



República de Cuba

Universidad de Cienfuegos

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

**Título: “CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA EN UN CULTIVO DE PAPA EN
LA EMPRESA CULTIVOS VARIOS HORQUITA”.**

Trabajo de Diploma

Ingeniería Industrial

Autor: Linieisy González Acosta

Tutores: Dr. Juan José Cabello Eras

Dra. Dunia García Lorenzo

Pensamiento

*Lo que no se mide no se puede evaluar y lo
que no se puede evaluar no se puede mejorar.*

Germán Leva

Agradecimientos

*Deseo expresar mis mayores agradecimientos a mi familia
por el apoyo y tolerancia.*

*A mis tutores Cabello y Dunia por su ayuda
experiencia y comprensión.*

A todos mis amigos imposible sin ellos

A todos Muchas Gracias.

Dedicatoria

A mi hija por ser mi mayor fuente de inspiración.

*A mi esposo por la comprensión y el apoyo que me ha
brindado todo este tiempo.*

*A mi familia por su eterno apoyo, sostén y esfuerzo para
lograr mi desarrollo profesional.*

Resumen



Resumen

Resumen

En el trabajo se realiza un estudio documental sobre la situación del agua en el mundo, en el país y la conceptualización de la Huella Hídrica como indicador, así como los métodos actualizados para su cálculo.

Se realizó el cálculo de la Huella Hídrica de la cosecha de la papa en la Empresa Cultivos Varios Horquita estructurado en tres etapas fundamentales:

En la primera etapa se determina el componente Verde y Azul de la Huella Hídrica del cultivo en estudio para lo que es indispensable calcular la evapotranspiración de cada uno. Para este cálculo se utilizó la opción "CWR (*Crep Wáter requeridme*) requerimiento de agua de los cultivos en el modelo CROPWAT de la FAO (FAO, 2010b en esta opción se considera que no existen limitaciones de agua para el crecimiento de los mismos.

En la segunda etapa se calcula la Huella gris a partir de la tasa de aplicación de fertilizantes, plaguicidas y los rendimientos del cultivo analizado.

Se realiza una comparativa entre los resultados obtenidos en este cultivo y los estudios realizados en otros a nivel mundial.

Por último se realiza una comparativa del agua que realmente necesita el cultivo, que es la que evapotranspira menos la precipitación efectiva además de los volúmenes de agua provenientes de fuentes que tributan a la Huella Hídrica azul, determinándose el sobreuso del agua y el gasto de energía eléctrica resultante del sobre bombeo.

Summary



Summary

Summary

In the work he/she is carried out a documental study on the situation of the water in the world, in the country and the conceptualization of the Water footprint like indicator, as well as the up-to-date methods for their calculation.

He/she was carried out the calculation of the Water footprint of the crop of the potato in the Company Cultivations Several Fork structured in three fundamental stages:

In the first stage the Green and Blue component of the Water footprint of the cultivation is determined in study for what is indispensable to calculate the evapotranspiración of each one. For this calculation the option "CWR was used (Creep Water requires me) requirement of water of the cultivations in the pattern CROPWAT of the FAO (FAO, 2010b in this option are considered that limitations of water don't exist for the growth of the same ones.

In the second stage the gray Print is calculated starting from the rate of application of fertilizers, plaguicidas and the yields of the analyzed cultivation.

He/she is carried out a comparative one among the results obtained in this cultivation and the studies carried out in others at world level.

For I finish he/she is carried out a comparative of the water that really needs the cultivation that is the one that less evapotranspira the effective precipitation besides the volumes of water coming from sources that pay to the Water footprint, being determined the envelope use of the water and the expense of resulting electric power of the envelope pumping.



Índice

Contenido	Pág.
Resumen	
Summary	
Introducción.....	1
Capítulo I: Estudio Documental.	
1.1. Situación del agua en el mundo.....	6
1.2. Caracterización de la problemática del agua en Cuba.....	12
1.3. Evaluación de la Huella Ecológica.....	15
1.4 Huella Ecológica en Cuba.	17
1.5 Evaluación de la Huella Hídrica.	20
1.5.1 Conceptualización y antecedentes.....	20
1.5.2 Evaluación de la Huella Hídrica.	22
1.5.3 Objetivos de la evaluación de la Huella Hídrica.	25
1.5.4 Huella Hídrica en Cuba.	26
Conclusiones Parciales del Capítulo I.....	29
Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica.	
2.1 Estudios Previos.....	30
2.2 La coherencia entre los diferentes tipos de contabilidad de la Huella Hídrica.....	31
2.3 Metodología de cálculo de la Huella Hídrica.....	33
2.3.1 Huella Hídrica.....	34
2.3.2 Huella Hídrica Interna.....	34
2.3.3 Huella Hídrica Externa.....	35
2.3.4 Huella Hídrica de un consumidor o un grupo de consumidores.....	35
2.3.5 Huella Hídrica de un proceso.....	37
2.3.6 Huella Hídrica de un producto.....	38
2.3.7 La Huella Hídrica de un área geográfica determinada.....	40
2.4 Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica de un cultivo.....	41
2.4.1 Metodología para determinar el componente verde y azul de la Huella Hídrica en los procesos agrícolas.....	41
2.4.2 Metodologías para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia.	44
2.4.3 Determinación del coeficiente de cultivo.....	46
2.4.4 Metodología para la determinación de la Precipitación Efectiva.	51



Índice

2.4.5 Metodología para determinar el componente gris en la Huella Hídrica de un cultivo	53
Conclusiones Parciales del capítulo II	57
Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.	
3.1 Origen de la papa.....	58
3.2 Caracterización de la empresa.....	59
3.2.1 Estructura Funcional de la Empresa.....	60
3.2.2 Guía del cultivo a seguir en la cosecha de papa en la empresa Cultivos Varios Horquita	67
3.3 Cálculo de la Huella Hídrica en una cosecha de papa en la Empresa Cultivos Varios Horquita.....	71
3.3.1 Componente Verde y Azul de la Huella Hídrica del cultivo.....	71
3.3.2 Componente gris de la Huella Hídrica del cultivo.....	78
3.3.3 Comparación de la Huella Hídrica Azul calculada en la Empresa Cultivos Varios Horquita y el agua neta de riego en la campaña en estudio.....	86
Conclusiones Parciales del capítulo III.....	89
Conclusiones Generales.....	90
Recomendaciones.....	91
Bibliografía.....	92
Anexos	

Introducción



Introducción

Introducción

El agua dulce se está convirtiendo en un recurso globalizado como consecuencia del crecimiento del comercio internacional de bienes y servicios, por lo que en los últimos años la determinación del valor económico del agua ha sido, y es, un problema extensamente estudiado a través de diferentes modelos hidrológicos y económicos. Esta necesidad de definir el valor del agua, aparece junto con la idea de desarrollo sostenible aplicada en las políticas ambientales internacionales.

El indicador Huella Hídrica es resultado del creciente interés de crear un indicador de consumo de agua que proporcione información útil a nivel internacional, este permite relacionar el consumo humano con los recursos hídricos mundiales y puede aplicarse a individuos, comunidades o productos y es considerado un indicador global de la apropiación de recursos de agua dulce, conjuntamente con las mediciones tradicionales de extracción de agua.

La mayor parte de agua consumida se destina a la producción agrícola, cuyos consumos o contaminaciones pueden ir asociados a actividades específicas como el riego o la fertilización.

La política del Estado Cubano en el uso racional del agua se expresa en la aprobación del Decreto – Ley 138 /1993 De las aguas Terrestres, en el que referente al uso racional de la guía se plantea los siguientes:

- Las organizaciones y comunidades deben realizar una gestión eficiente del agua a partir de los volúmenes aprobado para el consumo, evitando el desperdicio por salideros, filtraciones, uso indiscriminado en los procesos y servicios, por lo que es necesario controlar los indicadores de consumo para cada actividad a partir de las normas de consumo de agua para cada proceso, así como de los requisitos de uso.
- Promover el uso de tecnologías que sean bajas consumidoras del agua tanto en las nuevas inversiones como en los proyectos de mejora, teniendo en cuenta la reutilización de los residuales en el proceso o por otras organizaciones, o su tratamiento para el vertimiento en el lugar autorizado por el INRH.

En los Lineamientos de la política económica y social (PCC 2009) se establece cuatro líneas de acción que serán el eje de la estrategia nacional en el uso racional del agua, a continuación se exponen:



Introducción

279. El balance de agua constituirá el instrumento de planificación mediante el cual se mida la eficiencia en el consumo estatal y privado, respecto a la disponibilidad del recurso.

280. Continuará desarrollándose el programa hidráulico con inversiones de largo alcance para enfrentar mucho más eficazmente los problemas de la sequía y del uso racional del agua en todo el país, elevando la proporción del área agrícola bajo riego.

281. Se priorizará y ampliará el programa de rehabilitación de redes, acueductos y alcantarillados hasta la vivienda, con el objetivo de disminuir las pérdidas de agua en el mediano plazo, reduciendo consecuentemente el consumo energético e incrementando su reciclaje.

282. En atención a propiciar una cultura para el uso racional del agua, estudiar el reordenamiento de las tarifas del servicio, incluyendo alcantarillado, con el objetivo de la disminución gradual del subsidio; así como reducir paulatinamente el derroche en su uso. Regular de manera obligatoria la medición del gasto y el cobro a los clientes estatales y privados.

Así mismo la Ley 81 Ley del Medio Ambiente del año 1997 plantea lo siguiente:

ARTÍCULO 92.- *La gestión del agua y de los ecosistemas acuáticos se realizará de acuerdo con las disposiciones siguientes:*

a) Es obligación de todas las personas naturales y jurídicas la protección y conservación de las aguas y de los ecosistemas acuáticos en condiciones que permitan atender de forma óptima a la diversidad de usos requeridos para satisfacer las necesidades humanas y mantener una equilibrada interrelación con los demás recursos naturales.

b) La gestión de todos los recursos naturales contenidos en los ecosistemas acuáticos respetará su equilibrio y el de los ecosistemas con los que esté relacionado.

c) Para asegurar un adecuado desarrollo del ciclo hidrológico y de los elementos que intervienen en él, se prestará especial atención a los suelos, áreas boscosas, formaciones geológicas y capacidad de recarga de los acuíferos.



Introducción

Para el cumplimiento de esta política es de gran importancia que nuestro país tenga la capacidad de aplicar las más modernas herramientas para el uso racional del agua y para la evaluación a distintos plazos de la sostenibilidad de su utilización en distintas actividades económicas, la Huella Hídrica es un indicador muy reciente con amplia difusión y que se orienta a este segundo aspecto.

Como quiera que es reconocido en la literatura que la agricultura es generalmente el mayor componente de Huella Hídrica de los países y regiones, nuestro país no debe ser una excepción por lo que este trabajo se orientó a ella.

El desarrollo de este trabajo está basado en el cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo en nuestro país donde se analizan los tres componentes de la misma.

Se ha elegido para el estudio el cultivo de la papa ya que es un cultivo que se le presta gran interés en nuestro país. Empleándose millones de dólares en fertilizantes, plaguicidas, maquinarias de riego y fertilización para dar cumplimiento a los planes de dichas producciones.

Una de las principales zonas paperas de nuestro país se encuentra ubicada en Cienfuegos en la localidad de Horquita, perteneciente a la Empresa de Cultivos Varios.

En este trabajo se ha aplicado la metodología de cálculo propuesta en 2010, por Hoekstra et al. Con las adecuaciones necesarias para aplicarla en nuestro entorno.

Según lo antes expuesto se plantea el

Problema de investigación

Aplicación de herramientas metodológicas que permitan obtener la información requerida para evaluar la sostenibilidad del suministro de agua de la actividad agrícola.

Objetivo General:

Determinar la Huella Hídrica del cultivo de la Papa en la Empresa de Cultivos Varios Horquita.

Objetivos Específicos:

Establecer el marco teórico de la Huella Hídrica como indicador.

Elaborar una metodología para el cálculo de la Huella Hídrica en cultivos aplicable en nuestro país.

Realizar el estudio de caso en la cosecha de la papa en la Empresa Cultivos Varios Horquita.



Introducción

Justificación de la Investigación:

El déficit de recursos hídricos es uno de los principales retos de la agricultura cubana, cada vez son más prolongados los períodos de sequía y mas inestable la disponibilidad de agua. Esta situación hace necesarios los estudios sobre la sostenibilidad de las empresas agrícolas y sus cultivos dentro de las cuencas hidrográficas donde se encuentran enclavadas.

Aplicar el indicador de Huella Hídrica a la agricultura cubana será útil para estas evaluaciones que permitirá mejorar la programación de riegos y la planificación y rotación de los cultivos.

Hipótesis de la Investigación:

En la cosecha de la papa en Horquita se sobreconsume el agua de riego.

Variables de la Hipótesis:

Variable dependiente Huella Hídrica

Variable independiente: Metodología

Tipo de Investigación:

Aplicada.

Aporte:

La adecuación de la metodología para el cálculo de la Huella Hídrica a un cultivo en Cuba.

Al concluir la investigación, queda estructurada de la siguiente manera:

Capítulo I Estudio Documental

En este capítulo se abordan los elementos necesarios para la fundamentación de la Investigación tales como la importancia del agua para la vida. Consumo del agua por sectores a nivel mundial y en nuestro país. Se analizan conceptos y antecedentes de indicadores de la apropiación del agua.



Introducción

Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica.

Se plantean metodologías expuestas por Hoekstra et al 2010 en el manual de Evaluación de la Huella Hídrica. Haciendo énfasis en la metodologías de cálculo para un cultivo. Se analizan conceptos acerca de lo antes expuesto.

Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

En este último capítulo se aplica la metodología propuesta para calcular la Huella Azul Verde y Gris del cultivo de la papa en la empresa de Cultivos Varios Horquita y se comparan los resultados con diferentes estudio realizados en otros países.

Capitulo 1



Capítulo I Estudio Documental.

1.1 Situación del agua en el mundo.

El agua es fundamental para todas las formas de vida conocida. Los recursos naturales se han vuelto escasos con la creciente población mundial y su disposición en varias regiones habitadas es la preocupación de muchas organizaciones gubernamentales.

En la superficie de la Tierra hay unos 1.386.000.000 km³ de agua que se distribuyen de la siguiente forma:

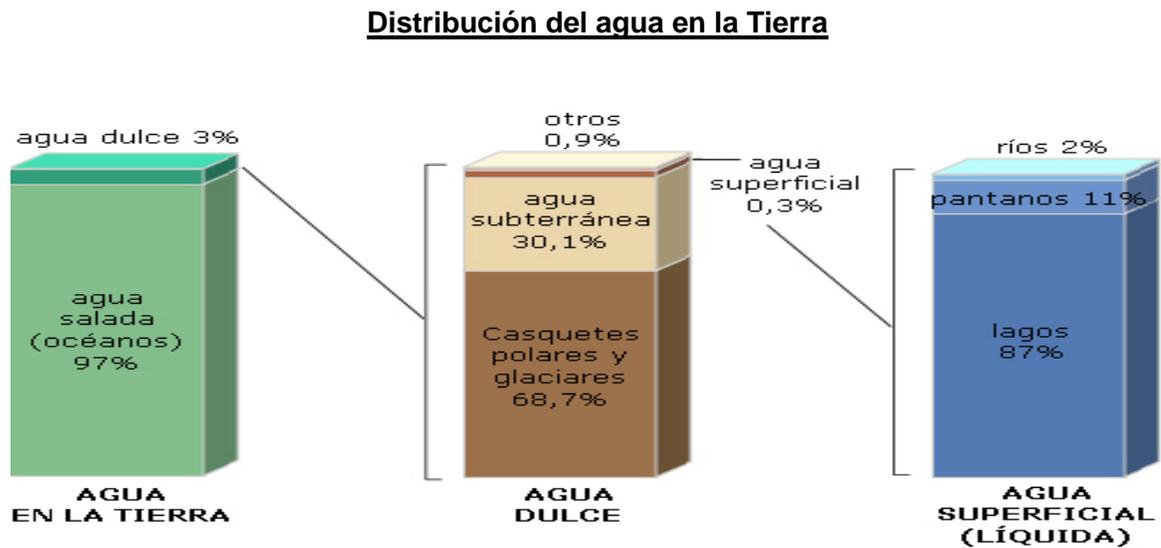


Figura 1.1 Distribución de agua en la tierra

Fuente: www.unep.org/geo/geo4/

La gestión racional de los recursos hídricos constituye una necesidad para todos los países; siendo esta una actividad central para la vida humana, la salud social, la economía y el bienestar político de cualquier región o país. Se pronostica que en el año 2025 dos tercios de la población mundial estará viviendo en áreas con recursos hídricos insuficientes causados por un grupo de factores entre los que cabe destacar los intensos períodos de sequía agravados por la acción del hombre sobre los recursos forestales, el proceso de desertificación a lo cual se



Capítulo I Estudio Documental

una contaminación de las fuentes de abasto y el aumento de la población. (Comisión Europea, 1999).

La escasez de agua ya es una realidad en gran parte del planeta, determinada por la baja disponibilidad de suministros renovables de agua dulce y el incremento desmedido de su consumo. La preocupación al respecto es tal que se vaticina que las próximas guerras serán por este recurso.

Una forma frecuentemente utilizada para medir la disponibilidad de agua es el Índice de Humedad Climática (IHC) (Willmott y Feddema, 1992). Este representa una medida del balance entre la precipitación y la evaporación anual en función del clima. El IHC varía de +1 a -1, mostrando los climas húmedos valores positivos y los climas áridos valores negativos.

En la Figura 1.2 se muestran los resultados de la evaluación del IHC en el mundo observándose que el 52% de la población total que vive en regiones áridas o semiáridas.

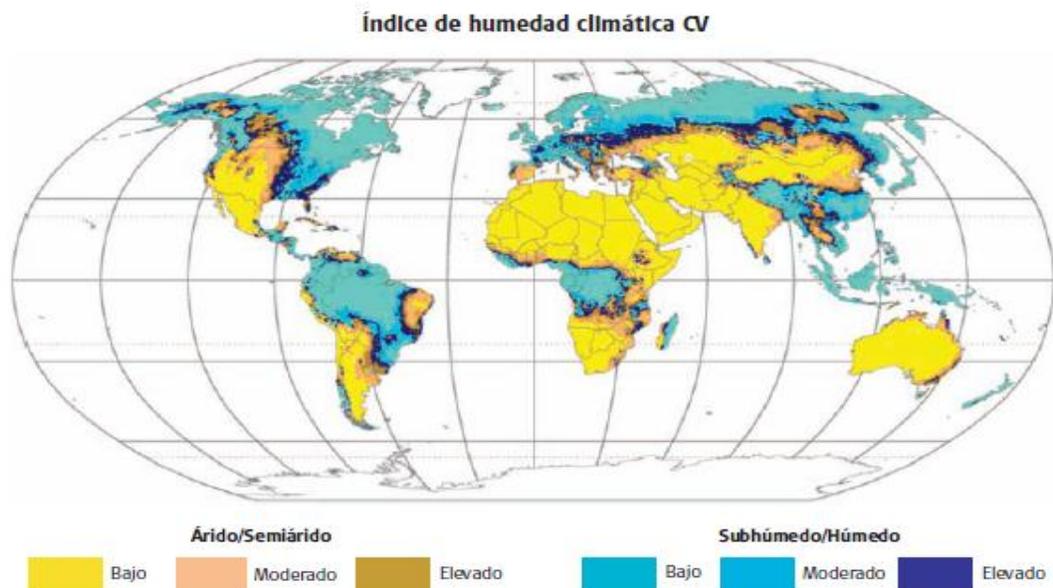


Figura 1.2 – Índice de humedad climática (IHC) en el mundo.

Fuente: <http://wwdrii.sr.unh.edu/download.html>



Capítulo I Estudio Documental

En la Figura 1.3 se exponen las tendencias estimadas de crecimiento de la población mundial en millones de habitantes, el uso total del agua y el uso por sectores en millones de km^3

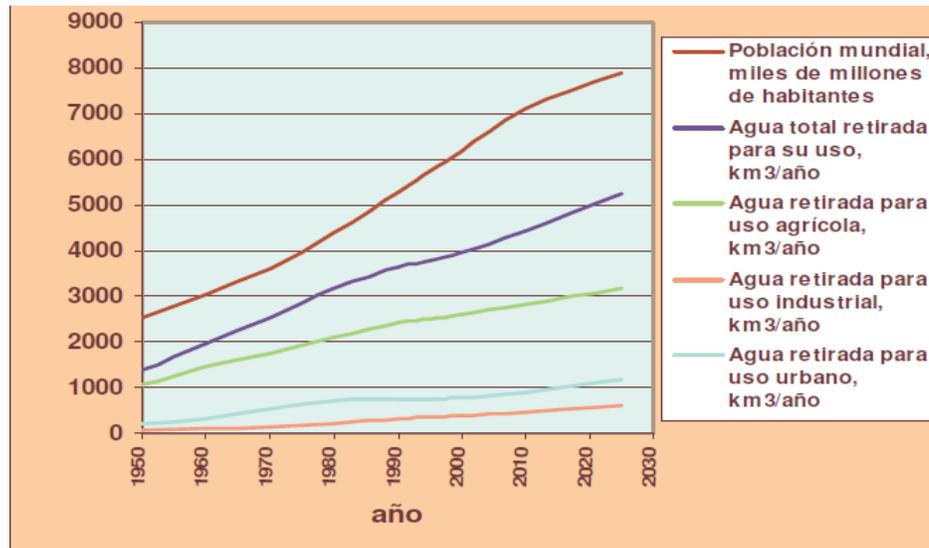


Figura 1.3 – Tendencias de crecimiento de la población y el consumo de agua por sector.

Fuente: (Prats 2009)

Es evidente en la Figura la tendencia marcada al incremento del consumo y al agravamiento de la situación, esperándose que la necesidad global anual de agua crezca en alrededor de 10-12% cada 10 años, alcanzando aproximadamente $5\,240\text{ km}^3$ en 2025.

En la Figura 1.4 se exponen los estimados de reducción de la disponibilidad de agua renovable por grupos de países. En los países desarrollados se debe alcanzar una estabilización en la disponibilidad en un valor alrededor del 50 % de la de 1950 a partir de las políticas para el uso racional de agua y de la implementación de tecnologías más eficientes. En los países en desarrollo la situación se agravará pudiendo llegar en 2025 a ser de entre un 10 y un 20 % la que tenían en 1950.



Capítulo I Estudio Documental

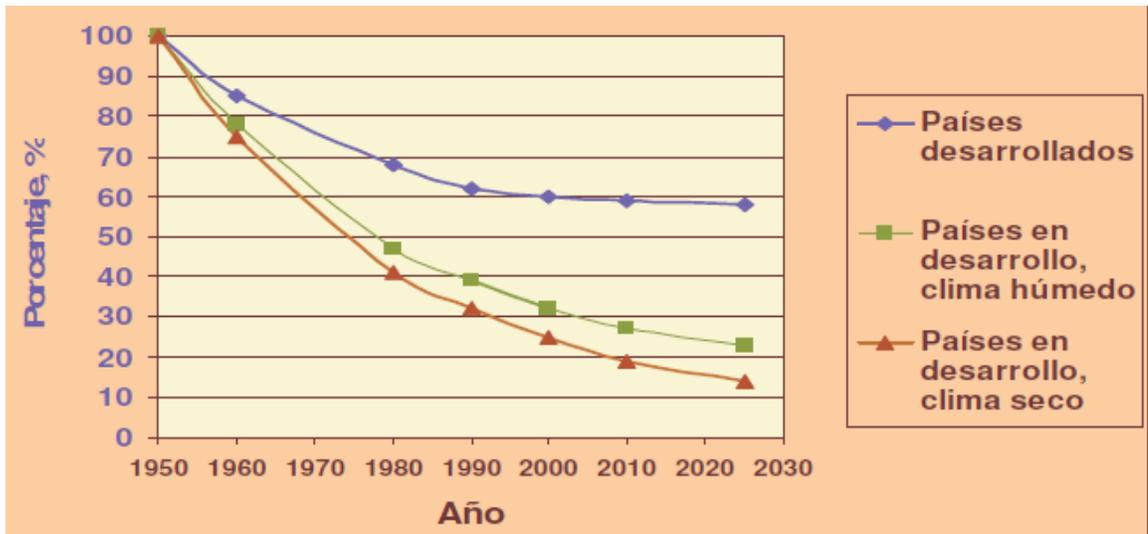


Figura 1.4 – Reducción de la disponibilidad de agua

Fuente (Prats 2009)

Como consecuencia del crecimiento de la población, la disponibilidad media global por habitante disminuye rápidamente tal como se observa en la Figura 1.5. donde se muestra la evolución de la población, del agua total renovable per cápita, y del agua renovable disponible.

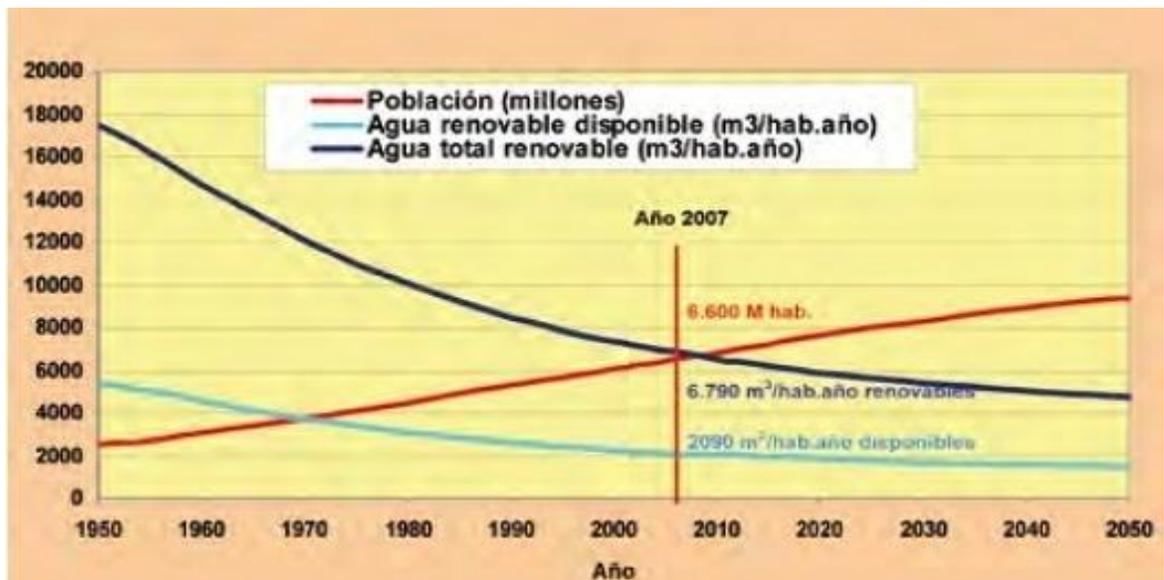


Figura 1.5 - Evolución del número de habitantes en el mundo y de la disponibilidad media de agua.

Fuente: (Prats 2009)



Capítulo I Estudio Documental

Un índice a dimensional muy significativo para calificar la situación de la problemática es la relación entre las necesidades reales de agua (considerando los índices de industrialización y desarrollo, tecnologías disponibles, etc.) y los recursos disponibles, medidos en las mismas unidades. Se denomina Índice de Estrés Hídrico Relativo (IEHR)

- Si RWSI $> 0,4$ se dan condiciones de estrés.
- Si RWSI $< 0,4$ se dan condiciones de poco estrés

En la figura 1.6 se expone la distribución por cuenca del análisis de este, en la que se indica el porcentaje de población por encima o por debajo del umbral de 0,4 de estrés hídrico relativo.

En 1995 cuando la población mundial era de 5.600 millones de habitantes, 2.300 millones (41 %) vivían en cuencas con “estrés hídrico” ($< 1.700 \text{ m}^3/\text{hab.año}$), y de ellos, 1.700 millones en cuencas con $< 1.000 \text{ m}^3/\text{hab.año}$ (problemas incluso con alimentación). Se estima que en 2025, con 8.000 millones de habitantes, más de 3.500 millones vivirán en cuencas con estrés hídrico y de ellos, 2.400 millones en cuencas con alto estrés hídrico (Prats 2009).

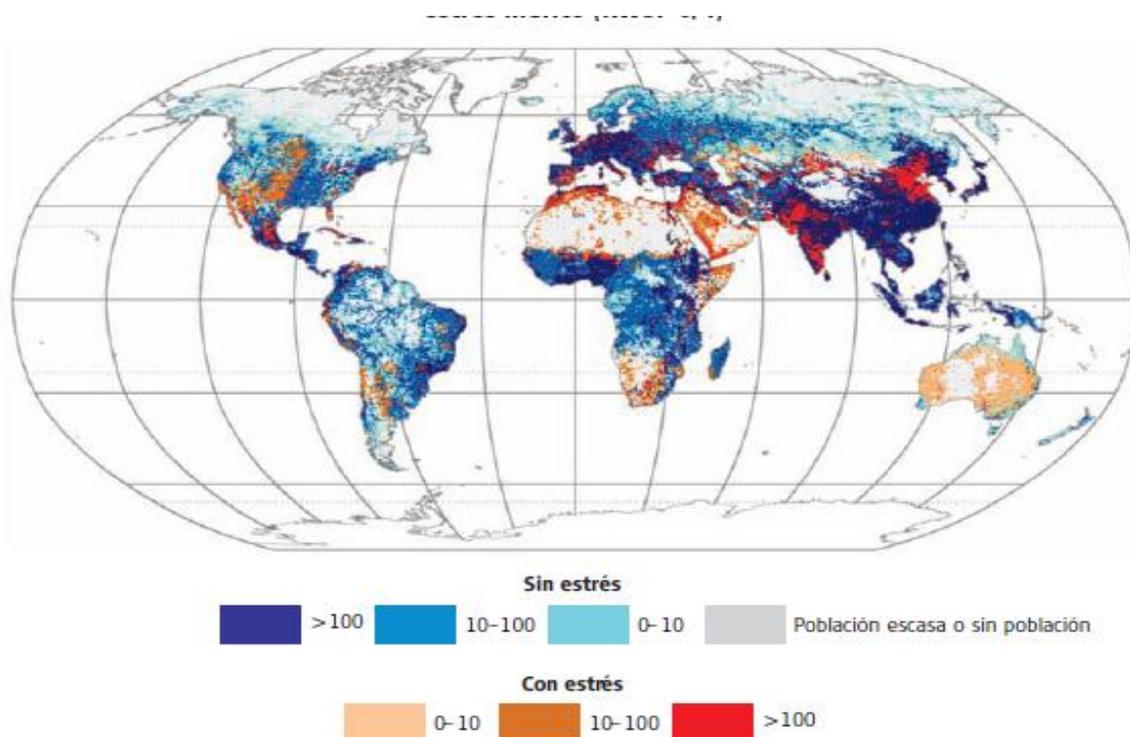


Figura 1.6 – Distribución del Índice de Estrés Hídrico Relativo. Fuente:

http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2/pdf/wwdr2_section_2es.pdf



Capítulo I Estudio Documental

Existen muchos problemas asociados a los umbrales del estrés de agua. Mas allá de la cuestión de la distribución, los países varían ampliamente en cuanto a la cantidad de agua que necesitan para generar un determinado nivel de producción, mantener su medio ambiente y satisfacer las necesidades humanas.

El uso del agua ha estado creciendo mucho mas rápido que la población durante al menos un siglo y esa tendencia continua. Durante los últimos trescientos años, la población se cuadruplicó, mientras que el uso del agua se multiplicó por siete. A medida que el mundo se enriquecía también aumentaba su sed. Los modelos de uso del agua también han cambiado. En el año 1900 la industria utilizaba una cifra estimada del 6% del agua del mundo. Ahora usa cuatro veces más. Sin embargo, mientras la demanda mundial de agua creció de forma espectacular en el siglo XX, la agricultura todavía utiliza la mayor parte. En los países en desarrollo, la agricultura todavía representa más del 80% del consumo de agua (IDH 2006) (Figuras1.7)

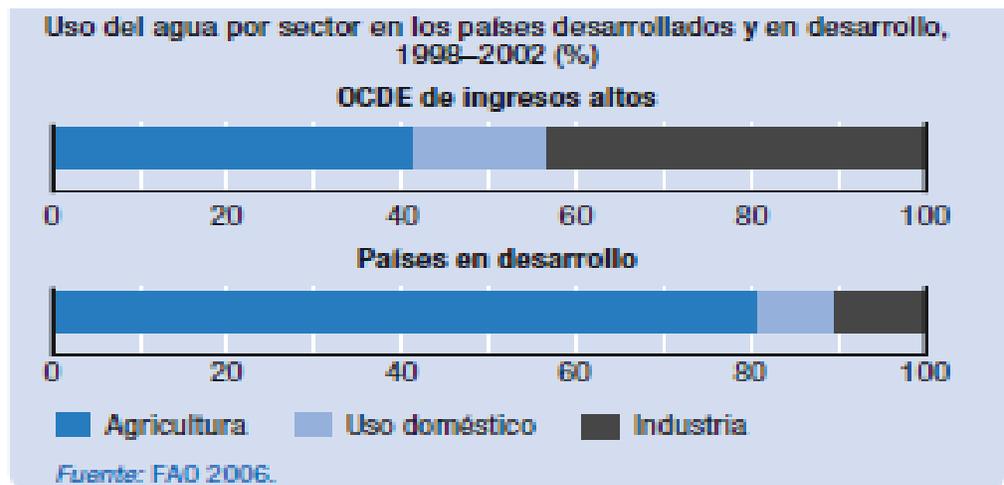


Figura 1.7 De que manera se utiliza el agua en el mundo

Fuente: Informe sobre Desarrollo Humano 2006



No es difícil ver por que esto es así. A veces se presupone que la escasez de agua se refiere a no contar con agua suficiente para satisfacer las necesidades domésticas o las demandas de las ciudades. Si bien algunas ciudades se enfrentan con los problemas del estrés de agua, es la agricultura el sector que deberá hacer frente al verdadero desafío.

1.2 – Caracterización de la problemática del agua en Cuba.

La situación de los recursos hídricos en nuestro país es caracterizada con precisión por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos en su contribución al Programa Nacional de Consumo y Producción Sostenible. 2010 – 2015 (CITMA 2010).

Los recursos hídricos potenciales del archipiélago cubano se evalúan en un total de 38,1 km³. De estos, 6,4 km³ corresponden a aguas subterráneas, y 31,7 km³ a superficiales.

Los recursos hidráulicos aprovechables se evalúan en alrededor de 24 km³ anuales. De los cuales, el 75 % corresponde a las aguas superficiales y el 25 % a las subterráneas. Por su parte, los recursos hidráulicos disponibles ascienden a 13.68 km³. La infraestructura hidráulica existente permite poner a la disposición de las demandas económicas, sociales y ambientales, el 57 % de los recursos aprovechables.

Aun teniendo en cuenta el sustantivo desarrollo hidráulico cubano, que en algo más de cuarenta años ha posibilitado elevar nuestras capacidades de embalse de 48 a más 9600 millones de m³, además de las obras de infraestructura para el uso de los recursos hídricos subterráneos, subsiste la carestía de agua para suplir todas las necesidades económicas sociales y ambientales, agravado esto por la ocurrencia de fenómenos naturales (sequía prolongadas, variaciones en el régimen estacional, etc.) y otros inducidos por causas antrópicas (intrusión salina, sobre explotación, contaminación, etc.).

El desarrollo hidráulico cubano ha permitido alcanzar alrededor de 1220 m³ por habitante por año para todos los usos. Sin embargo, esto es insuficiente y responde a una situación de estrés hídrico según las clasificaciones internacionales reconocidas.

En el deterioro de la calidad, carestía y falta de disponibilidad del recurso para todos sus usos, influyen otros elementos naturales y antrópicos, tan diversos y complejos en su interrelación como la contaminación, los déficit de cobertura boscosa; la no siempre adecuada planificación, uso y ordenamiento de las aguas, la salinización, el empleo de tecnologías



Capítulo I Estudio Documental

inadecuadas, el escaso reciclaje del agua; el mal estado de las redes hidráulicas de distribución; así como la insuficiente cultura de ahorro y uso racional. Todo ello, ha afectado su actual disponibilidad para los usos agrícolas, industriales y para la población.

La disponibilidad y el adecuado uso de los recursos hídricos del país, es un asunto de interés nacional que abarca toda la economía y la sociedad. Ello tiene una elevada incidencia en la protección de su medio ambiente, aunque esto se manifiesta de manera diferente y con distinto alcance en dependencia de la región del país.

En Cuba, los diferentes usos del agua no compiten entre sí pues existe un sistema de planificación anual y de control, que establece y vela porque se respeten las prioridades establecidas. En las que el abastecimiento a la población ocupa el lugar cimero. El principal instrumento para la administración del recurso lo constituye el Balance Anual de Uso del Agua. En la figura 1.8 se muestra el consumo de agua por sectores en Cuba, el consumo total del país se encuentra en el orden de los 5600 hm³ anuales.

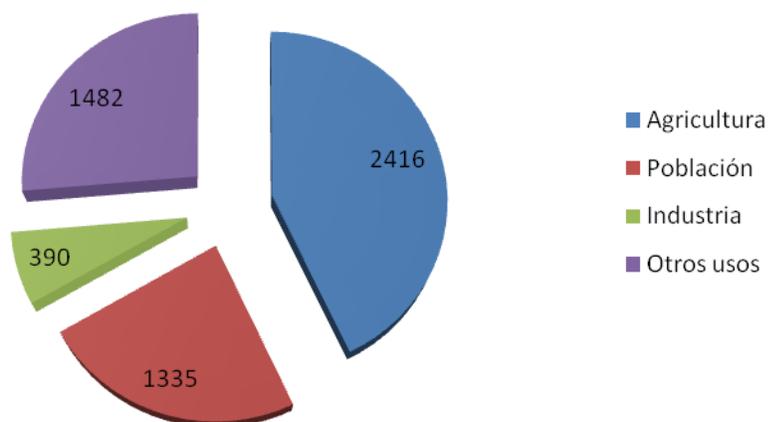


Figura 1.8: Consumo de agua en Cuba por Sectores (hm³).
Fuente: CITMA 2004.

Según la disponibilidad real del recurso a partir de la infraestructura hidráulica creada, la población del país, y tomando como referencia las precipitaciones anuales, la disponibilidad nacional alcanza los 1 220 m³/habitante. año para todos los usos. Este mismo indicador respecto a los recursos hídricos potenciales, es de 3 400 m³/habitante año, mientras que con relación a los recursos hídricos aprovechables es de 2 140 m³/habitante. año. Esta clasificación sitúa a Cuba entre los países de baja disponibilidad per cápita (entre 1 000 y 5 000



Capítulo I Estudio Documental

m³/habitante.ano), para cualesquiera sean los recursos empleados en las evaluaciones del indicador (potenciales o aprovechables), dada la lámina media anual de 1 335 mm.

El III Informe Nacional de Cuba al Comité de Revisión implementación de la Convención (CRIC) de las Naciones Unidas de Lucha Contra la desertificación y la Sequía, se exponen las acciones que realiza el país para paliar los daños de las sequías que cíclicamente afectan al país y se muestra la tendencia a la reducción de las precipitaciones, lo que hace cada vez más importantes todos los esfuerzos que se realicen para utilizar más racionalmente el agua en todos los sectores.

Cuba ha estado sometida en el último decenio a varios episodios de sequía, que han determinado una limitada disponibilidad de agua. La situación ha llegado a ser crítica en algunos territorios por lo que se trabaja en aras de mitigar los impactos de este fenómeno climático. Se destaca el extraordinario evento de sequía iniciado en mayo de 2003 por el oriente del país, y que progresivamente se extendió por todo el territorio nacional hasta mayo de 2005, generando el déficit mas intenso en los últimos 100 años. En la actualidad se ejecutan obras de trasvases interprovinciales hacia los territorios de baja disponibilidad relativa de agua.

En la Figura 1.9 se puede apreciar el comportamiento de los niveles de agua embalsada en el país entre 2004 y 2006, la irregularidad de este y las variaciones entre un año y otro reafirman lo antes planteado, en el análisis se debe tener en cuenta que la capacidad de los embalses del país está en el orden de los 9 km³ y la demanda anual en los 5.6 km³.

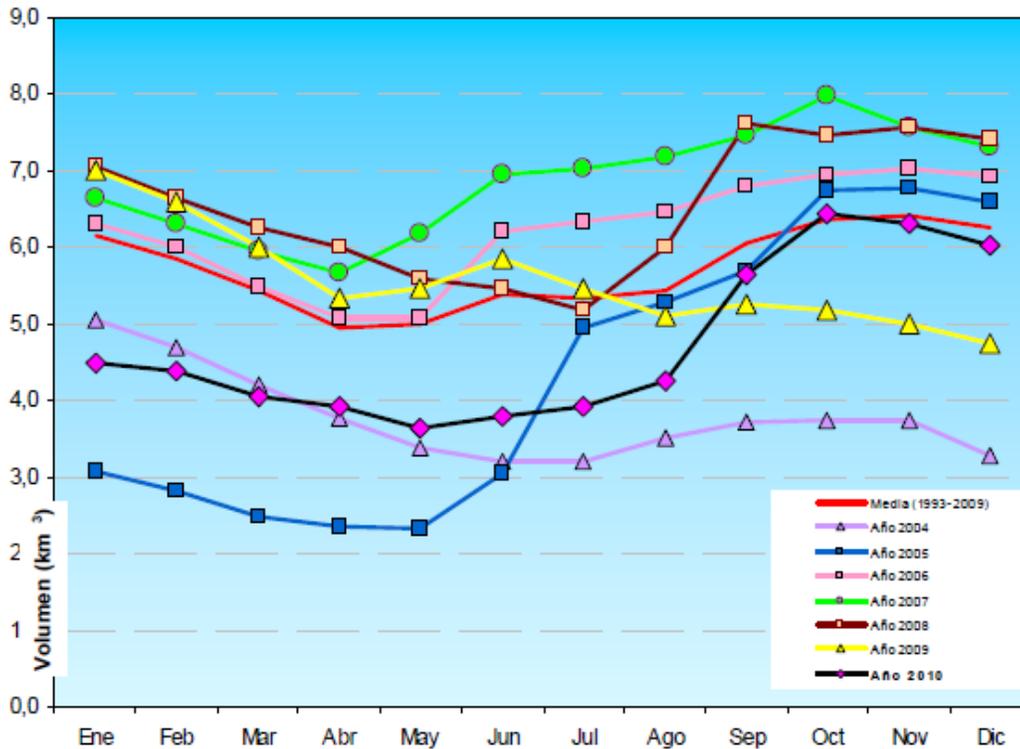


Figura 1.9 Comportamiento del agua embalsada en Cuba.

Fuente: Boletín Hidrológico Nacional.2010.

1.3 Evaluación de la Huella Ecológica.

Desde que en el año 1996 los investigadores Mathis Wackernagel y William Rees definieron el término Huella Ecológica, este índice de sostenibilidad se ha ido consolidando como uno de los más aplicados y, en palabras de reconocidos autores (Ernst Ulrich o Norman Myers por ejemplo), se ha convertido en una de las herramientas más útiles para evaluar los avances en este terreno.

La huella ecológica es un indicador del impacto ambiental generado por la demanda humana que se hace de los recursos existentes en los ecosistemas del planeta relacionándola con la capacidad ecológica de la Tierra de regenerar sus recursos. Representa el área de aire o agua ecológicamente productivos (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos) requeridos para generar los recursos necesarios y además para asimilar los residuos producidos por cada población determinada de acuerdo a su modo de vida en específico, de



Capítulo I Estudio Documental

forma indefinida. Es una herramienta que analiza la demanda humana sobre los ecosistemas midiendo el área de tierra y agua biológicamente productiva requerida para proporcionar los recursos renovables que utiliza la gente y para absorber el CO₂ que la actividad humana genera.

El objetivo fundamental de calcular las huellas ecológicas consiste en evaluar el impacto sobre el planeta de un determinado modo o forma de vida y, compararlo con la biocapacidad del planeta. Consecuentemente es un indicador clave para la sostenibilidad.

La Huella ecológica de una población. Representa el área de tierra productiva y ecosistemas acuáticos necesarios para producir los recursos empleados por dicha población y para disponer sus residuos, tomando en consideración un determinado nivel de vida, e independientemente del lugar geográfico en que dichas tierras se encuentren. Por tanto, si este concepto indica la cantidad de terreno que necesita una comunidad para satisfacer todas sus necesidades, el de **huella hídrica** representa la cantidad de agua que hace falta para sostener la actividad de una población.

La ventaja de medir la huella ecológica para entender la apropiación humana está en aprovechar la habilidad para hacer comparaciones. Es posible comparar, por ejemplo, las emisiones producidas al transportar un bien en particular con la energía requerida para el producto sobre la misma escala.

Desde un punto de vista global, se ha estimado en 1,8 hectáreas globales la biocapacidad del planeta por cada habitante, o lo que es lo mismo, si tuviéramos que repartir el terreno productivo de la tierra en partes iguales, a cada uno de los más de seis mil millones de habitantes en el planeta, les corresponderían 1,8 hectáreas globales para satisfacer todas sus necesidades durante un año. Con los datos de 2005, el consumo medio por habitante y año es de 2,7 hectáreas globales, por lo que, a nivel global, estamos consumiendo más recursos y generando más residuos de los que el planeta puede generar y admitir.



Capítulo I Estudio Documental

La huella ecológica evalúa un determinado modelo de vida. Se expresa en hectáreas globales por persona y año, representando la superficie de Planeta necesaria para asimilar el impacto de las actividades del modelo de vida analizado. La huella de una población está determinada por su número de miembros, el volumen de consumo y el la intensidad en el uso de los recursos para proveerla de bienes y servicios.

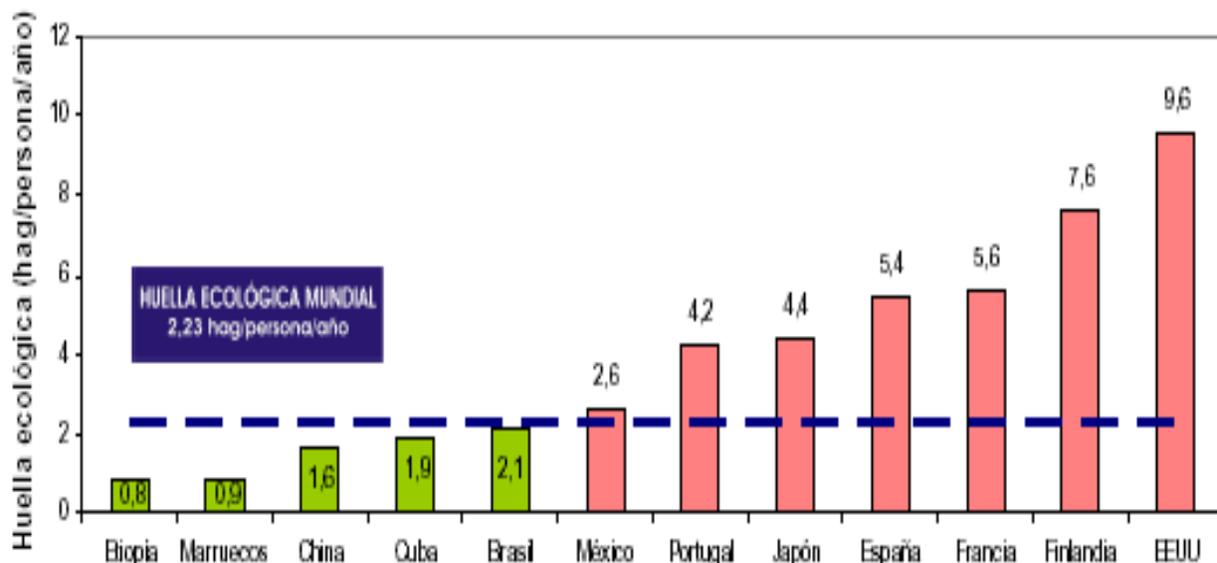


Figura 1.10 Huella ecológica en diferentes países (2003)

Fuente: WWF, Informe Planeta Vivo 2006

A la vista de la gráfica anterior se puede observar las grandes diferencias existentes entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo. En la mayor parte de los países desarrollados los ciudadanos no son conscientes de los graves impactos que tienen en el ambiente sus acciones cotidianas y su modo de vida (tamaño de la vivienda en que se habita, desplazamientos a los lugares de trabajo, compra diaria en supermercados). La huella ecológica es un indicador que facilita dar a conocer estos impactos de forma clara y sencilla, motivo por el cual se considera una herramienta de educación ambiental.

1.4 Huella Ecológica de Cuba.

En la figura 1.11 se muestra la evolución de la Huella Ecológica de Cuba y de varios países seleccionados con similar IDH. En la taza de Cuba se aprecia que a finales de los años 60 con el inicio del proceso de industrialización del país la Huella Ecológica se incrementó hasta



Capítulo I Estudio Documental

valores superiores a 3 hectáreas globales (hag) per cápita y cercanos a 4 en 1980, manteniéndose en una meseta hasta inicios de los años 90 en que desaparece la URSS.

En coincidencia con la caída brusca del PIB en 1990 se produce una importante reducción de la Huella Ecológica. También se puede observar como a partir de 1996 la economía cubana comienza a recuperarse y crece sistemáticamente hasta 2007, mientras la HE se mantuvo entre 1.5 y 2 hag, muy inferior a la de los países seleccionados, este comportamiento constituye un logro indiscutible del modelo cubano.

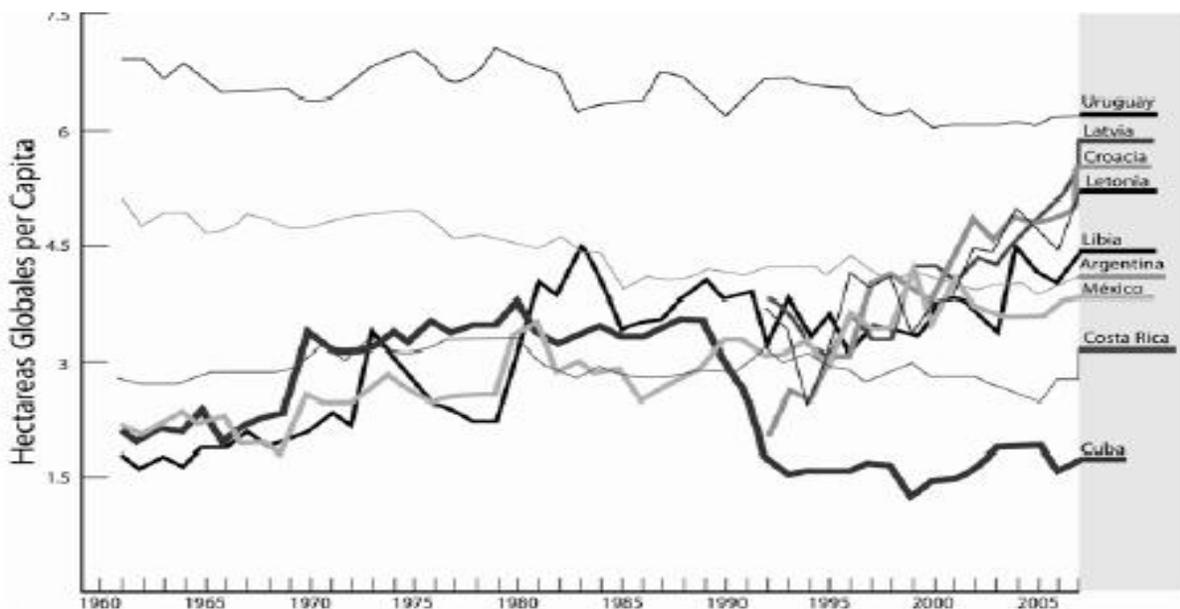


Figura 1.11 – Evolución de la HE en un grupo de países de similar IDH.

Fuente: Cabello et al. An approach to sustainable development: the case of Cuba. Environment, Development and Sustainability. DOI 10.1007/s10668-012-9338-8.com

El análisis de la HE de Cuba por componentes entre 2000 y 2010 se muestra en la Tabla 1.1 Los mayores aportes los realizan la huella de carbono y la huella del uso de las tierras. Las estrategias desarrolladas en estos sectores tienen particular importancia.



Capítulo I Estudio Documental

Tabla 1.1 – Principales componentes de la HE de Cuba.

Fuentes: Cabello et al. An approach to sustainable development: the case of Cuba. Environment, Development and Sustainability. DOI 10.1007/s10668-012-9338-8.com

	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Huella ecológica Cuba, hag	2,1	1,49	1,4	1,4	1,8	1,9
Tierras agrícolas, hag	0,64	0,55	0,39	0,62	0,67	0,64
Huella de carbono, hag	0,96	0,64	0,8	0,62	0,82	0,76
%	76	80	78	88	82	74

La estabilización de la Huella Ecológica cubana en valores por debajo de 2 hag a pesar de la recuperación económica experimentada desde finales de los 90 y hasta el 2007 obedece a juicio de los autores a las siguientes causas:

- Política ambiental coherente y responsable.
- Estrategia racional en el sector energético.
- Transformaciones en la agricultura.
- Restricciones que la situación económica ha impuesto al transporte y la política de racionalización del uso de los combustibles en ese sector.
- Modelo económico planificado.
- Cultura de la racionalidad.



1.5 Evaluación de la Huella Hídrica

1.5.1 Conceptualización y antecedentes

La idea de considerar el uso del agua a lo largo de las cadenas de suministro ha cobrado interés después de la introducción del concepto de “huella hídrica” por Hoekstra en 2002 (Hoekstra, 2003). La huella hídrica es un indicador de uso de agua dulce que es palpable no sólo en el uso directo de agua de un consumidor o productor, sino también en su uso indirecto. La misma puede ser considerada como un indicador global de apropiación de los recursos de agua dulce, por encima de la medida tradicional y restringida de la extracción de agua. La huella hídrica de un producto es el volumen de agua utilizada para producir el producto, medidos a lo largo de la cadena de suministro. Es un indicador multidimensional, que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuentes y volúmenes de contaminación por cada tipo de contaminación, y cuyos componentes de huella hídrica total pueden ser especificados geográfica y temporalmente.

La huella hídrica de un país es el volumen total de agua utilizado globalmente para producir los bienes y servicios consumidos por sus habitantes. Incluye el agua sustraída de los ríos, lagos y acuíferos (aguas superficiales y subterráneas) para la agricultura, la industria y el uso doméstico, así como el agua de lluvia utilizada para los cultivos. La huella hídrica es análoga a la Huella Ecológica: mientras que esta última calcula el área total de espacio productivo requerido para producir los productos y servicios consumidos por una determinada población, la huella hídrica calcula el volumen de agua necesario para producir los mismos bienes y servicios. **La Huella Hídrica total** de un país tiene dos componentes.

Huella Hídrica interna es el volumen de agua necesario para cultivar y proporcionar los bienes y servicios que se producen y consumen dentro de ese país.

Huella Hídrica externa es la resultante del consumo de bienes importados, o en otras palabras, el agua que se utiliza para la producción de bienes en el país exportador. Las exportaciones de un país no están incluidas como parte de su huella hídrica.

Finalmente, es necesario definir los **colores del agua**, ya que permiten clasificar el origen y el tipo de agua que interviene en la huella hídrica. La disponibilidad de agua dulce en la tierra está determinada por la precipitación anual, una parte de la precipitación se evapora y la otra parte discurre hacia el océano a través de los acuíferos y ríos, y ambos flujos de agua pueden



Capítulo I Estudio Documental

ser utilizados para los propósitos humanos. De esta forma se definen los colores verde, azul y gris:

La huella hídrica azul Es el volumen de agua dulce superficial y subterránea, es decir, agua de ríos, lagos y acuíferos.

La huella hídrica verde es la parte de la precipitación que no circula o recarga las aguas subterráneas sino que queda almacenada en el suelo o en la vegetación temporalmente y, finalmente, esta precipitación se evapotranspira a través de las plantas. En determinadas ocasiones el flujo de evaporación puede ser utilizado en el crecimiento y mantenimiento de los cultivos y ecosistemas naturales. Parte del agua verde se evaporara directamente, dicha cantidad varía en función de época del año y la climatología del lugar.

La huella hídrica gris se define como el volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga de contaminante según las normas ambientales de calidad del agua, es decir, volumen de agua requerido para diluir los contaminantes de manera que la calidad del agua sea superior a la marcada por las normas de calidad. La siguiente figura representa los componentes de la Huella Hídrica.

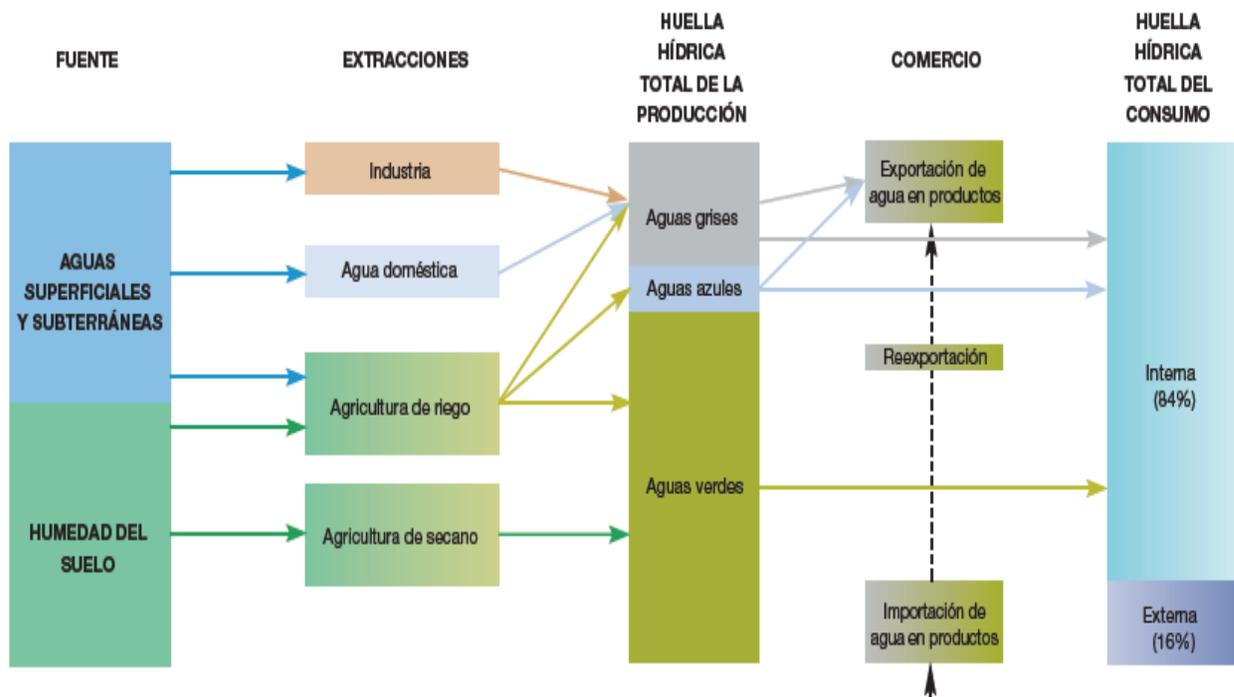


Figura 1.12 Componentes de la Huella Hídrica.

Fuente: Informe Planeta Vivo 2008



Capítulo I Estudio Documental

Como indicador de "uso del agua", la huella hídrica se diferencia de la medida clásica de "extracción de agua" en tres puntos:

- No incluye el uso del agua azul en la medida en que esta agua se devuelve a donde vino.
- No se limita al uso del agua azul, pero también incluye el agua verde y gris.
- No se limita al uso directo de agua, sino que también incluye el uso del agua indirecto.

La huella hídrica por lo tanto ofrece una perspectiva mejor y más amplia sobre cómo un consumidor o productor afecta el uso del agua dulce. Se trata de una medida volumétrica del consumo de agua y su contaminación. Lo que no mide es la gravedad de los efectos locales en el medio ambiente del consumo de agua y su contaminación. El impacto local del medio ambiente de una cierta cantidad de consumo de agua y su contaminación depende de la vulnerabilidad del sistema de agua local y el número de consumidores y contaminadores de agua que hagan uso del mismo. La huella hídrica representa una información explícita a lo largo del tiempo y del espacio sobre cómo el agua es apropiada para diversos fines humanos. Por ello no sólo puede inspirar un debate sobre el uso del agua sostenible y equitativo, sino también sentar una buena base para la evaluación local de sus impactos ambientales, sociales y económicos.

1.5.2 Evaluación de la Huella Hídrica.

La evaluación de la huella hídrica se refiere a toda una gama de actividades para cuantificar y localizar la huella hídrica de un proceso, producto, productor o consumidor o de cuantificar en el espacio y el tiempo la huella hídrica de una zona geográfica específica, evaluar la sostenibilidad datos específicos afectan a las cuestiones de escasez de agua y su contaminación y ver cómo las actividades y los productos puedan ser más sostenibles desde la perspectiva de agua.

El punto de vista de una evaluación de huella hídrica depende en gran medida del foco de interés. Se puede estar interesado en la huella hídrica de una etapa del proceso específico en una cadena de producción, o en la huella hídrica de un producto final. Alternativamente, nos puede interesar la huella hídrica de un consumidor o un grupo de consumidores o la de un productor o sector económico. Por último, se puede tomar una perspectiva geográfica, analizando la huella hídrica total dentro de un área delimitada de un municipio, provincia, o nación, de captación de agua o cuenca hidrográfica. Esta huella hídrica total es la suma de las diferentes huellas hídricas de los muchos procesos distintos que tienen lugar en la zona.



Capítulo I Estudio Documental

“La evaluación de la huella hídrica” es una herramienta de análisis, puede ser eficaz en ayudar a comprender cómo las actividades y productos se relacionan con la escasez de agua y su contaminación y los impactos asociados y qué se puede hacer para asegurarse que las actividades y productos no contribuyan a un uso insostenible del agua dulce. Al utilizarla como herramienta, la evaluación de la huella hídrica proporcionará una visión más profunda. En vez de decirnos lo que “debemos hacer”, nos incita a comprender lo que se podría hacer.

Una evaluación de la huella hídrica total esta compuesta de cuatro fases distintas

- Establecer objetivos y su alcance
- Contabilizar la huella hídrica
- Evaluar la sostenibilidad
- Formular la respuesta.

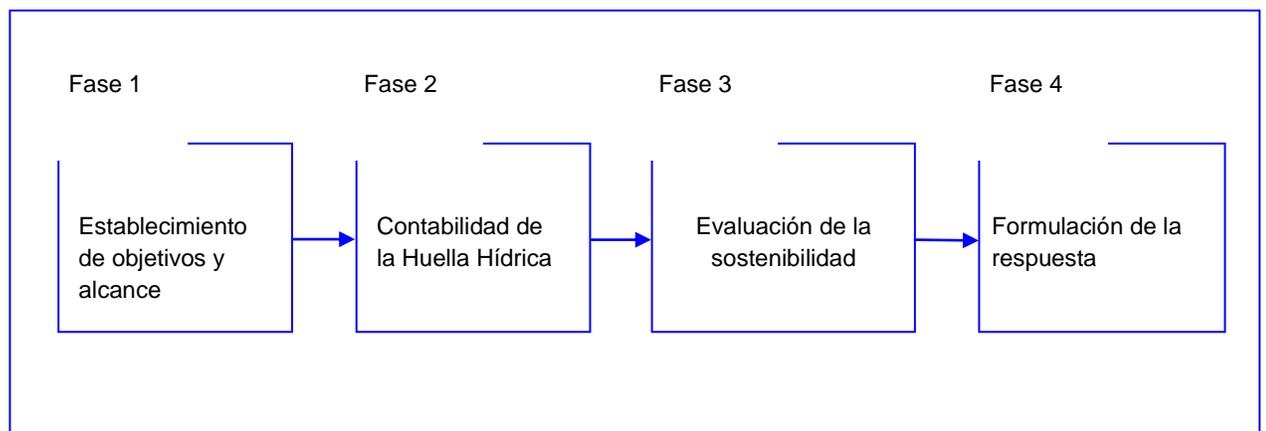


Figura. 1.13 Fases de evaluación de la Huella Hídrica

Fuente: Manual de Evaluación de la Huella Hídrica Hoekstra et al., 2010



Existen cuatro factores principales que explican los valores de la huella hídrica:

1. **Volumen total del consumo.** Por lo general, está directamente relacionado con el nivel de riqueza de un país, lo que explica parcialmente, al menos las altas huellas hídricas de Estados Unidos o Suiza.
2. **Patrones de consumo de agua.** Otro factor que puede explicar la existencia de una gran huella hídrica es que dichos patrones supongan un consumo elevado de agua. En particular, el elevado consumo de carne influirá de manera directa en un mayor consumo de agua, tal como se ve en los casos de Estados Unidos, Canadá, Francia, España, Portugal, Italia y Grecia. Por ejemplo, el consumo medio de carne en Estados Unidos es de 120 kilogramos por año y persona, más del triple de la media mundial. De manera menos acusada, el elevado consumo de productos industriales, en cuya fabricación se emplean a menudo grandes cantidades de agua, también agudizan el crecimiento de la huella hídrica.
3. **Clima.** En regiones con mayor demanda evaporativa la necesidad de agua para los cultivos es mayor. Es el factor predominante para explicar los casos de muchos países africanos como Senegal, Mali, Sudán, Chad, Nigeria o el caso de Siria.
4. **Prácticas agrícolas poco eficientes.** Lo que significa que el rendimiento obtenido por unidad de medida de agua es menor.

Un estudio de la huella hídrica puede realizarse por muchas razones diferentes. Por ejemplo, un gobierno nacional podría estar interesado en conocer su dependencia de los recursos hídricos de otros países o bien puede estar interesado en conocer la sostenibilidad del uso del agua en las áreas donde los productos de importación hacen uso intensivo de su agua de origen. Las autoridades de una cuenca hidrográfica pueden estar interesadas en saber si la huella hídrica acumulada de las actividades humanas dentro de esa cuenca viola los requisitos del caudal ambiental o las normas de calidad del agua en cualquiera de sus etapas. Dichas autoridades también pueden querer saber en qué medida los escasos recursos hídricos de la cuenca se asignan a cultivos de exportación de bajo valor. Una empresa puede estar interesada en saber su dependencia de los escasos recursos hídricos en su cadena de suministro o de cómo puede contribuir a reducir el impacto en los sistemas de agua a través de su cadena de suministro y dentro de sus propias operaciones.



Capítulo I Estudio Documental

La fase de la contabilidad de la huella hídrica es la fase en la que se recogen datos y se establecen las cuentas. El alcance y nivel de detalle en la contabilidad depende de las decisiones tomadas en la fase anterior. Después de la fase de contabilidad sigue la fase de evaluación de la sostenibilidad, en la que se evalúa la huella hídrica desde una perspectiva ambiental, así como desde una perspectiva social y económica. En la fase final, se formulan propuestas de opciones, estrategias o políticas. No es necesario incluir todos los pasos en un estudio. En la primera fase de establecimiento de objetivos y un ámbito de aplicación se puede decidir a concentrarse en la contabilidad o seguir hasta la fase de evaluación de la sostenibilidad, dejando la discusión acerca de las propuestas para más adelante. Además, en la práctica, este modelo de cuatro fases posteriores es más una guía que una directiva estricta. A menudo puede ser necesario volver a pasos anteriores con una iteración de las fases. En primera instancia, una empresa podría estar interesada en una exploración generalizada de todas las fases, con el fin de identificar los componentes críticos de su huella hídrica y establecer prioridades para las respuestas, mientras que más tarde se prefiera estudiar con mucho más detalle algún área de las cuentas y la evaluación de la sostenibilidad.

1.5.3 Objetivos de la evaluación de la huella hídrica

El estudio de la huella hídrica puede tener diversos fines y aplicarse en diferentes contextos. Cada objetivo requiere su propio ámbito de análisis y permitirá diferentes opciones a la hora de hacer suposiciones. Se puede estudiar la huella hídrica de diferentes entidades, por lo que es muy importante comenzar especificando los aspectos que nos interesan de una huella hídrica en particular. Se puede estar interesado, por ejemplo, en:

- La huella hídrica de una fase del proceso.
- La huella hídrica de un producto.
- La huella hídrica de un consumidor.
- La huella hídrica de un grupo de consumidores.
- La huella hídrica de los consumidores de una nación.
- La huella hídrica de los consumidores de un municipio, provincia o unidad administrativa.
- La huella hídrica de los consumidores en un área de captación y fluviales.
- La huella hídrica dentro de un área geográficamente delimitada.
- La huella hídrica de una nación.
- huella hídrica dentro de una unidad, municipio, provincia.



Capítulo I Estudio Documental

- Huella hídrica dentro de un área de captación o cuenca hidrográfica.
- La huella hídrica de una empresa.
- La huella hídrica de un sector empresarial.
- La huella hídrica de la humanidad en su conjunto.

1.5.4 Huella Hídrica en Cuba

La Huella Hídrica de Cuba alcanzó en el Informe Planeta Vivo 2008, que se refería a datos del 2003, la cifra de 1 712 m³/habitante año y se colocó en el lugar número 30, en orden descendente del total de países involucrados en la evaluación, entre la de Finlandia de 1 727 m³/habitante año y la de Suiza de 1 682 m³/habitante año (WWF 2008). (Se corresponde con las disponibilidades de agua creadas por el desarrollo hidráulico cubano - 57 % de los recursos aprovechables)

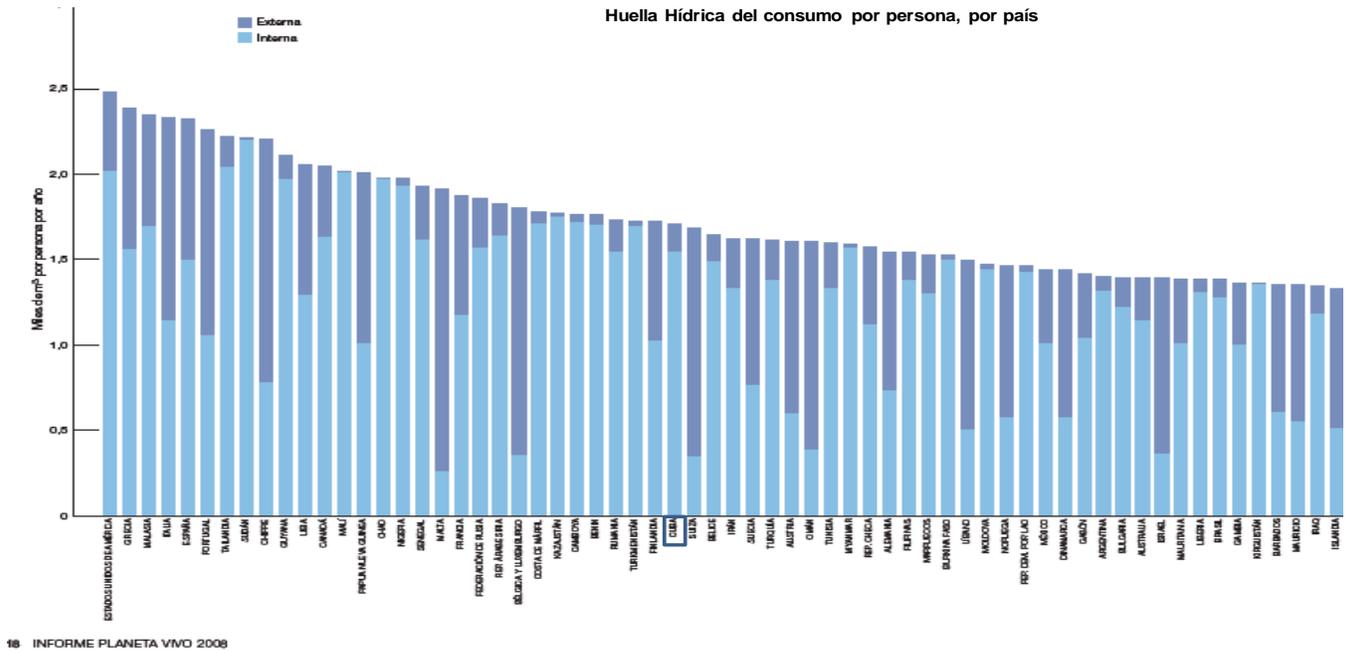


Figura 1.14 Huella Hídrica del consumo por persona por país

Fuente: Informe Planeta Vivo 2008



Capítulo I Estudio Documental

Este resultado deja muy clara la tarea pendiente que tiene nuestro país en el aprovechamiento del agua lo que se expresa claramente en el Programa Nacional de Consumo y Producción Sostenible. 2010 – 2015 “Con base en el desarrollo hidráulico alcanzado, se considera que las disponibilidades básicas para el suministro seguro de agua y el desarrollo sostenible del país están creadas y en funcionamiento, y que los principales problemas a resolver son los relacionados con la eficiencia en el empleo del recurso (conducción, distribución, medición entre otros), y con la creación de una cultura social y empresarial para lograr su uso sostenible” (CITMA 2011)



Conclusiones Parciales del Capítulo I

Conclusiones Parciales del Capítulo I

1. El tema del acceso y apropiación del agua es objeto de análisis y debate a nivel internacional.
2. En nuestro país el tema del uso racional del agua es priorizado y la política está fijada en los principales documentos normativos del país: La ley de Medio ambiente, la estrategia ambiental nacional y los lineamientos de la política económica social.
3. El indicador de la Huella Hídrica para evaluar el uso del agua dulce tiene amplia difusión internacional,
4. La Huella Hídrica de Cuba es de 1712 m³/habitante año, lugar 30 en orden descendente internacionalmente en su mayor parte verde y gris.
5. En la literatura analizada no se encontraron estudios sobre el cálculo de la Huella Hídrica de cultivos en nuestro país.

Capitulum 2



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica.

2.1 Estudios Previos

Los estudios sobre la huella hídrica nacen de la necesidad de evaluar el valor del agua a través de las mismas hipótesis y criterios, de esta forma, Chapagain A.K. y Hoekstra A.Y. realizaron estudios y análisis sobre los usos de agua a través de datos existentes, desarrollando el concepto de huella hídrica y creando una metodología de cálculo.

A pesar de que en el año 2002 se introdujo el concepto de huella hídrica, tal y como se conoce hoy en día, no es hasta 2005 que este tipo de estudios empieza a proliferar llegando a ser, en la actualidad, muy prolijo.

En los últimos años, se han realizado diversos estudios sobre la huella hídrica, en los que se intenta determinar la cantidad de agua necesaria para el cultivo y la elaboración de diferentes productos, así como la huella hídrica de los diferentes países del mundo.

En lo referente a la huella hídrica de los cultivos, se realizan los primeros estudios en 2001 y en 2002 se publica el estudio "Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade" (El comercio virtual de agua: Una cuantificación de corrientes de agua virtuales entre naciones en relación al comercio internacional del cultivo) de Hoekstra A.Y. y Hung P.Q. siendo este último la base para los posteriores análisis y estudios relacionados con el tema ya que el agua debe ser considerada como un bien económico, puesto que el agua potable es un bien escaso y por tanto debe ser tratada económicamente, lo que genera una necesidad urgente de desarrollo de conceptos y herramientas adecuadas para hacerlo



2.2 La coherencia entre los diferentes tipos de contabilidad de la Huella Hídrica

La huella hídrica de una "etapa del proceso" es el componente básico de todas las cuentas de la huella hídrica (ver Figura 2. 1 y Tabla 2.1) La huella hídrica de un producto intermedio o final del "producto" (bien de consumo o servicio) es el conjunto de las huellas hídricas de las distintas etapas relevantes del proceso en la producción del producto. La huella hídrica de un consumidor individual está en función de las huellas hídricas de los diferentes productos consumidos por tal consumidor. La huella hídrica de una comunidad de consumidores - por ejemplo, los habitantes de un municipio, provincia, estado o nación - es igual a la suma de las huellas hídricas individuales de los miembros de la comunidad. La huella hídrica de un productor o cualquier tipo de empresa es igual a la suma de las huellas hídricas de los productos que ofrece el productor o empresa. La huella hídrica dentro de un área geográficamente delimitada - ya sea una provincia, país, zona de captación o cuenca hidrográfica - es igual a la suma de huellas hídricas de todos los procesos que tendrán lugar en esa zona. La huella hídrica total de la humanidad es igual a la suma de las huellas hídricas de todos los consumidores del mundo, que es igual a la suma de huellas hídricas de todos los bienes de consumo y servicios finales que se consumen anualmente y también igual a la suma de toda el agua consumida o contaminada en los procesos a nivel mundial.



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

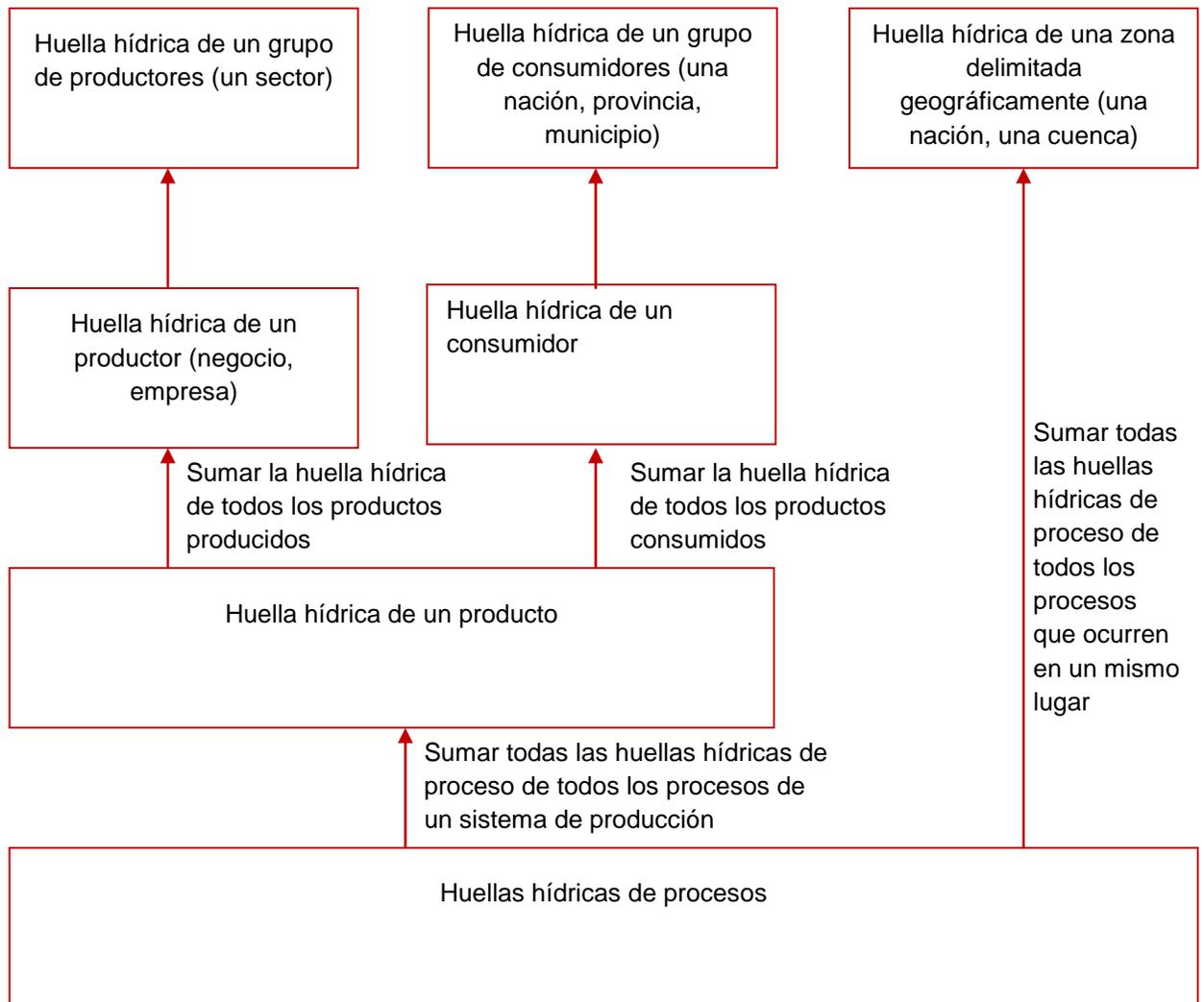


Figura 2.1 El agua de proceso huellas como el componente básico de todas las huellas hídricas.

Fuente: Manual de evaluación de la huella hídrica Hoekstra et al., 2010

Las huellas hídricas de los productos finales (consumidos) se pueden agregar sin doble contabilidad. Esto se debe al hecho de que las huellas hídricas de proceso son siempre asignadas en exclusiva a un producto final, o, en el caso de procesos que contribuyan a más de un solo producto final, la huella hídrica de ese proceso será dividida entre los distintos productos finales. No tiene sentido agregar las huellas hídricas de los productos intermedios, ya que se podría acabar fácilmente en una doble contabilidad.



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

Tabla 2.1 La relación entre los diferentes tipos de Huellas Hídricas.

Fuente: Manual de Evaluación de la Huella Hídrica Hoekstra et al., 2010

- La Huella Hídrica de un producto = la suma de las Huellas Hídricas de los diferentes procesos adoptados para producir el producto (teniendo en cuenta toda la producción y la cadena de suministro).
- La Huella Hídrica de un consumidor = la suma de las Huellas Hídricas de todos los productos consumidos por el consumidor.
- La Huella Hídrica de una comunidad = la suma de las Huellas Hídricas de sus miembros.
- La Huella Hídrica de consumo nacional = la suma de las Huellas Hídricas de sus habitantes.
- La Huella Hídrica de una empresa = la suma de las Huellas Hídricas de los productos finales que la empresa produce.
- La Huella Hídrica dentro de un área geográficamente delimitada (por ejemplo, un municipio, provincia, estado, nación, de captación o cuenca) = la suma de las Huellas Hídricas de proceso de todos los procesos que tienen lugar en la zona.

2.3 Metodologías de cálculo de la “Huella Hídrica”

El estudio de la “Huella Hídrica” en los ámbitos locales permite conocer exactamente cuánta agua, y en qué condiciones, se utiliza de los sistemas de agua locales, y cuánta agua sería necesaria para contrarrestar las corrientes contaminadas (Chapagain y Orr, 2009). Más importante aún, podemos ver de dónde procede el agua en el ciclo hidrológico, a la vez que se relacionan los productos comercializados con las zonas de producción. La base metodológica de este trabajo es la metodología desarrollada por Chapagain y Hoekstra (2004), y actualizada en Hoekstra et al. (2010).



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

2.3.1 “Huella Hídrica” (wfp)

La “Huella Hídrica” (Wáter footprint – WFP; m³) es el volumen de agua necesaria, directa o indirectamente, para la producción de los productos y servicios consumidos por los habitantes de un área geográfica determinada, industria, o persona.

Como la población de un área geográfica determinada se abastece de productos elaborados domésticamente e importados, la “Huella Hídrica” tiene dos componentes: el agua doméstica y el agua foránea:

- ✓ “Huella Hídrica” interna (internal water footprint - IWFP): el agua procedente de los recursos nacionales de un área geográfica determinada.
- ✓ “Huella Hídrica” externa (external water footprint - EWFP): cantidad de agua necesaria para desarrollar los productos o servicios consumidos en un área geográfica determinada, cuando éstos han sido producidos en el exterior.

De manera que la fórmula para su cálculo es:

$$WFP = IWFP + EWFP$$

Tanto para el cálculo de la “Huella Hídrica” interna como para la “Huella Hídrica” externa, se debe tener en cuenta el agua superficial y la subterránea.

2.3.2 “Huella Hídrica” Interna (IWFP)

Es la suma del volumen total de agua utilizada de los recursos de agua doméstico en la economía nacional, menos el volumen de agua virtual exportada a otras áreas geográficas (mediante la exportación de productos producidos en el área geográfica determinada):

$$IWFP = AWU + IWW + DWW - VWE \text{ dom}$$

Donde:

- ✓ AWU = Usos agrícolas del agua (Agricultural Water Use)
- ✓ IWW = Usos industriales (Industrial Water Withdrawal)



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

- ✓ DWW = Usos domésticos (Domestic Water Withdrawal)
- ✓ VWE dom = Exportación de agua virtual a otras áreas geográficas (Virtual water export related to export of domestic all y produced products)

Los usos industriales del agua se refieren a todo el volumen de agua consumido en cualquier proceso industrial, y los usos domésticos se refieren al consumo de agua potable y la utilizada por los gobiernos locales. Llamas (2005) considera que todavía es necesario avanzar en las metodologías de cálculo del agua virtual de los usos urbanos, para la producción de alimentos manufacturados y de los productos industriales.

2.3.3 “Huella Hídrica” Externa (EWFP)

Es igual al agua virtual importada (VWEI) menos el volumen de agua virtual exportada a otras áreas geográficas determinadas como resultado de la reexportación de productos importados (VWEre. export):

$$EWFP = VWI - VWEre-export$$

2.3.4 “Huella Hídrica” de un consumidor o un grupo de consumidores

La “Huella Hídrica” de los consumidores está relacionada con la “Huella Hídrica” de los productores en la cadena de suministro. La “Huella Hídrica” total de un consumidor es la suma de su “Huella Hídrica” directa e indirecta. Siendo la “Huella Hídrica” directa de un consumidor o productor, o de un grupo de consumidores o productores, el consumo de agua dulce y la contaminación asociada a su uso por el consumidor o el productor (Wáter Footprint Network, 2010). La “Huella Hídrica” indirecta de un consumidor o productor se define como el consumo de agua dulce y la contaminación que está detrás de los productos que son, consumidos o producidos. Se considera que es igual a la suma de la “Huella Hídrica” de todos los productos consumidos por el consumidor o de todos los insumos (no hídricos) utilizados por el productor.

La “Huella Hídrica” de un consumidor (WFcons) se define como el volumen total de agua dulce consumida y contaminada para la producción de los bienes y servicios consumidos por el consumidor. La “Huella Hídrica” de un grupo de consumidores es igual a la suma de la “Huella Hídrica” de los consumidores individuales. Se calcula sumando la “Huella Hídrica” directa de la persona y su “Huella Hídrica” indirecta:

$$WFcons = WFcons.dir - WFcons.indir$$



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

Donde:

- ✓ $WF_{cons.dir}$ = “Huella Hídrica” directa, que se refiere al consumo y la contaminación del agua relacionada con su uso en el hogar o en el jardín.
- ✓ $WF_{cons.indir}$ = “Huella Hídrica” indirecta, que se refiere al consumo y la contaminación del agua asociada con la producción de los bienes y servicios consumidos por el consumidor. Es decir, el agua que se utilizó para producir la comida, la ropa, el papel, la energía y los bienes industriales consumidos. El uso indirecto del agua se calcula multiplicando todos los productos consumidos por sus respectivas huellas hídricas:

$$WF_{cons.indir} = \sum p (C(p) * WF * prod (p))$$

Donde:

- ✓ $C(p)$ = Consumo del producto p (unidades del producto / tiempo).
- ✓ $WF_{prod}(p)$ = “Huella Hídrica” de ese producto (volumen de agua / unidad de producto).

El volumen total consumido de p generalmente procede de diferentes lugares x . La “Huella Hídrica” promedio de un producto consumido p es:

$$WF * prod (p) = \frac{\sum x (C(x, p) * WF * prod (x, p))}{\sum x C(x, p)}$$

Donde:

- ✓ $C(x,p)$ = consumo de productos p procedentes de x (unidades de producto/tiempo).
- ✓ $WF_{prod}(x,p)$ = “Huella Hídrica” de los productos p procedentes de x (volumen de agua/unidad de producto). La “Huella Hídrica” de los bienes y servicios privados se calcula para cada consumidor. La “Huella Hídrica” de los bienes y servicios públicos o compartidos se asigna a cada consumidor en base a la cuota de consumo de cada uno.



2.3.5 “Huella Hídrica” de un proceso

En el cálculo de la “Huella Hídrica” de un proceso, Hoekstra et al. (2009) incluyen a la “Huella Hídrica” azul, la “Huella Hídrica” verde y la “Huella Hídrica” gris. La “Huella Hídrica” azul se incluye porque cuantifica la cantidad de agua disponible que es consumida en un período de tiempo determinado, por un grupo de personas. Entendiéndose, que las aguas superficiales y subterráneas no consumidas o utilizadas, sirven para mantener los ecosistemas que dependen de ellas.

En el caso de los productos agrícolas, el contenido azul de una cosecha se define como la suma de la evaporación del agua de riego en campo y del agua de los canales de riego. En el caso de la producción industrial y el uso doméstico de agua, el contenido de agua azul del producto o servicio es igual a la fracción de agua tomada de aguas superficiales o subterráneas que se evapora y, por lo tanto, no regresa al sistema del que provino.

“Huella Hídrica” azul de un proceso

La “Huella Hídrica” azul (WFProc, azul) es un indicador del uso consuntivo de agua azul en los siguientes procesos:

- Agua que no está disponible para su reutilización dentro de una misma área geográfica, porque no retorna al mismo cauce (por ejemplo cuando se vierte al mar o a otro sistema hídrico)
- Agua que no está disponible para su reutilización dentro de una misma área geográfica, porque no retorna en el mismo período (por ejemplo cuando se extrae agua en un periodo de sequía y se devuelve en un período húmedo)

Generalmente, el agua azul evaporada es igual al uso consuntivo del agua, siendo incluidos los otros tres componentes cuando son relevantes en un proceso determinado. Siendo, la evaporación es el uso más significativo del agua azul. La “Huella Hídrica” azul de una etapa o proceso se calcula mediante la siguiente expresión:

$$WF_{\text{proc, azul}} = BWE + BWI + LRF$$

Donde:

- ✓ $WF_{\text{Proc, azul}}$ = Huella hídrica azul en un proceso o producto.
- ✓ (BWE) = Evaporación de agua azul



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

- ✓ (BWI) = Agua incorporada en un producto
- ✓ (LRF) = Flujo de retorno perdido

“Huella Hídrica” verde de un proceso.

El agua verde es la precipitación que llega al suelo y que no se pierde por escorrentía, almacenándose temporalmente en la parte superior del suelo o en la vegetación. Por tanto, la “Huella Hídrica” verde (WF_{proc.verde}) es el volumen de agua de lluvia consumida durante el proceso de producción. Este tipo de huella es relevante en los productos agrícolas y forestales, donde es igual a la evapotranspiración en los cultivos y plantaciones más el agua incluida en el producto cosechado. La “Huella Hídrica” verde en una etapa o proceso es igual a:

$$WF_{\text{proc, verde}} = \text{Agua verde evaporada} + \text{Agua verde incorporada}$$

“Huella Hídrica” gris de un proceso.

La “Huella Hídrica” gris es un indicador del grado de contaminación del agua dulce en un determinado proceso. Se define como el volumen de agua dulce que se necesita para asimilar la carga de contaminantes, basados en las normas vigentes de calidad ambiental del agua. Se calcula como el volumen de agua que se requiere para diluir los contaminantes hasta el punto de que la calidad del agua ambiental se mantenga por encima de lo estipulado en las normas de calidad del agua quedando la expresión de la siguiente forma.

$$WF_{\text{prod, gris}} = L / C_{\text{máx}} - C_{\text{nat}}$$

Donde:

- ✓ L = Concentración del contaminante
- ✓ C (nat) = concentración natural en el cuerpo de agua receptor
- ✓ C (máx) = calidad ambiental del agua para este contaminante.

2.3.6 Huella Hídrica de un producto

La “Huella Hídrica” de un producto se define como el volumen total de agua dulce que se utiliza directa o indirectamente para producir un determinado producto. En su cuantificación se considera el consumo de agua y su contaminación en todas las etapas de la cadena de



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

producción. No se incluye el agua consumida cuando se utiliza el producto, o aquella que se reutiliza, recicla o elimina.

El cálculo de la “Huella Hídrica” de un producto se aplica tanto a los productos de la agricultura, como de la industria o del sector servicios. Por tanto, se compone de agua verde, azul y gris. Su cálculo puede realizarse bajo dos enfoques: de cadena productiva en conjunto o por etapas o procesos, obteniéndose el mismo resultado.

Por cadena productiva en conjunto

En este sistema de producción simple, la “Huella Hídrica” del producto transformado p es igual a la suma del agua utilizada en el proceso dividida por la cantidad producida del producto transformado (p):

$$WF_{\text{prod}}(p) = \frac{\sum_{s=1}^k WF_{\text{proc}}(s)}{P(p)}$$

Donde:

- ✓ $WF_{\text{prod}}(p)$ = “Huella Hídrica” del producto transformado p (volumen/peso)
- ✓ $WF_{\text{proc}}(s)$ = “Huella Hídrica” del proceso de la etapa s (volumen/tiempo)
- ✓ $P(p)$ = Producción del producto transformado p (masa/tiempo).

Por etapas o procesos

Esta metodología es una forma genérica para el cálculo de la “Huella Hídrica” de un producto. Se basa en la “Huella Hídrica” de los insumos que fueron necesarios en la última etapa de obtención del producto transformado y la “Huella Hídrica” del proceso actual. Se consideran tres situaciones:

- Cuando se obtiene un único producto transformado a partir de una serie de insumos. De esta manera, se obtiene la “Huella Hídrica” del producto transformado sumando las huellas hídricas de los insumos y del proceso.
- Cuando se obtiene una serie de productos transformados a partir de un insumo. En este caso, es necesario distribuir la “Huella Hídrica” del insumo para cada uno de los productos transformados, en proporción a su valor.



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

• Cuando se obtiene un producto transformado p a partir de varios insumos (y). Éste el caso más genérico.

Si durante la obtención del producto transformado se usa agua, la “Huella Hídrica” del proceso se suma a las huellas hídricas de los insumos, antes de que el total sea distribuido a los productos transformados.

La “Huella Hídrica” del producto transformado p se obtiene con la siguiente fórmula:

$$WF_{prod}(p) = \left[WF_{proc}(p) + \sum_{i=1}^k \frac{WF_{prod}(i)}{f_p(p, i)} \right] * f_v(p)$$

Donde:

- ✓ $WF_{prod}(p)$ = “Huella Hídrica” (volumen/peso) del producto transformado p .
- ✓ $WF_{prod}(i)$ = “Huella Hídrica” del insumo i ($i=1$, hasta y).

2.3.7 La “huella hídrica” de un área geográfica determinada

La “Huella Hídrica” de un área geográficamente delimitada ($WF_{área}$) es:

$$WF_{área} = \sum q WF_{proc}(q)$$

Donde:

- ✓ $WF_{proc}(q)$ = “Huella Hídrica” de un proceso q dentro de un área geográfica delimitada. La fórmula suma toda el agua consumida o contaminada por los procesos que tienen lugar en esa área geográfica.



2.4 Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica de un cultivo

2.4.1 Metodología de cálculo para determinar el componente verde y azul de la Huella Hídrica en los Procesos agrícolas.

Muchos de nuestros productos contienen componentes de origen agrícola o forestal. Los cultivos se utilizan para la alimentación, el forraje, la fibra, el combustible, aceites, jabones, cosméticos, etc. La madera de los árboles y arbustos se utiliza para extraer la madera, el papel y combustible. Dado que los sectores agrícola y forestal son los principales sectores del consumo de agua, los productos que involucran a la agricultura en su sistema de producción tienen una huella significativa de agua. En este apéndice se tratará sobre los detalles del cálculo de la huella hídrica en el proceso de un cultivo.

La huella hídrica total del proceso de cultivos (WF_{proc}) es la suma de los componentes verde, azul y gris:

$$WF_{proc} = WF_{Proc\ verde} + WF_{proc\ azul} + WF_{proc\ gris}$$

Todas las huellas hídricas de un cultivo son expresadas en volumen de agua por unidad de masa. Por lo general, la huella hídrica de cualquier proceso en la agricultura se expresa como m³/ton, lo que equivale a un litro/kg.

Para el cálculo de los componentes verde y azul de la Huella Hídrica utilizamos las siguientes fórmulas

$$WF_{proc\ verde} = \frac{CWU_{verde}}{Y}$$

$$WF_{proc\ azul} = \frac{CWU_{azul}}{Y}$$

Donde:

- ✓ WF_{proc verde} (m³/ton) = Componente verde de la Huella Hídrica en el proceso de crecimiento de un cultivo.



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

- ✓ WF proc azul (m³/ton) = Componente azul de la Huella Hídrica en el proceso de crecimiento de un cultivo.

- ✓ CWU verde (m³/ha) = Componente verde en el uso de agua de los cultivos, representa el agua de lluvia evaporada total del campo durante el período de crecimiento.
- ✓ CWU azul (m³/ha) = Componente azul en el uso de agua de los cultivos, representa el total de agua de riego que se evapora desde el campo.
- ✓ Y (ton/ha) = Rendimiento del Cultivo.

Los componentes verde y azul en el uso de agua de los cultivos (CWU, m³/ha) se calculan teniendo en cuenta la acumulación de la evapotranspiración diaria durante el período de crecimiento completo:

Proceso de evapotranspiración

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. La evaporación es el proceso por el cuál el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.

$$CWU \text{ verde} = 10 \sum_{d=1}^{l_{gp}} ET \text{ verde}$$

$$CWU \text{ azul} = 10 \sum_{d=1}^{l_{gp}} ET \text{ azul}$$

Donde:

- ✓ ET verde = Evapotranspiración de agua verde.
- ✓ ET Azul = Evapotranspiración de agua azul.
- ✓ El factor 10 concierte la profundidad del agua medida en mm a volúmenes de agua de superficie en m³/ha
- ✓ Lgp ("*length of growing period in days*"). = Duración del período de crecimiento en días



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

Dado que las diferentes variedades de cultivos pueden tener diferencias sustanciales en la duración del período de crecimiento, este factor puede influir significativamente en el uso de agua del cultivo calculada.

Para el cálculo de la evapotranspiración verde y azul durante el crecimiento del cultivo se utilizó la opción “CWR (Crep Wáter requeridme) requerimiento de agua de los cultivos en el modelo CROPWAT de la FAO (FAO, 2010b

$$ET \text{ verde} = \min(ETc, Peff)$$

$$ET \text{ Azul} = \text{máx}(0, ETc - Peff)$$

Donde:

- ✓ ETc = Evapotranspiración del cultivo.
- ✓ $Peff$ = Precipitación Efectiva.

El modelo calcula:

$CWR =$ (Crep Wáter requeridme) (requerimiento de agua de los cultivos) el cuál se analiza durante toda la fase del período de cultivo en particular. La necesidad de agua de los cultivos es el agua necesaria para la evapotranspiración en condiciones ideales de crecimiento, medido desde la siembra hasta la cosecha. Esto quiere decir que el agua del suelo se mantenga por la lluvia y el riego para que no limite el crecimiento de las plantas y el rendimiento del cultivo.

La necesidad de agua del cultivo se calcula de la siguiente forma:

$$CWR = Kc \times ETc$$

Considerándose que las necesidades hídricas del cultivo se cumplan plenamente, por lo que la evapotranspiración del cultivo actual (ETc) será igual a las necesidades de agua del mismo

$$ETc = CWR.$$



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

Por tanto $ET_c = K_c \times ETo$

Donde:

- ✓ KC = Coeficiente de cultivo
- ✓ ETo = Evapotranspiración de referencia

El requerimiento de riego (IR) se calcula como la diferencia entre el requisito de agua de los cultivos y la precipitación efectiva. El requerimiento de riego es cero si la precipitación efectiva es mayor que el requerimiento de agua de los cultivos. Esto significa que: $IR = \text{máx. } (0, CWR - Peff)$.

Para llegar a determinar la evapotranspiración del cultivo actual necesitamos determinar primero la evapotranspiración de referencia y el coeficiente de dicho cultivo.

2.4.2 Metodología para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia ETo .

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ETo . La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas.

El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Debido a que hay una abundante disponibilidad de agua en la superficie de evapotranspiración de referencia, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre ETo .

Los únicos factores que afectan ETo son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ETo es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ETo expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de ETo con parámetros climáticos. A continuación se describe de forma explícita en que consiste el método.



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

Dr. Samuel Ortega- Farías CITRA

Esta ecuación fue presentada por primera vez en el año 1989 por Allen et al. y desde entonces ha recibido una amplia aceptación para estimar la ET₀ (Ventura et al., 1999).

La ecuación esta definida para calcular la ET₀ de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, en activo crecimiento, que cubre completamente el suelo y que permanece en óptimas condiciones de humedad de este. Además, considera los siguientes parámetros fijos: una altura de 0,12 m, una rugosidad de la cubierta vegetal que se opone a la transferencia de vapor (Zoh) igual al 10 % de la rugosidad que opone la cubierta vegetal al movimiento del viento (Zom), una altura del plano de referencia aerodinámico (d) igual a 0,08 m, una resistencia de la cubierta vegetal (rcv) de 70 s/m y un albedo igual a 0,23. Estos parámetros fijos se basan en algoritmos relacionados con el índice de área foliar y resistencia de cubierta vegetal de pasto de una altura promedio (Allen et al., 1994, 1998).

Esta expresión describe la evapotranspiración de referencia de pasto hipotética:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

Donde:

- ✓ ET₀ = evapotranspiración sobre un cultivo de referencia (mm/día)
- ✓ R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/día)
- ✓ G = flujo de calor del suelo (MJ/m²/día)
- ✓ T = temperatura promedio del aire a 2 metros de altura (°C)
- ✓ U₂ = velocidad promedio diaria del viento a 2 metros de altura (m/s)
- ✓ e_s = presión de vapor en saturación (kPa)
- ✓ e_a = presión de vapor actual (kPa)
- ✓ Δ = pendiente de la curva de presión de vapor versus temperatura (kPa/°C)
- ✓ γ = Constante psicrométrica (kPa/°C).

La evapotranspiración de referencia (ET₀) provee un estándar de comparación mediante el cual:



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

- Se puede comparar la evapotranspiración en diversos períodos del año o en otras regiones
- Se puede relacionar la evapotranspiración de otros cultivos.
- Se pueden tomar datos dependiendo de la región agroclimática

La Tabla 2.2 muestra rangos típicos de valores de ETo en diferentes regiones agroclimáticas.

Fuente: Estudio 56 FAO (Riego y Drenaje)

ETo promedio para diferentes regiones agroclimáticas en mm día⁻¹

Regiones	Temperatura promedio durante el día (°C)		
	Templada ~10°C	Moderada 20°C	Caliente > 30°C
Trópicos y subtropicos			
- húmedos y subhúmedos	2 - 3	3 - 5	5 - 7
- áridos y semiáridos	2 - 4	4 - 6	6 - 8
Regiones templadas			
- húmedas y subhúmedas	1 - 2	2 - 4	4 - 7
- áridas y semiáridas	1 - 3	4 - 7	6 - 9

2.4.3 Determinación del coeficiente de cultivo

Antes hemos dado a conocer la metodología necesaria para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, pasaremos al paso donde obtendremos el **coeficiente de cultivo Kc**.

Teniendo en cuenta que Kc depende del tipo de cultivo y su fase de desarrollo. El método más aplicado para el cálculo del coeficiente de cultivo es el de la FAO. En este método se fija tres valores de Kc para las cuatro etapas de desarrollo del cultivo.



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

Etapa inicial

La etapa inicial esta comprendida entre la fecha de siembra y el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura del suelo. La longitud de la etapa inicial depende en gran medida del tipo de cultivo, la variedad del mismo, la fecha de siembra y del clima. El final de la etapa inicial ocurre cuando la vegetación verde cubre aproximadamente un 10% de la superficie del suelo.

El valor de K_c durante la etapa inicial (K_c ini) es alto cuando el suelo se encuentra húmedo debido al riego o lluvia, y es bajo cuando la superficie del suelo se encuentra seca. El tiempo que tardara el suelo en secarse dependerá del intervalo de tiempo entre eventos que humedezcan al suelo, del poder evaporante de la atmósfera (E_{To}) y de la magnitud del evento de humedecimiento.

Etapa de desarrollo del cultivo

La etapa de desarrollo del cultivo esta comprendida desde el momento en que la cobertura del suelo es de un 10% hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa. Para una gran variedad de cultivos, el estado de cobertura completa ocurre al inicio de la floración. Para cultivos en hileras, donde en las hileras se presenta comúnmente el solape entre las hojas, tales como los frijoles, remolacha azucarera, *papas* y el maíz, la cobertura efectiva completa puede ser definida como el momento cuando algunas hojas de las plantas en hileras adyacentes comienzan a solaparse, lo que produce un sombreadamiento casi completo del suelo, o cuando las plantas casi alcanzan su tamaño máximo, en el caso que no ocurra el solape entre las hojas. Para algunos cultivos, principalmente aquellos de más de 0,5 m. de altura, al inicio de la cobertura efectiva completa la fraccion promedio de la superficie del suelo cubierta por la vegetación (f_c) es alrededor 0,7-0,8. Tanto la fraccion de suelo expuesta al sol como la fraccion sombreada de suelo no variaran significativamente cuando el cultivo tenga un crecimiento mas allá del correspondiente a una $f_c = 0,7$ a 0,8. Se sobreentiende que el cultivo o la planta puede continuar su crecimiento, tanto en altura como en área foliar, después de alcanzar el estado de cobertura efectiva completa. Debido a que es difícil determinar visualmente cuando algunos tipos de vegetación densa y diseminada alcanzan la cobertura completa, tal como en los casos de los cereales de invierno y primavera y algunos pastos, se utiliza la etapa de floración como un indicativo mas simple para determinar la presencia de la cobertura completa en este tipo de cultivos.



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

Etapa de mediados de temporada

La etapa de mediados de temporada comprende el período de tiempo entre la cobertura completa hasta el comienzo de la madurez. El comienzo de la madurez está indicado generalmente por el comienzo de la vejez, amarillamiento o senescencia de las hojas o en algunos casos caída de estas.

Durante la etapa de mediados de temporada, el coeficiente K_c alcanza su valor máximo. El valor de K_c en esta etapa (K_c med) es relativamente constante para la mayoría de los cultivos y prácticas culturales.

Etapa de finales de temporada

La etapa final o tardía de crecimiento comprende el período entre el comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha o la completa senescencia. Se asume que el cálculo de los valores de K_c y ET_c finaliza cuando el cultivo es cosechado, secado al natural, alcanza la completa senescencia o experimenta la caída de las hojas.

El valor de K_c al finalizar la etapa final (K_c fin) refleja el efecto de las prácticas de cultivo y el manejo del agua. Si el cultivo es regado frecuentemente hasta el momento de su cosecha en fresco, el valor de K_c fin será alto. Si se permite la senescencia y secado del cultivo en el campo antes de la cosecha, el valor de K_c fin será bajo. El estado de senescencia es generalmente asociado a una conductancia menos eficiente de las estomas debido a los efectos del envejecimiento, lo que causa una reducción en el valor de K_c .

Coeficiente único del cultivo

En la Figura 2.3 se presenta, en forma generalizada, la curva del coeficiente del cultivo.

Poco después de la plantación de cultivos o poco después de la aparición de las hojas nuevas. El valor de K_c es pequeño, con frecuencia menor a 0,4. El valor de K_c comienza a aumentar, a partir de este valor inicial de K_c , al comenzar el desarrollo rápido de la planta y alcanza su valor máximo, K_{cmed} , al momento del desarrollo máximo, o cercano al máximo, de la planta. Durante la etapa de final de temporada, a medida que las hojas comienzan a envejecer y se produce la senescencia debido a procesos naturales o las prácticas culturales, el valor de K_c comienza a disminuir hasta alcanzar un valor mínimo al final de la temporada de crecimiento igual a K_c fin.



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

Ver figura 2.3

En el estudio FAO Riego y Drenaje 56 Recuadro 11 podemos encontrar la duración de las etapas de crecimiento de algunos cultivos para distintos períodos de siembra y regiones climáticas.

El valor de k_c representa la relación entre ET_c/ET_o y, en general, a pesar de que muestra variación en términos regionales, es posible usar valores de la literatura

Coeficiente de cultivo K_c

Los valores de K_c para diferentes cultivos a lo largo del período de crecimiento aparecen en la Tabla 2.2

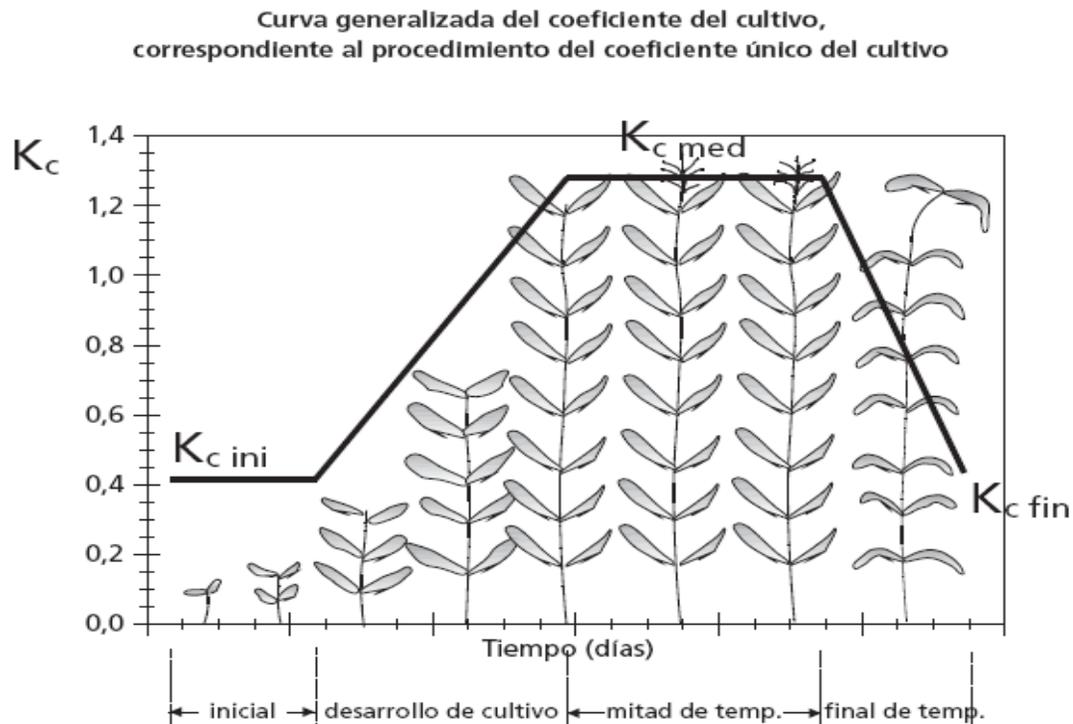


Figura 2.3 Curva generalizada del Coeficiente de cultivo

Fuente: Estudios FAO Riego y Drenaje 56



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

Tabla: 2.2 Valores del coeficiente único del cultivo K_c para cultivos no estresados y bien manejados en climas húmedos y sub-húmedo

Fuente: Estudio 56 FAO (Riego y Drenaje)

Cultivo	$K_{c\ ini}^1$	$K_{c\ mod}$	$K_{c\ fin}$
a. Hortalizas Pequeñas	0,7	1,05	0,95
Brécol (Brócoli)		1,05	0,95
Col de Bruselas		1,05	0,95
Repollo		1,05	0,95
Zanahoria		1,05	0,95
Coliflor		1,05	0,95
Apio (Céleri)		1,05	1,00
Ajo		1,00	0,70
Lechuga		1,00	0,95
Cebolla – seca		1,05	0,75
– verde		1,00	1,00
– semilla		1,05	0,80
Espinaca		1,00	0,95
Rábano		0,90	0,85
b. Hortalizas– Familia de la Solanáceas	0,6	1,15	0,80
Berenjena		1,05	0,90
Pimiento Dulce (campana)		1,05 ²	0,90
Tomate		1,15 ²	0,70–0,90
c. Hortalizas– Familia de las Cucurbitáceas	0,5	1,00	0,80
Melón	0,5	0,85	0,60
Pepino – Cosechado Fresco	0,6	1,00 ²	0,75
– Cosechado a Máquina	0,5	1,00	0,90
Calabaza de Invierno		1,00	0,80
Calabacín (zucchini)		0,95	0,75
Melón dulce		1,05	0,75
Sandía	0,4	1,00	0,75
d. Raíces y Tubérculos	0,5	1,10	0,95
Remolacha, mesa		1,05	0,95
Yuca o Mandioca – año 1	0,3	0,80 ³	0,30
– año 2	0,3	1,10	0,50
Chirivía	0,5	1,05	0,95
Patata o Papa		1,15	0,75 ⁴
Camote o Batata		1,15	0,65
Nabos (Rutabaga)		1,10	0,95
Remolacha Azucarera	0,35	1,20	0,70 ⁵



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

2.4.4 Metodología para la determinación de la precipitación efectiva (Peff)

La precipitación efectiva o aprovechable por los cultivos es uno de los elementos básicos a considerar en la ecuación para determinar la huella hídrica verde y azul en el proceso de un cultivo. Así como para determinar los requerimientos de riego de estos, ocupando un papel fundamental en la planificación del riego, el uso y manejo eficiente de los recursos hídricos dedicados a esta actividad, así como en el dimensionamiento de las obras que conforman un sistema de riego.

Al producirse una lluvia sobre un terreno cultivado, parte de esta precipitación total será interceptada por el cultivo para que esté disponible para satisfacer la demanda de agua, y otra parte se depositará sobre la superficie del suelo. De ésta, un porcentaje puede escurrir superficialmente y el resto se infiltrará. Una porción de la lluvia que se infiltra en el suelo quedará retenida pudiendo llegar a estar disponible en un espesor de éste previamente definido, en la zona ocupada por las raíces activas de las plantas y, el resto, pasará a las capas más profundas del mismo. La primera, es la definida como lluvia efectiva o aprovechable. A menudo es menor que la precipitación total porque no toda la lluvia en realidad puede ser objeto de apropiación por el cultivo.

Obviamente, el proceso descrito y el valor final de la precipitación efectiva dependerá de múltiples factores, entre los cuáles pueden citarse: tipo de suelo, fundamentalmente desde el punto de vista textural; pendiente topográfica promedio; cantidad, intensidad y distribución de la lluvia caída; espesor de suelo considerado o capa activa; tipo de cultivo y reserva de humedad en el suelo al momento de ocurrir la precipitación.

Para calcular la precipitación efectiva se pueden utilizar diferentes métodos o ecuaciones que se describen a continuación.

➤ **Ecuación de Prescott y Anderson**

$$P_{mc} = 0.9 E_v 0.75$$

Donde:

- ✓ P_{mc} = Precipitación media calculada (cm.)
- ✓ E_v = Evaporación medida en el tanque evaporímetro tipo A (cm.)



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

Si $P_{mc} > P_m$ entonces $P_{eff} = 0$

Si $P_{mc} < P_m$ entonces $P_{eff} = 0.8 P_{mc}$

P_m es la precipitación media mensual (cm)

➤ Ecuación de Zierold y Palacios

Para lluvias menores de 2.5 cm

$$P_{eff} = P_t - 0.05P_t^2$$

Para lluvias mayores de 2.5 cm

$$P_{eff} = 1.27 P_t^{0.75} - 0.806 P_t^{1.5}$$

P_{eff} es la precipitación efectiva (mm)

P_t es la precipitación observada o medida (mm)

➤ El método de porcentaje fijo de precipitación

$$P_{eff} = k P$$

k = Fracción fija (0-1) establecida arbitrariamente

P = Precipitación total

➤ Método de la precipitación fiable

$$P_{eff} = 0.6 P - 10 \text{ para } P \leq 70 \text{ mm/período}$$

$$P_{eff} = 0.8 P - 24 \text{ para } P > 70 \text{ mm/período}$$

P es la precipitación media mensual (mm)

➤ Método del Servicio de Conservación de suelos

Para calcular la Precipitación efectiva se utiliza la ecuación:

$$P_{eff} = \int (HTA) [1.25 P^{0.824} - 2.93] - 10 - 0.000955 E_v t$$



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

Donde

P es la precipitación media mensual (mm)

ETp es la evapotranspiración potencial mensual (mm/mes)

f (HTA) se calcula con la siguiente ecuación:

$$f(\text{HTA}) = 0.53 + 0.0116 \text{HTA} - 8.94 \times 10^{-5} \text{HTA}^2 + 2.32 \times 10^{-7} \text{HTA}^3$$

HTA es la Humedad Total Aprovechable (mm)

2.4.5 Metodología para determinar el componente gris en la Huella Hídrica de un cultivo.

La huella hídrica gris de un cultivo (WF proc gris) se define como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes comparado con las concentraciones normales y las normas de calidad de agua. . El concepto de huella hídrica gris ha crecido a partir del reconocimiento de que la medida de la contaminación del agua se puede expresar en términos del volumen de agua que se requiere para diluir los contaminantes de tal manera que se conviertan en inofensivos.

La idea de expresar la contaminación del agua en términos de volumen de agua necesaria para diluir los residuos no es nueva. Falkenmark y Lindh (1974) propone como norma general a tener en cuenta un factor de dilución de 10 a 50 veces el flujo de aguas residuales. Postla ET al. (1996) aplicó un factor de dilución para la absorción de residuos de 28 litros por segundo por cada 1000 habitantes. Estos factores de dilución genéricos no tienen en cuenta el tipo de contaminación y el nivel de tratamiento antes de su eliminación, pero implícitamente asumen algunas de las características promediadas de los flujos de desechos humanos. Chapagain et al. (2006b) propuso que el factor de dilución dependiese del tipo de contaminante y utilizar como estándar de calidad de agua la de un contaminante determinado como criterio para cuantificar el grado de dilución. Lo más importante es, por supuesto, especificar cuáles son las normas de calidad de agua y concentraciones naturales que se han utilizado en la preparación de una cuenta de huella hídrica gris.



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

El componente de color gris en la huella hídrica de un cultivo denominado como (WF proc gris) dado en m³/ton se calcula de la siguiente forma:

$$\text{WF proc gris} = \frac{(\alpha \times \text{AR}) / (\text{Cmáx} - \text{Cnat})}{Y}$$

Donde:

- ✓ AR(Kg/ha) = es la cantidad aplicada de productos químicos para el campo por hectárea (Fertilizantes y Plaguicidas)
- ✓ α = fracción de lixiviación y escorrentía.
- ✓ Cmáx(Kg/m³) = concentración máxima aceptable para el contaminante considerado.
- ✓ Cnat (Kg/m³) = concentración natural para el contaminante considerado.
- ✓ Y(ton/ha) = rendimiento del cultivo
- ✓

Las tasas de aplicación de fertilizantes: Para un mejor estudio se utilizan datos locales, aunque existe bases de datos globales que pueden ser útiles como por ejemplo (FertiStat (FAO, 2010C). IFA (2009) proporciona un consumo anual de fertilizantes por país. Heffer (2009) establece el uso de fertilizantes por cultivo para los principales tipos de cultivos y los principales países.

Las tasas de aplicación de plaguicidas: Preferiblemente uno utilizará datos locales. Aunque NASS (2009) proporciona una base de datos en línea de los EE.UU. con el uso de químicos por cultivo. CropLife Foundation (2006) ofrece una base de datos sobre el uso de plaguicidas en los EE.UU.. Eurostat (2007) lista datos para Europa.

Los contaminantes generalmente consisten en fertilizantes (nitrógeno, fósforo, etc.), pesticidas e insecticidas. Se tiene que considerar sólo el “flujo de residuos a cuerpos de agua dulce, que generalmente es una fracción del total de la aplicación de fertilizantes o pesticidas para el campo. Hay que representar sólo el contaminante más crítico, que es el contaminante cuyo cálculo anterior obtiene el mayor volumen de agua. La cantidad de nitrógeno que llega al



Capítulo II Metodología para el cálculo de la Huella Hídrica

agua de flujo libre se supone ser de un 10 % de la tasa de fertilización aplicada (en kg / ha / año) El volumen total de agua requerida por tonelada de nitrógeno se calcula considerando el volumen de nitrógeno lixiviado (tonelada/tonelada) y la concentración máxima admisible en el agua. En ausencia de normas ambientales locales se propone utilizar el estándar recomendado por la EPA (de Estados Unidos) para el nitrato (10mg/L, medidos como nitrógeno). (Hoekstra y Chapagain, 2008).

La fracción de lixiviación y escorrentía: No hay bases de datos disponibles. Se tiene que trabajar con datos experimentales de estudios de campo y hacer suposiciones en bruto. Se puede asumir el 10% de los fertilizantes de nitrógeno, como lo hace Chapagain et al. (2006b).

Las concentraciones naturales en cuerpos receptores de agua: Se puede suponer que las concentraciones naturales en ríos más o menos limpios, son iguales a las concentraciones reales y por lo tanto se basan en promedios diarios o mensuales a largo plazo, medidos en una estación de medición de las inmediaciones. Como referencia hay una base de datos mundial disponible sobre las concentraciones reales (no naturales) a través del PNUMA (2009). Cuando no se disponga de información, supondremos la mejor estimación la concentración natural, o igual a cero.

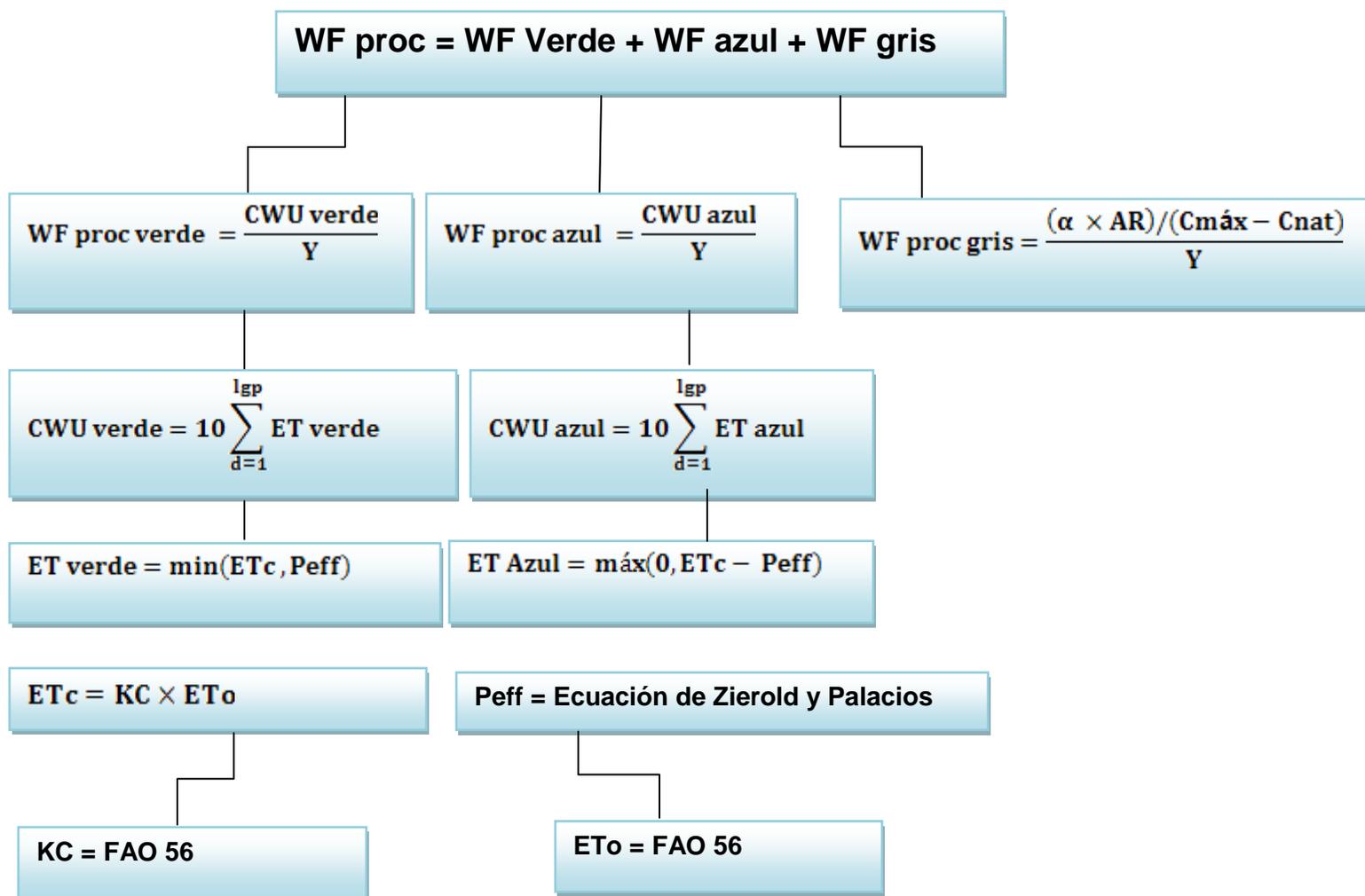
En tal caso, la carga contaminante es una fracción de la cantidad total de sustancias químicas aplicadas en el suelo que llegará a las aguas superficiales o subterráneas. La cantidad de sustancias químicas aplicadas se puede medir, pero esa fracción de productos químicos aplicados que llegue bajo tierra o a las aguas superficiales no se puede medir, ya que entra en el agua de una manera difusa, por lo que no queda claro dónde y cuándo medir. Como solución, se podría medir la calidad del agua a la salida de una cuenca, pero las diferentes fuentes de contaminación se reúnen a la salida, por lo que es un problema repartir a distintas fuentes las concentraciones medidas Por lo tanto, es práctica común y también se recomienda aquí utilizar una aproximación al calcular la fracción de los productos químicos aplicados que entran en el sistema de agua mediante el uso de modelos sencillos El modelo más simple es asumir que una cierta fracción fija de los productos químicos aplicados finalmente llega a las aguas superficiales o subterráneas:

Los procedimientos de cálculo requeridos para determinar la huella hídrica de un cultivo se han presentado en este capítulo. En la figura 2.5 se presenta un diagrama de flujo de los cálculos respectivos.



Figura 2.4 Diagrama de flujo de los cálculos

DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS CÁLCULOS PARA DETERMINAR LA HUELLA HIDRRICA DE UN CULTIVO



Es importante el conocimiento de la nomenclatura de los cálculos antes mencionados ver Anexo 1



Conclusiones Parciales del Capítulo II

Conclusiones Parciales del Capítulo II

1. El Cálculo de la Huella Hídrica es aplicable a :
 - Productos
 - Consumidores
 - Comunidades
 - Área geográfica
 - Países
2. La metodología de cálculo depende del objeto de estudio.
3. La metodología para el cálculo de la Huella Hídrica de un cultivo es aplicable a las condiciones de nuestro país.

Capitula 3



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa

3.1 Origen de la papa

El origen geográfico de la papa está ubicado en las cordilleras de los Andes del Perú. Desde este lugar, la papa ha sido llevada a casi todos los países del mundo. Este es uno de los alimentos más importantes tanto de Europa como de América. Se ha cultivado extensivamente en los últimos cien años. Los españoles la introdujeron en Europa en el siglo XVI, durante la época de las conquistas americanas. El área que se cultiva en el mundo, es alrededor de 22 millones de hectáreas con una reducción promedio de 13.3 toneladas por hectárea.

En la figura 3.1 se representan los rendimientos obtenidos por los diferentes países al cultivar papa. Tal y como se puede observar, los rendimientos de este cultivo, por lo general, son muy superiores, llegando a valores de 45,5 t/ha año.

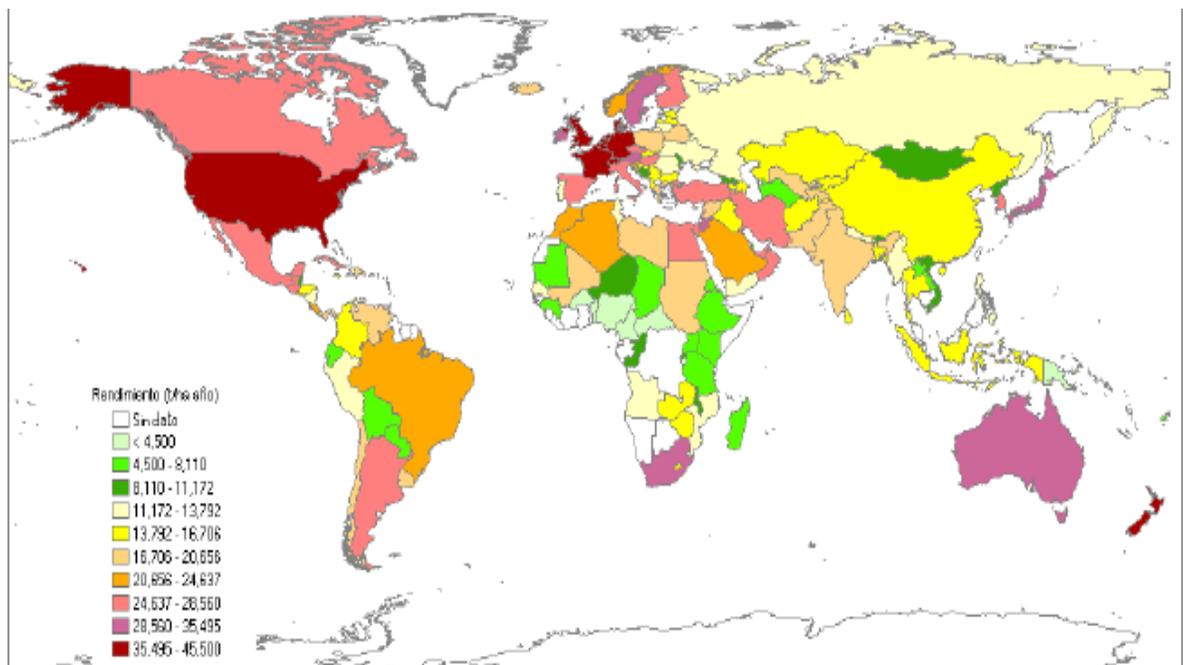


Figura: 3.1 Rendimiento de los cultivos de la papa en los diferentes países (en t/ha año)

Fuente: Carmona 2010



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

En Cuba, la primera referencia a la papa data de 1798, cuando un terrateniente se quejó de la falta de papa semilla adecuada. En efecto, la falta de variedades adaptadas al clima tropical insular desanimó a generaciones de agricultores de cultivar este tubérculo.

Desde el decenio de 1970, la producción aumenta constantemente, gracias al uso de papa semilla importada de Francia y de los Países Bajos, que se puede reproducir localmente hasta tres años seguidos. En el 2000 Cuba recogió una cosecha sin precedentes de 370.000 toneladas y, desde entonces, la producción anual promedia las 300.000 toneladas.

PRINCIPALES ZONAS PAPERAS DE CUBA

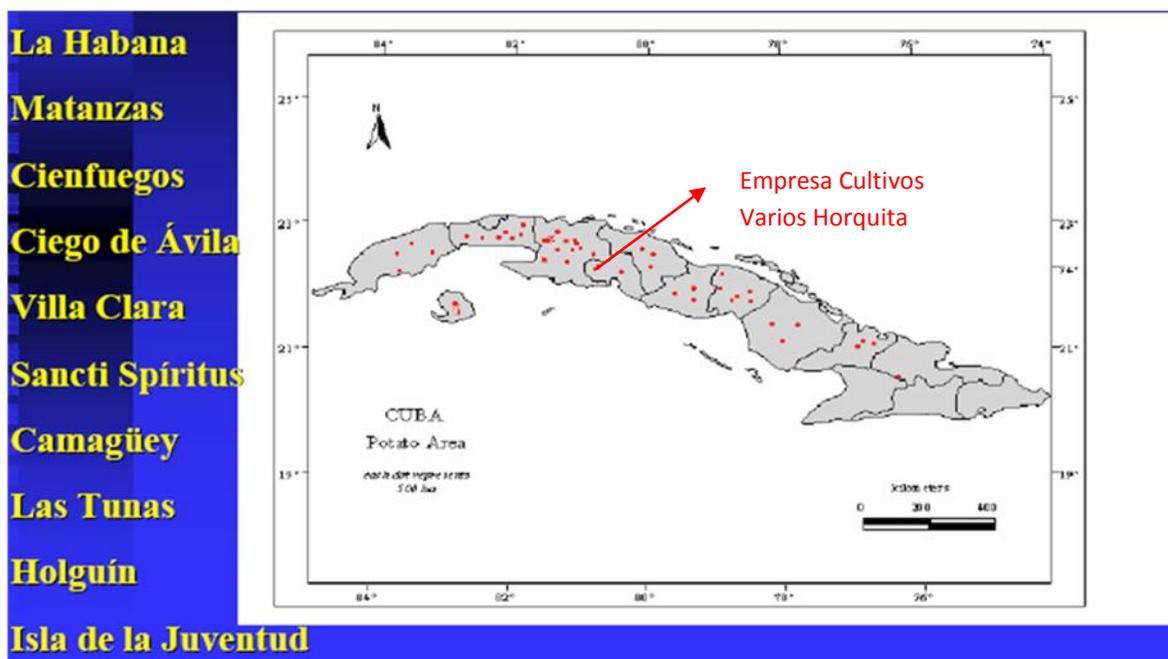


Figura 3.2 Principales Zonas paperas en nuestro País

Fuente: CCI Comercial Caimán S.A.

3.2 Caracterización de la Empresa

La Empresa Cultivos Varios Horquita, fue fundada en el año 1973 perteneciente a la Subdelegación de Cultivos Varios y la Delegación del MINAGRI de la provincia de Cienfuegos. La misma se encuentra ubicada en extremo Suroeste del municipio de Abreus, provincia de Cienfuegos, limita por la porción al norte con el municipio de Aguada de Pasajeros, por el Este con el poblado de Yaguaramas, y por el Sur y Oeste con el municipio de Ciénaga de Zapata,



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

provincia de Matanzas, la misma está considerada una de las principales zonas paperas de nuestro país

3.2.1 Estructura funcional de la empresa

La Dirección de la empresa esta conformada por 4 direcciones generales, Dirección de Ciencia y Desarrollo, Economía y Capital Humano, 3 granjas estatales, 1 CPA, 4 UBPC 1 granja urbana y 4 unidades de prestación de servicios.

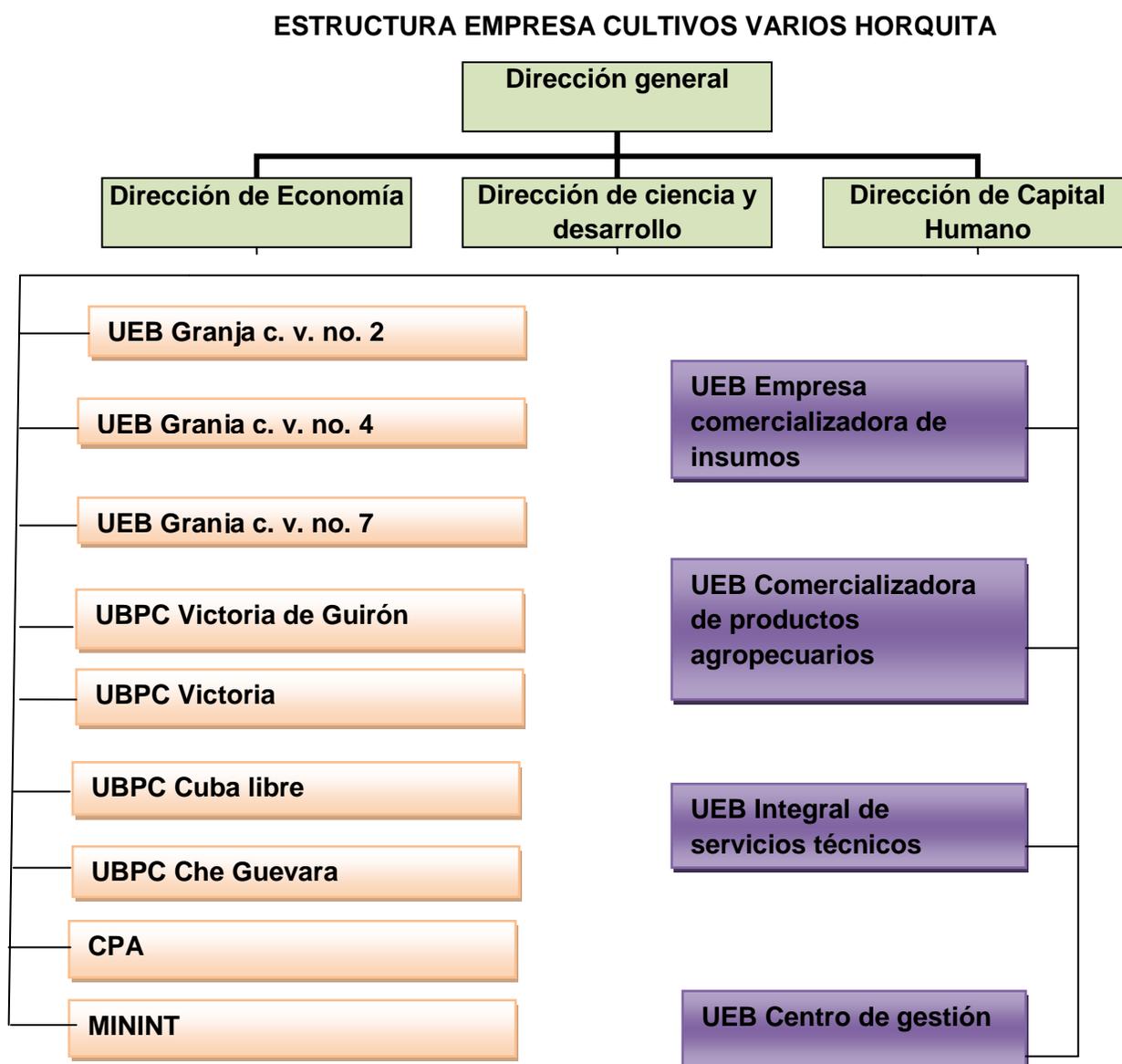


Tabla 3.1 Análisis de la fuerza laboral

Fuente. Elaboración propia.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Análisis de la fuerza laboral

Indicador	Dirig	Muj	Tec	Muj	Adm	Muj	Serv	Muj	Obrer	Muj	Total	Muj
Estatad	52	11	94	52	12	12	132	57	584	107	876	239
UBPC	12	4	12	4	2	2	2	2	318	71	346	83
CPA	1	-	2	2	6	2	-	-	48	9	57	13
CCS	2	-	6	2	1	1	4	1	11	-	24	4
Total General	67	15	114	60	21	17	140	60	961	187	1303	339

Nivel de escolaridad de los trabajadores

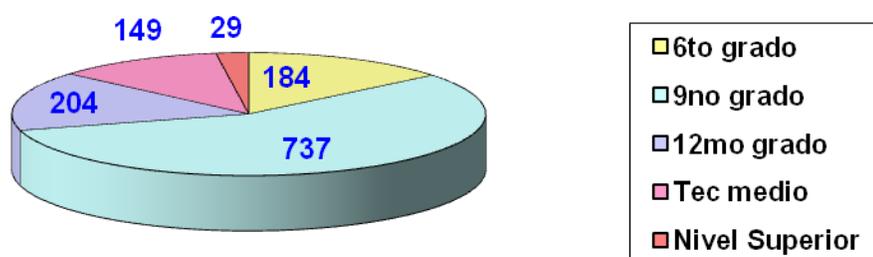


Figura 3.1 Nivel de escolaridad de los trabajadores

Fuente: Elaboración propia.

La Empresa cuenta con 21 Cuadros de ellos 6 Universitarios, incorporados a una Maestría en Sostenibilidad Agraria, 15 Técnicos medio, de ellos 7 están incorporados a la Universidad en la especialidad de Agronomía en la propia sede Universitaria de la Empresa.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Rango de edad de los trabajadores

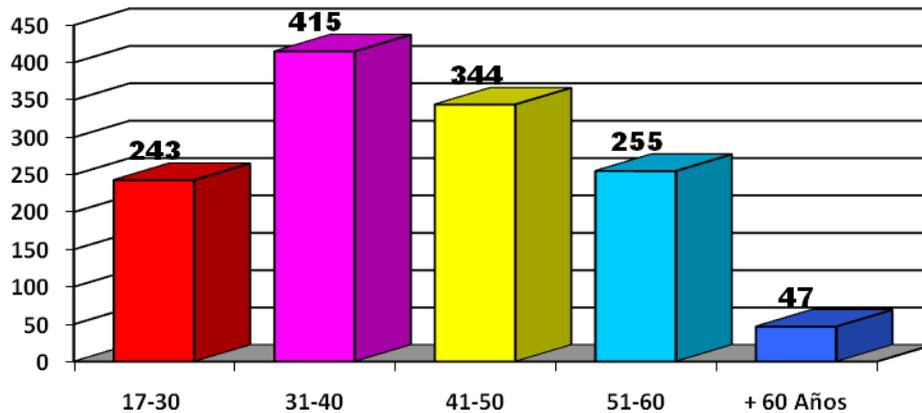


Figura: 3.2 Rango de edades de los trabajadores.

Fuente: Elaboración Propia.

Vinculación de los sistemas de pago y su impacto en los resultados productivos.

La Empresa cuenta con 9 sistemas de pago los cuáles abarcan el 100 % de los trabajadores, de estos han sido beneficiados 1162 trabajadores que representan el 89.2 % con un salario medio mensual de de 328 .50. La empresa aplica un sistema de vinculación de fincas directas la cual presenta un incremento en los resultados económicos y productivos, los rendimientos y la estimulación al trabajador, a este sistema están acogidas 23 fincas que abarca un total de 52 trabajadores.

Misión

Producir y comercializar viandas, frutales, granos, leche, carne y productos agropecuarios para satisfacer las necesidades del mercado nacional. Cumplimiento de los planes de venta.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Visión:

Multiplicar las áreas productivas y el mejoramiento de la tecnología a partir de nuevas técnicas con alta eficiencia económica y poca afectación del medio ambiente. Producción de viandas hortalizas y granos de ciclos cortos. Reparación de máquinas y implementos de tracción animal, arado, grada, cultivadores y esteras.

Clientes:

Las producciones a partir de los planes de siembra, se distribuyen de la siguiente manera: Los encargados de la comercialización es la UEB Comercial.

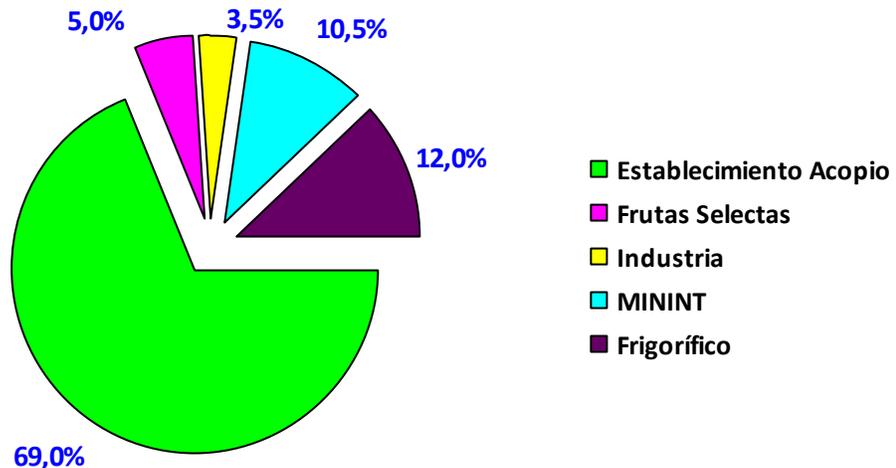


Figura: 3.3 Distribución de los clientes.

Fuente: Elaboración Propia.

Proveedores

Las distintas variedades de semillas son provenientes de Europa que aporta un 60%, Canadá un 14% y la Empresa de Semillas Varias de la provincia nos aporta un 26%.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Maquinarias y Materiales de trabajo

Para todas las actividades de producción la entidad dispone de 68 tractores, 193 yuntas de bueyes, 482 implementos de tracción animal, 4 tractores de reserva así como 3 talleres de prestación de servicios. Se encuentran trabajando en la estrategia de la doma de bueyes ya que no suplen las necesidades existentes.

Acciones a las que se enfrenta la empresa:

Se realiza un programa de rotación de los cultivos por cada máquina de riego, para tener un equilibrio nutricional de los suelos y así evitar plagas y enfermedades, para lo cual deben tener identificado cada cultivo en el área que corresponde.

Cuentan con un centro de humus de lombriz que se elabora con todos los residuos de la cochiguera María Teresa y la Pollera de Yaguaramas pertenecientes al CAI Antonio Sánchez. Aunque este no satisface todas sus necesidades, existe un programa de construcción de centro de Humus y Compost, para así dar solución a las mismas tanto es así que con la producción existente se benefician algunos huertos intensivos, semitapados, organopónicos y algunas áreas bajo maquinaria de Riego.

Para brindarles una mejor preparación a los trabajadores directos a la rama agrícola la dirección de la empresa y el departamento de capacitación se apoya en los centros de investigación INIVIT, INIFAT los cuáles facilita instructivos técnicos y bibliografía como asesoramiento

Para el cumplimiento del plan de siembra de cada temporada la empresa cultivos varios cuenta con 373.3 caballerías de tierra las mismas no son explotadas al 100 % estando limitada por fuerza de trabajo y semillas de algunas variedades. El área del cultivo en uso se distribuye de la siguiente manera



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Tabla 3.2 Distribución de las hectáreas plantadas por tipo de cultivo.

Fuente: Elaboración propia con datos brindados por la empresa.

Área Cubierta	Papa	47.0 Cab.	630.74Ha.
	Boniato	3.5 Cab.	47 Ha.
	Malanga	15.0 Cab.	174 Ha.
	Yuca	7.0 Cab.	67 Ha.
	Plátano	20.0 Cab.	375 Ha.
	Hortalizas	10.0 Cab.	80 Ha.
	Granos	12.0 Cab.	80 Ha.
	Frutales	7.5 Cab.	100 Ha.
	Arroz	2 Cab	26.84 Ha
Total:	124Cab.	1580.6 Ha	

Como se aprecia en la tabla el cultivo más importante para el cumplimiento de dichos planes es el de la papa, para el cual se destina 634.74 Ha ocupando un valor significativo con respecto a los demás.

Las Hectáreas cubiertas por el cultivo de la papa se encuentran distribuidas por unidades, existiendo en cada una de ellas diferencia en las variedades sembradas. Estas variedades son adaptables a nuestro clima por tanto ofrecen un mayor rendimiento en el cultivo.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Tabla 3.3 Variedades de papa sembradas por unidad:

Fuente: Elaboración propia con datos brindados por la empresa.

Unidad	Variedad
MININT	Santana
	Ajiba
UBPC Cuba Libre	Ajiba
UBPC victoria de Girón	Romano
	Santana
	Atlas
Granja # 7	Romano
Granja # 4	Santana
	Maranca
Granja # 2	Romano
	Maranca
CPA “ 28 de Enero”	Armada
	Santana
UBPC “ La Victoria”	Romano
	Atlas
UBPC ”Che Guevara”	Atlas
	Santana

Para que una cosecha de papa obtenga un rendimiento satisfactorio es necesario cumplir con un guía de cultivo.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

3.2.2 Guía de cultivo a seguir en la cosecha de papa en la empresa Cultivos Varios Horquita

Clima y Suelos

La papa esta adaptada a climas fríos generalmente en temperaturas entre 12 - 24 grados C. Cuba por ser un país cálido la temporada que se escoge para la siembra oscila entre el 20 de noviembre y el 30 de Diciembre ya que es la época de menor calor del año, Es muy importante manejar factores como la variedad adaptada, fertilización adecuada, y riego adecuado. Los suelos ideales son los francos y franco arenosos, fértiles, sueltos, profundos, drenados, ricos en materia orgánica y con un pH de 4.5 - 7.5.

Preparación de Suelo

La preparación de suelo es muy importante en el cultivo de la papa. El suelo tiene que estar suelto alrededor las raíces y tubérculos con buen drenaje para evitar enfermedades y beneficiar el desarrollo de cosecha. Es recomendable un corte con arado a una profundidad de 30 - 35 cm. y cruce si hay muchos terrones de una profundidad de 15-20 cm. Después hay que surquear el campo con 80 - 90 cm. entre surcos. El surco o camellón debe tener 25 cm de altura y 15 cm. de ancho. Es importante también comenzar con buena control de malezas.

Material de Siembra

La buena semilla es uno de los más importantes ingresos al cultivo de la papa. La semilla en buen estado y con pocas enfermedades es muy importante para mayores rendimientos. Muchas de las peores enfermedades de la papa son transmitidas por la semilla. Entonces es importante comenzar con semillas con pocas enfermedades. Para el cumplimiento de lo antes expuesto la empresa cuenta con dos fincas de semillas las cuales están debidamente equipadas con riego eléctrico. Esta semilla es vendida a la Empresa de Semillas varias provincial la misma la almacena en un frigorífico y después en la temporada de siembra se la vende en dependencia del plan de siembra de la campaña.

La semilla de papa debe estar firme sin brotes grandes. Si no están comenzando los brotes la semilla puede ser muy fresca y en el estado de latencia o dormido no nace luego si se siembra. En muchos casos de brotes cortos (0.2 - 0.5cm.) es bastante para el buen nacimiento. La semilla suave con brotes largos no tiene mucho poder y es mejor no usarlo. La



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

semilla de papa en los tubérculos es del tamaño de un huevo o que mida 40 a 70 mm o que pesa 40 a 85 gramos.

ESTADO DE MADUREZ DE LA SEMILLA				
tubérculo joven			tubérculo viejo	
latencia	dominancia del brote apical	fin de dominancia apical		vejez
				
no hay brotación	únicamente el brote apical	formación de varios brotes	formación de brotes significados	brotes tuberosos; formación de tubérculos

Figura 3.4 Estado de madurez de la semilla

Fuente: <http://www.slhfarm.com/spindex.html>

Siembra

Marco de siembra: 80 - 90 cm. entre surcos y 25 - 30 cm. entre plantas

Peso adecuado de la semilla: 40 - 85 gramos

Población adecuada: 33,000 - 44,000 / HA

La siembra se produce semimecanizada con una sembradora TR4 y la mano del hombre por los surcos enterándolos a una profundidad de 10 - 15 cm. Es bueno incorporar fertilizante pre-siembra antes de sembrar las papas. Abrir la surco y aplicar la fertilizante pre-siembra a una profundidad de 20 - 25 cm. y cubrirlo con poco de tierra. Después siembra la semilla y cubrirlo con tierra. Para un desarrollo rápida y regular de la planta, es esencial que la semilla sembrada encuentre inmediato un ambiente favorable con tierra húmeda y bien pegado por la semilla.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Fertilización

La papa necesita grandes cantidades de nitrógeno y potasio para una buena producción y fósforo disponible. Una cosecha de 29,000 Kg/HA extrae del suelo 16 unidades de nitrógeno, 8 unidades de fósforo y 25 unidades de potasio. En una cosecha de papa se aplica NPK 1.49 toneladas por hectáreas

Riego

La evapotranspiración total (uso consuntivo) de un cultivo de papa sembrado varía desde los 400 a 500 mm. El uso diario de la papa varía desde 2.5 mm/día durante etapas iniciales hasta 5 mm/día en etapa de máximo follaje. Luego baja hasta 4 mm/día en los días antes de maduración completa.

La zona radicular de la papa profundiza solo hasta 30 a 60 cm. El suelo típico de textura franca a franca arcillosa retiene alrededor de 100 mm de agua por metro de profundidad. De esta aproximadamente 40 a 50 mm se pueden agotar sin afectar el rendimiento.

Tabla: 3.4 Área de riego en cultivos Varios Horquita.

Fuente. Elaboración Propia

Área Total Cultivable	124 Cab	1664.08Ha
Área con Riego	98.5 Cab	1321.87 Ha
Área sin Riego	20.5Cab.	275.11 Ha

- ✓ Total de Maquinas de Riego 26 con un área de 98.5 Cab 1321.87 Ha.
- ✓ Aniego con un área de 29.5 Cab.395.89 ha
- ✓ Equipos de la Reserva 9



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Características del sistema de riego y su aplicación después de la siembra.

La tecnología que se cuenta instalada para el riego es moderna con máquinas Tuza que aplica el riego por aspersión. La aplicación de riego se hace por estimación ya que no se realizan un balance hídrico de los suelos ni del cultivo. Siendo esto de mucha importancia ya que programando riegos frecuentes durante la etapa de engrosamiento del tubérculo asegura que el efecto de falta de riego sea mínimo y pueda aprovecharse toda la fertilidad y capacidad del cultivo. No cumpliendo con la programación se nombra una primera etapa de 0 a 25 días donde aplican de 150 a 280 m³ una segunda etapa que comprende desde el día 26 hasta el 65 con una aplicación de 320 a 370 m³ y en una tercera etapa y final de 65 días hasta la cosecha que debe ser de 90 a 100 días aplican de 180 a 250 m³. Se realizan de 20 a 24 riegos durante la campaña de papa.

El Riego Pre-siembra

El riego de pre-siembra tiene dos funciones. Una de estas es tratar de llenar el perfil del suelo para asegurar contra efectos de sequía durante la época de siembra a cosecha. El otro es asegurar la humedad necesaria para la germinación y desarrollo inicial. El riego se realiza unos 2 a 3 días antes de siembra con un riego de duración larga y en suelo bien suelto para asegurar la infiltración de una cantidad adecuada para llenar el perfil del suelo.

Cosecha

A los 90 - 100 días después la siembra el follaje de la papa empieza a amarillarse, siendo recomendable cortar los tallos para una cosecha uniforme y tubérculos maduros y podrá comenzar la cosecha. Para cosechar voltearse el surco o camellón con arado de bueyes y sacar las papas. Guardar las papas en un lugar frío y oscuro.

Ver **Anexo 2** que representa un SIPOC de la producción y comercialización del cultivo de papa .y **Anexo 3** que representa un diagrama OTIDA de la cosecha de papa en la empresa Cultivos Varios Horquita.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

3.3 Cálculo de la Huella Hídrica en una Cosecha de papa en la empresa Cultivos Varios Horquita.

La Cosecha que vamos a analizar será la correspondiente a la contienda de papa 2010-2011 ya que al comenzar esta investigación la contienda 2011-2012 no estaba finalizada.

3.3.1 Componentes verde y azul de la Huella Hídrica del cultivo.

Para llegar a determinar la evapotranspiración del cultivo actual (ETc) necesitamos determinar primero la evapotranspiración de referencia (ETo) y el coeficiente de dicho cultivo (Kc).

Para un cálculo mas exacto de ETo se sugiere utilizar el Modelo de Penman – Monteith FAO56_propuesto en el capitulo anterior. Este modelo utiliza parámetros climáticos que se calculan a partir de datos meteorológicos. Por la inexistencia de estos datos no fue posible aplicar el modelo, ya que la estación meteorológica que recoge los parámetros climáticos pertenecientes al área del objeto de estudio no cuenta con la tecnología para la obtención de los siguientes datos.

(G) flujo de calor del suelo (MJ/m²/día)

(e_s) presión de vapor en saturación (kPa)

(e_a) presión de vapor actual (kPa)

(Δ) pendiente de la curva de presión de vapor versus temperatura (kPa/°C)

Pudiéndose tomar valores dependiendo de la región agroclimática utilizando los valores que nos brinda el Estudio 56 FAO. El valor tomado depende de la temperatura promedio durante el día y la región agroclimática encontrándose Cuba en una región sub húmeda.

Esta tabla muestra los datos estadísticos de resumen para temperatura promedio del día de la localidad de Horquita en los meses de la cosecha de papa.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Tabla 3.5 Análisis estadístico de la temperatura

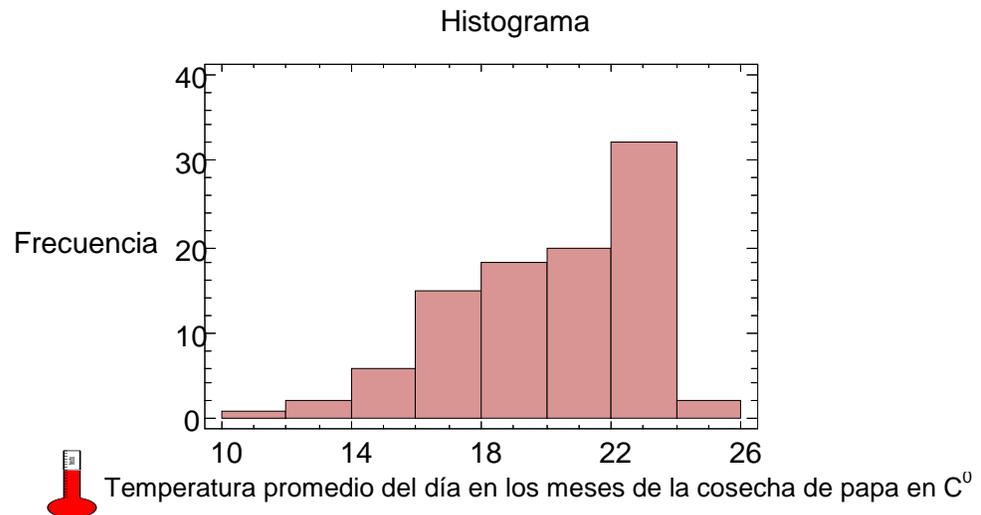
Fuente: Elaboración propia

Recuento	96
Promedio	20,1781
Desviación Estándar	3,00842
Coefficiente de Variación	14,9093%
Mínimo	11,1
Máximo	24,7

El rango de los datos se ha dividido en 14 intervalos cada uno representado por un renglón en el siguiente Histograma.

Figura: 3.5 Histograma de frecuencia con los datos de la temperatura promedio del día en los meses de la cosecha de papa.

Fuente: Elaboración Propia





Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Ver **Anexo 4** que representa la temperatura por día en la localidad de Horquita

El valor del coeficiente único del cultivo, (K_c) para el cultivo de la papa fue tomado del Estudio 56 FAO. El cultivo antes mencionado cumple con las condiciones requeridas para utilizar el modelo ya que es un cultivo no estresado y bien manejado además de encontrarse dentro del clima tomado a continuación le brindamos un gráfico con los datos de K_c inicio medio y fin del cultivo de la papa en Cultivos Varios Horquita.

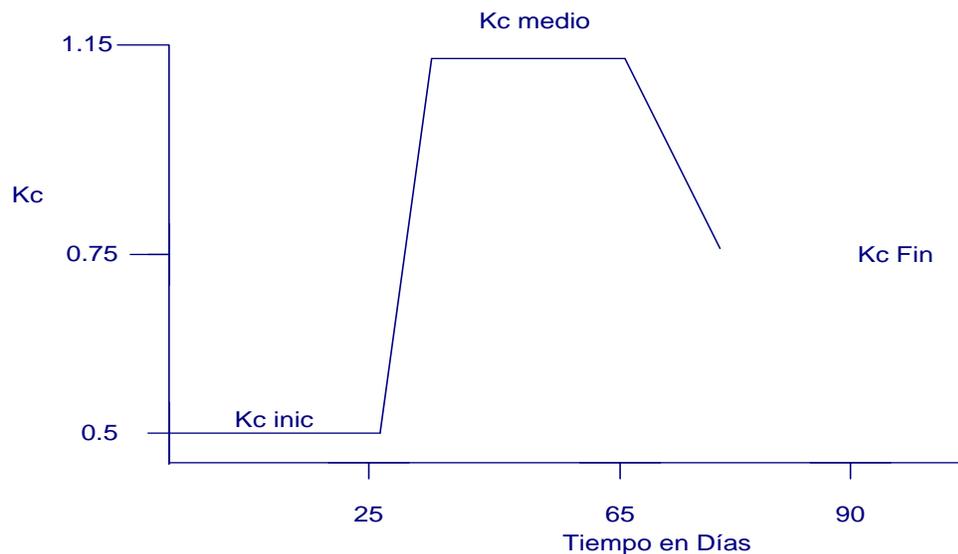


Figura 3.6: Representación de los valores del Coeficiente de Cultivo en la cosecha de papa.

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO 56 y estación meteorológica de Aguada.

Para determinar la duración del periodo de crecimiento en días (I_{gp}) del cultivo de la papa es necesario analizar las fechas de siembra y de cosecha de las diferentes unidades pertenecientes a la Empresa Cultivos Varios Horquita que plantaron este cultivo.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Tabla: 3.6 Fechas de siembra y de cosechas de la papa por unidad en Empresa Cultivos Varios Horquita.

Fuente: Elaboración Propia

Unidad	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	Duración del Periodo de crecimiento en días (Igp)
MININT	15/11/2010	25/02/2011	100
UBPC Cuba Libre	15/11/2010	20/02/2011	98
UBPC victoria de Girón	16/11/2010	18/02/2011	95
Granja # 7	15/11/2010	18/02/2011	96
Granja # 4	15/11/2010	14/02/2011	95
Granja # 2	15/11/2010	14/02/2011	92
CPA “ 28 de Enero”	15/11/2010	18/02/2011	96
UBPC “ La Victoria”	15/11/2010	18/02/2011	96
UBPC “Che Guevara”	15/11/2010	18/02/2011	96

Tabla 3.7 Resumen Estadístico para la duración del período de crecimiento en días.

Recuento	9
Promedio	96,0
Desviación Estándar	2,17945
Coeficiente de Variación	2,27026%
Mínimo	92,0
Máximo	100,0
Rango	8,0



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para la duración del crecimiento en días, Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar.

Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación en el siguiente Histograma.

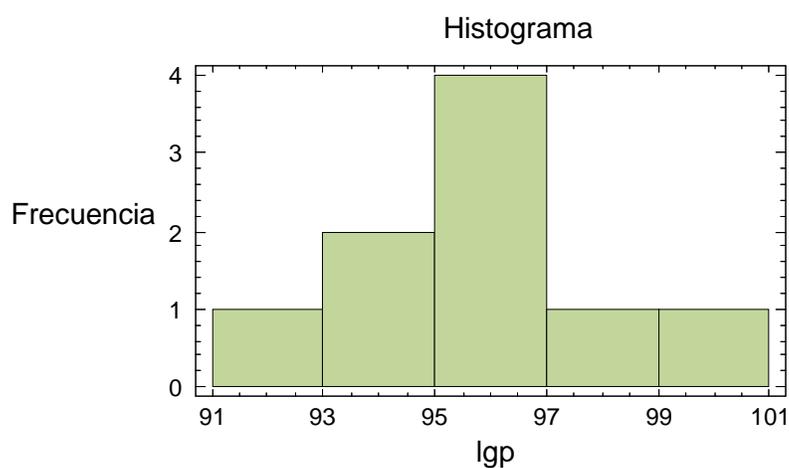


Figura: 3.7 Histograma de Frecuencia para la duración del crecimiento en días

Fuente: Elaboración Propia.

Distribución de las hectáreas plantadas por el cultivo de papa y su rendimiento en toneladas/ hectáreas perteneciente a la siembra 2010 cosecha 2011.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Tabla: 3.9 Producción de papa 2010-2011

	Hectáreas	Hectáreas	Perdida	Toneladas	
	sembradas	Cosechadas		Plan	Real
Granja 2	144.93	106.01	38.92	2437.5	2172.65
Granja 4	37.57	26.84	10.73	1300	523.35
Granja 7	42.94	29.52	13.42	975	786.5
La Victoria	80.55	57.70	22.85	1950	992.25
Cuba Libre	93.94	81.86	12.08	2250	1666.2
Vict. Girón	60.39	56.36	4.03	1300	1179.15
Che Guevara	41.60	37.57	4.03	975	635.05
CPA	42.94	24.15	18.79	975	592.15
MININT	85.88	52.33	33.55	1637.5	1350
Total General	630.74	472.34	158.4	13800	9897.3

Como se puede apreciar en la tabla anterior existe una diferencia entre las hectáreas plantadas y las hectáreas cosechadas. Ocasionando un rendimiento (Y) de 20.95 ton/ ha

La evapotranspiración de agua verde (ET verde), la evapotranspiración por la lluvia, puede ser equiparada con el mínimo de la evapotranspiración total del cultivo (ETc) y la precipitación efectiva (Pe_{ff}). La evapotranspiración del agua azul (ET azul), la evapotranspiración del agua de riego sobre el terreno, es igual a la evapotranspiración del cultivo total menos la lluvia efectiva (Pe_{ff}), pero será cero cuando la precipitación efectiva exceda la evapotranspiración del cultivo:

Los datos obtenidos sobre las precipitaciones desde el día de la siembra hasta la cosecha fueron brindados por la estación meteorológica de aguada, la misma recoge los datos de un pluviómetro ubicado en horquita. **Anexo 5** Para el cálculo de la precipitación efectiva fue tomada la Ecuación de Zierold y Palacios expuesta en el capítulo 2

El requerimiento de riego se obtiene de la diferencia de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la precipitación efectiva. Los períodos comprendidos son de 10 días como lo refiere la bibliografía. El análisis del tiempo completo en días aparece en el **Anexo6**



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Tabla: 3.10 Cálculo de la Evapotranspiración verde y azul del cultivo de la papa.

Fuente: Elaboración propia.

Fecha	Período	Fase	Kc	Eto	Etc	ETc Período	Precipitación	Riego req	ET verde	ET Azul
				mm/día	mm/día	mm/ período	efectiva (Peff)	mm/período	mm/per	mm/per
nov-10	1	inicio	0,5	5	2,5	25	13,24	11,76	7,5	11,76
dic-10	2	inicio	0,5	5	2,5	25	17,1	7.9	2,5	7.9
dic-10	3	inicio	0,83	5	4,125	41,25	1,8	39,45	1,8	39,45
dic-10	1	Medio	1,15	5	5,75	57,5	1,35	56,15	1,35	56,15
ene-11	2	Medio	1,15	5	5,75	57,5	0	57,5	0	57,5
ene-11	3	Medio	1,15	5	5,75	57,5	0	57,5	0	57,5
ene-11	1	Final	0,99	5	4,95	49,5	6,95	42.55	7,5	42.55
feb-11	2	Final	0,75	5	3,75	37,5	0	37,5	0	37,5
feb-11	3	Final	0,75	5	3,75	37,5	0	37,5	0	37,5
feb-11	4	Final	0,75	5	3,75	22,5	0	22,5	0	22,5
Total			0,85	5	4,3	410.75	40,44	370.31	20,65	370.31

Tabla: 3.11 Cálculo de la Huella Hídrica verde y Azul del cultivo de la papa.

Fuente. Elaboración Propia

ET verde	ET azul	ET Total	CWU Verde	CWU azul	CWU total	Y	WF Proc verde	WF Proc azul	WF Proc azul verde
mm/ periodo de crecimiento			m3/Ha			Ton/Ha	m3/Ton		
20,65	370.31	390.96	206,5	3703.1	3909.6	20.95	9.85	176.75	186.6



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

La tabla anterior muestra los resultados de la Huella Hídrica Azul y verde en el proceso de cosecha de papa en Cultivos Varios Horquita, existiendo una diferencia significativa entre las dos.

Este dato nos permite llegar a la conclusión que nuestro país presenta una alta Huella Hídrica verde debido a la cantidad de embalses existentes, los cuales tienen un alto nivel de evapotranspiración con respecto a la superficie terrestre.

3.3.2 Componente gris de la Huella Hídrica del Cultivo.

En el sector agrícola se considera que el agua gris es el volumen de agua que sería necesario añadir para diluir los contaminantes generados por la utilización de fertilizantes, plaguicidas que se filtran en el terreno, hasta que sus concentraciones no sobrepasen la concentración máxima admisible (máxima concentración de una sustancia a la que puede estar expuesto el medio durante un tiempo determinado sin que se produzcan efectos adversos).

Un fertilizante es una sustancia destinada a abastecer y suministrar los elementos químicos al suelo para que la planta los absorba. Se trata, por tanto, de una reposición o aporte artificial de nutrientes. Es un producto de origen inorgánico, que contiene, por los menos, un elemento químico que la planta necesita para su ciclo de vida. La característica más importante de cualquier fertilizante es que debe tener una solubilidad máxima en agua, para que, de este modo pueda disolverse en el agua de riego, ya que los nutrientes entran en forma pasiva y activa en la planta, a través del flujo del agua.

La utilización de fertilizantes en los cultivos es una práctica agraria extendida en todos los países del mundo, a diferencia de los pesticidas que su uso se limita a países con posibilidades económicas y legislativas. Cuba cuenta con una estrategia fitosanitaria para el cultivo de la papa con el objetivo de lograr rendimientos en los cultivos. Esta estrategia tiene incluida fertilizantes, Insecticidas, fungicidas y Herbicidas. El aporte en exceso de nutrientes en aguas subterráneas y superficiales es perjudicial para el medio ambiente y la salud, ya que se produce una desviación del equilibrio natural de las aguas. Un ejemplo de este desequilibrio es el fenómeno de eutrofización de lagos, en el que la presencia de fertilizantes estimula el crecimiento de algas y otras plantas acuáticas y, en consecuencia, una disminución del oxígeno disuelto en el agua al descomponerse la materia vegetal muerta.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Los principales nutrientes que contienen los fertilizantes son el nitrógeno, el fósforo y el potasio utilizándose en el cultivo de la papa una fórmula que los une nombrada NPK, En Cuba se aplican de 0.515 a 0.625 T ha/ año de nutrientes a los cultivos, tal y como se puede ver en la representación gráfica que se muestra a continuación.



Figura: 3.2 Tasa de aplicación de fertilizantes en Centro América Fuente:

Fuente: (Carmona 2010)

A continuación se muestran en la Figura los fertilizantes aplicados durante el cultivo de la papa en diferentes países. La tasas de aplicación de fertilizantes a los cultivos de papas en nuestro país están comprendidas entre 14.538 y 41.900 kg / ha año.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

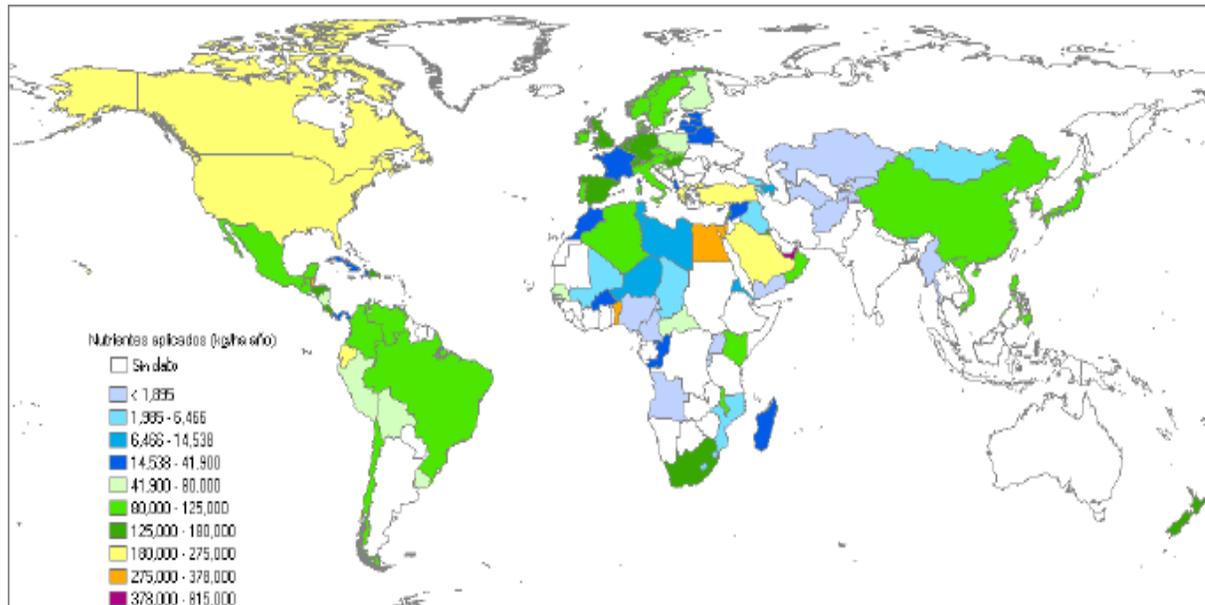


Figura 3.3 Tasa de aplicación de fertilizantes aplicados en los cultivos de papa de los diferentes países (en kg/ha año)

Fuente: (Carmona 2010)

El dato de la cantidad de fertilizantes aplicados a una cosecha de papa en Cultivos Varios Horquita fue brindado por el personal encargado de la actividad en la empresa. La cantidad de nitrógeno que llega al agua de flujo libre se supone que es de un 10 % de la tasa de fertilización aplicada (en kg / ha / año) (Hoekstra y Chapagain, 2008). Como estándar de calidad de agua para el nitrógeno, se ha utilizado 10 mg / litro siendo esta la concentración máxima admisible en el flujo libre de agua superficial. Por falta de datos adecuados, la concentración natural en el cuerpo de agua receptor se supone que es cero.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Tabla 3.12: Cálculo de la Huella Hídrica Gris del cultivo de la papa teniendo en cuenta los fertilizantes aplicados.

Fuente: Elaboración Propia

(AR) Promedio tasa de aplicación fertilizantes Kg/Ha	(α) Lixiviación de Nitrógeno o escorrentía a vol. de agua 10 % Kg/Ha	Max Concentración Kg/m³	Rendimiento del cultivo (ton/ha)	WF Gris Fertilizantes m3/ton
1,49	0.1	0.01	20.95	0,47

A parte de la utilización de los fertilizantes en la actualidad no es posible una agricultura con altos rendimientos sin la utilización de medidas de protección de plantas, entre las cuales los plaguicidas químicos tienen una participación considerable, aunque los enfoques han cambiado considerablemente. Hoy se concibe el uso de los plaguicidas enmarcado dentro de un manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas, lo que obliga a conocer profundamente las propiedades de estos compuestos, sus residuos en los cultivos y en el medio, así como sus aspectos toxicológicos.

Clasificación de los plaguicidas según su utilidad:

- . • Insecticidas, para controlar insectos.
- . • Acaricidas, contra ácaros y arañas.
- . • Fungicidas, para controlar hongos.
- . • Nematicidas, contra nematodos.
- . • Herbicidas, contra malas hierbas.
- . • Helicidas, contra caracoles y babosas.
- . • Raticidas o rodenticidas, contra ratas y ratones.
- . • Repelentes de aves.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

El uso de los plaguicidas no se limita al sector agropecuario sino también en la protección cuarentenaria, así como en el combate de vectores que provocan enfermedades al hombre.

Con el desarrollo en Cuba de las industrias azucarera, cítrica, tabacalera, cafetalera, arrocería y la producción de viandas y vegetales se incrementó sustancialmente la utilización de estos productos, hasta alcanzar la cifra promedio anual de 30 000 t de formulado en el período de 1980 a 1989.

En los últimos años se han introducido plaguicidas con toxicidades muy bajas hacia los seres humanos, selectivos y en dosis de uso pequeñas, de modo que la contaminación del medio por ellos sea mínima, pero sus precios en el mercado internacional son más altos. (Vega et al 2011)

Existen problemas asociados al uso de los plaguicidas como son efectos tóxicos sobre otros organismos.

Todos los plaguicidas actúan sobre un gran número de organismos; si las aplicaciones se realizan de manera indiscriminada se pueden obtener efectos no deseados en plantas, animales y microorganismos. Los efectos tóxicos son de tres tipos:

- a) Fitotoxicidad: las plantas cultivadas sobre las que se aplica el plaguicida sufren daños que reducen su productividad.
- b) Toxicidad para los consumidores de productos agrícolas: los insecticidas son tóxicos para los consumidores finales; todos los insecticidas son tóxicos para los animales y en consecuencia para sus consumidores finales. Pero esto tiene poca incidencia ya que las aplicaciones son en muy bajas concentraciones, y por tanto los efectos tóxicos sobre el consumidor final son irrelevantes. No obstante se desarrollan métodos de análisis para detectar cantidades muy pequeñas de plaguicidas en alimentos.
- c) toxicidad para flora y fauna silvestre: si los plaguicidas se aplican mal actúan sobre organismos a los que no van dirigidos. Los plaguicidas en mayor o menor medida son solubles en agua y pueden alcanzar las capas freáticas y aguas continentales, introduciéndose en el medio ambiente: animales acuáticos animales terrestres y el hombre. Se puede llegar a alcanzar niveles en ciertos tejidos que son tóxicos. (Dalmau et al 2010)



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Nuestro país pone todo su empeño en que las producciones agropecuarias tengan resultados satisfactorios. Uno de los factores que intervienen son las estrategias fitosanitarias aplicadas a los cultivos las cuales deben cumplirse sin violar los límites establecidos por las Normas de protección de las aguas terrestres.

La tabla que aparece a continuación presenta la cantidad de plaguicidas presente en la estrategia de protección fitosanitaria de la contienda de papa 2010- 2011, para la Empresa Cultivos Varios Horquita.

Tabla 3.13: Cantidad de plaguicidas aportados para la cosecha de papa.

Fuente: Elaboración Propia.

Plaguicidas	Cantidad Kg / Ha
Insecticidas	3
Fungicidas	32
Herbicidas	7.5
Total	42.5

Para determinar la Huella Hídrica gris en dependencia de la cantidad de plaguicidas aplicados es necesario determinar el porcentaje de lixiviación de los mismos para ello nos hemos apoyado en la Directiva Marco del agua 2004 donde se plantea que el límite admisible en el agua es de (50µg/l para el total de plaguicidas medidos).

Se considera que el factor de lixiviación de los Plaguicidas depende del grado de desarrollo del país, tal y como se describe en el trabajo “*Aspectos generales sobre los plaguicidas y su efecto sobre el hombre y el ambiente*”. En dicho estudio se llega a la conclusión que en países desarrollados la cantidad de plaguicida que llega a las masas de agua se sitúa entre el 10 y el 30%, mientras que para países en vías de desarrollo se sitúa entre el 50 y el 75%. De acuerdo con el análisis que brinda el Informe sobre Desarrollo Humano 2006 Cuba se encuentra dentro del grupo de países con un índice de desarrollo humano alto, por lo que la lixiviación es de un 30%. Ver **Anexo 7**



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Por falta de datos adecuados, la concentración natural en el cuerpo de agua receptor se supone que es cero como se expresa en el manual de evaluación de la Huella Hídrica Hoekstra et al., 2010

Tabla 3.14: Cálculo de la Huella Hídrica Gris del cultivo de la papa teniendo en cuenta los plaguicidas aplicados.

Fuente: Elaboración Propia

(AR) Promedio tasa de aplicación Plaguicidas Kg/Ha	(α) Lixiviación de los Plaguicidas o escorrentía a vol. de agua 30 % Kg/Ha	Max Concentración Kg/m³	Rendimiento del cultivo (ton/ha)	WF Gris Fertilizantes m3/ton
42.4	0.3	0.05	20.95	12.14

La siguiente tabla muestra los resultados de la Huella Gris del cultivo de la papa teniendo en cuenta los fertilizantes y los plaguicidas que se le aplicaron al cultivo.

Tabla 3.15: Cálculo de la Huella Hídrica Gris del cultivo de la papa teniendo en cuenta los fertilizantes y los plaguicidas aplicados.

WF Proc gris Fertilizantes	WF Proc azul Plaguicidas	WF Proc Gris Total
	m3/Ton	
0.47	12.14	12.61

Tabla 3.16 Huella Hídrica de la papa en Cultivos Varios Horquita

Fuente: Elaboración Propia

Cultivo de la papa en Cultivos Varios Horquita	Huella Hídrica verde	Huella Hídrica Azul	Huella Hídrica Gris	Huella Hídrica Total
m³/ton	9.85	176.75	12.61	199.21



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Tabla 3.17 Valores de Huellas Hídricas promedio global de diferentes Cultivos.

Fuente: (Mekonne and Hoekstra, 2010b) The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products Research Report Series No. 47

Producto	Huella Hídrica verde m³/ton	Huella Hídrica Azul m³/ton	Huella Hídrica gris m³/ton	Huella Hídrica Total m³/ton
Papa cultivos varios	9.85	176.75	12.61	199.21
Horquita				
Papa	191	33	63	287
Maíz	947	81	194	1222
Arroz	1146	341	187	1673
Tomate	108	63	43	214
Café	15249	116	532	15897
Plátano	660	97	33	790
Tabaco	2021	205	700	2925
Piña	215	9	31	255
Ajo	337	81	170	589
Cebolla	176	44	51	272
Frijoles	320	54	188	561
Aguacate	849	283	849	1981

Como podemos apreciar en la tabla anterior los valores finales de huella hídrica de la papa calculados no corresponden con los valores tomados de (Mekonne and Hoekstra, 2010b). Esto se debe a que Cuba por ser un país tropical la cosecha se realiza en los meses de invierno por lo que las precipitaciones son escasas y en consecuencia la huella Hídrica verde es pequeña y es necesario el riego con mayor periodicidad, la huella Hídrica gris es mucho menor en Horquita porque se utilizan valores mínimos indispensables de agroquímicos.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

3.3.3 Comparación de la Huella Hídrica Azul calculada en Cultivos Varios Horquita y el agua neta de riego en la campaña en estudio.

En la campaña de papa de Cultivos Varios Horquita se realizaron 24 riegos aplicándose en la primera etapa comprendida de 0 a 28 días 7 riegos cada uno con una capacidad media de 180 m³ por ha. En la segunda etapa de 29 a 68 días se realizan 10 riegos cada uno de 320m³ por ha y en la tercera etapa que comprenden los últimos 28 días se aplican 7 riegos cada uno de 180m³ por ha.

Esta tabla presenta una comparación entre la cantidad de agua aplicada en una cosecha y la calculada anteriormente, teniendo en cuenta que la cantidad de hectáreas sembradas fueron de 630.74 el **Anexo 6** presenta el cálculo completo del requerimiento de riego en la cosecha completa.

Tabla 3.18 Análisis del riego aplicado y el necesario si se aplicara la metodología antes expuesta.

	<i>Agua utilizada en el riego</i>	<i>Requerimiento de riego</i>
	Primera etapa 1260 m ³ /ha	476.1 m ³ /ha
	Segunda Etapa 3200 m ³ /ha	2 214.5 m ³ /ha
	Tercera etapa 1260 m ³ /ha	1 012.25 m ³ /ha
	Total 5720 m ³ / ha	Total 3703.1m ³ /ha
Huella Hídrica Azul	273.03 m ³ /ton	176.75 m ³ /ton
Total	3 607 832 m ³	2 335 693 m ³

A partir del Manual de Fichas de costos tecnológicos para la elaboración del plan de la economía, emitido por la Dirección de Contabilidad y Precios del Ministerio de la Agricultura en nuestro país **Anexo 8**. El cuál está distribuido por tipo de cultivo. Se considera que en el cultivo



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

de la papa cada Mm^3 de agua tiene un precio de 12.50 MN y 12.50 CUC por lo que cada m^3 tiene un valor de 0.025 MN y 0.0125 CUC.

Tabla 3.19 Análisis de los costos del agua real aplicada y los costos según el agua requerida aplicando los cálculos de requerimiento de riego.

Agua aplicada en el Riego	Precio m^3		Costo	
	Total	De ello en CUC	Total	De ello en CUC
3 607 832 m^3	0,025	0.0125	90 195.8	45 097.9
Agua requerida según el cálculo de Requerimiento de riego				
2 335 693 m^3	0.025	0.0125	58 392.3	29 196.2

Según la tabla anterior podemos llegar a la conclusión que si se aplicara la metodología utilizada en este trabajo para el cálculo del requerimiento de riego se reducirían los costos totales de agua a 31 803.5 de ello 15 901.7 en CUC.

Aparte de disminuir los costos provocados por la cantidad de agua aplicada, también podemos reducir los costos de los Kw que utilizan las máquinas de riego en la cosecha completa. Haciendo un análisis mediante el manual de fichas de costos antes mencionado donde 954 Kw están normados para bombear $4500 m^3$ de agua que es la norma establecida en este manual para cada ha, con un precio de 0.27 CUC.



Capítulo III Cálculo de la Huella Hídrica en un cultivo de papa.

Tabla 3.20 Análisis de los costos de los Kw consumidos en la cosecha de papa completa.

Agua aplicada en el Riego	Kw	Precio		Costo	
	consumido	Total	De ello en CUC	Total	De ello en CUC
3 607 832 m ³	764 860.4	0.27	0.27	206 512.3	206 512.3
Agua requerida según el cálculo de Requerimiento de Riego					
2 335 693 m ³	495 166.91	0,27	0.27	133 695	133 695

En la tabla anterior queda demostrado que si se aplica la metodología propuesta existe una disminución de los costos de 72 817.3 CUC

La siguiente tabla muestra las pérdidas tanto por agua como por energía en una cosecha de papa.

Tabla 3.21 Análisis del Impacto económico potencial en la cosecha de papa.

	Costo	
	Total	De ello en CUC
Agua m ³	31 803.5	15 901.7
Energía Kw	72 817.3	72 817.3
Total	104 620.8	88 719



Conclusiones Parciales del Capítulo III

Conclusiones Parciales del Capítulo III

1. El cultivo de la papa en la Empresa Cultivos Varios Horquita cuenta con larga tradición y capacidad técnica en el personal encargado de su atención.
2. El riego se realiza según una programación por etapas de desarrollo del cultivo.
3. La fertilización se realiza según un programa establecido para la campaña.
4. La temperatura media en el período de campaña es de 20.17 °C.
5. La Huella Hídrica del cultivo de la papa en Horquita es de 199.21 m³/ton, internacionalmente de 287 m³/ton.
6. La composición de la Huella Hídrica del cultivo de la papa en Horquita difiere notablemente de la internacional.

Huella Hídrica	Huella Hídrica internacional	Huella Hídrica Cultivos Varios Horquita
Azul	33	176.75
Verde	191	9.85
Gris	63	12.61

7. En la Cosecha de la papa en Horquita se sobre riega en 1272139 m³ lo que origina un gasto adicional de energía eléctrica de 269 693.49 Kw.

*Conclusiones
Generales*



Conclusiones Generales

Conclusiones Generales

1. Se elaboró un marco teórico sobre el indicador Huella Hídrica y su utilidad para evaluar la apropiación del agua.
2. La metodología de cálculo de la Huella Hídrica es aplicable en nuestro país en toda su escala.
3. El cálculo de la Huella Hídrica del cultivo de la papa en Horquita evidenció potencialidades para el ahorro de agua y energía.
4. La composición de la Huella Hídrica del cultivo de la papa difiere notablemente de la de este cultivo en otros países y de la Huella Hídrica nacional donde predomina el componente verde.

Recomendaciones



Recomendaciones

Recomendaciones

1. Calcular la Huella Hídrica de la Empresa Cultivos Varios Horquita.
2. Realizar la evaluación de la sostenibilidad de los diferentes cultivos en la Empresa Cultivos Varios Horquita desde el punto de vista del aseguramiento del suministro de agua.

Bibliographia



Bibliografía

- Arjen, Y, & Hoekstra Ashok Chapagain, Maite M. (2010). Manual de Evaluación de la huella hídrica. Definiendo una norma global.
- Cabello et al.2012. An approach to sustainable development: the case of Cuba. Environment, Development and Sustainability.
- CITMA. (2010). *Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Programa Nacional de Consumo y Producción Sostenible*. La Habana. Retrieved from http://www.redpycs.net/MD_upload/redpycs_net/File/Políticas_y_herramientas/prog.%20nac.%20ocps%20y%20er%20cuba%20%202010%20oct%202010.pdf.
- CITMA. (2004). *Situación ambiental cubana*. La Habana. Retrieved from <http://www.medioambiente.cu/download/2004/informecompleto.pdf>.
- CRIC. (2006). *República de Cuba. III Informe Nacional Comité de Revisión Implementación de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía*. Retrieved from <http://www.unccd.int/cop/reports/lac/national/2006/cuba-spa.pdf>.
- Chapagain, A.K, & Hoekstra, A.Y. (2008). *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources*, Blackwell Publishing. UK: Oxford.
- Chapagain, A.K, & Hoekstra, A.Y. (2010). *Water Footprint of Nations. Value of Water*. UNESCO-IHE.
- Dalmau Sorlí, V, & Durá Navarro, E. (2010). Principios básicos de la protección fitosanitaria. plaguicidas químicos.
- De las aguas Terrestres*. (1993). . Retrieved from <http://www.medioambiente.cu/oregulatoria/cica/legislacion/Decreto%20Ley%20138.pdf>.
- Dirección Cuencas Hidrográficas. Servicio Hidrológico Nacional. Boletín Hidrológico*. (n.d.). . La Habana. Retrieved from <http://www2.hidro.cu/documentos/boletines/Boldic09.pdf>.
- Distribución del Índice de Estrés Hídrico Relativo. (2012). <http://www.unesco.org>. Retrieved from http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2/pdf/wwdr2_section_2es.pdf.
- Estudio FAO 56 Riego y Drenaje. (2006). .
- Guía para el cultivo de la papa. (2012). www.unep.org/geo/geo4/. Retrieved from



Bibliografía

www.unep.org/geo/geo4/.

Hacia la gestión sostenible de los recursos hídricos: Un enfoque estratégico. Directrices para la Cooperación para el Desarrollo de los Recursos Hídricos. (1999). . Bruselas, Bélgica.

Hoekstra A.Y, & Hung P.Q. (2011). Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of water.

Informe sobre Desarrollo Humano. (2006). .

Mekonne, & Hoekstra. (, 2010b). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products.

PCC. (2009). *Proyecto de Lineamientos de la política económica y social del PCC.* La Habana.

Retrieved from <http://www.cubadebate.cu/noticias/2010/11/09/descargue-en-cubadebate-el-proyecto-de-lineamientos-de-la-politica-economica-y-social-del-pcc/>.

Prats Rico, D. (2009). *Problemática del Agua. Situación y Perspectivas.*

Resultados de la evaluación del IHC en el mundo. (2012). . Retrieved from

<http://wwdrii.sr.unh.edu/download.html>.

Vega Bolaños, Luisa O, & Arias Verdés, José A. (2011.). Valiente Uso de plaguicidas en Cuba, su repercusión en el ambiente y la salud.

Vega, Carmona. (2010). *Estimación de la huella gris de la agricultura teniendo en cuenta el efecto de fertilizantes y pesticidas.*

Wackernagel, M, & Rees, W. (1996). Our Ecological Footprint:
Reducing Human Impact on the Earth.

Willmott, C. J, & Feddema, J. J. (1992). *A More Rational Climatic Moisture Index. Professional Geographer.*

WWF. (2006). Informe Planeta Vivo.

WWF. (n.d.). *World Wide Fund For Na. Informe planeta vivo.* Colombia. Bogota. Retrieved from http://assets.panda.org/downloads/lpr_2006_spanish.pdf.

Ancoras

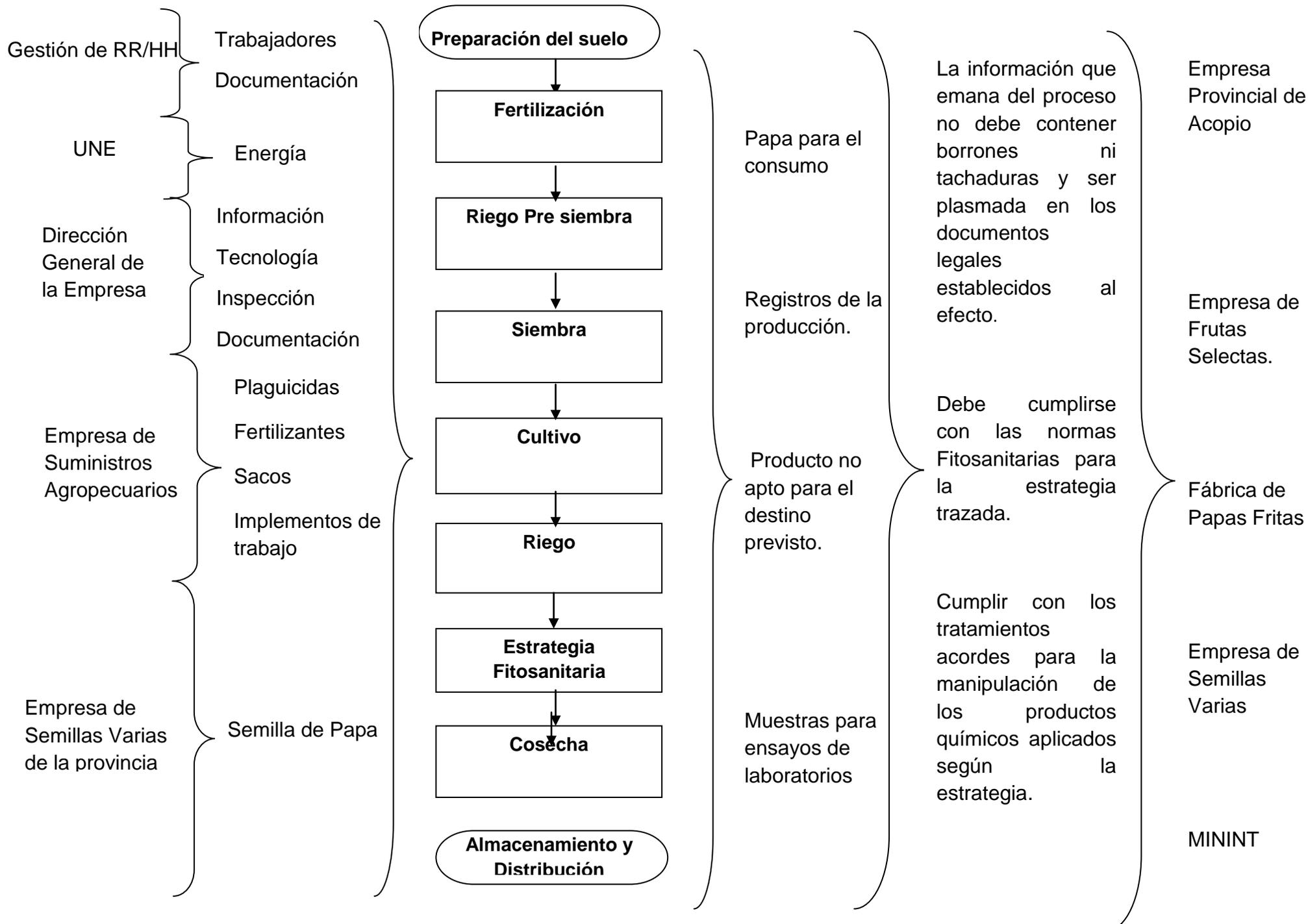


Anexo # 1 Nomenclatura

WFproc	= huella hídrica total del proceso de cultivos
WFProc,azul	= huella hídrica azul del Proceso
WFProc,verde	= huella hídrica verde del proceso
WFProc,gris	= huella hídrica gris del proceso
CWU (Crep Wáter Use),	= uso de agua para producir un cultivo
CWUgreen(Crep Wáter use green)	= uso del agua "verde" en un cultivo
CWUblue (Crep Wáter use bue)	= uso de agua "azul" en un cultivo
ETc	= evapotranspiración de referencia
CWR (Crep Wáter requeridme)	= requerimiento de agua de los cultivos
ETo	=Evapotranspiración del cultivo de referencia
Kc	= coeficiente de cultivo
Y	= producción de un cultivo por unidad de área de producción
ETverde	= evapotranspiración verde
ETazul	= evapotranspiración azul
Peff	= precipitación efectiva
Cmáx	= la concentración máxima admisible de contaminante
Cnat	= Concentración natural del medio receptor



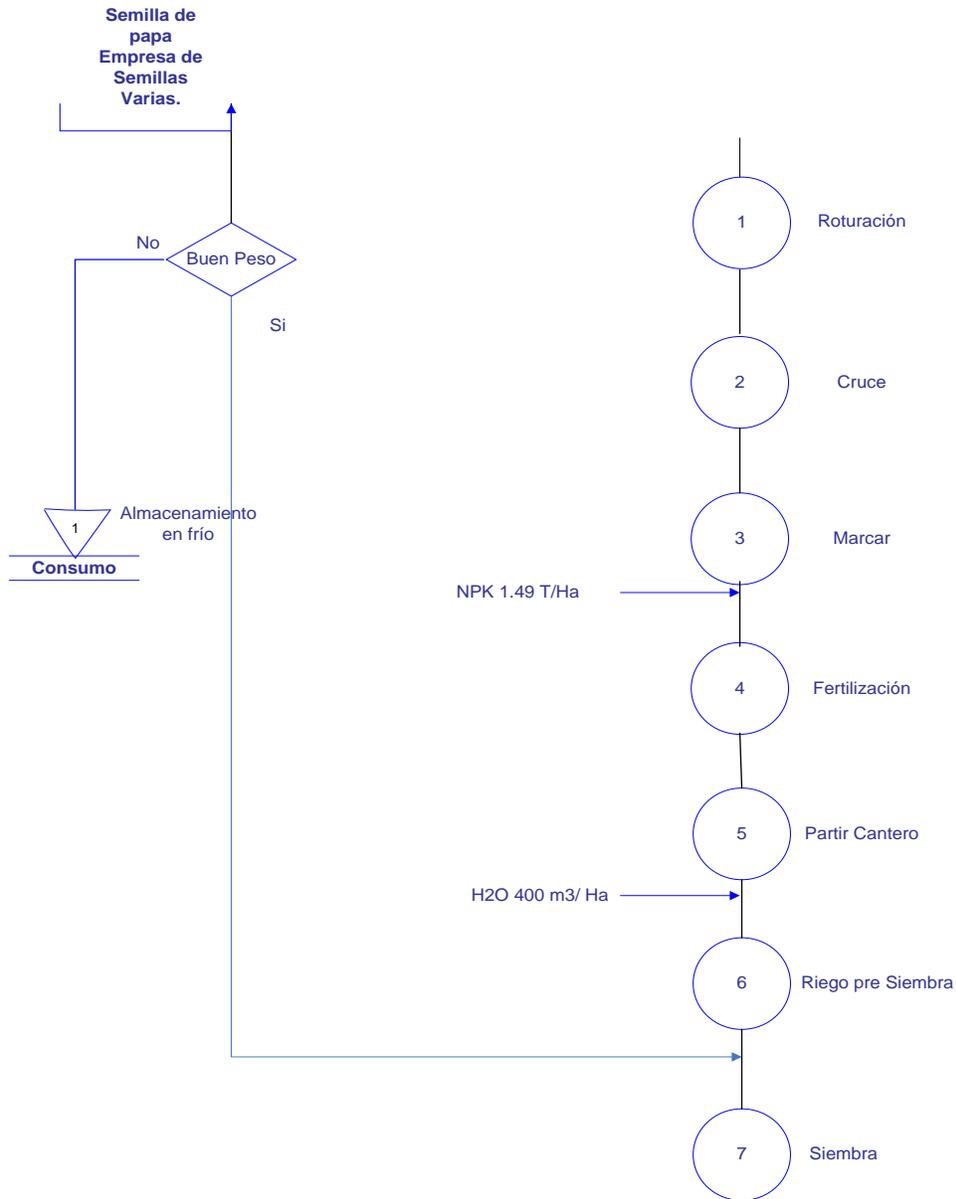
Anexo # 2 SIPOC "Producción y Comercialización del Cultivo de Papa".





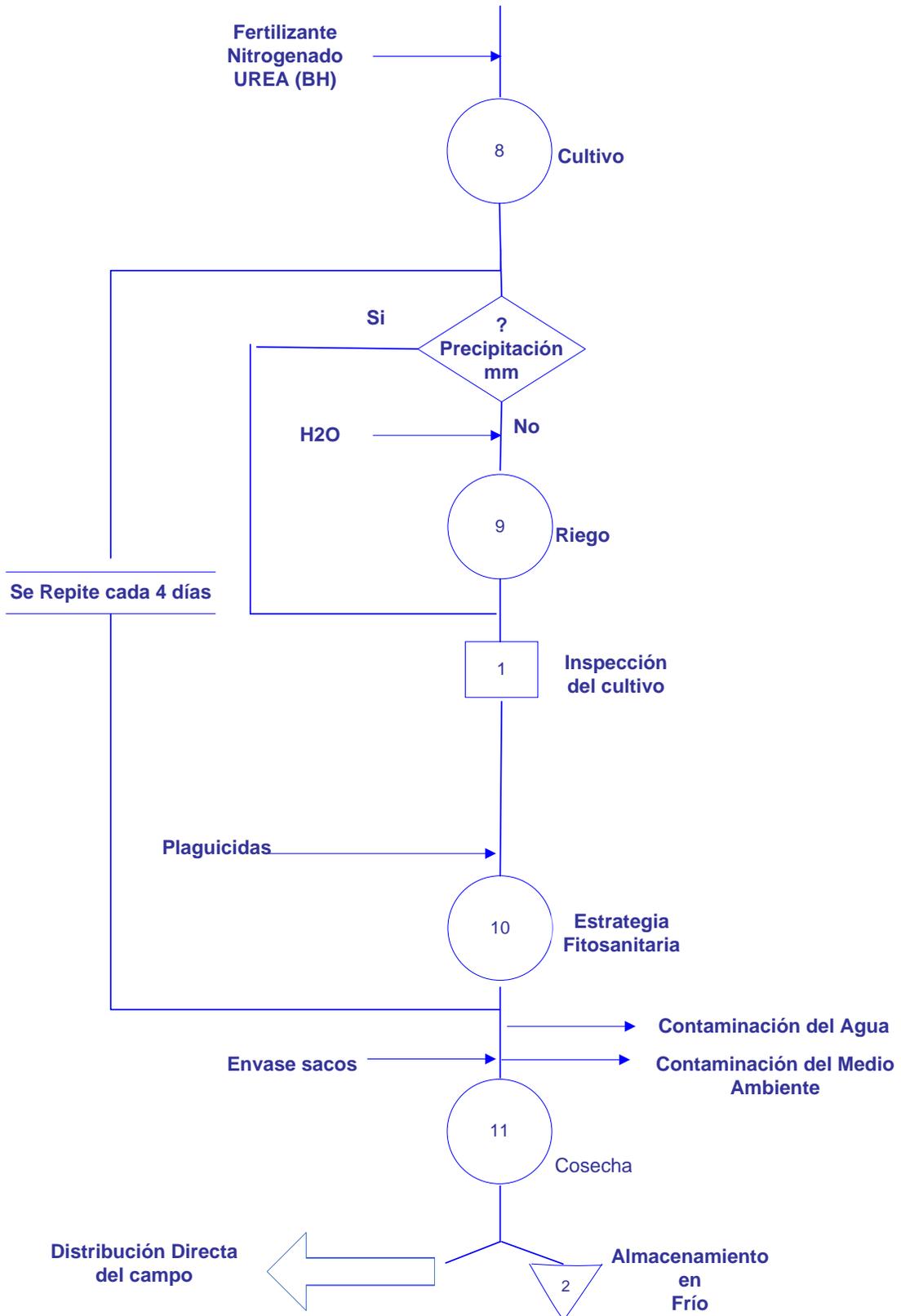
Anexos

Anexo # 3 Diagrama OTIDA





Anexos





Anexos

Anexo # 4 Temperatura promedio del día en Horquita desde

15 de Noviembre 2010 hasta el 18 de Febrero 2011

Año	Mes	Día	Temperatura Promedio C ⁰	Año	Mes	Día	Temperatura Promedio C ⁰
2010	11	15	20,3	2011	1	1	20,7
2010	11	16	23,6	2011	1	2	20,5
2010	11	17	24	2011	1	3	19,1
2010	11	18	23	2011	1	4	19,5
2010	11	19	22,3	2011	1	5	20,3
2010	11	20	22,8	2011	1	6	19,7
2010	11	21	23,8	2011	1	7	19,8
2010	11	22	23,7	2011	1	8	17
2010	11	23	22	2011	1	9	19,1
2010	11	24	22,1	2011	1	10	21,5
2010	11	25	23,4	2011	1	11	23
2010	11	26	23,7	2011	1	12	21,8
2010	11	27	23,4	2011	1	13	20
2010	11	28	22,9	2011	1	14	19,3
2010	11	29	23,5	2011	1	15	19,5
2010	11	30	22,9	2011	1	16	20,7
2010	12	1	22,6	2011	1	17	22,9
2010	12	2	20,5	2011	1	18	23,3
2010	12	3	19,3	2011	1	19	23,2
2010	12	4	18,1	2011	1	20	23,5



Anexos

2010	12	5	18,2	2011	1	21	23,2
2010	12	6	16,8	2011	1	22	22,1
2010	12	7	15,5	2011	1	23	17,4
2010	12	8	14,7	2011	1	24	21,6
2010	12	9	14,9	2011	1	25	23,4
2010	12	10	17,2	2011	1	26	23,3
2010	12	11	17,5	2011	1	27	21,8
2010	12	12	18,2	2011	1	28	17,4
2010	12	13	17,6	2011	1	29	16,5
2010	12	14	13,5	2011	1	30	17,7
2010	12	15	11,1	2011	1	31	21,4
2010	12	20	16,6	2011	2	1	23
2010	12	21	17,1	2011	2	2	23,2
2010	12	22	17,3	2011	2	3	24,5
2010	12	23	16,2	2011	2	4	22,8
2010	12	24	17,5	2011	2	5	22,3
2010	12	25	18,3	2011	2	6	21,9
2010	12	26	17	2011	2	7	23,1
2010	12	27	15	2011	2	8	23,5
2010	12	28	12,4	2011	2	9	23,8
2010	12	29	15,5	2011	2	10	23,8
2010	12	30	18,6	2011	2	11	24,7
2010	12	31	20,3	2011	2	12	21,2



Anexos

Continuación Anexo # 4

Año	Mes	Día	Temperatura Promedio C ⁰
2011	2	13	20,4
2011	2	14	19,2
2011	2	15	18,7
2011	2	16	19,1
2011	2	17	21,3
2011	2	18	20,8



Anexos

Anexo # 5 Precipitaciones ocurrida en Horquita desde

15 de Noviembre 2010 hasta el 18 de Febrero 2011

Año	Mes	Día	Precipitación en mm	Año	Mes	Día	Precipitación en mm
2010	11	15	0	2010	12	27	0
2010	11	16	0	2010	12	28	0
2010	11	17	5,5	2010	12	29	0
2010	11	18	7	2010	12	30	0
2010	11	19	2,4	2010	12	31	0
2010	11	20	0	2011	1	1	0
2010	11	21	0	2011	1	2	0
2010	11	22	0	2011	1	3	0
2010	11	23	0	2011	1	4	0
2010	11	24	0	2011	1	5	0
2010	11	25	0	2011	1	6	0
2010	11	26	0	2011	1	7	0
2010	11	27	0	2011	1	8	0
2010	11	28	0	2011	1	9	0
2010	11	29	0	2011	1	10	0
2010	11	30	0	2011	1	11	0
2010	12	1	0	2011	1	12	0
2010	12	2	19	2011	1	13	0
2010	12	3	0	2011	1	14	0
2010	12	4	0	2011	1	15	0
2010	12	5	0	2011	1	16	0



Anexos

2010	12	6	0	2011	1	17	0
2010	12	7	0	2011	1	18	0
2010	12	8	0	2011	1	19	0
2010	12	9	2	2011	1	20	0
2010	12	10	0	2011	1	21	50,0
2010	12	11	0	2011	1	22	22
2010	12	12	0	2011	1	23	0
2010	12	13	0	2011	1	24	0
2010	12	14	0	2011	1	25	0
2010	12	15	0	2011	1	26	0
2010	12	16	0	2011	1	27	0
2010	12	17	0	2011	1	28	0
2010	12	18	1,5	2011	1	29	0
2010	12	19	0	2011	1	30	0
2010	12	20	0	2011	1	31	0
2010	12	21	0	2011	2	1	0
2010	12	22	0	2011	2	2	0
2010	12	23	0	2011	2	3	0
2010	12	24	0	2011	2	4	0
2010	12	25	0	2011	2	5	0
2010	12	26	0	2011	2	6	0
				2011	2	7	0



Anexos

Continuación Anexo # 5

Año	Mes	Día	Precipitación en mm
2011	2	8	0
2011	2	9	0
2011	2	10	0
2011	2	11	0
2011	2	12	0
2011	2	13	0
2011	2	14	0
2011	2	15	0
2011	2	16	0
2011	2	17	0
2011	2	18	0



Anexos

Anexo # 6 Cálculo de la Precipitación efectiva, requerimiento de riego, evapotranspiración verde y azul del cultivo de la papa en Cultivos Varios Horquita cosecha 2010-2011

Ano	Mes	Día	Fase	Kc	ETo mm/día	ETc mm/día	Precipitación efectiva	Requerimiento de Riego mm/día	ET verde mm/día	ET Azul mm/ día
2010	11	15	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	11	16	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	11	17	inicio	0,5	5	2,5	4,95	0	2,5	0
2010	11	18	inicio	0,5	5	2,5	6,13	0	2,5	0
2010	11	19	inicio	0,5	5	2,5	2,16	0,34	2,5	0,34
2010	11	20	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	11	21	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	11	22	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	11	23	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	11	24	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
				0,5	5	25	13,24	11,76	7,5	11,76
2010	11	25	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	11	26	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	11	27	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	11	28	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	11	29	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	11	30	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	12	1	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	12	2	inicio	0,5	5	2,5	17,1	0	2,5	0
2010	12	3	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	12	4	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
				0,5	5	25	17,1	7,9	2,5	7,9
2010	12	5	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	12	6	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	12	7	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5



Anexos

2010	12	8	inicio	0,5	5	2,5	0	2,5	0	2,5
2010	12	9	inicio	0,5	5	2,5	1,8	0,7	1,8	0,7
2010	12	10	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	11	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	12	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	13	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	14	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
				0,825	5	41,25	1,8	39,45	1,8	39,45
2010	12	15	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	16	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	17	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	18	Medio	1,15	5	5,75	1,35	4,4	1,35	4,4
2010	12	19	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	20	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	21	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	22	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	23	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	24	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
				1,15	5	57,5	1,35	56,15	1,35	56,15
2010	12	25	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	26	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	27	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	28	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	29	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	30	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2010	12	31	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	1	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	2	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	3	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75



Anexos

				1,15	5	57,5	0	57,5	0	57,5
2011	1	4	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	5	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	6	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	7	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	8	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	9	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	10	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	11	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	12	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	13	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
				1,15	5	57,5	0	57,5	0	57,5
2011	1	14	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	15	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	16	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	17	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	18	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	19	Medio	1,15	5	5,75	0	5,75	0	5,75
2011	1	20	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	1	21	Final	0,75	5	3,75	-12,85	16,6	3,75	16,6
2011	1	22	Final	0,75	5	3,75	19,8	0	3,75	0
2011	1	23	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
				0,99	5	49,5	6,95	42,55	7,5	42,55
2011	1	24	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	1	25	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	1	26	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	1	27	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	1	28	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	1	29	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75



Anexos

2011	1	30	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	1	31	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	1	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	2	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
				0,75	5	37,5	0	37,5	0	37,5
2011	2	3	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	4	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	5	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	6	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	7	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	8	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	9	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	10	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	11	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	12	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
				0,75	5	37,5	0	37,5	0	37,5
2011	2	13	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	14	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	15	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	16	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	17	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
2011	2	18	Final	0,75	5	3,75	0	3,75	0	3,75
				0,75	5	22,5	0	22,5	0	22,5
Total						410,75	40,44	370,31	20,65	370,31



Anexos

Anexo # 7 Índice de Desarrollo Humano (IDH) de Cuba según Informe sobre Desarrollo Humano 2006

Rango IDH ^a	Valor del índice de desarrollo humano (IDH)	Esperanza de vida al nacer (años)	Tasa de alfabetización de adultos ^b (% de pers. de 15 años de edad y mayores)	Tasa bruta combin. de matriculación en enseñanza primaria, secundaria y terciaria (%)	PIB per cápita (PPA en US\$)	Índice de esperanza de vida	Índice de educación	Índice del PIB	Rango del PIB per cápita (PPA en US\$) menos el rango IDH ^d	
	2004	2004	2004	2004 ^c	2004					
DESARROLLO HUMANO ALTO										
31	Barbados	0,879	75,3	.. ^{g,h,i}	89 ^h	15.720 ^{h,n}	0,84	0,96	0,84	10
32	Malta	0,875	78,6	87,9 ^o	81	18.879	0,89	0,86	0,87	5
33	Kuwait	0,871	77,1	93,3	73 ^g	19.384 ^p	0,87	0,87	0,88	2
34	Brunei Darussalam	0,871	76,6	92,7	77 ^g	19.210 ^{h,q}	0,86	0,88	0,88	2
35	Hungría	0,869	73,0	.. ^{s,i}	87	16.814	0,80	0,95	0,86	4
36	Argentina	0,863	74,6	97,2	89 ^h	13.298	0,83	0,95	0,82	10
37	Polonia	0,862	74,6	.. ^{s,i}	86	12.974	0,83	0,95	0,81	11
38	Chile	0,859	78,1	95,7	81	10.874	0,89	0,91	0,78	18
39	Bahrein	0,859	74,5	86,5	85 ^g	20.758	0,82	0,86	0,89	-10
40	Estonia	0,858	71,6	99,8 ^e	92	14.555	0,78	0,97	0,83	4
41	Lituania	0,857	72,5	99,8 ^e	92	13.107	0,79	0,97	0,81	6
42	Eslovaquia	0,856	74,3	100,0 ^{s,k}	77	14.623	0,82	0,92	0,83	1
43	Uruguay	0,851	75,6	.. ^l	89 ^{g,h}	9.421	0,84	0,95	0,76	19
44	Croacia	0,846	75,2	98,1	73 ^h	12.191	0,84	0,90	0,80	7
45	Letonia	0,845	71,8	99,7 ^e	90	11.653	0,78	0,96	0,79	9
46	Qatar	0,844	73,0	89,0	76	19.844 ^{h,r}	0,80	0,85	0,88	-14
47	Seychelles	0,842	72,7 ^{h,m}	91,8	80 ^g	16.652	0,80	0,88	0,85	-7
48	Costa Rica	0,841	78,3	94,9	72	9.481 ^p	0,89	0,87	0,76	13
49	Emiratos Árabes Unidos	0,839	78,3	.. ^l	60 ^{g,h}	24.056 ^p	0,89	0,71	0,92	-25
50	Cuba	0,826	77,6	99,8 ^e	80 ^h	.. ^s	0,88	0,93	0,67	43



Anexos

Anexo # 8 Manual de Fichas de Costos tecnológico para la elaboración del plan de la Economía.

MINISTERIO DE LA AGRICULTURA		
FICHAS PAPA PRECIOS Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES		
Organismo: Minag		
Producto: papa		
UM: hectárea		
Concepto de gastos	Total unitario	De ello en CUC
Materias primas y materiales	3062.63	2690.15
Materias primas y Materiales fundamentales	2555.34	2239.11
Combustibles y Lubricantes	137.20	137.20
Energía	257.58	257.58
Agua	112.50	56.25
Gastos de Elaboración	3160.25	0.00
Gastos de fuerza de trabajo	3029.93	0.00
Gastos generales y de administración	52.13	0.00
Gastos bancarios	65.85	27.20
Seguro estatal	505.46	0.00
Costo Total	6794.19	2717.35
Costos por toneladas	329.81	131.91
Margen de utilidad	30.68	13.19
Precio por tonelada	360.50	145.10
Precio por qq	16.58	6.67



Anexos

MINISTERIO DE LA AGRICULTURA

DESAGREGACIÓN DE INSUMOS FUNDAMENTALES EN PRODUCCION DE PAPA

Producto	UM	Norma de consumo por Ha	Precio		Costo	
			Total	De ello en CUC	Total	De ello en CUC
Semilla	t	2.61	652.00	550.00	1701.72	1435.50
Fórmula Completa	t	1.34	129.84	129.84	173.99	173.99
Urea 46%	t	0.22	149.50	149.50	32.89	32.89
Confidor	L	0.50	222.60	212.00	111.30	106.00
Gasagard	L	6.00	6.97	6.64	41.83	39.84
Mancozeb	Kg	27.50	2.56	2.30	70.52	63.25
Otros insumos materiales					580.99	545.55
Diesel	L	182.94	0.75	0.75	137.20	137.20
Agua	Mm ³	4.50	25.00	12.50	112.50	56.25
Energía Eléctrica	kW	954.00	0.27	0.27	257.58	257.58



Anexos