedio nacional, de la Producción Agrícola Ecuatoriana año 2010.**



Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006, Anuario Meteorológico 2010 INHAMI  
Elaboración: Andrés Silva

Incrementar el rendimiento agrícola afecta directamente en la reducción de la Huella hídrica, por lo que podemos afirmar que la HH es inversamente proporcional al rendimiento agrícola (Y).

$$(2) \quad \text{HH azul, producto} = \frac{\text{UAC azul}}{Y}$$

Del otro lado, con la HH promedio más bajas tenemos dos cultivos permanentes, el banano y la caña de azúcar, con 405,5 (lt/kg) y 200,28 (lt/kg) respectivamente (Cuadro 26). Estos cultivos cuenta con alta tecnificación, ya que en el caso de la caña de azúcar, se produce para fines industriales de consumo nacional, mientras la producción del banano se realiza para la exportación.

La HH promedio de la caña se compone en un 76% de HH azul y un 24% de HH verde (Gráfico 19). La caña de azúcar se cultiva prácticamente en su totalidad bajo sistemas de riego, más del 95% del área sembrada se riega, y esto ocasiona un elevado porcentaje de HH azul, que junto con el alto rendimiento agrícola del cultivo, 72 ton/ha, generan un HH promedio de 200 (lt/kg), la menor para todos los cultivos en el periodo seleccionado (Cuadro 26).

La HH promedio para el banano es de 405.5 (lt/kg) (Cuadro 26), 67% verde y 33% azul (Gráfico 19), con un rendimiento de 33,4 (ton/ha). Más de la mitad de la superficie sembrada se cultiva bajo riego, y aun que la HH promedio es baja, se puede mejorar este indicador incrementando el rendimiento agrícola del producto. En la provincia de Los Ríos el rendimiento agrícola es considerablemente más alto, alcanza 57 (ton/ha), 24 puntos sobre el promedio nacional.

De los cultivos transitorios la papa presenta la menor HH promedio con 563,77 (lt/kg), 30% azul y 70% verde (Cuadro 26 y Gráfico 19). La mayor parte de su producción se hace bajo secano, más del 70%, es decir que depende principalmente del agua de lluvia, lo que denota en un alto contenido de HH verde.

Finalmente la palma africana es el cultivo permanente con mayor HH promedio y con menor superficie bajo riego, solamente el 9% se riega, el resto se produce bajo secano. Su HH promedio es de 1167,6 (lt/kg), compuesta por 30% azul y 70% verde. Por lo tanto, las precipitaciones son la principal fuente de agua para la palma africana, y esto puede causar desequilibrios en los ecosistemas, ya que el agua capturada por la palma no regresa al ciclo hidrológico (Cuadro 26 y Gráfico 19). Si bien la productividad promedio de la palma africana en Ecuador es de 11,12 tm/ha la de Colombia y Perú aun es mayor, quienes tienen un rendimiento de 15.51 y 13.69 tm/ha, respectivamente; ya que estos países realizan altas inversiones en tecnología para el desarrollo de este cultivo, por su creciente demanda internacional (MAGAP, 2013:2).

- A continuación se analiza la HH nacional, y sus componentes verde y azul para cada cultivo en el año 2010.

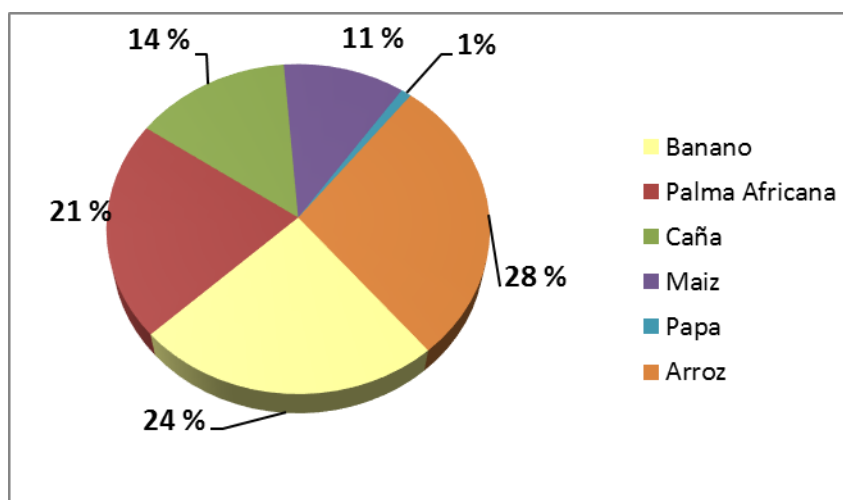
Cuando se incluye la producción de cada cultivo, la distribución de la HH cambia drásticamente si la comparamos con la HH promedio. Sin embargo, el arroz sigue siendo el cultivo con la mayor HH, representando el 28% de la HH nacional, seguido por el banano con 24%, la palma africana con 21%, la caña de azúcar con 14%, el maíz con el 11% y finalmente la papa con el 1%. De esta forma, los cultivos permanentes cuya producción se usa para la industria y la exportación, generan el 60% de la HH nacional, y los cultivos transitorios que se usan mayoritariamente para el consumo nacional el 40% restante (Cuadro 24).

**.Cuadro 24: HH nacional, HH azul y HH verde de la Producción Agrícola 2010**

	Producto	HH azul	HH verde	HH Nacional	%
		Millones (m <sup>3</sup> )			
<b>Cultivos Permanentes</b>	Banano	1774,703	987,758	2762,46	59,83
	Palma Africana	706,88	1736,56	2443,45	
	Caña	1083,34	529,26	1612,60	
<b>Cultivos Transitorios</b>	Maíz	436,86	815,00	1251,85	40,17
	Papa	37,37	70,07	107,44	
	Arroz	870,71	2348,51	3219,22	
	<b>Total</b>	<b>4909,86</b>	<b>6487,16</b>	<b>11397,03</b>	
	Porcentaje	43,08	56,92		

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006, Anuario Meteorológico 2010 INHAMI  
Elaboración: Andrés Silva

**HH nacional por productos**

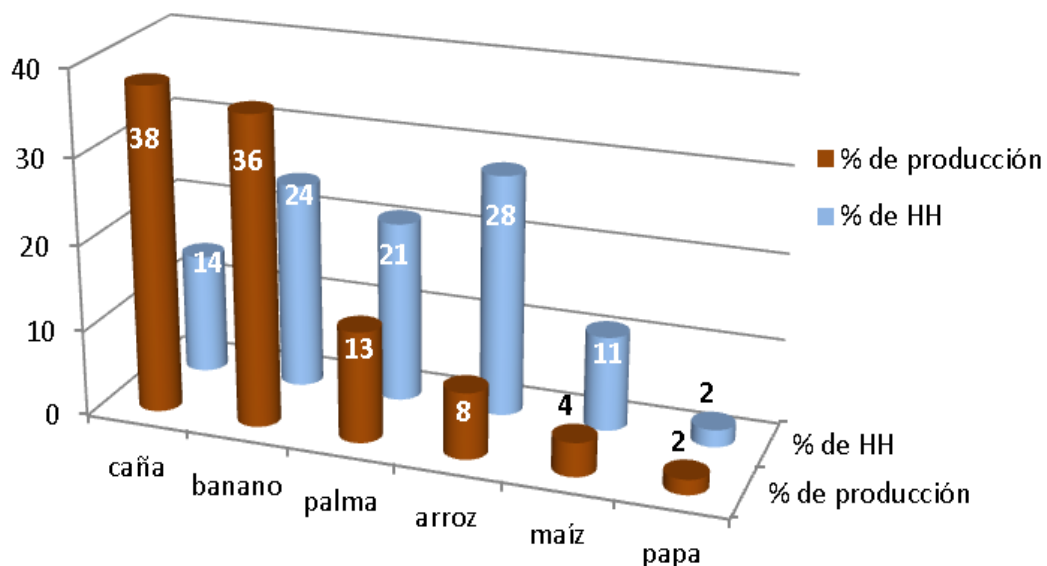


Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006, Anuario Meteorológico 2010 INHAMI  
Elaboración: Andrés Silva

La HH nacional asciende a **11397.03 millones (m<sup>3</sup>)**, que representa el volumen total de agua necesaria para la producción agrícola 2010, compuesta en un 43% de HH azul y un 57% de HH verde (Cuadro 24). Esto muestra que la producción agrícola nacional depende principalmente del agua que proviene de las precipitaciones, sin embargo el agua de riego también juega un papel fundamental, ya que complementa los requerimientos de agua incrementando los niveles de producción y diversificándola.

En el Gráfico 20, observamos que la HH no es necesariamente mayor para los cultivos de mayor producción, el arroz evidencia claramente este aspecto. A pesar de representar solamente el 8% de la producción agrícola del 2010, es el cultivo con mayor HH nacional, con 3219,22 Millones (m<sup>3</sup>) (Cuadro24), compuesta en un 27% de HH azul y un 73% de HH verde (Gráfico 21). El arroz se produce casi en su totalidad para el consumo nacional y es parte fundamental de la dieta a nivel nacional e incluso a nivel mundial<sup>39</sup>. Se puede justificar el intensivo uso de agua en el cultivo de arroz, ya que este se siembra en condiciones de inundación, y tiene una gran importancia en la seguridad alimentaria nacional, pero los niveles de rendimiento pueden ser mejorados y con esto se reduciría su HH.

**Gráfico 20: Porcentajes de HH Nacional y Porcentajes de Producción Nacional por cultivos 2010**



Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006, Anuario Meteorológico 2010 INHAMI, ESPAC 2010  
Elaboración: Andrés Silva

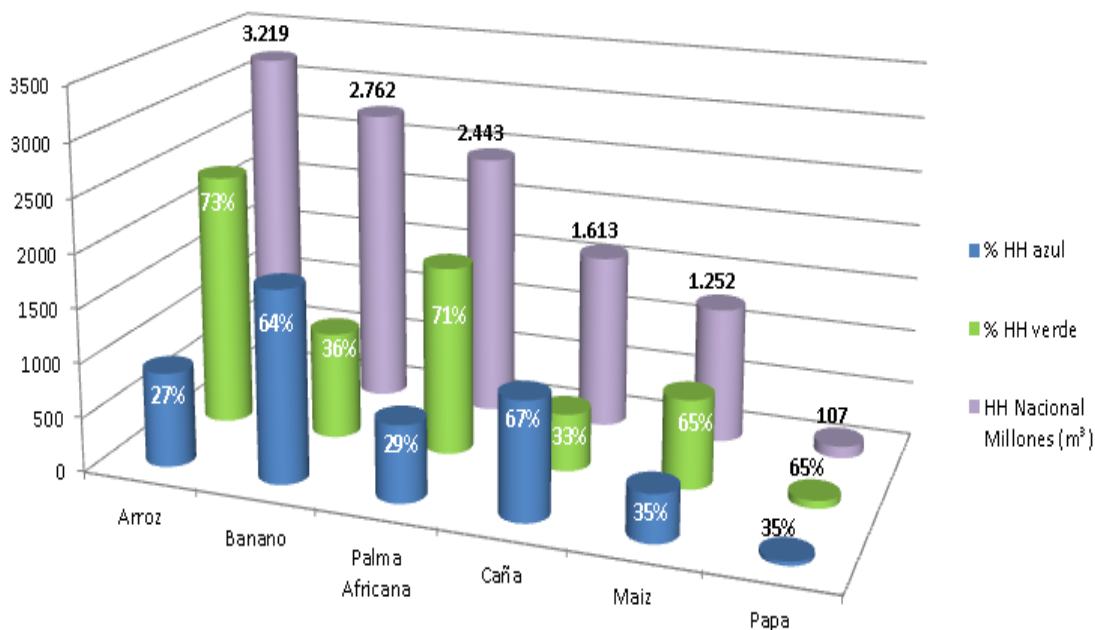
El maíz representa el 11% de la HH nacional, con 1251,85 Millones (m<sup>3</sup>) (Cuadro 24), lo que se puede atribuir a su bajo nivel de rendimiento agrícola y producción. Este producto incluso debe ser compensado con importaciones para cubrir la demanda nacional. Se compone en un 35% de HH azul y 65% de HH verde (Gráfico 21).

<sup>39</sup> Según la FAO el arroz proporciona el 20 por ciento del suministro de energía alimentaria a nivel mundial

La papa representa el 2% de la producción nacional y coincidentemente, también representa el 2% de la HH nacional (Gráfico 20), su HH verde es bastante alta, 65%, y la HH azul representa el 35%. Este cultivo también juega un rol importante en la seguridad alimentaria nacional sobre todo en la Sierra.

La caña de azúcar que es el cultivo de mayor producción a nivel nacional, con el 38%, y representa el 14% de HH nacional (Gráfico 20), está en cuarto lugar considerando los valores de HH a nivel nacional, con 1612,60 millones (m<sup>3</sup>). Cuenta con un 67% de HH azul y un 33% de HH verde (Cuadro 24).

**Gráfico 21: HH nacional de la Producción Agrícola Ecuatoriana año 2010.**



Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006, Anuario Meteorológico 2010 INHAMI, ESPAC  
Elaboración: Andrés Silva

La palma africana con el 13% de la producción nacional representa el 21% de la HH nacional (Gráfico 20), con 2443,45 Millones (m<sup>3</sup>) (Cuadro 27). Es el cultivo que usa menor cantidad de agua de riego, apenas 5%. Se conforma de un 29 % de HH azul y la HH verde el 71% adicional.

El banano que en su HH promedio registra el segundo valor más bajo, y para su HH nacional representa el segundo valor más alto, y el segundo lugar respecto a la producción. Es alto en demanda de HH azul con un 64% y un 36% de HH verde. Su producción se hace mayoritariamente para la exportación. Según datos del BCE

para el 2010 se exportaron 5156475 (ton) de banano, es decir el 68% de la producción nacional.

Considerando la HH promedio de banano, 405,5 (m<sup>3</sup>/ton), se estaría generando un flujo de Agua virtual de 2090.95 Millones (m<sup>3</sup>), es decir el 18% HH nacional, hacia las naciones que importan este cultivo, principalmente, EEUU, Rusia y la Unión Europea, que representa un flujo muy importante de agua que sale del país sin ningún tipo de control o cuantificación. Sin embargo, es necesario generar una balanza donde se comparen los productos intensivos en agua que se importan y se exportan, para determinar si una nación es importadora o exportadora de agua virtual.

Adicionalmente tomando en cuenta que la producción agrícola se concentra en la región de la costa, los recursos hídricos asociados a las exportaciones de banano representan un flujo muy importante que debe ser considerado en la gestión de dichos recursos. Esta producción para la exportación representa el ingreso de divisas al país, pero no contribuye con la seguridad alimentaria nacional.

Para apreciar de mejor manera la disponibilidad y presión sobre los recursos hídricos nacionales es necesario conocer su oferta y demanda. Para el caso de la demanda esta información se refleja mediante la HH nacional de cada cultivo en cada provincia. El problema se presenta al momento de conocer la oferta de agua, ya que esta información se encuentra detallada en relación a las 9 demarcaciones hidrográficas y desagregada por cuencas hidrográficas, por lo que es complejo hacer un cruce de información entre la demanda de agua por provincias y la oferta que se presenta por cuencas. Esta fue una limitación importante para el análisis de los resultados de la HH nacional.

- A continuación se realiza el análisis de HH nacional a nivel de Provincias

En la Provincia del Guayas se concentra el 46,5 % de la producción agrícola nacional y el mayor porcentaje de la HH nacional, 38%, con 4318 m<sup>3</sup> (Cuadro 25). Con un 45% de HH azul y 55% de HH verde, como se observa en el Gráfico 22. Aquí se realiza la mayor producción de caña de azúcar y arroz a nivel nacional, junto con un importante porcentaje del cultivo de banano y maíz. Por lo tanto los recursos hídricos de esta provincia reciben una fuerte presión, ya que tanto la caña de azúcar como el banano se cultivan en gran parte bajo sistemas de riego, y son los cultivos de mayor producción, y el arroz y la caña presenta altas HH promedio. Es necesario analizar la disponibilidad de recursos hídricos en el Guayas para determinar si esta

vasta producción agrícola es sostenible en relación a la disponibilidad de recursos hídricos.

Le sigue la Provincia de Los Ríos con el 29% de HH nacional, 3306 m<sup>3</sup>, y el 26% de la producción. Concentra la mayor producción de banano y maíz a nivel nacional, y también se cultiva arroz y palma africana. Su HH azul representa el 39% y la HH verde el 61%. Es decir que las precipitaciones juegan un rol fundamental en ciclo agrícola en esta provincia, pero esta alta demanda de agua puede generar futura escasez del recurso.

**Cuadro 25: HH nacional y Producción Agrícola por Provincias y Porcentajes 2010**

Provincia	Producción ton	% de Producción %	HH nacional m <sup>3</sup>	% HH nacional %
Guayas	9467026	46,5	4318	37,9
Los Ríos	5244303	25,8	3306	29,0
El oro	1892647	9,3	1112	9,8
Esmeraldas	1848332	9,1	1713	15,0
Imbabura	666124	3,3	113	1,0
Cañar	555519	2,7	123	1,1
Nororiente	293565	1,4	336	3,0
Carchi	167427	0,8	25	0,2
Loja	108024	0,5	267	2,3
Cotopaxi	63637	0,3	36	0,3
Chimborazo	47448	0,2	47	0,4
<b>Total</b>	<b>20354052</b>	<b>100,0</b>	<b>11397</b>	<b>100,0</b>

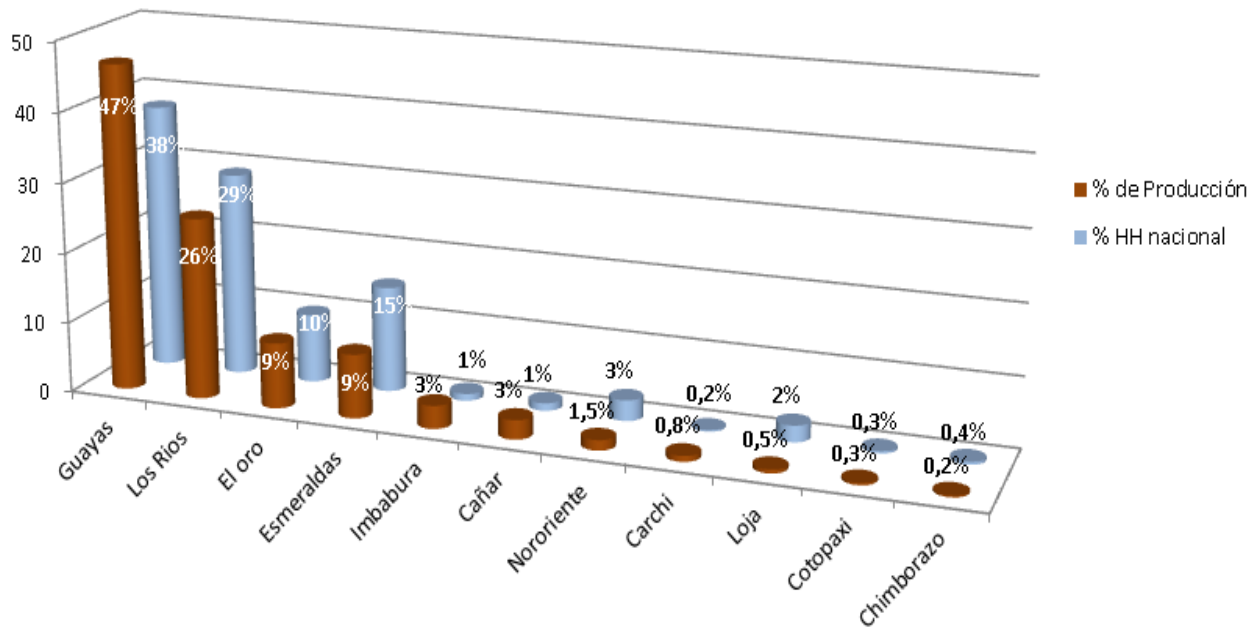
Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006, Anuario Meteorológico 2010 INHAMI, ESPAC  
Elaboración: Andrés Silva

La provincia de Esmeraldas concentra la mayor producción de palma africana, y solamente considerando este cultivo está en tercer lugar según su HH nacional. Representa el 15% de la HH nacional, 1713 m<sup>3</sup>, y el 9% de la producción (Cuadro 25). Ya se mencionó que la mayor parte de la producción de palma se hace bajo secano, como solamente se analizó este cultivo en la provincia de esmeraldas la HH azul representa el 29% y la HH verde el 71%.

La provincia de El Oro ocupa el tercer lugar por nivel de producción después de la provincia de Los Ríos y representa el 9,3% de la producción nacional (Cuadro 25). De la misma forma que en la provincia de Esmeraldas en El Oro solo se consideró la producción de un cultivo, el banano. Su HH es de 1112 m<sup>3</sup>, 10% de la HH nacional,

con 72% de HH azul y 28% de HH verde (Gráfico 22), esto resalta la importancia que tienen los sistemas de riego en esta provincia para el cultivo de banano.

**Gráfico 22: Porcentajes de HH Nacional y de Producción Nacional por Provincias 2010**



Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006, Anuario Meteorológico 2010 INHAMI, ESPAC  
Elaboración: Andrés Silva

Entre las provincias de Guayas, Los Ríos, Esmeraldas y el Oro acumulan el 91,7% de la HH nacional y el 90,7 % de la producción agrícola nacional, para los cultivos de banano, palma africana, caña de azúcar, arroz y maíz duro y seco, lo que claramente demuestra la concentración de los recursos hídricos en la Costa ecuatoriana, a pesar de contar el con 19% del potencial hídrico nacional que corresponde a la vertiente del Pacífico, y nuevamente refleja la fuerte demanda de recursos hídricos que se da en esta región para la producción agrícola, y a su vez demanda la necesidad de contar con información sobre la disponibilidad de agua en cada región, de tal manera que se pueda llevar a cabo una producción que no degrade los recursos hídricos.

Las provincias de Imbabura, Cañar, Nororiente, Charchi, Chimborazo, Loja, Cotopaxi y Chimborazo, concentran el 8,3 % de la HH nacional, y el 9,3% de la producción nacional. En la región Sierra y Oriente la producción agrícola se desempaña enfocada al consumo nacional, y aquí se encuentra la mayor parte del potencial hídrico nacional, con el 81% de los recursos hídricos correspondientes a la vertiente Amazónica. Claramente la producción agrícola debe desarrollarse en las zonas

donde los recursos hídricos están disponibles y mantener un control intensivo, en las zonas donde la demanda es mayor y la disponibilidad baja.

La información que se obtienen mediante la cuantificación de los flujos físicos de agua asociada a la producción agrícola se refleja mediante la HH, y permite visualizar el agua oculta en los alimentos, generando responsabilidad sobre su gestión tanto a consumidores como productores, aportando a los análisis monetarios tradicionales otra dimensión que complete la gestión y el análisis de los recursos hídricos. La HH es una herramienta para la gestión de los recursos hídricos, importante para decidir donde producir y que producir, ya que al visualizar las cuotas de agua para la producción de cada cultivo nos permite tomar decisiones considerando los recursos hídricos disponibles.

Se puede observar que la HH depende de varios factores, pero destacan los rendimientos agrícolas de cada cultivo, que a su vez, dependen de la tecnificación e innovación en los sistemas de cultivo y riego. Es decir que al implementar sistemas de riego se logra reducir los niveles de huella hídrica, siempre y cuando estos sistemas fijen sus objetivos en el mejoramiento continuo de la productividad.

## **4.- Conclusiones y Recomendaciones**

### **4.1 Conclusiones**

La Gestión de los Recursos hídricos en la producción agrícola ecuatoriana puede diseñarse de una forma más objetiva al conocer las demandas hídricas para cada cultivo en cada región, ya que a partir de esta información se puede decidir que sembrar y donde sembrar. Esto es posible mediante análisis y estimación de la Huella Hídrica, que proporciona la información de los flujos de agua asociados a un cultivo o producto, y de esta manera se trasciende del análisis monetario tradicional, integrando a la gestión los flujos físicos de agua.

La relevancia de este indicador depende de la información disponible tanto de los recursos hídricos como de los cultivos, y en el caso ecuatoriano no se cuenta con la información necesaria para comparar la demanda de agua de la producción agrícola con la disponibilidad de este recurso. Sin embargo, la HH refleja el agua oculta en los cultivos, y las fuentes de donde provienen, dando una idea clara de la intensidad en usos de agua de cada cultivo.

La HH también es un indicador que permite generar conciencia sobre los usos del agua, ya que permite visualizar el agua oculta en los diferentes productos. Como en el caso ecuatoriano donde podemos afirmar que para producir un kilogramo de banano, se necesitan 405 litros de agua, o 564 litros para un kilogramo de patatas.

La Gestión de los recursos hídricos en el Ecuador se desarrolló de forma caótica, ya que contó con varias instituciones que no se ciñeron a una misma política, y fueron generando proyectos según las necesidades que se presentaban, y concentrando su actividad en la gestión del riego. Aun así, los sistemas de riego quedaron en manos de los grandes agroexportadores y en menor proporción sirven a los medianos y pequeños agricultores.

Recién el año 2008 se nombra la Autoridad Única del agua y se inicia la gestión integral de los recursos hídricos nacionales por cuencas hidrográficas. Esto permite visualizar la disponibilidad de agua para las 9 demarcaciones hidrográficas y analizar la gestión del agua más allá del riego, para definir disponibilidad y demanda del recurso, y analizar su distribución y usos a nivel nacional.

Los flujos de agua en la producción agrícola se concentran en la costa, generando una fuerte presión sobre los recursos hídricos que merece ser analizada, ya que esta región tienen el 19% del potencial hídrico nacional, el 44% de la población y el 90.7 % de la HH nacional, lo que denota un desequilibrio en la distribución de la

producción agrícola a nivel nacional que puede causar el deterioro de los recursos hídricos.

Para optimizar el volumen de agua asociado a cada cultivo es necesaria la intervención del estado mediante capacitaciones, acceso a semillas mejoradas, rehabilitación de sistemas de riego, control a los grandes agroexportadores, inserción de tecnologías, educación, y otras acciones que permitan mejorar el rendimiento agrícola de los cultivos y por lo tanto reducir sus HH.

El riego es determinante al momento de mejorar la productividad agrícola, sin embargo a nivel nacional la industria agroexportadora concentra los sistemas de riego, principalmente para la producción de banano. Por otro lado, para la producción industrial nacional, el riego se concentra en la producción de caña de azúcar. En ambos casos son los grandes productores los que reciben los beneficios del riego.

## 4.2 Recomendaciones

Los recursos hídricos son fundamentales e irremplazables para el desarrollo socioeconómico del país, por lo que es necesario una mejora continua de su gestión, mediante la optimización de las herramientas y la información con la que se cuenta y la adición de nuevas herramientas que generen nuevos puntos de vista para la toma de decisiones.

La información que se genera mediante la estimación de la huella hídrica se puede aplicar a varios campos, no solamente a la producción agrícola. Así, en actividades intensivas en uso de agua, como la minería, se pueden estimar los flujos de agua asociados a esta actividad y posteriormente gestionarlos de forma eficiente. Y de esta forma la cuantificación de los flujos físicos de agua toma relevancia y puede ser integrada como una herramienta para la gestión integral de los recursos hídricos.

Es necesario mejorar la información sobre los recursos hídricos a nivel nacional, en aspectos claves como los sistemas de riego, las fuentes de agua subterránea, o la generación de aguas negras. Ya que esta información es imprescindible para la gestión integral de los recursos hídricos.

Se deben realizar estudios para determinar las zonas aptas para cultivar bajo riego, considerando la disponibilidad de agua y las condiciones del suelo. El riego debe ser direccionado hacia los pequeños y medianos agricultores, y no solamente para los grandes productores, de esta forma se puede garantizar la soberanía alimentaria nacional, incrementar los niveles de rendimiento agrícola y bajar la HH.

Los flujos de agua que salen fuera del territorio nacional mediante productos intensivos en agua también deben ser evaluados para determinar si se está importando o exportando agua, y en caso de ser exportadores, analizar si es sostenible dicha actividad.

## 5.- Referencias Bibliográficas

Acosta Alberto, 2010, ***El agua, un derecho humano no un negocio***, Rebellion.org  
<http://www.rebellion.org/noticias/2010/5/105741.pdf> [Consulta:22/12/2014]

Aguilera Federico, Alcántara Vincent (1994) De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica. Barcelona, ICARIA: FUHEM

Aguilera Federico, (1994) Agua, Economía y Medio Ambiente: interdependencias físicas y la necesidad de nuevos conceptos. Departamento de Economía aplicada Universidad de la Laguna, Revista estudios Agro-sociales Num 167 (enero marzo)

Arboleda Morejón, Daniel (2010), Inequidad en la distribución de los recursos hídricos para el riego en el Ecuador: estudio de caso del Sistema de Riego Nieves Toma en la subcuenca del río Guayllabamba (Disertación previa a la obtención del Título de Economista). Repositorio PUCE.

Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain, Maite M. Aldaya and Mesfin M. Mekonnen (2011) ***The Water Footprint Assessment Manual***. London Washington, DC, Water Footprint Network: Earthscan.  
<http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>  
[Consulta:24/11/2014]

Banco Central del Ecuador (2010), ***Evolución de la Economía Ecuatoriana, Junio del 2010***, Boletín Mensual.  
[http://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorReal/Previsiones/IndCoyuntura/EvolucionEconEcu\\_06-10.pdf](http://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorReal/Previsiones/IndCoyuntura/EvolucionEconEcu_06-10.pdf) [Consulta:20/01/2015]

Banco Central del Ecuador (2014), ***Estadísticas Macroeconómicas, Presentación Coyuntural***. Dirección de Estadísticas Económicas, Enero.  
<http://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorReal/Previsiones/IndCoyuntura/EstMacro012014.pdf> [Consulta: 20/12/2014]

Baquero, Mielles, 2015, ***Los 'booms' en perspectiva: cacao y banano, Foro Economía Ecuador***. Revista de Análisis y Divulgación Científica de Economía y Empresa. Digital, Edición N2. <http://foreconomiaecuador.com/>  
[Consulta:11/03/2015]

Beltrán María, Velázquez Esther (2011, Abril) ***Del metabolismo social al metabolismo hídrico***, Universidad Autónoma de Barcelona y Universidad

Pablo de Olavide. [http://www.ecoeco.es/wp-content/uploads/downloads/2012/07/DT-01\\_2011.-MJBeltran-y-EVelazquez.Del-metabolismo-social-al-metabolismo-h%C3%ADdrico.pdf](http://www.ecoeco.es/wp-content/uploads/downloads/2012/07/DT-01_2011.-MJBeltran-y-EVelazquez.Del-metabolismo-social-al-metabolismo-h%C3%ADdrico.pdf)  
[Consulta:11/24/2014]

Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN), 2009, **Memorias Técnicas del Taller: Integración de los Pronósticos Estacionales con la Información Hidrológica para los sectores vinculados al agua en el Oeste de Sudamérica**. ISBN: 978-9978-9934-2-2.

Centro de Investigación de la caña de azúcar del Ecuador (CINCAE) 2004, **Fisiología, Floración y mejoramiento Genético de la caña de azúcar**, publicación técnica 3. <http://cincae.org/wp-content/uploads/2013/05/FISOLOGIA-Y-MEJORAMTO.pdf>  
[Consulta:01/04/2015]

Collado Bárbara, Saavedra Iann (2010), **Agua Virtual en los países en desarrollo, Master Gestión Fluvial Sostenible y Gestión Integrada de Agua. Universidad de Zaragoza**.  
<http://www.unizar.es/mastergestionaguas/docu/17.pdf> [Consulta:1/12/2014]

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2012, **Diagnóstico de las Estadísticas del Agua en Ecuador, Informe Final**.  
<http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIIC%202012-2.pdf> [Consulta:11/24/2014]

Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) 2002, División Hidrográfica del Ecuador, Memoria Técnica, Quito.  
[http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrabajo/SG\\_REG\\_EMAB\\_IX\\_dt%203\\_Ax2.pdf](http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrabajo/SG_REG_EMAB_IX_dt%203_Ax2.pdf) [Consulta:12/29/2014]

Consortio de Capacitación para el Manejo de los Recursos Naturales Renovables (CAMAREM), 2014, Foro de los Recursos Hídricos, Octavo encuentro Nacional, Quito. <http://www.camaren.org/acuerdos-propuestas-y-conclusiones/>  
[Consulta:22/11/2014]

Cuenca Nelson (2008), Gestión de Recursos Hídricos en el Ecuador, Secretaria Nacional del Agua.

[https://www.academia.edu/11931765/GESTI%C3%93N\\_DE\\_RECURSOS\\_H%C3%8DDRICOS\\_EN\\_EL\\_ECUADOR](https://www.academia.edu/11931765/GESTI%C3%93N_DE_RECURSOS_H%C3%8DDRICOS_EN_EL_ECUADOR) [Consulta:22/11/2014]

DEL THE, TALLER DE HISTORIA ECONÓMICA, 2011, **La Época Cacaotera en Ecuador**, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito <http://puce.the.pazymino.com> [Consulta:22/12/2014]

Duarte, Efraín Alberto, (2007) Valoración económica del recurso hídrico para determinar el pago por servicio ambiental en la microcuenca El Cianuro, Las Vegas, Santa Bárbara. Honduras: UNITEC..

Eichner A.S. (Ed.), Madrid, Hermann Blume, 1984.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006), Riego y Drenaje, **Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf> [Consulta:14/12/2014]

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, (2012), **Invertir en Agricultura para construir un futuro mejor**, Roma. [www.fao.org/docrep/017/ap661s/ap661s.pdf](http://www.fao.org/docrep/017/ap661s/ap661s.pdf) [Consulta:09/06/2014]

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2013), **INFORME SOBRE TEMAS HÍDRICOS. Afrontar la escasez de agua: Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria**, Roma. [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications) [Consulta:7/12/2014]

FAO (2015), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura AQUASTAT Ecuador. [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/ECU/indexesp.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ECU/indexesp.stm) [Consulta:12/12/2014]

Ferrín, Rosa (2004). **Economía y Medio Ambiente**. Repositorio digital PUCE. <ftp://ftp.puce.edu.ec/.../Economia/.../Economia%20Ambiental/Leyes%20> [Consulta:10/12/2014]

Field, Barry, (1995) **Economía Ambiental: Una introducción**, Colombia, McGraw Hill

Fischer-Kowalski, M. and Haberl, H. (1998), **Sustainable development: socio-economic metabolism and colonization of nature. International Social**

**Science Journal**, 50: 573–587. doi: 10.1111/1468-2451.00169  
[Consulta:02/09/2014]

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007, **FAO water, Water at a glance**. <http://www.fao.org/nr/water/art/2007/glance/facts.html>  
[Consulta:14/12/2014]

Foro de Recursos Hídricos (FRH), 2008, **El despojo del agua y la necesidad de una transformación urgente**. Ecuador.  
<http://www.laredvida.org/im/bolentines/despojo.pdf> [Consulta:02/05/2015]

Foro Centroamericano y de República Dominicana Seguridad Hídrica y Alimentaria (2012), **El nexa entre el agua y la producción de alimento**, GWP Centroamérica, San José, Costa Rica.

Georgescu Roegen, Nicholas (1975, Enero) Energía y mitos económicos. **Southern Journal, Georgia**. <http://es.scribd.com/doc/86612795/Energia-y-Mitos-Economicos-Georgescu-Roegen> [Consulta:02/05/2014]

Global Water Partnership (GWP) (2009) Estrategia 2009 - 2013  
[http://www.ticambia.org/\\_recursos/1445-gwpestrategiaspa-extractado.pdf](http://www.ticambia.org/_recursos/1445-gwpestrategiaspa-extractado.pdf)  
[Consulta:29/12/2014]

Global Water Partnership (GWP), 2003, **La Gobernabilidad de la Gestión del Agua en el Ecuador**, Ecuador.  
[http://www.cepal.org/DRNI/proyectos/samtac/actividades\\_nacionales/ecuador/1/taller1.pdf](http://www.cepal.org/DRNI/proyectos/samtac/actividades_nacionales/ecuador/1/taller1.pdf) [Consulta:02/11/2014]

González de Molina, Manuel y Víctor Manuel Toledo (2011), *Metabolismos, naturaleza e historia: hacia una teoría socio-ecológica de las transformaciones*, Barcelona, Icaria editorial.

González-Martínez (2010) El flujo de materiales y el desarrollo económico en España: un análisis sobre desmaterialización (1980-2004) Revista Iberoamericana de Economía Ecológica Vol. 14: 33-51  
[http://www.redibec.org/IVO/rev14\\_03.pdf](http://www.redibec.org/IVO/rev14_03.pdf) [Consulta:14/12/2014]

INEC, **Estudios Demográficos en profundidad. Análisis y Proyección de la Población Económicamente Activa (PEA) del Ecuador**.  
<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/enemdu-2014/> [Consulta:04/04/2015]

Instituto Internacional del Manejo del Agua, IWMI, (2007), **Agua para la Alimentación, Agua para la Vida. Evaluación exhaustiva del manejo del Agua en Agricultura.** Londres: Earthscan y Colombo. [http://www.fao.org/nr/water/docs/ca\\_summary\\_es.pdf](http://www.fao.org/nr/water/docs/ca_summary_es.pdf) [Consulta:24/11/2014]

Madrid, Cristina (2007) **Hidratar el Metabolismo Socioeconómico: Los Flujos de Agua Virtual y el Metabolismo Hídrico. Una aproximación al sector hortofrutícola Andaluz.** Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona, Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental. <http://www.recercat.net/bitstream/handle/2072/13466/TR%20Cristina%20Madrid.pdf?sequence=1> [Consulta:05/10/2014]

Madrid, C. & E. Velázquez. (2008). El metabolismo hídrico y los flujos de agua virtual. Una aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía (España). Revista Iberoamericana de Economía Ecológica Vol. 8: 29-47.

Martinez Alier, Jhoan (1998) **CURSO DE ECONOMÍA ECOLÓGICA.** Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Oficina Regional para América Latina y el Caribe, México, D.F. México.

Mendiola Gonzalo, Fernando (2012) **El metabolismo social en la enseñanza de la historia económica: reflexiones globales y propuestas concretas.** Salamanca: Universidad Pública de Navarra. <http://www.unavarra.es/dep-economia/personal/personal-docente-e-investigador?rangoLetras=mn&uid=2486> [Consulta:02/05/2014]

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), 2013, **Plan Nacional de Riego y Drenaje,** Subsecretaría de Riego y Drenaje, Quito, Ecuador. <http://balcon.magap.gob.ec/mag01/magapaldia/2013/Pdf,%20banner,%20eventos/PNRD.pdf> [Consulta:15/01/2015]

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), Boletín Situacional, Palma Africana. SINAGAP. [http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/BoletinesCultivos/palma\\_africana.pdf](http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/BoletinesCultivos/palma_africana.pdf) [Consulta:15/05/2015]

Naredo,, J.M., (2003) **La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas de análisis económico.** Madrid, Fundación Argentaria.

Naredo, J.M (2001), ***Economía y sostenibilidad. La economía ecológica en perspectiva.*** Polis, Revista de la Universidad Bolivariana <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30500213>> ISSN 0717-6554 [Consulta:15/01/2015]

Ordoñez Gálvez Juan (2011), ***Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico,*** Lima, Perú, Sociedad Geográfica de Lima. [http://www.gwp.org/Global/GWPSAm\\_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo\\_Hidrologico.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWPSAm_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo_Hidrologico.pdf) [Consulta:15/01/2015]

Pidwirny, M. (2006). "The Hydrologic Cycle". Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition. Date Viewed. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8b.html>

Pimentel David y M. Pimentel (1979) ***Food energy and society,*** Londres. [http://www.eurosur.org/medio\\_ambiente/not6.htm#17](http://www.eurosur.org/medio_ambiente/not6.htm#17) [Consulta:29/09/2014]

RÍO + 20 (2012), ***Seguridad Hídrica para un Planeta Bajo Presión, Transición a la sostenibilidad: retos y soluciones interconectados Documentos de Política 1,*** Londres. <http://www.diversitasinternational.org/resources/outreach/PolicyBrief%20Rio-20%20WaterSecurity%20Spanish.pdf> [Consulta:8/12/2014]

Secretaría Nacional del Agua, SENAGUA, (2009) ***INFORME DE RENDICIÓN DE CUENTAS 2008 – 2009.*** [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/RESPALDOS/R\\_PLANIF/consultoria%20agua%20raul%20vega/SENPLADES-3ra%20Entrega/informe\\_labores\\_SENAGUA\\_2009.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/RESPALDOS/R_PLANIF/consultoria%20agua%20raul%20vega/SENPLADES-3ra%20Entrega/informe_labores_SENAGUA_2009.pdf) [Consulta:24/11/2014]

SENAGUA, (2011), ***Proyecto CEPAL-GIZ Estudio situacional del Ecuador en cuanto al Manejo de Recursos Hídricos.*** [http://www.cepal.org/deype/noticias/noticias/1/44071/SENAGUA\\_oferta-demanda.pdf](http://www.cepal.org/deype/noticias/noticias/1/44071/SENAGUA_oferta-demanda.pdf) [Consulta:17/12/2014]

Senplades (2014) - Secretaría Técnica para la Erradicación de la Pobreza - Secretaría Técnica del Agua - Banco del Estado - ***Agua Potable y Alcantarillado para Erradicar la Pobreza en el Ecuador.*** Quito, Ecuador. <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/FOLLETO-Agua-SENPLADES.pdf> [Consulta:9/02/2015]

Sistema de Indicadores de Soberanía y Seguridad Alimentaria y Nutricional, SISSAN, Indicadores SISSAN, Ficha Metodológica. [http://www.siise.gob.ec/siiseweb/PageWebs/SISSAN/ficsan\\_K006.htm](http://www.siise.gob.ec/siiseweb/PageWebs/SISSAN/ficsan_K006.htm)

Sumba Lusero, Producción Histórica de Maíz Duro y Seco, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información, Quito, Ecuador.

Toledo, Gonzales (2007) **El metabolismo social: Las relaciones entre sociedad y la naturaleza.** Barcelona, ICARIA, ISBN 978-84-7426-756-3. <http://www.uv.mx/personal/fpanico/files/2011/04/Toledo-y-Gonzalez-de-Molina-Metabolismo-social.pdf> [Consulta:2/10/2014]

Vallejo Galárraga María (2010) PERFILES METABÓLICOS DE TRES ECONOMÍAS ANDINAS: COLOMBIA, ECUADOR Y PERÚ (TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTORADO EN ECONOMÍA DEL DESARROLLO) FACULTAD LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES SEDE - ECUADOR

VARGAS SÁNCHEZ GUSTAVO (2006). INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA ECONÓMICA EL CASO DE MÉXICO. México Pearson Education.

VELÁSQUEZ, E. (2009). Agua virtual, huella hídrica y el binomio agua-energía: repensando los conceptos. Boletín Especial ECODES: Agua: Hitos y Retos 2009. Madrid

Yépez, María, Sin Fecha, Inversión y Crecimiento Económico en el Ecuador (1965-1990) (Tesis de Maestría en Economía) Facultad de Latinoamericana de Ciencias Sociales, Sede Ecuador. <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/282/3/TFLACSO-02-1999MSY.pdf> [Consulta:02/02/2015]

Zapatta, A. (2009) **Consumo de agua en la agroindustria ecuatoriana**, en M. S. Emanuelli, J. Jonsen y S. M. Suárez, Azúcar roja, desiertos verdes. Amsterdam, FIAN Internacional, FIAN Suecia, HIC-AL, SAL.

Zapatta, A. y Gasselin P. (2005) EL RIEGO EN EL ECUADOR: PROBLEMÁTICA. CAMAREN, Quito, Ecuador.

## Anexos

### Anexo A

#### Enfoque FAO Penman-Monteith

El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado mediante la definición del Cultivo de referencia como un cultivo hipotético de referencia con una altura de 0.12 m, una resistencia superficial fija de 70 s m<sup>-1</sup> y un albedo de 0.23. La superficie de referencia se asemeja a una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente, sombreando totalmente la tierra y con un adecuado aporte de agua. El método supera las deficiencias del anterior método FAO Penman y proporciona valores más consistentes con el uso real de agua por parte de los cultivos en todo el mundo. En base a la ecuación original de Penman-Monteith y a las ecuaciones de resistencia aerodinámica y de superficie, el método FAO Penman-Monteith para estimar ETo, se expresa como:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 U_2)}$$

Donde:

ETo: evaporatranspiración de referencia (mm día<sup>-1</sup>)

Rn: radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)

Ra: radiación extraterrestre (mm día<sup>-1</sup>)

G: flujo de calor del suelo (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)

T: temperatura media del aire a 2m de altura (°C)

U2: velocidad del viento a 2m de altura (m s<sup>-1</sup>)

es: presión de vapor de saturación (kPa)

ea: presión real de vapor (kPa)

Δ pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>)

γ constante psicométrica (kPa °C<sup>-1</sup>)

La ecuación usa registros climáticos estándar de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Para garantizar los cálculos, las mediciones climáticas se deben realizar a 2m (o ser convertidas a un valor equivalente) por encima de una superficie extensa de pasto verde, cubriendo el suelo y con suficiente disponibilidad de agua. Ninguna ecuación de evapotranspiración puede predecir la evapotranspiración perfectamente bajo cada situación climática debido a la simplificación en la formulación y errores en la medición de los datos.

La ecuación FAO Penman-Monteith es una representación simple de los factores físicos y fisiológicos que rigen el proceso de evapotranspiración. Con el uso de la definición de  $ETo$  de la FAO Penman-Monteith, se pueden calcular los coeficientes de cultivo en los sitios de investigación relacionando la evapotranspiración del cultivo ( $ETc$ ) con la  $ETo$  calculada, es decir,  $Kc = ETc/ETo$ . En el enfoque del coeficiente de cultivo, las diferencias en el dosel del cultivo y la resistencia aerodinámica en relación al cultivo de referencia hipotético se incluyen en el coeficiente de cultivo. El  $Kc$  sirve como un factor de agregación de las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos y la definición de referencia.

Fuente: Cropwat 8.0 manual en español FAO

## Anexo B: ET verde y azul del Banano en la Provincia de los Ríos 2010

Mes	Década	Etapas	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec	Et verde mm/dec	Et azul mm/dec
Ene	1	Inic	1	4,51	45,1	47,1	0	45,1	0
Ene	2	Inic	1	4,85	48,5	24,8	23,8	24,8	23,8
Ene	3	Inic	1	4,61	50,7	70,1	0	50,7	0
Feb	1	Inic	1	4,33	43,3	143,1	0	43,3	0
Feb	2	Inic	1	4,11	41,1	191	0	41,1	0
Feb	3	Inic	1	4,08	32,6	147,8	0	32,6	0
Mar	1	Inic	1	4,05	40,5	81,9	0	40,5	0
Mar	2	Inic	1	4,02	40,2	42,5	0	40,2	0
Mar	3	Inic	1	3,99	43,9	59,6	0	43,9	0
Abr	1	Inic	1	3,96	39,6	92,1	0	39,6	0
Abr	2	Inic	1	3,94	39,4	107,6	0	39,4	0
Abr	3	Inic	1	3,83	38,3	81,7	0	38,3	0
May	1	Des	1,01	3,75	37,5	48	0	37,5	0
May	2	Des	1,03	3,7	37	25	12	25	12
May	3	Des	1,04	3,66	40,3	16,7	23,6	16,7	23,6
Jun	1	Des	1,06	3,61	36,1	0,1	36	0,1	36
Jun	2	Des	1,08	3,56	35,6	0	35,6	0	35,6
Jun	3	Med	1,1	3,67	36,7	0	36,7	0	36,7
Jul	1	Med	1,1	3,74	37,4	0	37,4	0	37,4
Jul	2	Med	1,1	3,79	37,9	0	37,9	0	37,9
Jul	3	Med	1,1	3,87	42,6	0	42,6	0	42,6
Ago	1	Med	1,1	3,96	39,6	0	39,6	0	39,6
Ago	2	Med	1,1	4,04	40,4	0	40,4	0	40,4
Ago	3	Med	1,1	4,15	45,6	0	45,6	0	45,6
Sep	1	Med	1,1	4,25	42,5	0	42,5	0	42,5
Sep	2	Med	1,1	4,36	43,6	0	43,6	0	43,6
Sep	3	Med	1,1	4,44	44,4	0	44,4	0	44,4
Oct	1	Med	1,1	4,53	45,3	0	45,3	0	45,3
Oct	2	Med	1,1	4,62	46,2	0	46,2	0	46,2
Oct	3	Med	1,1	4,51	49,6	0	49,6	0	49,6
Nov	1	Med	1,1	4,4	44	0	44	0	44
Nov	2	Med	1,1	4,3	43	0	43	0	43
Nov	3	Med	1,1	4,27	42,7	0,1	42,6	0,1	42,6
Dic	1	Med	1,1	4,16	41,6	74	0	41,6	0
Dic	2	Med	1,1	4,1	41	111,1	0	41	0
Dic	3	Fin	1,08	4,38	48,1	89,8	0	48,1	0
								<b>689,6</b>	<b>812,4</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

## Anexo C: ET verde y azul del Banano en la Provincia del Guayas 2010

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego	Et verde	Et azul
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ene	1	Inic	1	3,93	39,3	28,8	10,6	28,8	10,5
Ene	2	Inic	1	4,08	40,8	33	7,8	33	7,8
Ene	3	Inic	1	4	44	51,7	0	44	0
Feb	1	Inic	1	3,92	39,2	82,1	0	39,2	0
Feb	2	Inic	1	3,84	38,4	104,3	0	38,4	0
Feb	3	Inic	1	3,86	30,9	81,1	0	30,9	0
Mar	1	Inic	1	3,89	38,9	46,9	0	38,9	0
Mar	2	Inic	1	3,92	39,2	25,8	13,4	25,8	13,4
Mar	3	Inic	1	3,87	42,5	31,6	10,9	31,6	10,9
Abr	1	Inic	1	3,81	38,1	45,3	0	38,1	0
Abr	2	Inic	1	3,76	37,6	50,6	0	37,6	0
Abr	3	Inic	1	3,66	36,6	33,8	2,9	33,8	2,8
May	1	Des	1,01	3,6	36	0,5	35,5	0,5	35,5
May	2	Des	1,03	3,56	35,6	0	35,6	0	35,6
May	3	Des	1,05	3,56	39,1	0	39,1	0	39,1
Jun	1	Des	1,07	3,55	35,5	0	35,5	0	35,5
Jun	2	Des	1,09	3,54	35,4	0	35,4	0	35,4
Jun	3	Med	1,1	3,64	36,4	0	36,4	0	36,4
Jul	1	Med	1,11	3,7	37	0	37	0	37
Jul	2	Med	1,11	3,74	37,4	0	37,4	0	37,4
Jul	3	Med	1,11	3,96	43,5	0	43,5	0	43,5
Ago	1	Med	1,11	4,18	41,8	0	41,8	0	41,8
Ago	2	Med	1,11	4,39	43,9	0	43,9	0	43,9
Ago	3	Med	1,11	4,52	49,7	0	49,7	0	49,7
Sep	1	Med	1,11	4,64	46,4	0	46,4	0	46,4
Sep	2	Med	1,11	4,77	47,7	0	47,7	0	47,7
Sep	3	Med	1,11	4,88	48,8	0	48,8	0	48,8
Oct	1	Med	1,11	5,05	50,5	0	50,5	0	50,5
Oct	2	Med	1,11	5,2	52	0	52	0	52
Oct	3	Med	1,11	4,85	53,4	0	53,4	0	53,4
Nov	1	Med	1,11	4,47	44,7	0	44,7	0	44,7
Nov	2	Med	1,11	4,16	41,6	0	41,6	0	41,6
Nov	3	Med	1,11	4,12	41,2	0,1	41,1	0,1	41,1
Dic	1	Med	1,11	4,07	40,7	13,8	27	13,8	27
Dic	2	Med	1,11	4,03	40,3	20,6	19,7	20,6	19,7
Dic	3	Fin	1,05	3,96	43,5	26,4	17,2	26,4	17,2
								<b>455,1</b>	<b>989,1</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

## Anexo D: ET verde y azul del Banano en la Provincia del Oro 2010

Mes	Decada	Etap	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego	Et verde	Et azul
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ene	1	Inic	1	4,43	44,3	36,1	8,2	36,1	8,2
Ene	2	Inic	1	3,93	39,3	54,2	0	39,3	0
Ene	3	Inic	1	3,91	43,1	61,9	0	43,1	0
Feb	1	Inic	1	3,93	39,3	68,4	0	39,3	0
Feb	2	Inic	1	3,88	38,8	77,3	0	38,8	0
Feb	3	Inic	1	3,91	31,3	86,5	0	31,3	0
Mar	1	Inic	1	3,94	39,4	103,7	0	39,4	0
Mar	2	Inic	1	3,96	39,6	116,9	0	39,6	0
Mar	3	Inic	1	3,93	43,2	94,2	0	43,2	0
Abr	1	Inic	1	3,89	38,9	65	0	38,9	0
Abr	2	Inic	1	3,85	38,5	45,1	0	38,5	0
Abr	3	Inic	1	3,75	37,5	36,6	0,9	36,6	0,9
May	1	Des	1,03	3,75	37,5	28,4	9,1	28,4	9,1
May	2	Des	1,08	3,83	38,3	18,1	20,2	18,1	20,2
May	3	Des	1,14	3,99	43,9	12,4	31,4	12,5	31,5
Jun	1	Des	1,2	4,14	41,4	3,1	38,3	3,1	38,3
Jun	2	Des	1,25	4,28	42,8	0	42,8	0	42,8
Jun	3	Med	1,31	4,51	45,1	0,3	44,8	0,3	44,8
Jul	1	Med	1,33	4,54	45,4	2,1	43,3	2,1	43,3
Jul	2	Med	1,33	4,54	45,4	2,6	42,8	2,6	42,8
Jul	3	Med	1,33	5,05	55,5	1,7	53,8	1,7	53,8
Ago	1	Med	1,33	5,6	56	0,1	55,9	0,1	55,9
Ago	2	Med	1,33	6,07	60,7	0	60,7	0	60,7
Ago	3	Med	1,33	6,32	69,5	0	69,5	0	69,5
Sep	1	Med	1,33	6,57	65,7	0	65,7	0	65,7
Sep	2	Med	1,33	6,83	68,3	0	68,3	0	68,3
Sep	3	Med	1,33	7,06	70,6	0,1	70,5	0,1	70,5
Oct	1	Med	1,33	7,3	73	0	73	0	73
Oct	2	Med	1,33	7,53	75,3	0	75,3	0	75,3
Oct	3	Med	1,33	7,48	82,3	1,3	81	1,3	81
Nov	1	Med	1,33	7,43	74,3	3,8	70,5	3,8	70,5
Nov	2	Med	1,33	7,38	73,8	5,6	68,3	5,5	68,2
Nov	3	Med	1,33	7,32	73,2	3,7	69,5	3,7	69,5
Dic	1	Med	1,33	7,34	73,4	0	73,4	0	73,4
Dic	2	Med	1,33	7,32	73,2	0	73,2	0	73,2
Dic	3	Fin	1,31	6,59	72,5	0,1	72,4	0,1	72,4
								<b>547,4</b>	<b>1382,8</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

## Anexo E: ET verde y azul de la Caña en la Provincia de Imbabura 2010

Mes	Decada	Etapas	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec, efec mm/dec	Req,Riego mm/dec	Et verde mm/dec	Et azul mm/dec
Ene	1	Inic	0,82	2,93	29,3	0,1	29,2	0,1	29,2
Ene	2	Inic	0,77	2,9	29	0	29	0	29
Ene	3	Inic	0,73	2,75	30,2	0	30,2	0	30,2
Feb	1	Des	0,69	2,6	26	1,7	21,7	4,3	24,3
Feb	2	Des	0,55	2,09	20,9	2,6	18,4	2,5	18,3
Feb	3	Des	0,67	2,6	20,8	1,7	19,1	1,7	19,1
Mar	1	Des	0,78	3,13	31,3	0	31,3	0	31,3
Mar	2	Des	0,91	3,73	37,3	0	37,3	0	37,3
Mar	3	Des	1,05	4,22	46,4	0,1	46,3	0,1	46,3
Abr	1	Med	1,17	4,61	46,1	11,8	34,2	11,9	34,3
Abr	2	Med	1,18	4,58	45,8	17,7	28	17,8	28,1
Abr	3	Med	1,18	4,42	44,2	16,6	27,6	16,6	27,6
May	1	Med	1,18	4,27	42,7	15,9	26,8	15,9	26,8
May	2	Med	1,18	4,12	41,2	16,1	25	16,2	25,1
May	3	Med	1,18	4,07	44,8	10,9	33,9	10,9	33,9
Jun	1	Med	1,18	4,03	40,3	1,3	39,1	1,2	39
Jun	2	Med	1,18	3,99	39,9	0	39,9	0	39,9
Jun	3	Med	1,18	4	40	0,5	39,4	0,6	39,5
Jul	1	Med	1,18	4	40	4,9	35,1	4,9	35,1
Jul	2	Med	1,18	4,01	40,1	7,1	33	7,1	33
Jul	3	Med	1,18	4,17	45,8	4,8	41	4,8	41
Ago	1	Med	1,18	4,32	43,2	0,6	42,6	0,6	42,6
Ago	2	Med	1,18	4,47	44,7	0	44,7	0	44,7
Ago	3	Med	1,18	4,54	50	0,5	49,5	0,5	49,5
Sep	1	Med	1,18	4,61	46,1	3,6	42,5	3,6	42,5
Sep	2	Med	1,18	4,68	46,8	5,3	41,5	5,3	41,5
Sep	3	Med	1,18	4,69	46,9	4,9	42	4,9	42
Oct	1	Med	1,18	4,71	47,1	1,4	45,7	1,4	45,7
Oct	2	Fin	1,17	4,66	46,6	0	46,6	0	46,6
Oct	3	Fin	1,12	4,26	46,9	11,2	35,7	11,2	35,7
Nov	1	Fin	1,08	3,89	38,9	31,2	7,7	31,2	7,7
Nov	2	Fin	1,03	3,54	35,4	44,7	0	35,4	0
Nov	3	Fin	0,99	3,34	33,4	39,6	0	33,4	0
Dic	1	Fin	0,95	3,14	31,4	34,4	0	31,4	0
Dic	2	Fin	0,91	2,95	29,5	32,3	0	29,5	0
Dic	3	Fin	0,86	2,95	32,4	21,5	10,9	21,5	10,9
Ene	1	Fin	0,82	2,93	29,3	0,1	29,2	0,1	29,2
Ene	2	Fin	0,77	2,9	29	0	29	0	29
Ene	3	Fin	0,73	2,75	30,2	0	30,2	0	30,2
Feb	1	Fin	0,69	2,6	23,4	1,5	21,7	1,7	21,9
								<b>328,3</b>	<b>1188,0</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

## Anexo F: ET verde y azul de la Caña en la Provincia de Cañar 2010

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec	Et verde mm/dec	Et azul mm/dec
Ene	1	Inic	0,85	2,82	28,2	0	28,1	0	28,2
Ene	2	Inic	0,8	2,88	28,8	0	28,8	0	28,8
Ene	3	Inic	0,76	2,61	28,8	0,1	28,7	0,1	28,7
Feb	1	Des	0,71	2,35	23,5	11,4	9,7	11,4	12,1
Feb	2	Des	0,56	1,77	17,7	17,2	0,6	17,1	0,5
Feb	3	Des	0,68	2,24	17,9	13,5	4,4	13,5	4,4
Mar	1	Des	0,8	2,73	27,3	7,4	19,9	7,4	19,9
Mar	2	Des	0,93	3,3	33	4,1	28,9	4,1	28,9
Mar	3	Des	1,08	3,69	40,6	6,9	33,7	6,9	33,7
Abr	1	Med	1,2	3,98	39,8	11,5	28,3	11,5	28,3
Abr	2	Med	1,21	3,9	39	14,2	24,8	14,2	24,8
Abr	3	Med	1,21	3,83	38,3	12	26,3	12	26,3
May	1	Med	1,21	3,76	37,6	9	28,6	9	28,6
May	2	Med	1,21	3,7	37	7,2	29,8	7,2	29,8
May	3	Med	1,21	3,57	39,3	6,5	32,7	6,5	32,8
Jun	1	Med	1,21	3,44	34,4	5,4	29	5,4	29
Jun	2	Med	1,21	3,31	33,1	4,3	28,8	4,3	28,8
Jun	3	Med	1,21	3,43	34,3	5,8	28,5	5,8	28,5
Jul	1	Med	1,21	3,55	35,5	8,7	26,8	8,7	26,8
Jul	2	Med	1,21	3,67	36,7	10,4	26,2	10,4	26,3
Jul	3	Med	1,21	3,7	40,7	7,1	33,6	7,1	33,6
Ago	1	Med	1,21	3,74	37,4	1,8	35,6	1,8	35,6
Ago	2	Med	1,21	3,77	37,7	0	37,7	0	37,7
Ago	3	Med	1,21	4,02	44,3	0	44,3	0	44,3
Sep	1	Med	1,21	4,28	42,8	0,1	42,6	0,1	42,7
Sep	2	Med	1,21	4,53	45,3	0	45,3	0	45,3
Sep	3	Med	1,21	4,42	44,2	0	44,2	0	44,2
Oct	1	Med	1,21	4,31	43,1	0	43,1	0	43,1
Oct	2	Fin	1,2	4,14	41,4	0	41,4	0	41,4
Oct	3	Fin	1,15	3,93	43,3	0,1	43,1	0,1	43,2
Nov	1	Fin	1,11	3,73	37,3	1,5	35,8	1,5	35,8
Nov	2	Fin	1,06	3,54	35,4	2,3	33,1	2,3	33,1
Nov	3	Fin	1,02	3,22	32,2	4,2	28,1	4,2	28
Dic	1	Fin	0,98	2,86	28,6	7,4	21,2	7,4	21,2
Dic	2	Fin	0,94	2,55	25,5	9,7	15,7	9,7	15,8
Dic	3	Fin	0,89	2,65	29,2	6,5	22,7	6,5	22,7
Ene	1	Fin	0,85	2,82	28,2	0	28,1	0	28,2
Ene	2	Fin	0,8	2,88	28,8	0	28,8	0	28,8
Ene	3	Fin	0,76	2,61	28,8	0,1	28,7	0,1	28,7
Feb	1	Fin	0,71	2,35	21,1	10,3	9,7	10,3	10,8
								<b>206,6</b>	<b>1159,4</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

## Anexo G: ET verde y azul de la Caña en la Provincia del Guayas 2010

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec	Et verde mm/dec	Et azul mm/dec
Ene	1	Inic	0,79	3,13	31,3	28,8	2,5	28,8	2,5
Ene	2	Inic	0,75	3,08	30,8	33	0	30,8	0
Ene	3	Inic	0,71	2,84	31,3	51,7	0	31,3	0
Feb	1	Des	0,67	2,62	26,2	82,1	0	26,2	0
Feb	2	Des	0,54	2,08	20,8	104,3	0	20,8	0
Feb	3	Des	0,65	2,52	20,2	81,1	0	20,2	0
Mar	1	Des	0,77	2,98	29,8	46,9	0	29,8	0
Mar	2	Des	0,89	3,48	34,8	25,8	9,1	25,7	9
Mar	3	Des	1,02	3,95	43,4	31,6	11,8	31,6	11,8
Abr	1	Med	1,13	4,33	43,3	45,3	0	43,3	0
Abr	2	Med	1,15	4,32	43,2	50,6	0	43,2	0
Abr	3	Med	1,15	4,2	42	33,8	8,3	33,7	8,2
May	1	Med	1,15	4,09	40,9	0,5	40,4	0,5	40,4
May	2	Med	1,15	3,97	39,7	0	39,7	0	39,7
May	3	Med	1,15	3,89	42,8	0	42,8	0	42,8
Jun	1	Med	1,15	3,81	38,1	0	38,1	0	38,1
Jun	2	Med	1,15	3,73	37,3	0	37,3	0	37,3
Jun	3	Med	1,15	3,77	37,7	0	37,7	0	37,7
Jul	1	Med	1,15	3,81	38,1	0	38,1	0	38,1
Jul	2	Med	1,15	3,85	38,5	0	38,5	0	38,5
Jul	3	Med	1,15	4,08	44,8	0	44,8	0	44,8
Ago	1	Med	1,15	4,3	43	0	43	0	43
Ago	2	Med	1,15	4,53	45,3	0	45,3	0	45,3
Ago	3	Med	1,15	4,66	51,3	0	51,3	0	51,3
Sep	1	Med	1,15	4,79	47,9	0	47,9	0	47,9
Sep	2	Med	1,15	4,92	49,2	0	49,2	0	49,2
Sep	3	Med	1,15	5,03	50,3	0	50,3	0	50,3
Oct	1	Med	1,15	5,22	52,2	0	52,2	0	52,2
Oct	2	Fin	1,13	5,29	52,9	0	52,9	0	52,9
Oct	3	Fin	1,09	4,76	52,3	0	52,3	0	52,3
Nov	1	Fin	1,05	4,21	42,1	0	42,1	0	42,1
Nov	2	Fin	1	3,76	37,6	0	37,6	0	37,6
Nov	3	Fin	0,96	3,57	35,7	0,1	35,6	0,1	35,6
Dic	1	Fin	0,92	3,38	33,8	13,8	20,1	13,7	20
Dic	2	Fin	0,88	3,2	32	20,6	11,3	20,7	11,4
Dic	3	Fin	0,84	3,17	34,8	26,4	8,5	26,3	8,4
Ene	1	Fin	0,79	3,13	31,3	28,8	2,5	28,8	2,5
Ene	2	Fin	0,75	3,08	30,8	33	0	30,8	0
Ene	3	Fin	0,71	2,84	31,3	51,7	0	31,3	0
Feb	1	Fin	0,67	2,62	23,6	73,9	0	23,6	0
								<b>541,2</b>	<b>990,9</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

## Anexo H: ET verde y azul de la Palma Africana en la Provincia de Los Ríos 2010

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego	Et verde	Et azul
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ene	1	Inic	0,95	4,28	42,8	47,1	0	42,8	0
Ene	2	Inic	0,95	4,61	46,1	24,8	0	46,1	0
Ene	3	Inic	0,95	4,37	48,1	70,1	0	48,1	0
Feb	1	Inic	0,95	4,1	41	143,1	0	41	0
Feb	2	Inic	0,95	3,9	39	191	0	39	0
Feb	3	Inic	0,95	3,87	31	147,8	0	31	0
Mar	1	Inic	0,95	3,84	38,4	81,9	0	38,4	0
Mar	2	Inic	0,95	3,81	38,1	42,5	0	38,1	0
Mar	3	Inic	0,95	3,79	41,6	59,6	0	41,6	0
Abr	1	Inic	0,95	3,76	37,6	92,1	0	37,6	0
Abr	2	Inic	0,95	3,74	37,4	107,6	0	37,4	0
Abr	3	Inic	0,95	3,63	36,3	81,7	0	36,3	0
May	1	Inic	0,95	3,53	35,3	48	0	35,3	0
May	2	Inic	0,95	3,42	34,2	25	9,2	25	9,2
May	3	Des	0,93	3,24	35,6	16,7	18,9	16,7	18,9
Jun	1	Des	0,88	3	30	0,1	29,9	0,1	29,9
Jun	2	Med	0,84	2,77	27,7	0	27,7	0	27,7
Jun	3	Med	0,83	2,76	27,6	0	27,6	0	27,6
Jul	1	Med	0,83	2,8	28	0	28	0	28
Jul	2	Med	0,83	2,84	28,4	0	28,4	0	28,4
Jul	3	Med	0,83	2,9	31,9	0	31,9	0	31,9
Ago	1	Med	0,83	2,96	29,6	0	29,6	0	29,6
Ago	2	Med	0,83	3,03	30,3	0	30,3	0	30,3
Ago	3	Med	0,83	3,11	34,2	0	34,2	0	34,2
Sep	1	Med	0,83	3,18	31,8	0	31,8	0	31,8
Sep	2	Med	0,83	3,26	32,6	0	32,6	0	32,6
Sep	3	Med	0,83	3,33	33,3	0	33,3	0	33,3
Oct	1	Med	0,83	3,39	33,9	0	33,9	0	33,9
Oct	2	Med	0,83	3,46	34,6	0	34,6	0	34,6
Oct	3	Med	0,83	3,38	37,1	0	37,1	0	37,1
Nov	1	Med	0,83	3,3	33	0	33	0	33
Nov	2	Fin	0,85	3,31	33,1	0	33,1	0	33,1
Nov	3	Fin	0,89	3,43	34,3	0,1	34,2	0,1	34,2
Dic	1	Fin	0,89	3,34	33,4	74	0	33,4	0
Dic	2	Fin	0,89	3,29	32,9	111,1	0	32,9	0
Dic	3	Fin	0,89	3,6	39,6	89,8	0	39,6	0
								<b>660,5</b>	<b>599,3</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

## Anexo I: ET verde y azul de la Palma Africana en la Provincia de Esmeraldas 2010

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego	Et verde	Et azul
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ene	1	Inic	0,95	3,12	31,2	71,3	0	31,2	0
Ene	2	Inic	0,95	3,09	30,9	77,4	0	30,9	0
Ene	3	Inic	0,95	3,09	34	82,3	0	34	0
Feb	1	Inic	0,95	3,1	31	85,9	0	31	0
Feb	2	Inic	0,95	3,11	31,1	90,4	0	31,1	0
Feb	3	Inic	0,95	3,16	25,3	100	0	25,3	0
Mar	1	Inic	0,95	3,21	32,1	110,2	0	32,1	0
Mar	2	Inic	0,95	3,26	32,6	119,2	0	32,6	0
Mar	3	Inic	0,95	3,3	36,3	128	0	36,3	0
Abr	1	Inic	0,95	3,34	33,4	144,7	0	33,4	0
Abr	2	Inic	0,95	3,38	33,8	157,4	0	33,8	0
Abr	3	Inic	0,95	3,3	33	134,2	0	33	0
May	1	Inic	0,95	3,22	32,2	108,6	0	32,2	0
May	2	Inic	0,95	3,14	31,4	90,2	0	31,4	0
May	3	Des	0,94	2,99	32,9	64,6	0	32,9	0
Jun	1	Des	0,91	2,82	28,2	25,7	2,5	25,7	2,5
Jun	2	Med	0,89	2,66	26,6	0	26,6	0	26,6
Jun	3	Med	0,89	2,67	26,7	15	11,7	15	11,7
Jul	1	Med	0,89	2,7	27	46,7	0	27	0
Jul	2	Med	0,89	2,74	27,4	63,3	0	27,4	0
Jul	3	Med	0,89	2,84	31,3	43,5	0	31,3	0
Ago	1	Med	0,89	2,95	29,5	10,5	19	10,5	19
Ago	2	Med	0,89	3,05	30,5	0	30,5	0	30,5
Ago	3	Med	0,89	3,07	33,7	1,2	32,6	1,1	32,5
Sep	1	Med	0,89	3,08	30,8	5,4	25,4	5,4	25,4
Sep	2	Med	0,89	3,09	30,9	6,1	24,8	6,1	24,8
Sep	3	Med	0,89	3,08	30,8	5,1	25,7	5,1	25,7
Oct	1	Med	0,89	3,06	30,6	2,1	28,5	2,1	28,5
Oct	2	Med	0,89	3,05	30,5	0,3	30,1	0,4	30,2
Oct	3	Med	0,89	3,07	33,7	6,5	27,3	6,4	27,2
Nov	1	Med	0,89	3,09	30,9	11,1	19,8	11,1	19,8
Nov	2	Fin	0,91	3,19	31,9	15,2	16,7	15,2	16,7
Nov	3	Fin	0,94	3,26	32,6	29,8	2,8	29,8	2,8
Dic	1	Fin	0,94	3,21	32,1	47,7	0	32,1	0
Dic	2	Fin	0,94	3,15	31,5	62,2	0	31,5	0
Dic	3	Fin	0,94	3,12	34,3	67,2	0	34,3	0
								<b>798,7</b>	<b>323,9</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

**Anexo J: ET verde y azul de la Palma Africana en el Nororiente (Napó, Orellán, Sucumbios) 2010**

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego	Et verde	Et azul
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ene	1	Inic	0,95	3,9	39	41,2	0	39	0
Ene	2	Inic	0,95	3,95	39,5	5,5	34	5,5	34
Ene	3	Inic	0,95	3,96	43,5	20,1	23,5	20	23,4
Feb	1	Inic	0,95	3,97	39,7	40	0	39,7	0
Feb	2	Inic	0,95	3,97	39,7	48,9	0	39,7	0
Feb	3	Inic	0,95	4,02	32,1	58,8	0	32,1	0
Mar	1	Inic	0,95	4,06	40,6	64,2	0	40,6	0
Mar	2	Inic	0,95	4,11	41,1	71,7	0	41,1	0
Mar	3	Inic	0,95	3,99	43,9	100,2	0	43,9	0
Abr	1	Inic	0,95	3,88	38,8	141,1	0	38,8	0
Abr	2	Inic	0,95	3,76	37,6	172,3	0	37,6	0
Abr	3	Inic	0,95	3,64	36,4	157,8	0	36,4	0
May	1	Inic	0,95	3,52	35,2	140,7	0	35,2	0
May	2	Inic	0,95	3,4	34	132,6	0	34	0
May	3	Des	0,94	3,34	36,8	113	0	36,8	0
Jun	1	Des	0,93	3,27	32,7	86,3	0	32,7	0
Jun	2	Med	0,93	3,2	32	65	0	32	0
Jun	3	Med	0,92	3,24	32,4	70,4	0	32,4	0
Jul	1	Med	0,92	3,29	32,9	85	0	32,9	0
Jul	2	Med	0,92	3,34	33,4	90,5	0	33,4	0
Jul	3	Med	0,92	3,48	38,2	68,2	0	38,2	0
Ago	1	Med	0,92	3,61	36,1	33,3	2,9	33,3	2,9
Ago	2	Med	0,92	3,75	37,5	9,2	28,2	9,2	28,2
Ago	3	Med	0,92	3,96	43,5	28,2	15,3	28,2	15,3
Sep	1	Med	0,92	4,17	41,7	56,5	0	41,7	0
Sep	2	Med	0,92	4,38	43,8	72,9	0	43,8	0
Sep	3	Med	0,92	4,33	43,3	69,2	0	43,3	0
Oct	1	Med	0,92	4,27	42,7	61,4	0	42,7	0
Oct	2	Med	0,92	4,21	42,1	59	0	42,1	0
Oct	3	Med	0,92	4,09	45	64,9	0	45	0
Nov	1	Med	0,92	3,96	39,6	69,9	0	39,6	0
Nov	2	Fin	0,94	3,9	39	73,9	0	39	0
Nov	3	Fin	0,96	3,95	39,5	86,8	0	39,5	0
Dic	1	Fin	0,96	3,9	39	112,7	0	39	0
Dic	2	Fin	0,96	3,85	38,5	130,6	0	38,5	0
Dic	3	Fin	0,96	3,9	42,9	94,5	0	42,9	0
								<b>1289,8</b>	<b>103,8</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

### Anexo K: ET verde y azul del Arroz en la Provincia de Los Ríos 2010

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec, efec	Req,Riego	Et verde	Et azul
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Dic	2	PrepSuel	1,05	3,89	35	99,9	117,4	35	82,4
Dic	3	PrepSuel	1,05	4,26	46,8	89,8	182,1	46,8	135,3
Ene	1	Inic	1,1	4,95	49,5	47,1	2,5	47,1	2,5
Ene	2	Inic	1,1	5,33	53,3	24,8	28,6	24,7	28,5
Ene	3	Des	1,1	5,08	55,9	70,1	0	55,9	0
Feb	1	Des	1,11	4,8	48	143,1	0	48	0
Feb	2	Med	1,12	4,59	45,9	191	0	45,9	0
Feb	3	Med	1,12	4,57	36,5	147,8	0	36,5	0
Mar	1	Med	1,12	4,53	45,3	81,9	0	45,3	0
Mar	2	Med	1,12	4,5	45	42,5	2,5	42,5	2,5
Mar	3	Med	1,12	4,47	49,1	59,6	0	49,1	0
Abr	1	Fin	1,09	4,33	43,3	92,1	0	43,3	0
Abr	2	Fin	1,04	4,11	41,1	107,6	0	41,1	0
Abr	3	Fin	1	3,81	38,1	81,7	0	38,1	0
								<b>599,3</b>	<b>251,2</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

### Anexo L: ET verde y azul del Arroz en la Provincia del Guayas 2010

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego	Et verde	Et azul
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Dic	1	Almá	1,2	0,45	4,1	66,6	0	4,1	0
Dic	2	Almá/PS	1,08	3,6	36	111,1	117,5	36	81,5
Dic	3	Almá/PS	1,06	4,32	47,5	89,8	182,7	47,5	92,9
Ene	1	Inic	1,1	4,95	49,5	47,1	2,5	47,1	2,5
Ene	2	Inic	1,1	5,33	53,3	24,8	28,6	24,7	28,5
Ene	3	Des	1,1	5,08	55,9	70,1	0	55,9	0
Feb	1	Des	1,11	4,8	48	143,1	0	48	0
Feb	2	Med	1,12	4,59	45,9	191	0	45,9	0
Feb	3	Med	1,12	4,57	36,5	147,8	0	36,5	0
Mar	1	Med	1,12	4,53	45,3	81,9	0	45,3	0
Mar	2	Med	1,12	4,5	45	42,5	2,5	42,5	2,5
Mar	3	Med	1,12	4,47	49,1	59,6	0	49,1	0
Abr	1	Fin	1,09	4,33	43,3	92,1	0	43,3	0
Abr	2	Fin	1,04	4,11	41,1	107,6	0	41,1	0
Abr	3	Fin	1	3,81	38,1	81,7	0	38,1	0
								<b>605,1</b>	<b>207,9</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

### Anexo M: ET verde y azul de Maíz en la Provincia de Los Ríos 2010

Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego	Et verde	Et azul
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ene	1	Inic	1,2	5,4	54	47,1	7	47,1	7
Ene	2	Inic	1,2	5,82	58,2	24,8	33,4	24,8	33,4
Ene	3	Des	1,2	5,51	60,6	70,1	0	60,6	0
Feb	1	Des	1,07	4,61	46,1	143,1	0	46,1	0
Feb	2	Des	0,86	3,53	35,3	191	0	35,3	0
Feb	3	Des	0,67	2,74	22	147,8	0	22	0
Mar	1	Des	0,49	1,97	19,7	81,9	0	19,7	0
Mar	3	Med	0,37	1,49	16,4	59,6	0	16,4	0
Abr	1	Med	0,37	1,48	14,8	92,1	0	14,8	0
Abr	2	Med	0,37	1,47	14,7	107,6	0	14,7	0
Abr	3	Med	0,37	1,43	14,3	81,7	0	14,3	0
May	1	Fin	1,9	7,06	70,6	48	22,6	48	22,6
May	2	Fin	1,9	6,85	68,5	25	43,4	25	43,5
May	3	Fin	1,9	6,65	66,5	15,2	49,8	16,7	51,3
								<b>405,6</b>	<b>157,8</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

### Anexo N: ET verde y azul de Maíz en la Provincia de Guayas 2010

Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego	Et verde	Et azul
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ene	1	Inic	1,2	4,72	47,2	28,8	18,4	28,8	18,4
Ene	2	Inic	1,2	4,9	49	33	16	33	16
Ene	3	Des	1,2	4,79	52,7	51,7	1	51,7	1
Feb	1	Des	1,06	4,15	41,5	82,1	0	41,5	0
Feb	2	Des	0,85	3,25	32,5	104,3	0	32,5	0
Feb	3	Des	0,66	2,54	20,3	81,1	0	20,3	0
Mar	1	Des	0,47	1,81	18,1	46,9	0	18,1	0
Mar	2	Med	0,35	1,37	13,7	25,8	0	13,7	0
Mar	3	Med	0,35	1,35	14,9	31,6	0	14,9	0
Abr	1	Med	0,35	1,34	13,4	45,3	0	13,4	0
Abr	2	Med	0,35	1,32	13,2	50,6	0	13,2	0
Abr	3	Med	0,35	1,28	12,8	33,8	0	12,8	0
May	1	Fin	1,88	6,71	67,1	0,5	66,6	0,5	66,6
May	2	Fin	1,88	6,52	65,2	0	65,2	0	65,2
May	3	Fin	1,88	6,39	63,9	0	63,8	0	63,9
								<b>294,4</b>	<b>231,1</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

### Anexo O: ET verde y azul de Maíz en la Provincia de Loja 2010

Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec, efec	Req,Riego	Et verde	Et azul
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ene	1	Inic	1,2	4,43	44,3	19,8	24,6	19,7	24,5
Ene	2	Inic	1,2	4,49	44,9	20	25	19,9	24,9
Ene	3	Des	1,2	4,52	49,8	25,8	24	25,8	24
Feb	1	Des	1,07	4,07	40,7	33,8	7	33,8	6,9
Feb	2	Des	0,87	3,34	33,4	39,8	0	33,4	0
Feb	3	Des	0,69	2,71	21,7	38,6	0	21,7	0
Mar	1	Des	0,51	2,05	20,5	38,5	0	20,5	0
Mar	2	Med	0,4	1,65	16,5	39,1	0	16,5	0
Mar	3	Med	0,4	1,66	18,3	31,1	0	18,3	0
Abr	1	Med	0,4	1,68	16,8	19,7	0	16,8	0
Abr	2	Med	0,4	1,69	16,9	11,3	5,6	11,3	5,6
Abr	3	Med	0,4	1,66	16,6	14,7	2	14,7	1,9
May	1	Fin	1,94	7,83	78,3	21,6	56,7	21,6	56,7
May	2	Fin	1,94	7,7	77	24,8	52,2	24,8	52,2
May	3	Fin	1,94	7,6	76	15,7	58,7	17,3	60,3
								<b>316,1</b>	<b>257</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

### Anexo P: ET verde y azul de la Papa en la Provincia de Carchi 2010

Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec, efec	Req,Riego	Et verde	Et azul
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ene	1	Inic	0,5	1,7	17	0,1	16,9	0,1	16,9
Ene	2	Inic	0,5	1,74	17,4	0	17,4	0	17,4
Ene	3	Des	0,54	1,88	20,7	0	20,6	0	20,6
Feb	1	Des	0,73	2,55	25,5	5,9	19,6	5,9	19,6
Feb	2	Des	0,93	3,25	32,5	8,9	23,6	8,9	23,6
Feb	3	Med	1,08	3,82	30,6	8,7	21,9	8,7	21,9
Mar	1	Med	1,09	3,9	39	6,7	32,3	6,7	32,3
Mar	2	Med	1,09	3,92	39,2	6,1	33,1	6,1	33,1
Mar	3	Med	1,09	3,93	43,2	11,7	31,4	11,8	31,5
Abr	1	Med	1,09	3,93	39,3	19,4	19,9	19,4	19,9
Abr	2	Fin	1,02	3,66	36,6	25	11,7	25	11,7
Abr	3	Fin	0,89	3,08	30,8	24,5	6,3	24,5	6,3
May	1	Fin	0,75	2,53	25,3	25	0,2	25	0,2
								<b>142,1</b>	<b>255</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

### Anexo Q: ET verde y azul de la Papa en la Provincia de Cotopaxi 2010

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec, efec	Req,Riego	Et verde	Et azul
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ene	1	Inic	0,5	1,31	13,1	9	4,2	9	4,2
Ene	2	Inic	0,5	1,4	14	0	14	0	14
Ene	3	Des	0,54	1,52	16,8	6,2	10,5	6,3	10,6
Feb	1	Des	0,74	2,11	21,1	21,6	0	21,1	0
Feb	2	Des	0,96	2,72	27,2	30	0	27,2	0
Feb	3	Med	1,12	3,2	25,6	27,8	0	25,6	0
Mar	1	Med	1,14	3,27	32,7	23	9,7	23	9,7
Mar	2	Med	1,14	3,29	32,9	21,2	11,6	21,2	11,6
Mar	3	Med	1,14	3,26	35,8	26,1	9,7	26,1	9,7
Abr	1	Med	1,14	3,23	32,3	33	0	32,3	0
Abr	2	Fin	1,06	2,99	29,9	37,8	0	29,9	0
Abr	3	Fin	0,93	2,51	25,1	36,8	0	25,1	0
May	1	Fin	0,8	2,06	20,6	37,4	0	20,6	0
								<b>267,4</b>	<b>59,8</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva

### Anexo R: ET verde y azul de la Papa en la Provincia de Chimborazo 2010

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego	Et verde	Et azul
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ene	1	Inic	0,5	1,63	16,3	4,1	12,2	4,1	12,2
Ene	2	Inic	0,5	1,63	16,3	0	16,3	0	16,3
Ene	3	Des	0,54	1,75	19,2	9,1	10,2	9	10,1
Feb	1	Des	0,74	2,38	23,8	28,1	0	23,8	0
Feb	2	Des	0,95	3,04	30,4	40	0	30,4	0
Feb	3	Med	1,11	3,56	28,5	33,5	0	28,5	0
Mar	1	Med	1,13	3,6	36	23,2	12,9	23,2	12,9
Mar	2	Med	1,13	3,6	36	17,8	18,2	17,8	18,2
Mar	3	Med	1,13	3,5	38,5	20,4	18,1	20,4	18,1
Abr	1	Med	1,13	3,4	34	26,5	7,5	26,5	7,5
Abr	2	Fin	1,05	3,08	30,8	29,5	1,3	29,5	1,3
Abr	3	Fin	0,92	2,62	26,2	21,2	4,9	21,2	4,9
May	1	Fin	0,78	2,17	21,7	10	11,8	9,9	11,7
								<b>244,3</b>	<b>113,2</b>

Fuente: CROPWAT 8.0, FAO 2006

Elaboración: Andrés Silva