

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 2</b>

Neiva, \_19 de mayo del 2015

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El suscrito: Laura Cristina Suarez Sanmiguel, con C.C. No. 1032441775 de Bogotá. DC. autor de la tesis titulado ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA presentado y aprobado en el año 2015 como requisito para optar al título de Ingeniero Agrícola; Autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma





## GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

### CARTA DE AUTORIZACIÓN



<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 2</b>
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>				  		
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 3</b>

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Suarez Sanmiguel	Laura Cristina

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Valenzuela Mahecha	Miguel Ángel

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Olaya Amaya	Alfredo
Romero	Jonathan

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Agrícola.

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Ingeniería Agrícola

**CIUDAD:** Neiva      **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2015      **NÚMERO DE PÁGINAS:** 96

**TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):**

Diagramas  Fotografías  Grabaciones en discos \_\_\_ Ilustraciones en general \_\_\_ Grabados \_\_\_ Láminas \_\_\_  
 Litografías \_\_\_ Mapas  Música impresa \_\_\_ Planos \_\_\_ Retratos \_\_\_ Sin ilustraciones \_\_\_ Tablas o Cuadros

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



## GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

### DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



**CÓDIGO**

**AP-BIB-FO-07**

**VERSIÓN**

**1**

**VIGENCIA**

**2014**

**PÁGINA**

**2 de 3**

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <i>Recurso hídrico</i>	<i>Water resources</i>	6. _____	_____
2. <i>impacto negativo</i>	<i>negative impact</i>	7. _____	_____
3. <i>riego</i>	<i>irrigation</i>	8. _____	_____
4. <i>procesos</i>	<i>processes</i>	9. _____	_____
5. <i>puntos críticos.</i>	<i>critical points.</i>	10. _____	_____

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

Este estudio tuvo como finalidad la estimación de la huella hídrica de los diferentes sectores de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, el cual permite tener una idea del manejo que se le da al recurso hídrico, y poder determinar los puntos críticos del uso y fallas que se tienen, para implementar alternativas de soluciones y disminuir el impacto negativo sobre el recurso.

La metodología de evaluación de Huella Hídrica se aplicó para cada uno de los sectores de la granja experimental de la universidad Surcolombiana dando una huella hídrica promedio para el año 2014 de 329.701,90 m<sup>3</sup> anual. La metodología general incluye las fases descritas en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica (The Water Footprint Assessment Manual 2011), donde se estimaron las huellas hídricas azul, huella hídrica verde y huella hídrica gris para todos los lotes que adelantan procesos productivos y de investigación agrícola, mientras que para los procesos domésticos y pecuarios solo se estimó la huella hídrica azul y gris.

Se identificaron puntos críticos en la captación y conducción de agua para riego y el suministro de agua a los cultivos ya que esta se realiza sin conocer los requerimientos hídricos de los cultivos y sin una programación adecuada de riego.

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>					  	
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>3 de 3</b>

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

This study aimed to estimate the water footprint of different sectors of the experimental farm Surcolombiana University, which gives an idea of the handling given to the water resource, and to determine the critical points of use and failures you have to implement alternative solutions and reduce the negative impact on the resource.

The assessment methodology was applied water footprint for each of the sectors of the experimental farm of the University Surcolombiana giving an average water footprint of 2014 annual 329,701.90 m<sup>3</sup>; The methodology includes the steps described in the Evaluation Manual Water Footprint (The Water Footprint Assessment Manual 2010), where the blue water footprint, water footprint green water footprint gray for all lots that advance production processes were estimated and agricultural research, while for domestic and livestock processes only the blue and gray water footprint estimated.

Critical points were identified in the capture and conveyance of water for irrigation and water supply to crops as this is done without knowing the water requirements of crops without adequate irrigation scheduling.,,

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Presidente Jurado: Miguel Ángel Valenzuela

Firma:

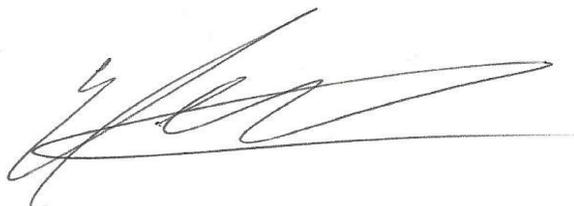
Nombre Jurado: Alfredo Olaya Amaya

Firma:



Nombre Jurado: Jonathan Romero

Firma:



**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HIDRICA DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE  
LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.**

**LAURA CRISTINA SUAREZ SANMIGUEL**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA INGENIERIA AGRICOLA  
NEIVA-HUILA**

**2015**

**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HIDRICA DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE  
LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para  
Optar el título de Ingeniero Agrícola.**

**DIRECTOR:**

**MIGUEL ANGEL VALENZUELA MAHECHA  
ING. AGR. MAGÍSTER EN INGENIERÍA – RECURSOS HIDRÁULICOS**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA INGENIERIA AGRICOLA  
NEIVA – HUILA  
2015**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

Miguel Ángel Valenzuela  
Magister en Ingeniería de Recursos Hidráulicos  
Director



---

Alfredo Olaya Amaya  
Dr. en Ingeniería de Recursos Hidráulicos  
Jurado



---

Jonathan Romero  
Magister en Hidrosistemas  
Jurado

Neiva, Mayo de 2015

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado al Señor Jesús por ser mi luz y mi guía en cada momento de mi vida, por permitir que este logro se cumpliera y no dejarme desfallecer en los días de angustia.

A mi hijo hermoso Juan Miguel que lo amo con todo mi ser, quien llena mis días de alegría y esperanza,

A mi mami por ser tan incondicional y enseñarme las cosas bellas de la vida.

A mi prometido Oliver Andrade por darme su apoyo y motivación en esta etapa de mi vida.

A mi familia, que los quiero mucho.

A Doña Olga Y Don Guillermo por poder contar con apoyo para poder culminar esta etapa.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se expresa los agradecimientos:

A Miguel Ángel Valenzuela. Ingeniero Agrícola Magíster En Ingeniería Recursos Hidráulicos, por sus consejos y valiosa orientación.

A Armando Torrente, Ingeniero agrícola, profesor de la Universidad Surcolombiana, sus aportes para este trabajo.

A la planta docente de la Universidad Surcolombiana, por brindarme el conocimiento.

A Gladys Quino, secretaria del programa, por su valiosa ayuda

A todos los administrativos y trabajadores de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, que con su amabilidad ayudaron en la elaboración y culminación de este proyecto.

A mis compañeras de lucha Erika, Diana B, y Diana M

A mis compañeros Marco Andrés Ramírez, Ronald Camilo Salazar, Ángela Johana Rodríguez González y demás compañeros que de una u otra forma colaboraron en la realización de este proyecto.

## CONTENIDO

INTRODUCCION.....	16
1. OBJETIVOS.....	18
1.1 General .....	18
1.2 Específicos.....	18
2. MARCO CONCEPTUAL.....	19
2.1. EL CICLO HIDROLÓGICO .....	19
2.2. CONCEPTUALIZACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LA DEMANDA HÍDRICA EN COLOMBIA .....	20
2.2.1. Demanda Hídrica Total Nacional .....	21
2.2.1.1. Demanda hídrica Agrícola en el Estudio Nacional del Agua (2010) .....	23
2.2.1.1.1. Premisas De Cálculo .....	24
2.2.1.1.2. Resultados Estimados De Demanda Hídrica En El Sector Agrícola..	26
2.2.1.1.2.1. Cultivos Permanentes.....	27
2.2.1.1.2.2. Cultivos Transitorios. ....	29
2.2.1.1.2.3. Pastos Manejados. ....	29
2.2.1.1.2.4 Bosques Plantados:.....	30
2.2.1.1.4. Resultados De Estimación De La Demanda Hídrica En Actividades De Acuicultura .....	32
2.2.1.1.6. Resultados De Estimación De Demanda Hídrica En La Industria .....	37
2.3. HUELLA HIDRICA.....	38
2.3.1. LA HUELLA HÍDRICA AZUL.....	39
2.3.2. LA HUELLA HÍDRICA VERDE .....	40
2.3.3. LA HUELLA HÍDRICA GRIS .....	40
2.3.4. CONCEPTOS BÁSICOS: USO, EXTRACCIONES, CONSUMO Y HUELLA HÍDRICA .....	42
2.3.5. LA HUELLA HÍDRICA DENTRO DE UN ÁREA GEOGRÁFICAMENTE DELIMITADA.....	43
2.3.6. HUELLA HÍDRICA DE UN CULTIVO O UN ÁRBOL.....	43

2.3.6.1. Huella Hídrica Verde Y Azul De Un Cultivo O Un Árbol .....	44
2.3.6.2 Huella Hídrica Gris (HH gris) De Un Cultivo O Un Árbol .....	47
2.3.7. HUELLA HÍDRICA DE CONSUMO PECUARIA.....	48
2.3.7.1. Huella Hídrica del alimento (HH <sub>Alimento</sub> ) .....	48
2.3.7.2. Huella Hídrica del consumo (HH <sub>Consumo</sub> ).....	49
2.3.7.3. Huella Hídrica de la servidumbre (HH <sub>Servidumbre</sub> ) .....	49
2.3.7.4Huella Hídrica por contaminación pecuaria (HH gris).....	49
3. METODOLOGIA .....	50
3.1. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	50
3.2. DESCRIPCION DE LOS PROCESOS QUE SE LLEVAN A CABO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA. ....	51
3.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	54
3.4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA.....	54
3.4.1. ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE, AZUL Y GRIS DE UN CULTIVO.....	55
3.4.1.1. Estimación Del Requerimiento De Agua Azul Y Verde De Los Cultivos (UAC verde Y UAC azul .....	55
3.4.1.2. Huella Hídrica Azul Y Huella Hídrica Verde .....	59
3.4.1.3. Huella Hídrica Gris.....	60
3.4.2. HUELLA HÍDRICA POR CONSUMIDOR EN LA GRAJA .....	61
3.4.3. HUELLA HÍDRICA PECUARIA .....	62
3.4.4. HUELLA HÍDRICA PARA OTROS SECTORES DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA .....	63
4. RESULTADOS .....	65
4.1. LÁMINAS DE IRRIGACIÓN.....	65
4.2. RENDIMIENTOS .....	66
4.3. HUELLA HÍDRICA DE LA FASE AGRÍCOLA .....	67
4.3.1. Huella Hídrica Expresada En m <sup>3</sup> /Ton.....	67
4.3.2. Huella Hídrica Expresada En m <sup>3</sup> /Año Tomando Como Base La Producción .....	70

4.4. HUELLA HÍDRICA POR CONSUMIDOR EN LA GRAJA.....	73
4.5. HUELLA HÍDRICA PECUARIA.....	73
5. PUNTOS CRITICOS DEL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO.....	75
6. CONCLUSIONES.....	78
7. ESTRATEGIAS PARA UNA EFICIENCIA DEL RECURSO HÍDRICO.....	81
ANEXOS.....	86

## LISTA DE TABLAS

TABLA. 1. DEMANDA HÍDRICA NACIONAL.....	21
TABLA. 2. DEMANDA HÍDRICA AGRÍCOLA.....	27
TABLA. 3. DEMANDA ANUAL DE AGUA PARA CULTIVOS PERMANENTES POR DEPARTAMENTO.....	28
TABLA. 4. DEMANDA ANUAL DE AGUA PARA PASTOS MANEJADOS Y CONSUMO EFECTIVO POR DEPARTAMENTO.....	30
TABLA. 5. DEMANDA ANUAL DE AGUA PARA BOSQUES PLANTADOS Y CONSUMO EFECTIVO POR DEPARTAMENTO.....	31
TABLA. 6. PRODUCCIÓN DE TILAPIA EN SISTEMAS DE ESTANQUES.....	34
TABLA. 7. PRODUCCIÓN DE CACHAMA EN ESTANQUES.....	34
TABLA. 8. PRODUCCIÓN DE TRUCHA EN ESTANQUES.....	35
TABLA. 9. DEMANDA HÍDRICA PRODUCCIÓN ACUÍCOLA.....	36
TABLA. 10. CONSUMOS PER CAPITA (LITROS/HABITANTE-DIA).....	37
TABLA. 11. VOLUMEN DE AGUA UTILIZADA EN LA INDUSTRIA POR COMPONENTE.....	38
TABLA. 12. INFORMACIÓN PRIMARIA DE LOS PROCESOS QUE SE LLEVAN A CABO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	51
TABLA. 13. INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LAS ESTACIONES DE EL JUNCAL Y LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	56
TABLA. 14. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS DE LA GRANJA.....	57
TABLA. 15. VOLUMEN DE AGUA (M <sup>3</sup> ) POR TURNO DE RIEGO EN LOTE ARROZ.....	59
TABLA. 16. CANTIDAD DE NITRÓGENO (KG).....	60
TABLA. 17. COMPARACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE LÁMINAS A APLICAR Y APLICADAS.....	65
TABLA. 18. VOLUMEN DE AGUA PARA EL CULTIVO DE ARROZ LOTE C1.....	66
TABLA. 19. RENDIMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA AGRÍCOLA DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	66
TABLA. 20. RENDIMIENTOS EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA.....	67
TABLA. 21. HUELLA HÍDRICA TOTAL ANUAL AGRÍCOLA POR PRODUCTO DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	71
TABLA. 22. PUNTOS CRÍTICOS.....	75

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. DIAGRAMA DEL CICLO DEL AGUA. FUENTE: IDEAM (2010) .....	19
FIGURA 2. DEMANDA HÍDRICA SECTORIAL NACIONAL AGREGADA (2008)..	21
FIGURA 3. ESTIMACIÓN, USOS EFECTIVOS Y USO DE AGUA EXTRAÍDA NO CONSUMIDA AGREGADA. FUENTE: IDEAM (2010) .....	22
FIGURA 4. DEMANDA HÍDRICA NACIONAL.....	23
FIGURA 5. CURVA DEL COEFICIENTE DEL CULTIVO.....	25
FIGURA 6. VOLUMEN DE AGUA INSUMIDA (M <sup>3</sup> ) EN EL SECTOR PECUARIO.	32
FIGURA 7. VOLUMEN DE AGUA INSUMIDO EN ACTIVIDADES PISCICOLAS .	32
FIGURA 8. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO.....	46
FIGURA 9. LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA GRANJA DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	50
FIGURA 10. DISTRIBUCIÓN DE LOS SECTORES DE LA GRANJA DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	52
FIGURA 11. CULTIVO DE MANGO      FIGURA 12 CULTIVO DE NARANJA.....	53
FIGURA 13. CULTIVO DE MAÍZ      FIGURA 14. CULTIVO DE ARROZ.....	53
FIGURA 15: INVERNADERO .....	53
FIGURA 16. MAPA DETALLADO DE SUELO DE LA GRANJA EXPERIMENTAL. FUENTE: POLANIA, 2011.....	58
FIGURA 17. CASA Y JARDINES.....	62
FIGURA 18. PROYECTO DE ACUAPONIA.....	62
FIGURA 19. HANGAR.....	63
FIGURA 20. LAGO .....	64
FIGURA 21. JARDINES.....	64
FIGURA 22. HUELLA HÍDRICA AGRÍCOLA DEL ARROZ, MAÍZ, MANGO Y NARANJA (M <sup>3</sup> /TON) DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	68
FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE AGRÍCOLA DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	69
FIGURA 24. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL AGRÍCOLA DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	69
FIGURA 25. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS AGRÍCOLA DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	70

FIGURA 26 . HUELLA HÍDRICA ANUAL AGRÍCOLA POR PRODUCTO DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	70
FIGURA 27 . DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL TOTAL ANUAL AGRÍCOLA POR PRODUCTO DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	71
FIGURA 28. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE TOTAL ANUAL AGRÍCOLA POR PRODUCTO DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	72
FIGURA 29. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS TOTAL ANUAL AGRÍCOLA POR PRODUCTO DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	72
FIGURA 30. HUELLA HÍDRICA DE LOS SECTORES DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.....	74
FIGURA 31. DESARENADOR.....	76
FIGURA 33. COMPUERTAS IMPROVISADAS, CANALES EN MAL ESTADO ....	77
FIGURA 34. .CANALES IRREGULARES CON COMPUERTAS IMPROVISADAS .....	77

## LISTA DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL .....	24
ECUACIÓN 2. HUELLA HÍDRICA DE UN CULTIVO O ÁRBOL.....	43
ECUACIÓN 3. HUELLA HÍDRICA VERDE .....	44
ECUACIÓN 4. HUELLA HÍDRICA AZUL. ....	44
ECUACIÓN 5. USO CONSUMO DE AGUA VERDE.....	45
ECUACIÓN 6. USO CONSUMO DE AGUA AZUL.....	45
ECUACIÓN 7. HUELLA HÍDRICA GRIS DE UN CULTIVO O UN ÁRBOL.....	47
ECUACIÓN 8. HUELLA HÍDRICA GRIS DE UN CULTIVO O ÁRBOL.....	48
ECUACIÓN 9. HUELLA HÍDRICA DEL SECTOR PECUARIO. ....	48
ECUACIÓN 10. ESTIMACION DE EVAPORACION DE LOS LAGOS.....	63

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. PROGRAMACIÓN DE RIEGO.....	87
ANEXO B. TABLA DE FERTILIZANTES APLICADOS.....	91
ANEXO C. DATOS ARROJADOS POR EL MODELO CROPWAT 8.0.....	93
ANEXO D. FORMATO PARA REGISTRO DE LAS ACTIVIDADES QUE SE REALIZAN EN LOS CULTIVOS.....	95

## RESUMEN

Este estudio tuvo como finalidad la estimación de la huella hídrica de los diferentes sectores de la granja experimental de la universidad Surcolombiana, el cual permite tener una idea del manejo que se le da al recurso hídrico, y poder determinar los puntos críticos del uso y fallas que se tienen, para implementar alternativas de soluciones y disminuir el impacto negativo sobre el recurso.

La metodología de evaluación de Huella Hídrica se aplicó para cada uno de los sectores de la granja experimental de la universidad Surcolombiana dando una huella hídrica promedio para el año 2014 de 329.701,90 m<sup>3</sup> anual, donde casi el 90% de este valor corresponde a la huella hídrica agrícola por producto, el cual se demuestra su gran influencia sobre la demanda del recurso hídrico. La metodología general incluye las fases descritas en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica (The Water Footprint Assessment Manual 2011), donde se estimaron las huellas hídricas azul, huella hídrica verde y huella hídrica gris para todos los lotes que adelantan procesos productivos y de investigación agrícola, mientras que para los procesos domésticos y pecuarios solo se estimó la huella hídrica azul y gris.

Se identificaron puntos críticos en la captación y conducción de agua para riego y el suministro de agua a los cultivos ya que esta se realiza sin conocer los requerimientos hídricos de los cultivos y sin una programación adecuada de riego. Más que pensar en un valor de huella hídrica para la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, que en teoría podría tener una pequeña variación en función de las metodologías de cálculo utilizadas y de la información suministrada, es pensar en los puntos críticos del uso del recurso hídrico y las opciones y alternativas adecuadas de manejo que se deben implementar para disminuir la huella hídrica, es decir, el impacto negativo sobre el recurso hídrico.

**Palabras Claves:** *Recurso hídrico; impacto negativo; riego; procesos, puntos críticos.*

## ABSTRACT

This study aimed to estimate the water footprint of different sectors of the experimental farm Surcolombiana University, which gives an idea of the handling given to the water resource, and to determine the critical points of use and failures you have to implement alternative solutions and reduce the negative impact on the resource.

The assessment methodology was applied water footprint for each of the sectors of the experimental farm of the University Surcolombiana giving an average water footprint of 2014 annual 329,701.90 m<sup>3</sup>; almost 90% of this value corresponds to the agricultural by-product water footprint, which his great influence on the demand for water is shown. The general methodology includes the steps described in the Evaluation Manual Water Footprint (The Water Footprint Assessment Manual 2010), where the blue water footprint, water footprint green water footprint gray for all lots that advance production processes were estimated and agricultural research, while for domestic and livestock processes only the blue and gray water footprint estimated.

Critical points were identified in the capture and conveyance of water for irrigation and water supply to crops as this is done without knowing the water requirements of crops without adequate irrigation scheduling. Rather than thinking of a value of water footprint to the experimental farm Surcolombiana University, which in theory could have a slight variation depending on the calculation methodologies used and the information provided, it is to think of the critical points of resource use water and appropriate options and management alternatives that should be implemented to reduce the water footprint, ie, the negative impact on water resources.

**Keywords:** *Water resources; negative impact; irrigation; processes, critical points.*

## INTRODUCCION

Este trabajo tiene como objetivo general estimar la Huella hídrica de la granja experimental de la universidad Surcolombiana, para conocer el volumen de agua utilizada de cada uno de los procesos productivos y de investigación que se llevan a cabo en ella, con el fin de buscar alternativas y estrategias, para una buena gestión del recurso hídrico.

Según Joaquín Guillermo Montaña (2002) en el último siglo la población mundial se ha cuadruplicado, el consumo humano de agua se ha multiplicado por nueve y el consumo para usos industriales se ha multiplicado por cuarenta; la disminución de las reservas de agua se ve agravada con el aumento de la población mundial, estimada en alrededor de un 40% sobre la actual. La creciente demanda de agua dulce hace necesaria una mayor eficiencia en el uso del agua, es decir: producir el mismo volumen de bienes y servicios con menos agua.

Aunque el agua es el elemento más frecuente en la Tierra, únicamente 2,53% del total es agua dulce y aproximadamente las dos terceras partes de ésta se encuentran inmovilizadas en glaciares. La situación es aún más grave si se considera la contaminación de los ríos y lagos mundiales, pues aunque la escasez se deba a ciclos climatológicos extremos, la actividad humana está influyendo en el aumento de la escasez pues no hay suficiente agua en calidad y cantidad para satisfacer las necesidades humanas y medioambientales. De igual manera, Juliana Arango (2013) reporta que unos 2 millones de toneladas de desechos son dispuestos diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas (fertilizantes, pesticidas y residuos de pesticidas). Sin embargo, la ausencia de un conocimiento claro sobre la magnitud de este hecho por parte de la población mundial resulta en la incapacidad para proponer medidas correctivas oportunas.

Conocer acerca del manejo que se le da al recurso hídrico permitirá establecer alternativas para disminuir el impacto de las actividades del hombre, sobre todo en este caso específico en la producción agropecuaria. El cálculo de la huella hídrica de la granja Experimental de la Universidad Surcolombiana puede dar una idea del manejo que se les está dando a los recursos hídricos, lo cual ayuda en la toma de decisiones por parte de los órganos competentes, y permite encontrar una manera de generar sostenibilidad de los recursos hídricos desde las unidades de

planificación de ella. La huella hídrica también permite identificar las principales variables que intervienen en la unidad de planificación, al igual que las zonas críticas por vertimientos o contaminación, lo que posibilita generar acciones que realmente ataquen los orígenes de los problemas y garanticen la sostenibilidad ambiental, especialmente en términos de la disponibilidad del recurso hídrico.

Con este proyecto se visualiza la situación del uso y consumo del agua en la granja de la Universidad Surcolombiana, también las deficiencias en la información y las oportunidades de mejorar el manejo del recurso hídrico.

La estimación de la huella hídrica se realizó con base en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica (The Wáter Footprint assessment Manual. Settings the global Standard. A. Hoekstra, A. Chapagain, M. Aldaya, M. mekonnen. 2011).

Partiendo del cálculo de la estimación de la Huella Hídrica de la granja Experimental de la Universidad Surcolombiana, se identificaron los puntos críticos, y a partir de ellos se pudo realizar un análisis de los resultados, validando la metodología usada para la aplicación en otras fincas de producción agropecuaria.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 General**

Estimar la huella hídrica de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, con el fin de proponer alternativas de uso eficiente del recurso hídrico.

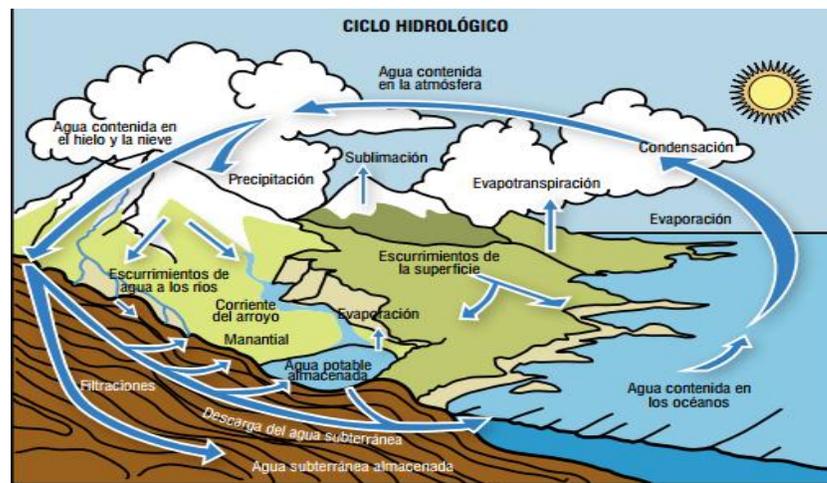
### **1.2 Específicos**

- ✓ Identificar los procesos que involucran el uso actual del recurso hídrico en la granja experimental de la universidad Surcolombiana.
- ✓ Estimar la huella hídrica azul, la huella hídrica verde, y gris a partir de información de la zona, además de información detallada de los tipos de suelos e información climatológica.
- ✓ Proponer estrategias para una mayor eficiencia del recurso hídrico.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.1. EL CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico y su balance de agua global constituyen el modelo básico para entender el funcionamiento del sistema hídrico y las interacciones entre el océano y el continente. El ciclo hidrológico representa el proceso continuo de la circulación y transformación del agua en sus diversos estados en la esfera terrestre. Su dinámica es determinada por las condiciones de la radiación solar, la acción de la gravedad y las interacciones de las capas superiores de la Tierra: atmósfera, litosfera y biosfera (Figura 1).



**Figura 1.** Diagrama del ciclo del agua. Fuente: IDEAM (2010)

El ciclo, tal como se observa en la Figura 1, está gobernado por procesos naturales que ocurren de manera continua. El agua cae sobre la superficie terrestre en forma líquida o sólida; parte de ella puede evaporarse antes de tocar la superficie terrestre. Aquella fracción que alcanza la vegetación es parcialmente retenida por las hojas de las plantas (intercepción). De allí, una parte es evaporada de nuevo hacia la atmósfera, en tanto que la fracción restante cae hacia el suelo, en donde puede infiltrarse o escurrir por las laderas, siguiendo la dirección de las mayores pendientes del terreno. La parte del agua que escurre a lo largo de las laderas puede ser interceptada por las depresiones naturales del

terreno, en donde se evapora o infiltra; o, por último, se mueve a través de los drenajes naturales de la cuenca y forma el flujo superficial. Estos tres flujos, superficial, subsuperficial y subterráneo conforman la escorrentía, que integra los cauces de las corrientes, alimenta los diferentes almacenamientos y drena finalmente al mar.

Esta compleja interacción entre la atmósfera y los procesos superficiales y subsuperficiales afecta el régimen, la cantidad, la distribución y la calidad del agua en las diferentes unidades hidrográficas. Por ello, los componentes del ciclo hidrológico difieren en sus características químicas, bioquímicas, variabilidad espacial y temporal, resiliencia, vulnerabilidad a la presión (incluidos usos de la tierra y cambio climático), susceptibilidad a la contaminación y capacidad de proveer servicios ambientales apropiados para ser utilizados en forma sostenible.

## **2.2. CONCEPTUALIZACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LA DEMANDA HÍDRICA EN COLOMBIA<sup>1</sup>**

La demanda hídrica, en el marco del Estudio Nacional del Agua ENA 2010, se define como la extracción hídrica del sistema natural destinada a suplir las necesidades o requerimientos del consumo humano, la producción sectorial y las demandas esenciales de los ecosistemas no antrópicos.

La extracción y, por ende, la utilización del recurso implican la sustracción, alteración, desviación o retención temporal del recurso hídrico, incluidos en este los sistemas de almacenamiento que limitan el aprovechamiento para usos compartidos u otros usos excluyentes. El concepto de extracción connota la utilización de agua, desagregada en dos componentes: El agua utilizada en la producción sectorial, en el consumo humano y en los ecosistemas no antrópicos (caudal ecológico y ambiental). La inclusión de este último componente se sustenta en la regulación establecida en el Decreto 3930 de 2010, que define taxativamente el uso del agua en la preservación de flora y fauna, con la finalidad de mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres, y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos; y el uso del agua para la armonización y embellecimiento del paisaje con fines estéticos. El volumen de agua extraída no consumida.

---

<sup>1</sup> Se toma como referencia para este capítulo citas textuales del Estudio Nacional del Agua elaborado por el IDEAM. 2010

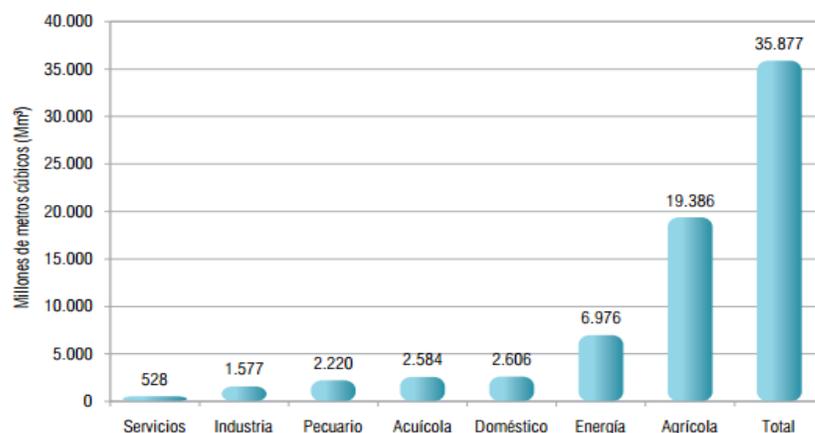
### 2.2.1. Demanda Hídrica Total Nacional

La demanda hídrica agregada total nacional, conforme algunos sectores seleccionados, con inclusión del agua extraída no consumida, alcanzaron en 2008 un orden de magnitud de 35.877 Mm<sup>3</sup>. En la tabla 1 y figura 2, se presentan los estimativos por sectores de la demanda por uso y su participación porcentual con respecto al total nacional.

**Tabla. 1.** Demanda hídrica nacional.

Usos de agua	Total (Mm <sup>3</sup> )	Participación (%)
Servicios	528	1,5
Industria	1577	4,4
Pecuario	2220	6,2
Acuícola	2584	7,2
Domestico	2606	7,3
Energía	6976	19,4
Agrícola	19386	54,0
<b>Total</b>	<b>35877</b>	<b>100</b>

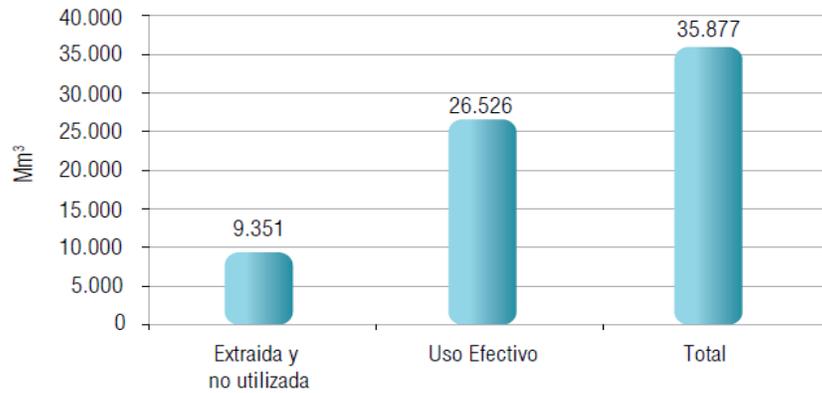
Fuente: IDEAM (2010)



**Figura 2.** Demanda hídrica sectorial nacional agregada (2008)

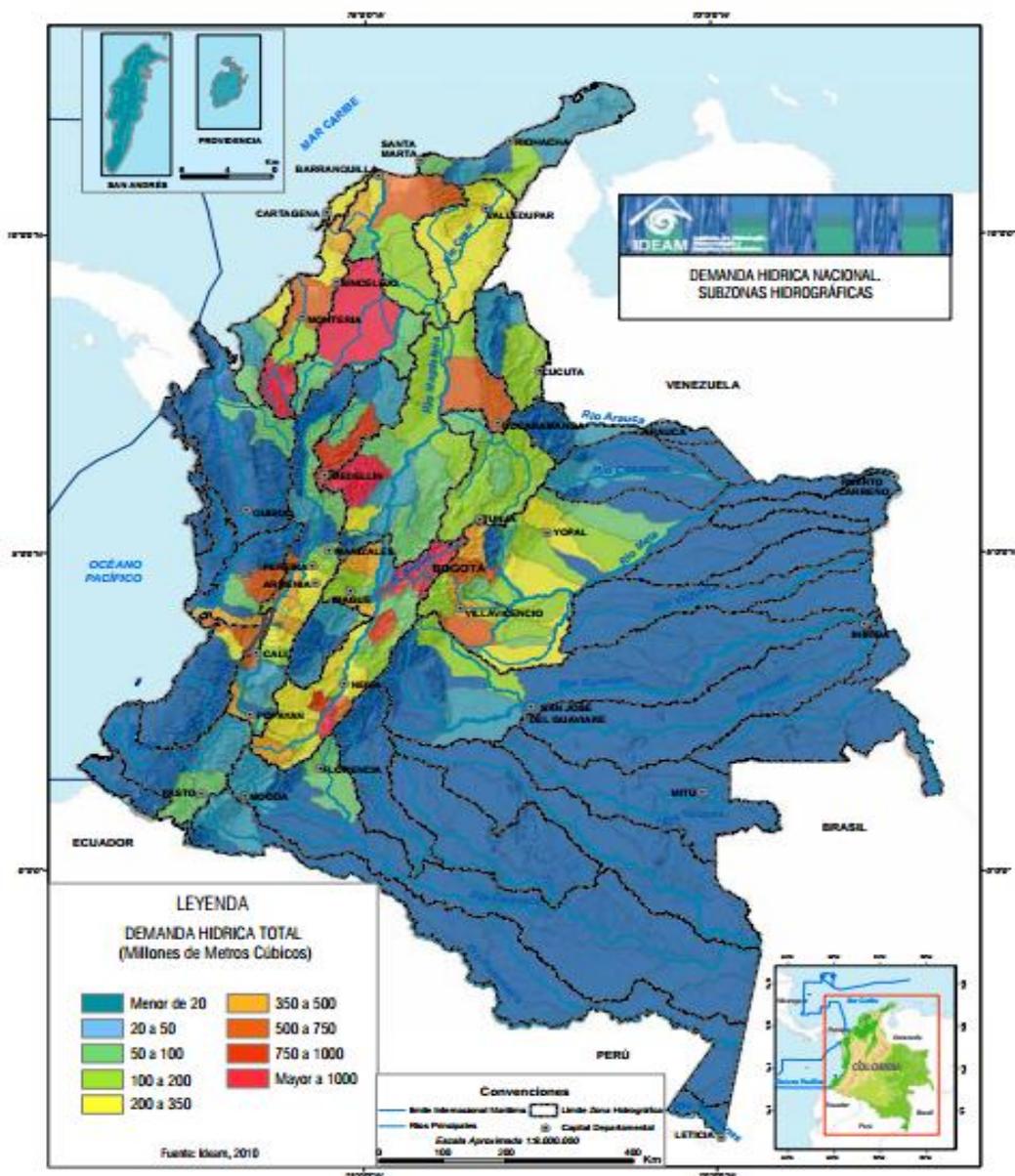
Fuente: IDEAM 2010

El componente de demanda extraída y no utilizada, resultado de la agregación de uso para los sectores, alcanza el 26% de la demanda total de agua (Figura 3).



**Figura 3.** Estimación, usos efectivos y uso de agua extraída no consumida agregada. Fuente: IDEAM (2010)

La espacialización de la demanda hídrica nacional por subzonas hidrográficas conforme a la división política administrativa y regionalización de los datos primarios utilizados en la estimación se ilustran en la Figura 4. En el contexto nacional, la estimación del componente de demanda hídrica realizada en los anteriores Estudios Nacionales del Agua deja ver una marcada subestimación frente al cálculo actual, producto de una aproximación conceptual y metodológica de menor precisión, completas y cobertura; y una posibilidad menos robusta de realizar la medición, dada la información estadística disponible en su momento. En síntesis, la demanda proyectada para el año 2025 es igualmente inferior.



**Figura 4.** Demanda hídrica nacional.

Fuente: IDEAM (2010)

### 2.2.1.1. Demanda hídrica Agrícola en el Estudio Nacional del Agua (2010)

El cálculo del uso del recurso hídrico en el sector agrícola se acota a partir de dos componentes: la estimación del agua extraída con fines agrícolas, mediante la agregación del uso consuntivo y el agua extraída no consumida; y el valor

agregado por consumo de agua en las actividades de poscosecha, que aplica puntualmente a los cultivos de café, banano y transformación de la hoja de coca, sin incluir la química final asociada a la obtención de base de coca y clorhidrato de cocaína. Se excluyen de la medición de demanda agrícola las tierras en descanso (rastrajo, barbecho) y los pastos naturales, cuya demanda se satisface mediante los ciclos de precipitación.

#### **2.2.1.1.1. Premisas De Cálculo**

El uso del agua en la producción agrícola se establece en función de las necesidades de riego de los diferentes cultivos. Está referido a la cantidad de agua y al momento de su aplicación, a fin de alcanzar un equilibrio entre la cantidad de agua requerida por el cultivo, en compensación por la pérdida por evapotranspiración, y la precipitación efectiva. Entonces, la necesidad de riego representa la diferencia entre el requerimiento de agua del cultivo y la precipitación efectiva, más un componente de agua adicional para el lavado de sales de los suelos y para compensar la falta de uniformidad o eficiencia en la aplicación de los sistemas de riego. El primer cálculo que se necesita es el del uso consuntivo del cultivo. Este se obtiene aplicando el enfoque del coeficiente del cultivo, conforme a la metodología propuesta por la FAO, a partir del método de Penman-Monteith (Serie de Riego y Drenaje de la FAO, Nro. 56); en este, los efectos del tiempo atmosférico son incorporados en la  $ET_p$ , y las características del cultivo y los efectos promedio de la evaporación del suelo en el coeficiente  $K_c$  (Ecuación 1).

#### **Ecuación 1. Evapotranspiración Potencial**

$$ET_c = K_c \times ET_p$$

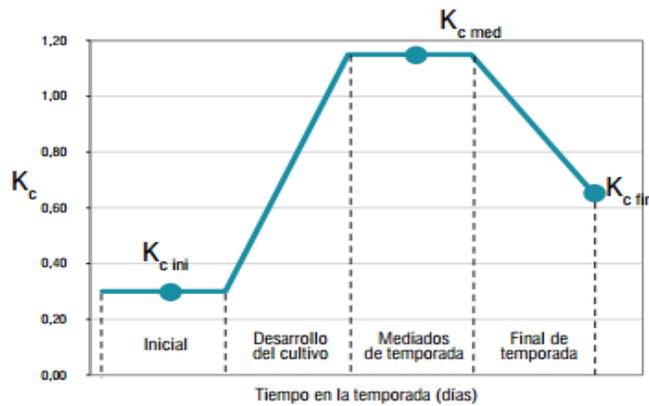
Dónde:

$ET_c$ : Evapotranspiración del cultivo [ $\text{mm d}^{-1}$ ]

$K_c$ : Coeficiente del cultivo [adimensional]

$ET_p$ : Evapotranspiración del cultivo de referencia [ $\text{mm d}^{-1}$ ]

La variación del coeficiente  $K_c$  a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo. Para describir y construir la curva, es necesario conocer tres valores de  $K_c$ : los correspondientes a la etapa inicial ( $K_c$  ini), la etapa de mediados de temporada ( $K_c$  med) y la etapa final ( $K_c$  fin). La forma gráfica de la curva se ilustra en la Figura 5.



**Figura 5.** Curva del coeficiente del cultivo

Fuente: IDEAM (2010)

A partir de la curva del coeficiente del cultivo se puede determinar el valor de  $K_c$  para cualquier periodo, en forma gráfica o numérica. Una vez determinados los valores de  $K_c$ , la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) puede ser calculada multiplicando los valores de  $K_c$  por los valores correspondientes de  $ET_p$ .

Una vez conocido el uso consuntivo, se establece la precipitación efectiva (precipitación disponible), que explica el valor de la precipitación final luego de que, al volumen precipitado, se le descuenta el valor de infiltración y evaporación. Matemáticamente, se obtiene multiplicando la precipitación (mm) y el coeficiente de escorrentía. El coeficiente de escorrentía se obtiene como el cociente entre la escorrentía y la precipitación (ambas expresadas en altura de agua). Esta operación estima el valor máximo de caudal de escorrentía provocado por lluvia como el producto de la superficie de cuenca, un valor máximo de intensidad de lluvia y un factor de escorrentía.

Conociendo estos dos valores: uso consuntivo y precipitación efectiva, se establece el riego requerido o riego bruto. Este muestra en esencia la condición de suficiencia o déficit de agua para atender los requerimientos de agua en las diferentes fases del cultivo. Si el uso consuntivo es menor que la precipitación efectiva se asume que no existe necesidad de riego complementario. Por el contrario, si el uso consuntivo es mayor o igual a uno ( $\geq 1$ ), entonces es necesario suplir el déficit con sistemas de riego. El riego bruto se establece mediante la diferencia entre el uso consuntivo del cultivo y la precipitación efectiva (fracción de la precipitación que realmente se pone a disposición de la planta).

La eficiencia de riego es una condición que se debe tener en cuenta para expresar con mayor certidumbre la irrigación con fines agrícolas. Así, del volumen total de agua irrigada solo una fracción (y no la unidad) va directamente al consumo de la planta; el resto se explica como “pérdidas” asociadas a la conducción del sistema de riego desde la captación hasta el riego in situ. El valor de eficiencia aplicado en el ENA es de 65% para el conjunto de cultivos, exceptuando el cultivo de arroz inundable, cuyo coeficiente es del 23%.

La cuantificación del total del agua extraída con fines agrícolas en la fase de crecimiento de los cultivos se establece mediante la agregación de los valores de la lámina de agua irrigada atribuibles al riego eficiente y el riego no eficiente. La ineficiencia de riego se define como el margen o porcentaje que se descuenta del volumen de agua dispuesta como riego (riego bruto), y que explica las pérdidas inevitables, entre otras, la percolación profunda, la escorrentía superficial y las originadas en la aplicación de sistemas de explotación o manejo técnico de los sistemas de riego. El valor que es atribuible a esta condición, en el marco del Estudio Nacional del Agua, es de 35% para la suma de cultivos, sin incluir el arroz, riego cuyo factor es de 83%.

El 83% explica, en esencia, los requerimientos totales de agua del cultivo de arroz de riego considerando, además de las necesidades fenológicas del cultivo, el agua asociada a la práctica cultural de este cultivo. Este supone la siembra en zonas o áreas con un marcado y sostenido déficit de agua, que requieren ser inundadas para la obtención del producto agrícola.

#### **2.2.1.1.2. Resultados Estimados De Demanda Hídrica En El Sector Agrícola**

El volumen de agua utilizado en el sector agrícola en 2008 alcanza un orden de magnitud de 19.386 Mm<sup>3</sup>, de los cuales 10.920 Mm<sup>3</sup> son el consumo efectivo, con una participación de 56,33% con respecto al total, en tanto que el volumen de agua extraída no consumida por los cultivos es de 8.466 Mm<sup>3</sup>, con una participación de 43,67%. Un volumen de 37 Mm<sup>3</sup> corresponde a usos del agua en labores y actividades de poscosecha, con una participación del 0,19% frente al total de agua utilizada en el sector (Tabla 2).

**Tabla. 2.** Demanda hídrica agrícola

<b>Cobertura ENA Agrícola</b>	<b>Demanda Hídrica agregada anual</b>	<b>Consumo Efectivo en cultivo</b>	<b>Agua Extraída no consumida</b>	<b>Participación consumo efectivo en cultivo con respecto a la demanda hídrica anual</b>	<b>Participación agua extraída no consumida con respecto a la demanda hídrica anual</b>
Pastos	7938	5159	2778	26,61%	14,33%
Bosques Plantados	617	401	216	2,07%	1,11%
Cultivos Permanente	3826	2487	1339	12,83%	6,91%
Cultivos Transitorios	6784	2652	4132	13,68%	21,32%
Cultivo de flores permanentes	183	183	0	0,94%	0,00%
Poscosecha de café	6	6	0	0,03%	0,00%
Poscosecha de banano	13	13	0	0,07%	0,00%
Cultivos Ilícitos	18	18	0	0,09%	0,00%
<b>Total Agrícola con beneficio</b>	<b>19386</b>	<b>10920</b>	<b>8466</b>	<b>56,33%</b>	<b>43,67%</b>

Fuente: IDEAM (2010)

#### **2.2.1.1.2.1. Cultivos Permanentes**

Caracterizados por una alta elasticidad del uso del recurso hídrico, explicada por el nivel de especialización alcanzado en la cadena de producción, incluido el proceso de poscosecha; por una participación significativa en la oferta exportadora, incluida la producción de biocombustibles; y por aumentos en la productividad agrícola. Estas características, integradas, llevan a calificar estos sistemas de producción como “de agua intensivos”. La mayor presión del recurso hídrico, explicada tanto por el uso consuntivo como por requerimiento neto de la producción agrícola, así como por el agua extraída no insumida (ineficiencia del riego), está concentrada en los cultivos de café, palma africana, banano

exportación y caña de azúcar, localizados en los departamentos del Valle del Cauca, Magdalena, Córdoba y Bolívar, y en la suma de departamentos cafeteros (Tabla 3).

**Tabla. 3.** Demanda anual de agua para cultivos permanentes por departamento

<b>Departamento</b>	<b>Demanda total anual (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo efectivo en cultivo (Mm<sup>3</sup>)</b>
Antioquia	1,41	0,92
Atlántico	15,51	10,08
Bolívar	383,73	249,2
Boyacá	14,47	9,40
Caldas	0,00	0,00
Casanare	134,73	87,57
Cauca	121,50	78,98
Cesar	392,64	255,21
Córdoba	183,28	119,13
Cundinamarca	31,41	20,42
La Guajira	8,91	5,79
Huila	368,70	239,65
Magdalena	469,19	304,97
Meta	243,39	158,21
Nariño	1,06	0,69
Norte de Santander	259,62	168,76
Otros departamentos	69,79	45,36
Otros departamentos estudiados	7,16	4,66
Quindío	57,73	37,53
Risaralda	0,00	0,00
Santander	317,22	206,19
Sucre	0,28	0,18
Tolima	77,12	50,13
Valle del Cauca	667,42	433,82
<b>Total General</b>	<b>3826</b>	<b>2487</b>

Fuente: IDEAM 2010

Estos cultivos se concentran principalmente en las subzonas hidrográficas del Brazo Morales; Ciénaga Grande de Santa Marta; ríos Lebrija, Cesar, Sogamoso, directos al río Cauca y río la Vieja, del área hidrográfica Magdalena-Cauca. En el Caribe, en las subzonas del Sinú y los ríos Catatumbo y sus afluentes Zulia y Nuevo Presidente. En la Orinoquía, en el río Metica. Y en el Pacífico, en el Sipi.

#### **2.2.1.1.2.2. Cultivos Transitorios.**

Al igual que en cultivos permanentes, los cultivos temporales o transitorios se caracterizan por una alta elasticidad del uso del recurso hídrico, pero se explica por otros factores que difieren de los permanentes: rotación de cultivos “rotación” de las áreas ocupadas; menor tamaño de las explotaciones agrícolas y menor nivel de especialización; mayor ineficiencia en los sistemas de riego. Estas características, integradas, llevan a calificar estos sistemas de producción como de “agua extensivos”. La mayor presión del recurso hídrico, explicada tanto por el uso consuntivo como por requerimiento neto de la producción agrícola, así como por el agua extraída no insumida (ineficiencia del riego) está concentrada en los cultivos de arroz y maíz, con una participación del orden de 91%, con desagregación geográfica mayormente en los departamentos de Tolima, Sucre, Huila, Casanare y Bolívar. Estos cultivos se concentran en el área hidrográfica del Magdalena-Cauca, más que todo en las subzonas del Bajo San Jorge, la Mojana, Lagunilla, Saldaña, Cesar y Lebrija. Y en el Caribe, en el río Sinú.

#### **2.2.1.1.2.3. Pastos Manejados.**

En esta cobertura, la mayor presión del recurso hídrico, explicada tanto por el uso consuntivo como por requerimiento neto de la producción agrícola, así como por el agua extraída no insumida (ineficiencia del riego) está concentrada en los departamentos de Meta, Sucre, Córdoba y La Guajira (Tabla 4).

**Tabla. 4** Demanda anual de agua para pastos manejados y consumo efectivo por departamento

Departamento	Hectáreas	Demanda Anual (Mm <sup>3</sup> )	Consumo efectivo en cultivo (Mm <sup>3</sup> )
Antioquia	208660	146	95
Arauca	358	1	0
Atlántico	8232	99	64
Bolívar	14608	147	95
Boyacá	36740	115	75
Caldas	17535	15	10
Casanare	774	2	1
Cauca	737	2	1
Cesar	10979	58	37
Córdoba	37883	279	182
Cundinamarca	47412	92	60
Huila	39403	171	111
La Guajira	19620	259	168
Magdalena	15310	157	102
Meta	1546970	1509	981
Nariño	11730	33	22
Norte de Santander	7830	17	11
Quindío	1923	0	0
Risaralda	624	0	0
Santander	56452	75	49
Sucre	28599	288	187
Tolima	28829	90	59
Valle del Cauca	1255542	4385	2850
<b>Total General</b>	<b>3396700</b>	<b>7938</b>	<b>5159</b>

. Fuente: IDEAM 2010

#### 2.2.1.1.2.4 Bosques Plantados:

Para este sector, la mayor presión del recurso hídrico, –explicada tanto por el uso consuntivo como por requerimiento neto de la producción forestal, así como por el agua extraída no insumida (ineficiencia del riego), está concentrada en los departamentos de Atlántico, Magdalena, Valle del Cauca, Sucre y Córdoba (Tabla 5). Con énfasis en las subzonas del Canal del Dique, Bajo San Jorge-Mojana, Alto San Jorge y arroyo Corozal en el Bajo Magdalena; Medio Sinú, en la zona hidrográfica del Sinú; río Ariguaní, en el Cesar; río Bogotá, en el Alto Magdalena;

río Dagua, en la zona hidrográfica Amarales-Dagua; y río Suárez, en la zona del Sogamoso.

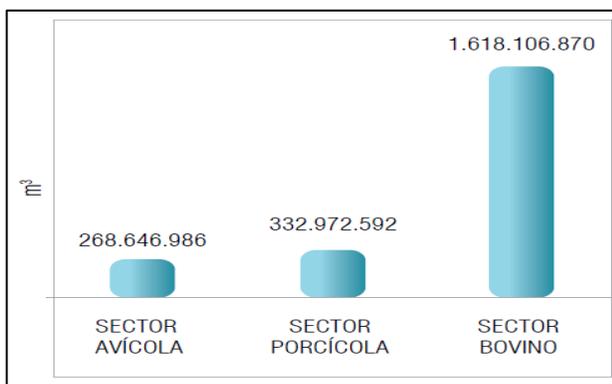
**Tabla. 5.** Demanda anual de agua para bosques plantados y consumo efectivo por departamento

Departamento	Hectáreas	Demanda Anual (Mm <sup>3</sup> )	Consumo efectivo en cultivo (Mm <sup>3</sup> )
Antioquia	70173	6,01	3,91
Atlántico	14991	296,38	192,65
Bolívar	1438	20,13	13,08
Boyacá	44098	17,65	11,47
Caldas	90761	0,00	0,00
Cesar	6014	19,56	12,71
Córdoba	9555	41,69	27,10
Cundinamarca	15573	26,29	17,09
Huila	2545	3,19	2,07
Magdalena	7054	74,63	48,51
Meta	736	1,90	1,23
Nariño	4985	6,33	4,12
Norte de Santander	5753	10,70	6,95
Quindío	3674	0,00	0,00
Risaralda	1014	0,00	0,00
Santander	12517	2,73	1,77
Sucre	4803	44,32	28,80
Tolima	10048	0,00	0,00
Valle del Cauca	31499	45,98	29,89
<b>Total General</b>	<b>337231</b>	<b>617,46</b>	<b>401,35</b>

Fuente: IDEAM (2010)

### 2.2.1.1.3. Resultados Estimación Demanda Hídrica En El Sector Pecuario

La demanda agregada de agua insumida en el sector pecuario en 2008 es del orden de 2.220 Mm<sup>3</sup>, con una participación del consumo en bovinos equivalente al 73%; seguido del consumo en porcinos del 15%; y en aves, del 12% (Véase Figura 6).

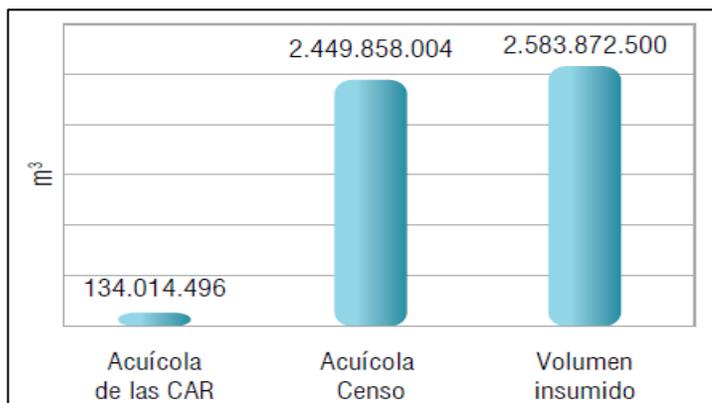


**Figura 6.** Volumen de agua insumida (m<sup>3</sup>) en el sector pecuario.

Fuente: IDEAM (2010)

#### 2.2.1.1.4. Resultados De Estimación De La Demanda Hídrica En Actividades De Acuicultura

La demanda hídrica en la actividad de acuicultura en 2008 se estimó en un orden de 2.584 Mm<sup>3</sup> (Figura 7); está compuesta por el uso consuntivo asociado en forma directa con los volúmenes de producción observados objetivamente mediante la encuesta de producción piscícola y el registro de concesiones de agua, en aquellas áreas en las que la encuesta no presenta ninguna observación o que la representatividad con respecto a la desagregación departamental no es significativa.



**Figura 7.** Volumen de agua insumido en actividades piscícolas

Fuente: IDEAM (2010)

Para llegar a esta cifra de demanda en la actividad acuícola, se utilizan los siguientes criterios y parámetros de cálculo: definición de los niveles de producción departamental por tipo de especie, tomando como fuente de información la encuesta piscícola de 2008 realizada por la CCI y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; definición de los rendimientos a densidades finales diferenciales por tipo de especie y sistema de producción (en tierra o en sistemas no confinados “cuerpos de agua”); complementación de la estimación, a partir del cálculo de agua concesionada para aquellos departamentos en los que la encuesta piscícola no realiza ninguna observación.

El rendimiento anual a densidades finales varía de acuerdo con el tipo de especie y el sistema de producción, tal como se describe a continuación:

- **Tilapia.** La producción se realiza en estanques de tierra de entre 10 m<sup>2</sup> y 2000 m<sup>2</sup>, con una profundidad promedio de 1,30 m por estanque y una columna de agua de 0,80 m. La fuente de agua puede ser de origen superficial y subterráneo, utilizada exclusivamente para mantener los niveles de agua constantes. El rendimiento anual a densidades finales en los sistemas de producción en tierra es de 300 gr/3,2 m<sup>3</sup>.

El rendimiento anual a densidades finales en sistemas productivos no confinados en aquellos centros productivos de mayor especialización, como en el caso de Hidroprado (Tolima), en Betania (Huila) y en algunos reservorios de riego localizados en la región de Risaralda y Valle del Cauca– puede variar de acuerdo con el sistema de producción y la tecnología utilizados. De acuerdo con estudios realizados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la biomasa final en los sistemas antes citados es del orden de 64,63 kg/m<sup>3</sup>, de 47,77 kg/m<sup>3</sup> y de 120 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. El coeficiente oficial (biomasa final/m<sup>3</sup>) utilizado para el ENA 2010 es publicado por la dirección de cadenas productivas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2005), conforme se registra en la tabla 6.

**Tabla. 6.** Producción de tilapia en sistemas de estanques

<b>Tilapia</b>									
<b>Sistemas de estanques</b>							<b>Sistema de jaulas</b>		
<b>Meta</b>	Santander	Valle	Antioquia	Tolima	Huila	Promedio	Huila	Tolima	Promedio
<b>Biomasa final:kg/m<sup>3</sup></b>									
<b>1,3</b>	1,8	1.9	1,76	2,2	2,06	1,64	43	50	43
<b>Densidad de siembra (peces por m<sup>2</sup> de espejo de agua)</b>									
<b>3.4</b>	10	5	7	5	7	5,91	200	200	250

Fuente: IDEAM (2010)

- **Cachama.** El cultivo de cachama se realiza en estanques de tierra rectangulares, con una superficie de 2,45 m<sup>2</sup> cada uno, y profundidad promedio de 1,7 m (no mayor de 2 m), con una pendiente de fondo de 0,2 a 0,5%. La fuente de agua podrá ser de origen superficial o subterráneo, utilizada solo para mantener el nivel óptimo de la columna de agua que sustituya las pérdidas ocurridas por filtración y evaporación en la época crítica de estiaje. Conforme a estas especificaciones, el rendimiento anual a densidades finales utilizado para la estimación del uso consuntivo en cultivos de cachama es de 1,5 kg/m<sup>3</sup> (Tabla 7).

**Tabla. 7.** Producción de cachama en estanques.

<b>Cachama</b>					
<b>Sistemas de estanques</b>					
<b>Meta</b>	Santander	Valle	Tolima	Antioquia	Promedio
<b>Biomasa final: kg/m<sup>3</sup></b>					
<b>1</b>	1	1.2	1	nd	1,04
<b>Densidad de siembra (peces por m<sup>2</sup> de espejo de agua)</b>					
<b>1.89</b>	1,13	1,2	2	1,5	1.54

Fuente: IDEAM (2010)

- 
- 
- **Trucha.** Para el cultivo de esta especie se utilizan tanques de concreto rectangulares de 200 m<sup>2</sup>, 50 m<sup>2</sup> y 25 m<sup>2</sup>, con una profundidad promedio de 0,60 m.

Como fuente de agua podrá utilizarse agua corriente de ríos o riachuelos. Se contempla la construcción de un desarenador inmediatamente después de la toma de agua, debido a que la trucha es sensible a los sólidos suspendidos en el agua.

La densidad de siembra será de 34 truchas por m<sup>2</sup> en la etapa final en los tanques de 200 m<sup>2</sup>. En el caso de la producción de trucha, la densidad final de siembra empleada puede variar entre 100 y 400 peces/m<sup>3</sup>, lo cual equivale a capacidades de carga o rendimientos a densidades finales de 30 a 130 kg/m<sup>3</sup>. Sin embargo, es necesario aclarar que este sistema requiere de un flujo libre y constante de agua de buena calidad, con alta productividad y una profundidad mínima de 4 metros en los lugares en donde se instala. En la tabla 8, se presentan los estimativos de la producción de trucha en estanques.

**Tabla. 8.** Producción de trucha en estanques.

<b>Trucha</b>				
Santander	Valle	Tolima	Antioquia	Promedio
Biomasa final: kg/m <sup>3</sup>				
39	13	65	60	44,25
Densidad de siembra (peces por m <sup>2</sup> de espejo de agua)				
80	nd	85	60	75

Fuente: IDEAM (2010)

El resultado correspondiente a la estimación de la demanda de uso de agua para la acuicultura, calculada a partir de volúmenes de producción de tilapia, cachama y trucha, sin ajustes por cobertura, se presenta en la tabla 9. El valor correspondiente a la demanda cubierta a través de concesiones de agua no incluidas en la muestra censal es del orden de 134.014.496 m<sup>3</sup>.

**Tabla. 9.** Demanda hídrica producción acuícola.

Departamento	Tilapia		Cachama		Trucha		Total departament o
	t/año	m <sup>3</sup> /rend densidad final	t/año	m <sup>3</sup> /rend densidad final	t/año	m <sup>3</sup> /rend densidad final	m <sup>3</sup> /rend densidad final
<b>Antioquia</b>	586	432.841	362	705.900	1694	132.132.00 0	133.270.741
<b>Boyacá</b>	294	626.808	390	527.280	108	6.212.700	7.366.788
<b>Córdoba</b>	278	592.696	1.343	1.815.736			2.408.432
<b>Cundinamarca</b>	1.401	2.986.932	397	536.744	1.39 6	41.012	3.564.688
<b>Huila</b>			1.237.0	1.672.424.00 0	256	7.521	1.672.431
<b>Sistemas en tierra</b>	5.432	14.546.896			256		14.546.896
<b>Sistemas en jaula</b>	12.34 9	531.007.00 0					531.007.000
<b>Meta</b>	4.865	4.865.000	2.287	2.973.100	10	294	7:838.394
<b>Santander</b>	1.332	962.000	2.311	3.004.300	246	8.200	3.974.500
<b>Tolima</b>	1.918		10.721	13.937.300	439	8.780	13.946.080
<b>Sistemas en tierra</b>	1.151	3.291.288					3.291.288
<b>Sistemas en jaula</b>	767	38.360.000					38.360.000
<b>Valle del Cauca</b>	1.505	3.717.350	5.171	8.066.760	63	6.300	11.790.410
<b>Otros Departamento s</b>	1.396	2.976.272	2.273	3.073.096	405	11.898	6.061.266
<b>Total</b>	33.27 4	604.365.08 3	1.262.2 5	1.707.064.21 6	4.87 3	138.428.70 5	2.449.858.

Fuente: IDEAM (2010)

### 2.2.1.15. Resultados Estimación Demanda Hídrica Para Uso Doméstico

La cantidad total de agua demandada para uso doméstico en 2008 se estimó en 2.606 Mm<sup>3</sup> (incluidas pérdidas en el sistema), de los cuales el 82% (2.143 Mm<sup>3</sup>) corresponde a cabeceras municipales y el 18% (463 Mm<sup>3</sup>), al resto.

Del total de la demanda de agua para uso doméstico, el 30,7% (806,1 Mm<sup>3</sup>) corresponde al Distrito Capital de Bogotá (357,1 Mm<sup>3</sup>, equivalentes al 13,6%) y a los municipios de Cali (168,8 Mm<sup>3</sup>, el 6,4%), Medellín (155,5 Mm<sup>3</sup>, el 5,9%), Barranquilla (72,6 Mm<sup>3</sup>, el 2,8%) y Cartagena (52,2 Mm<sup>3</sup>, el 2,0%). Los restantes 1820,1 Mm<sup>3</sup> (69,3%) son demandados por el resto de los municipios del país.

Para establecer el consumo de agua residencial para el grupo de municipios con información, se determina el consumo de agua per cápita (m<sup>3</sup>/año), a través del cociente que relaciona el consumo facturado por suscriptor y el número promedio de habitantes para el total de viviendas-municipio. En el ENA 2010, se identificaron rasgos de consumo per cápita entre 50 y 200 l/habitantes-día (tabla 10).

**Tabla. 10.** Consumos per cápita (litros/habitante-día)

	<b>Cabecera municipal</b>	<b>Resto del municipio</b>	
<b>Alto</b>	122,3	0 a 36	110,5
<b>Medio Alto</b>	117,5	36 a 50	106,4
<b>Medio</b>	11,1	50 a 68	102,0
<b>Bajo</b>	104,1	68 a100	99,1

Fuente: IDEAM (2010)

### 2.2.1.1.6. Resultados De Estimación De Demanda Hídrica En La Industria

De acuerdo con el método de cálculo utilizado para la estimación de la demanda de agua (suma de las extracciones en los procesos propios de la actividad industrial, esta consumió en 2008 cerca de 1.577 Mm<sup>3</sup>/ año de agua con inclusión

del agua extraída no contabilizada (35 Mm<sup>3</sup>) y de 1.543 Mm<sup>3</sup>/año sin inclusión de este último. Las estimaciones por componente se presentan en la tabla 11.

**Tabla. 11.** Volumen de agua utilizada en la industria por componente.

	<b>Industrial ESP (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Pequeña Industria (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Gran Industria (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Ajustes Cobertura (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Total (Mm<sup>3</sup>)</b>
<b>Volumen de agua consumida</b>	86.479.450	111.508.078	80.297.820	1.264.236.594	1.543
<b>Volumen de agua extraída no consumida</b>	34.591.780	Nd	Nd	Nd	35
<b>Volumen de agua utilizada</b>	121.071.230	111.508.088	80.297.820	1.264.236.594	1.577

Fuente: IDEAM (2010)

### 2.3. HUELLA HIDRICA

La huella hídrica es un indicador de uso de agua dulce que es palpable no sólo en el uso de agua directo de un consumidor o productor, sino también en su uso indirecto. El uso de agua indirecta se refiere al agua que se desconoce, por ejemplo para la fabricación de una botella de agua mineral se utilizan más o menos 80 litros para su fabricación, se gasta más agua fabricándola que la que está contenida en ella, otro ejemplo sería que para una producción de 225ml de cerveza se utilizaron 74ltr. 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 tiene diversas aplicaciones que incluyen la visión desde el consumo o la producción, para una persona o un grupo de personas, un productor o un grupo de productores, un producto o un grupo de productos, un área geográficamente delimitada (Campuzano, *et al* 2012).

### 2.3.1. LA HUELLA HÍDRICA AZUL

Se refiere al consumo de los recursos de agua azul (agua superficial y subterránea) a lo largo de la cadena de suministro de un producto. “El consumo” se refiere a la pérdida de agua de la masa de agua disponible del suelo de la superficie en un área de captación. Las pérdidas se producen cuando (Arévalo, 2012):

- El agua se evapora
- El agua se incorpora a un producto.
- El agua no vuelve a la misma zona de flujo, por ejemplo, es devuelta a otra zona de captación o al mar.
- El agua no vuelve en el mismo periodo, por ejemplo, si se retira en un periodo seco y devuelve en un periodo de lluvias.

El primer componente, la evaporación, es generalmente el más importante. Todo lo relacionado con la producción cuenta como evaporación, incluyendo el agua que se evapora durante el almacenamiento de agua (por ejemplo, en depósitos de agua artificiales), transporte (por ejemplo, en canales abiertos), el tratamiento (por ejemplo, la evaporación del agua caliente que no se recoge) y la recogida y eliminación (por ejemplo, de canales de drenaje y de plantas de tratamiento de aguas residuales).

El tercer y último componente se refiere a la parte devuelta a la cuenca que no está disponible para su reutilización dentro de la misma cuenca hidrográfica en el mismo plazo de retirada, ya sea porque se devuelve a otro sistema de captación (o se vierte al mar) o porque se devuelva en otro período de tiempo (Hoekstra, *et al.*, 2011).

La huella hídrica azul mide la cantidad de agua disponible en un determinado período que se consume (es decir, que no se devuelve a la misma cuenca hidrográfica). De esta manera, proporciona una medida del volumen de agua azul disponible que ha sido consumida por los seres humanos. El resto, las aguas subterráneas y las superficiales no consumidas para fines humanos, se emplean en mantener los ecosistemas que dependen de las mismas (Hoekstra, *et al.*, 2011).

### **2.3.2. LA HUELLA HÍDRICA VERDE**

Se refiere al consumo de los recursos de agua verde (agua de lluvia en la medida en que no se pierde por filtro o río abajo) (Arévalo, 2012), pero que se mantenga en el suelo o su superficie o la vegetación. Finalmente, esta es la parte de la precipitación que se evaporará o que transpiran las plantas. El agua verde puede ser productiva para el crecimiento de cultivos (aunque no toda el agua verde puede ser absorbida por el cultivo, ya que siempre existirá la evaporación del suelo y porque no todas las épocas del año o zonas son adecuadas para el crecimiento de un cultivo) (Hoekstra, *et al.*, 2011).

La huella hídrica verde es el volumen de agua de lluvia consumida durante un proceso de producción. Esto es particularmente relevante para los productos agrícolas y forestales (productos a base de cultivos o de madera), donde se refiere a la evapotranspiración del agua de lluvia total (de los campos y plantaciones) (Hoekstra, *et al.*, 2011).

El consumo de agua verde en la agricultura puede ser medido o estimado con un conjunto de fórmulas empíricas o con un modelo de cultivo apropiado para estimar la evapotranspiración con una base de datos sobre las características de clima, suelo y cultivo (Hoekstra, *et al.*, 2011).

De acuerdo con Campuzano y Arévalo la *Huella Hídrica Verde* solo está presente en el sector agrícola y pecuario. Por ende el agua verde no contribuye a las corrientes ambientales que son necesarias para la salud de los ecosistemas de agua dulce ni es accesible para otros usos humanos. El agua verde sólo es accesible a través del acceso y la ocupación de la tierra. De hecho, el agua verde es solo uno de los numerosos recursos adquiridos a través de la ocupación de tierras; acceso a la radiación solar, viento y el suelo son otros de los recursos (Arango, 2013).

### **2.3.3. LA HUELLA HÍDRICA GRIS**

Se refiere a la contaminación y se define como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes más allá de las concentraciones naturales del lugar y la calidad del agua (Arévalo, 2012).

El término "huella hídrica gris" fue introducido por primera vez por Hoekstra y Chapagain (2011) y se define como la carga contaminante dividida por la concentración máxima aceptable en el cuerpo de agua receptor. Un poco más adelante, se reconoció que la huella hídrica gris se calcula mejor como la carga contaminante dividida por la diferencia entre el máximo aceptable y la concentración natural del contaminante en el agua.

A veces se puede generar confusión del por qué la concentración natural se utiliza como referencia y no la concentración real en el cuerpo de agua receptor. La razón es que la huella hídrica gris es un indicador de la capacidad de asimilación absorbida. La capacidad de asimilación de un cuerpo de agua receptor depende de la diferencia entre el máximo permitido y la concentración natural de una sustancia. Si se compara la concentración máxima permisible con la concentración real de una sustancia, nos indicará la capacidad de asimilación *restante*, que, obviamente, cambia con el tiempo, en función del nivel real de contaminación en un momento determinado (Hoekstra, *et al.*, 2011).

Los cálculos de huella hídrica gris se realizan con las normas ambientales de calidad del agua para el cuerpo de agua dulce que las reciben, es decir, las normas con respecto a las concentraciones máximas permisibles. La razón es que la huella hídrica gris tiene como objetivo mostrar el volumen necesario de agua natural para asimilar productos químicos. Las normas de calidad ambiental del agua son una categoría específica de las normas de calidad del agua. Otros tipos de normas son por ejemplo las normas de calidad del agua potable, o las de riego de calidad y normas de emisión (o de efluentes). El estándar de calidad de agua puede variar de un cuerpo a otro de agua para una sustancia en particular. Además, la concentración natural puede variar de un lugar a otro. Como resultado, una carga contaminante determinada puede dar lugar a una huella hídrica gris en un lugar y a otra diferente en otro lugar. Esto es razonable, ya que el volumen de agua necesaria para la asimilación de una carga de contaminantes determinados puede ser diferente en función de la diferencia entre el máximo permitido y la concentración natural (Hoekstra, *et al.*, 2011).

#### **2.3.4. CONCEPTOS BÁSICOS: USO, EXTRACCIONES, CONSUMO Y HUELLA HÍDRICA**

Según CTA en la Guía metodológica de aplicación de huella hídrica en cuenca (2013) dicen que para el desarrollo del trabajo de *Huella Hídrica* se considera fundamental establecer una clara diferenciación entre los conceptos de uso, extracción y consumo, en cuya diferencia se encuentra la base teórica que argumenta la complementariedad de los resultados de la *Huella Hídrica*, frente a otros indicadores utilizados en la gestión convencional de recursos hídricos.

La *Huella Hídrica* solo incluye en su cuantificación de *Huella Verde y Azul* (huellas que hacen referencia a la cantidad de agua), los volúmenes correspondientes a la pérdida de agua, medida o estimada, mediante la sumatoria del volumen evaporado por efecto del proceso antrópico, incorporado en el producto resultado del proceso antrópico o transferido entre cuencas para satisfacer un requerimiento de un proceso antrópico. En este orden de ideas, se hace claridad que en los tres casos anteriormente citados existe una pérdida real de volumen de agua disponible en la unidad geográfica analizada, todas ellas generadas por una acción humana, esto bajo un modelo simplificado que no incluye la variabilidad climática ni la probabilidad de que el agua evaporada en un área vuelva a caer en forma de precipitación en la misma zona.

La mirada tradicional que se hace de los recursos hídricos para su gestión, se basa en la gestión de la demanda con el fin de optimizar y racionalizar el uso del agua, para esto se han considerado tradicionalmente los conceptos de extracción y uso, como los conceptos básicos, y es ahí donde la *Huella Hídrica* incorpora de manera complementaria el consumo real, discriminando el agua usada según su origen, que puede ser agua verde, proveniente del suelo y la precipitación o agua azul que proviene de una fuente superficial o subterránea e implica una intervención humana de extracción.

La *Huella Hídrica Gris* incorpora el concepto de uso del agua y su impacto asociado a la variación en la calidad, por la cual se ve afectado solamente el efluente generado del proceso antrópico, que es el volumen usado menos el volumen consumido.

### 2.3.5. LA HUELLA HÍDRICA DENTRO DE UN ÁREA GEOGRÁFICAMENTE DELIMITADA

La huella hídrica en una zona geográfica se define como el consumo y contaminación total de agua dulce dentro de los límites de un área. Es fundamental definir claramente los límites de la zona en cuestión. El área puede ser una zona de captación, una cuenca de hidrográfica, un estado, provincia o nación o cualquier otra unidad espacial hidrológica o administrativa.

### 2.3.6. HUELLA HÍDRICA DE UN CULTIVO O UN ÁRBOL

Según Hoekstra y Chapagain (2011) la Huella Hídrica de un cultivo o un árbol se refiere al volumen de agua utilizado por el cultivo ( $m^3/ha$ ) dividido entre su rendimiento ( $ton/ha$ ). Dado que los sectores agrícola y forestal son los principales sectores del consumo de agua, los productos que involucran a la agricultura o la silvicultura en su sistema de producción a menudo tienen una huella significativa de agua. Para todos estos productos es pertinente prestar una especial atención a la huella hídrica de su proceso de crecimiento, en el cultivo o del árbol.

Por lo tanto, La huella hídrica total del proceso de cultivos o árboles ( $HH_{proc}$ ) es la suma de los componentes verde, azul y gris (Ecuación 2).

**Ecuación 2.** Huella Hídrica de un cultivo o árbol

$$HH_{Cultivo} = HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris} \left[ \frac{Volumen}{Masa} \right]$$

Por lo general, las huellas hídricas de proceso en la agricultura o la silvicultura se expresa por unidad de producto, volumen de agua por unidad de masa, como  $m^3/ton$ , lo que equivale a un litro /Kg.

La metodología propuesta en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica (The Water Footprint assessment Manual. Setting the global Standard. A. Hoekstra, A. Chapagain, M. Aldaya, M. Mekonnen. 2011) es aplicable a los cultivos anuales y a los perennes, ya que los árboles se pueden considerar como un cultivo

perenne. Por eso se utilizará el término “cultivo” en un sentido amplio, por tanto incluirá también los “árboles” cultivados para obtención de la madera.

### 2.3.6.1. Huella Hídrica Verde Y Azul De Un Cultivo O Un Árbol.

- **Huella Hídrica Verde ( $HH_{\text{verde}}$ ):** Es el volumen de agua utilizado por las plantas durante el proceso de producción proveniente de la precipitación y almacenada en el suelo (Ecuación 3).

**Ecuación 3. Huella Hídrica Verde**

$$HH_{\text{cultivo,verde}} = \frac{UAC_{\text{verde}}}{Y} \quad [m^3/ton]$$

$HH_{\text{Cultivo, verde}}$ : Huella hídrica verde de un cultivo

$UAC_{\text{verde}}$ : Agua verde utilizada ( $m^3/ha$ )

$Y$ : Rendimientos de los cultivos. (ton/ha)

- **Huella Hídrica Azul ( $HH_{\text{Azul}}$ ):** Es el volumen de agua dulce consumido por las plantas y luego transpirado, proveniente de fuentes de aguas superficiales y subterráneas (riego) (Ecuación 4).

**Ecuación 4. Huella Hídrica Azul.**

$$HH_{\text{cultivo,azul}} = \frac{UAC_{\text{azul}}}{Y} \quad [m^3/ton]$$

$HH_{\text{Cultivo, azul}}$ : Huella hídrica azul de un cultivo

$UAC_{\text{azul}}$ : Agua azul utilizada ( $m^3/ha$ )

$Y$ : Rendimientos de los cultivos. (ton/ha)

## Uso del agua del cultivo (UAC).

Se refiere al agua “verde” o “azul” que el cultivo requiere para la evapotranspiración diaria ( $ET$ , mm/día) durante el período de crecimiento completo (Ecuación 5 y 6).

### Ecuación 5. Uso Consumo de Agua Verde

$$UAC_{verde} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{verde} [\text{Volumen/area}]$$

$\Sigma$ : Es la sumatoria del ciclo de crecimiento completo del cultivo, es decir, desde la siembra (día 1) hasta la cosecha del cultivo

$lgp$ : se refiere a la longitud o los días que cada etapa del ciclo comprende.

$ET_{verde}$ : representa la evapotranspiración del agua verde (mm/día)

### Ecuación 6. Uso Consumo de agua Azul.

$$AUC_{azul} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{azul} [\text{Volumen/area}]$$

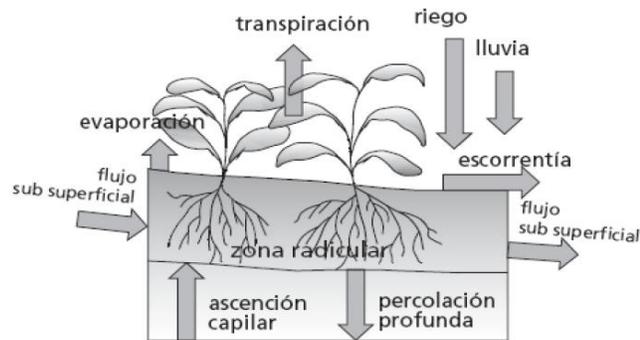
$\Sigma$  = Es la sumatoria del ciclo de crecimiento completo del cultivo, es decir, desde la siembra (día 1) hasta la cosecha del cultivo

$lgp$ : se refiere a la longitud o los días que cada etapa del ciclo comprende.

$ET_{azul}$ : representa la evapotranspiración del agua azul (mm/día)

El factor 10 convierte la profundidad del agua medida en mm a volúmenes de agua de superficie en  $m^3/ha$ .

- **La ET (evapotranspiración):** Es la suma de la transpiración de los vegetales y la evaporación del agua del suelo para el ciclo del crecimiento del cultivo, tal como se muestra en la Figura 8, el cual puede presentar variaciones dependiendo el clima y cultivo. La ET es verde, cuando el agua proviene de la precipitación y es azul cuando el agua proviene del riego (Allen *et al.* 1998). En general, la cantidad de agua que transpiran las plantas es mucho mayor que la que retienen. Por lo tanto, la transpiración se considera como el consumo de agua por la planta; también se debe considerar las pérdidas de agua por evaporación del suelo (Bolaños, 2011)



**Figura 8.** Evapotranspiración del cultivo.

Fuente: FAO (2006)

- **Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>).**

Evapotranspiración del cultivo de referencia o evapotranspiración de referencia y simbolizada como ET<sub>o</sub>. La superficie de referencia es un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de 70 s m<sup>-1</sup> y un albedo de 0,23. La superficie de referencia es muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo. La resistencia superficial fija de 70 s m<sup>-1</sup> implica un suelo moderadamente seco que recibe riego con una frecuencia semanal aproximadamente.

La ET<sub>o</sub> se puede calcular utilizando datos meteorológicos. Como resultado de una consulta de expertos realizada en mayo de 1990, el método de FAO Penman-Monteith ahora se recomienda como el único método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia. El método de FAO Penman-Monteith requiere datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento (FAO, 2006)

- **Evapotranspiración del Cultivo (ET<sub>c</sub>)**

La evapotranspiración de un cultivo será diferente a la del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>) en la medida en que sus características de cobertura del suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieran de las correspondientes al

pasto. Los efectos de las características que distinguen al cultivo del pasto están incorporadas en el coeficiente del cultivo (Kc). En la metodología del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando ETo por Kc. (FAO, 2006)

### 2.3.6.2 Huella Hídrica Gris (HH gris) De Un Cultivo O Un Árbol

La  $HH_{GRIS}$  represente la cantidad de agua requerida para la asimilación de cargas de contaminantes alcanzando los cuerpos de agua. Se considera que la carga de contaminantes ha sido asimilada cuando la concentración del mismo en el cuerpo de agua se encuentra por debajo de la concentración ambiental máxima para ese contaminante en el cuerpo de agua de interés. Los nutrientes lixiviados de los campos agrícolas representan una fuente mayor de contaminación difusa de los cuerpos de agua (Zarate, *et al.*, 2013)

**Ecuación 7. Huella Hídrica Gris de un cultivo o un árbol**

$$HH_{gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}}$$

Dónde:

HHgris: *Huella Hídrica Gris* de un cultivo o arbol específico ( $m^3/ha$ )

L: cantidad de fertilizante aplicado (Kg/ha)

C max: concentración máxima permisible del N y/o P en el agua ( $Kg/m^3$ )

C nat: Concentración natural del N y/o P en el agua ( $Kg/m^3$ ).

La CTA en la Guía metodológica de aplicación de huella hídrica en cuenca (2013) indica que para la concentración máxima permisible se recomienda preferentemente utilizar las normas locales según lo regulado en la legislación de cada país o autoridad ambiental. Si no existen normas de calidad ambiental de agua disponibles y esta es usada para el consumo, se pueden aplicar las concentraciones definidas como mínimas internacionalmente para el agua potable.

El valor obtenido en el cálculo anterior corresponde a la *Huella Hídrica Gris* de un producto agrícola en una hectárea cultivada; sin embargo, es necesario dividir este valor por el rendimiento del cultivo (t/ha) de la siguiente manera:

Finalmente, la HH gris se expresa también en unidades de m<sup>3</sup>/tonelada:

**Ecuación 8.** Huella Hídrica Gris de un cultivo o árbol

$$HH_{gris} = \frac{HH_{gris} (volumen)}{Y}$$

Y: Rendimiento del cultivo ton/ha

### 2.3.7. HUELLA HÍDRICA DE CONSUMO PECUARIA

**Ecuación 9.** *Huella Hídrica* del sector pecuario.

$$HH_{pecuaria} = HH_{alimento} + HH_{consumo} + HH_{servidumbre}$$

#### 2.3.7.1. Huella Hídrica del alimento (HH Alimento)

La *Huella Hídrica* del alimento es aquella asociada a los pastos que se utilicen como alimento, principalmente para bovinos, equinos, caprinos y ovinos. La *Huella Hídrica* del sector pecuario para este caso corresponde a la *Huella Hídrica Verde* de los pastos presentes en la cuenca, que son utilizados para la alimentación de equinos y bovinos. Se calcula por medio de CROPWAT, siguiendo el mismo procedimiento que para los cultivos. Es importante señalar que para el sector pecuario, también se usan concentrados para la alimentación; sin embargo, éstos no se tendrán en cuenta dentro del cálculo de HH alimento, ya que corresponden a otros sectores (industria de alimentos) o se pueden generar fuera del área de estudio.

### **2.3.7.2. Huella Hídrica del consumo (HH<sub>Consumo</sub>)**

La Huella Hídrica del consumo se tomará como el volumen de agua que consumen los animales para su funcionamiento fisiológico. Para este cálculo se deben contar con datos de consumo de agua por animal para los subsectores analizados, para esto es necesario consultar investigaciones locales, datos consignados en municipios, entre otros. Los valores de Huella Hídrica calculados en este aparte se cargan a la Huella Hídrica Azul del sector.

### **2.3.7.3. Huella Hídrica de la servidumbre (HH<sub>Servidumbre</sub>)**

La Huella Hídrica de servidumbre se refiere al agua utilizada en el aseo de establos, porquerizas, galpones, entre otros. Estos datos se obtienen de estudios locales o regionales preferiblemente. En caso de no estar disponibles, éstos pueden obtenerse de bases de datos internacionales o nacionales que aportan valores medios.

### **2.3.7.4 Huella Hídrica por contaminación pecuaria (HH gris)**

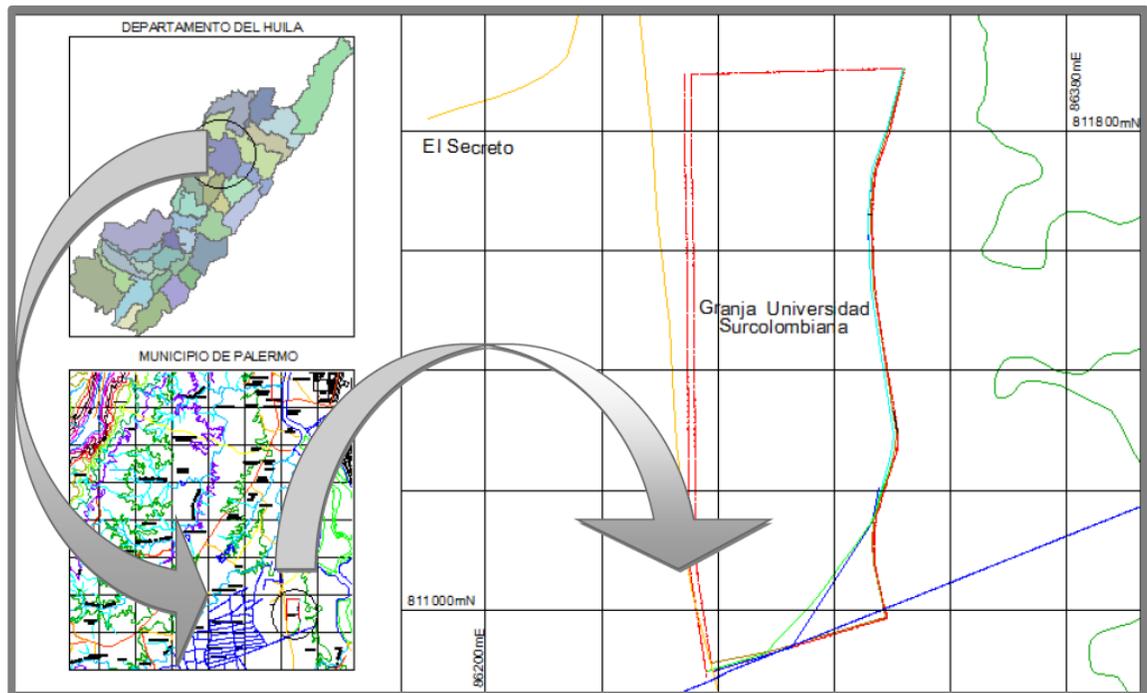
Para el cálculo de la Huella Hídrica Gris, se utiliza el mismo procedimiento aplicado a la HH agrícola, gris, usando datos de contenidos de contaminantes en orina y heces obtenidos de investigaciones locales o realizadas en lugares con características similares a la del área de estudio.

### 3. METODOLOGIA

El objetivo de éste estudio consistió en realizar una estimación de la huella hídrica en la granja experimental de la universidad Surcolombiana en el año 2014. Partiendo de la metodología descrita por Hoekstra *et al.* propuesta en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica (The Water Footprint Assessment Manual.2011)..

#### 3.1. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La zona de estudio seleccionada para la estimación de la huella hídrica del presente proyecto fue la granja de la universidad Surcolombiana con una superficie aproximada de 30has, que se encuentra ubicada en la zona rural del municipio de Palermo, a 10 km de Neiva, departamento del Huila (Figura 9).



**Figura 9.**Localización General de la Granja de la Universidad Surcolombiana.

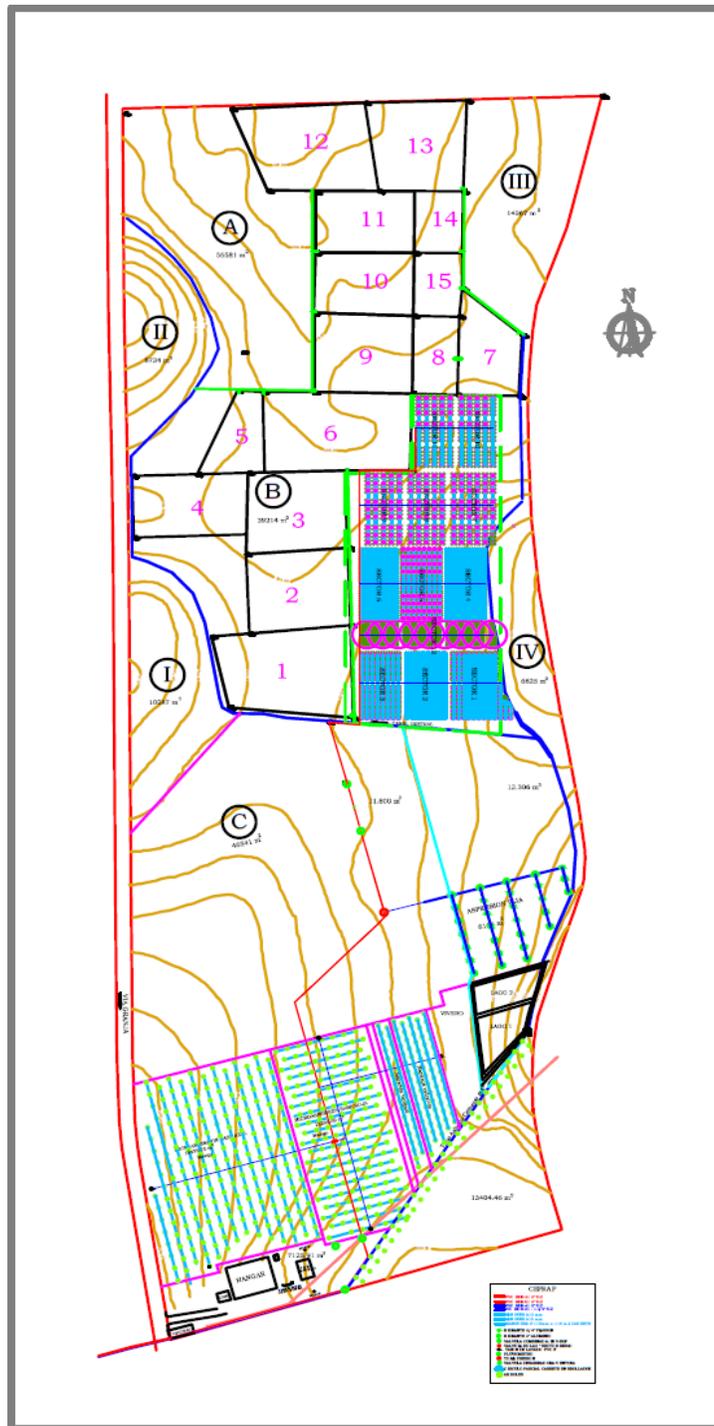
Fuente: Tafur, *et al.*, 2008

### 3.2. DESCRIPCION DE LOS PROCESOS QUE SE LLEVAN A CABO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.

Para el estudio de la huella hídrica se tomaron en cuenta cada uno de los procesos que se llevan a cabo en la granja experimental de la universidad Surcolombiana, dichos procesos comprenden principalmente la parte agrícola en la que se manejan líneas para la investigación y producción, en lo pecuario que se está llevando a cabo un proyecto de acuaponia, de igual manera se extrae agua para la jardinería. Así mismo se cuenta con el Hangar que es donde se tiene todo lo relacionado con maquinaria y herramientas para su respectiva labor en adecuación de terrenos. También se tuvo en cuenta el área estipulada para los reservorios, el invernadero, el vivero y la casa donde habitan o permanecen personas. En la tabla 12 se presenta la descripción de los procesos y su respectiva área se puede verificar de igual manera en la figura 10.

**Tabla. 12.** Información primaria de los procesos que se llevan a cabo en la granja experimental de universidad Surcolombiana

PROCESO	TIPO	LOTE	AREA (m <sup>2</sup> )
Agrícola	Producción	Lote A	59545,194
Agrícola	Producción	Lote B	56723,81
Agrícola	Producción e investigación	Lote C	76944,446
Agrícola	Producción	Mango sector 1	19439,15
Agrícola	Producción	Mango sector 2	12286,59
Agrícola	Producción	Naranja Valenciana	3306,15
Agrícola	Producción	Naranja Tangelo	1714,86
Agrícola	Investigación	Moringa	5825,17
Agrícola	Investigación	Invernadero	99
Agrícola	Producción e investigación	Vivero	60
Agrícola	Embellecimiento paisajístico	Jardines	300
Pecuario	Investigación	Acuaponía	273
Maquinaria	Mantenimiento	Hangar	879,13
Personal	Estadía	Casa	68.62



**Figura 10.** Distribución de los sectores de la Granja de la Universidad Surcolombiana.

Fuente: Tafur, *et al.*, 2008



**Figura 11.** Cultivo de Mango



**Figura 12** Cultivo de Naranja



**Figura 13.** Cultivo de Maíz.



**Figura 14.** Cultivo de Arroz.



**Figura 15:** Invernadero.

### **3.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Con la colaboración de las personas encargadas de la granja (administrativos y trabajadores) se realizó una revisión de toda la información disponible para cada proceso que se lleva a cabo en la granja de la universidad Surcolombiana, concerniente al uso del agua, programaciones de riego, cantidad aplicada de productos químicos en los campos, características del equipo de bombeo, llenado de lagos, características de los micro aspersores y aspersores, uso de maquinaria, el proyecto de acuaponía. Teniendo en cuenta que el valor de huella hídrica es un indicador tanto espacial como temporal, se decidió analizar la huella hídrica para el año 2014 entre otras por la disponibilidad de información, por lo tanto la información recogida corresponde a la suministrada por los encargados de la granja.

### **3.4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA**

A partir de toda la información suministrada se realizó una base de datos, donde se organizó y tabuló para un mejor análisis.

Para la estimación de la huella hídrica de la granja experimental de la universidad Surcolombiana se empleó la metodología propuesta en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica (The Water Footprint Assessment Manual. ), donde muestra como calcular las huellas hídricas para procesos individuales, productos, consumidores, naciones y empresas.

### 3.4.1. ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE, AZUL Y GRIS DE UN CULTIVO

#### 3.4.1.1. Estimación Del Requerimiento De Agua Azul Y Verde De Los Cultivos (UAC verde Y UAC azul)

Para los requerimientos de uso consumo de agua verde (precipitación) y azul (irrigación) en la fase agrícola, se empleó el modelo CROPWAT 8.0 (FAO, 2013), utilizado en diversos estudios de Huella Hídrica en el ámbito mundial. El modelo calcula los requerimientos de agua del cultivo y sus requerimientos de riego en base a datos del cultivo, datos climáticos y datos de suelos, que se obtuvieron de la siguiente manera:

**Parámetros Del Cultivo:** El modelo CROPWAT 8.0 necesita datos de profundidad radicular, Fecha de siembra y cosecha, Coeficiente del cultivo (kc) y fases de crecimiento, Fracción de agotamiento crítico (p), Factor de respuesta de la productividad del cultivo (ky), Altura del cultivo. Para los cultivos presentes en la granja se recopiló la información de la siguiente manera.

- **Fecha de siembra y cosecha:** Las fechas de siembra de los cultivos fueron suministradas por el trabajador de la granja y auxiliar de administración.
- **Profundidad radicular:** Para CROPWAT 8.0 se necesita el valor de la profundidad radicular inicial y profundidad radicular en desarrollo. Ambos valores se tomaron del Estudio FAO riego y drenaje 56 (Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos).
- **Coeficiente del cultivo (kc) y fases de crecimiento:** Los valores de kc fueron obtenidos del Estudio Nacional del Agua 2010 (capítulo 5, estimación de la demanda de agua).y del Estudio FAO riego y drenaje 56 (Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos), lo mismo para la duración de cada etapa de desarrollo.
- 
- **Fracción de agotamiento crítico (p):** Es la fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de

presentarse estrés hídrico (FAO; 2006). Este valor aparece en el estudio FAO (2006) para cada cultivo.

- **Factor de respuesta de la productividad del cultivo (ky):** Este valor se encuentra en el Estudio FAO (2006).
- **Altura del cultivo:** Se verificaron datos en campo y a su vez se obtienen del Estudio de FAO (2006).

**Datos Climáticos:** Los datos necesarios para el modelo son temperatura, precipitación, horas promedio de sol, humedad relativa y velocidad del viento. Esta información fue obtenida de la estación climatológica ubicada en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana y la estación de El Juncal. Se utilizó información de la segunda estación por las razones que la primera no contaba con datos de los tres últimos meses del año (Tabla 13).

**Tabla. 13.** Información climatológica de las estaciones de El Juncal y la Granja experimental de la universidad Surcolombiana

Mes	Temp Media (°C)	Humedad (%)	Viento (Km/Hr)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)
Enero	24,9	77,4	5,7	9.5	86,5
Febrero	25,3	76,8	6,3	9.3	80,5
Marzo	24,5	83,05	5,7	9.7	137,5
Abril	25,6	71	9,5	10.0	48,65
Mayo	24,7	80	6,3	10.2	169,94
Junio	24,7	71	12,4	9.1	68,74
Julio	25,7	59	16,4	9.1	10,1
Agosto	25,5	56	19,4	10.8	13,19
Septiembre	26,5	56	11,9	10.4	114,73
Octubre	28,9	58	3,96	10	250,3
Noviembre	27,5	72	1,08	9	148,7
Diciembre	27	74	1,8	9	131,15

**Suelos:** El modelo CROPWAT 8.0 necesita valores de humedad de suelo total disponible (CC-PMP), tasa máxima de infiltración de la precipitación, profundidad radicular máxima, agotamiento inicial de humedad de suelo (% de ADT). Toda la información necesaria para suelos fue tomada de la tesis CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE LA GRANJA “ LA UNIVERSIDAD” CON FINES DE RIEGO Y DRENAJE (1999), elaborada por Paula Yaned Anacona Chavarro Y Fayver Jamir Rojas García (Tabla 14).

**Tabla. 14** Propiedades Físicas de los suelos de la granja

Serie	Retención De Humedad		Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Profundidad Efectiva (cm)	Lámina De Agua Aprovechable (cm/m)	Textura
	0,3 bars	15 bars				
<b>Bosques</b>	13,18	4,67	1,35	22	11,49	FA
<b>Piedras bajas</b>	9	3,51	1,45	21	7,95	FA
<b>Caño</b>	13,87	4,75	1,54	21	14,04	FA
<b>Piedras altas</b>	13,92	5,49	1,5	25	12,63	FA
<b>Terraza</b>	9,39	3,57	1,53	25	8,9	FA
<b>Universidad</b>	9,97	3,85	1,61	30	9,85	FA
<b>Aguas</b>	12,38	4,89	1,35	25	10,11	FA

Fuente: Anacona y Rojas (1999)

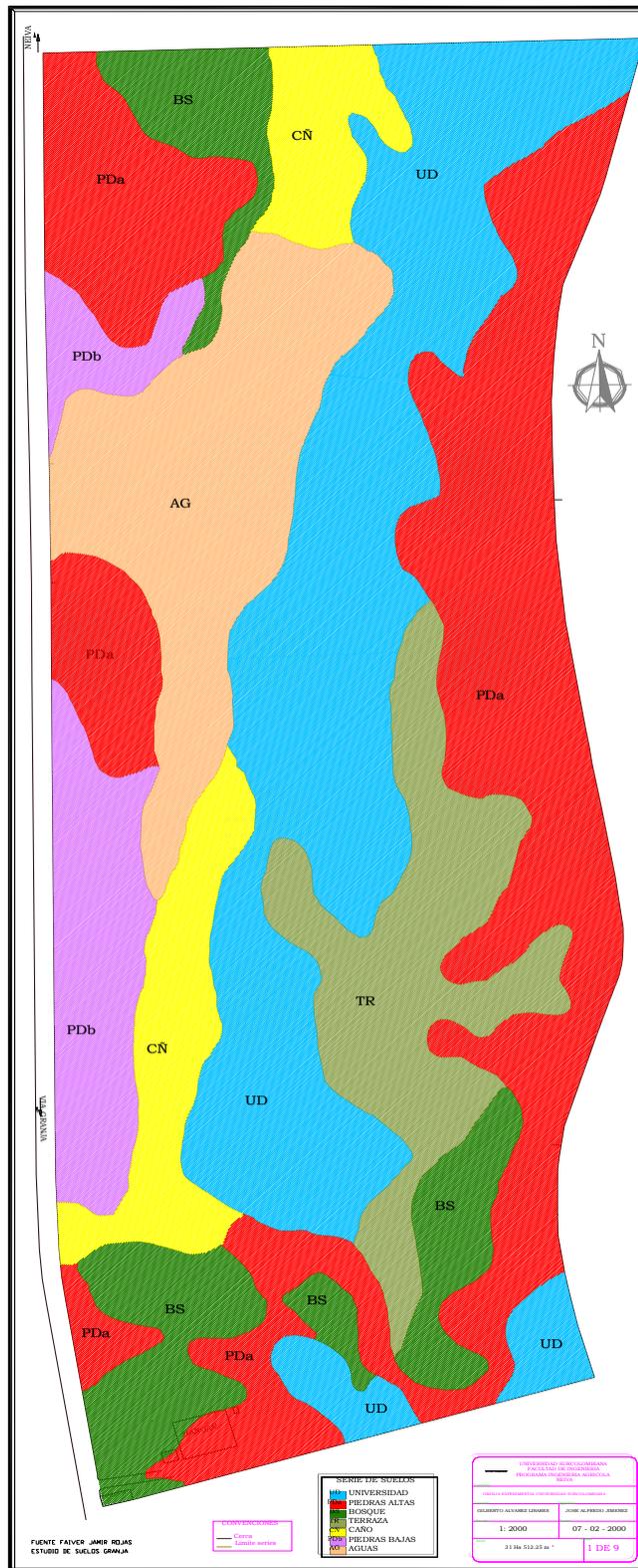


Figura 16. Mapa detallado de suelo de la granja experimental. Fuente: Polania, 2011

**Datos de irrigación:** El modelo CROPWAT 8.0 utiliza datos de irrigación en la opción de programación de riego del cultivo con el fin de determinar si la frecuencia de riego es la adecuada y si se está aplicando la cantidad de agua que requiere el cultivo.

Para la granja se contó con las fechas de riego y la duración, pero no se contó con un valor exacto de las láminas de agua que se aplican a los cultivos establecidos en la granja experimental de universidad Surcolombiana, por tal motivo, para los cultivos de Arroz y Maíz se tomó como valor estimativo los datos recolectados por los estudiantes de práctica integral (Tabla 15), en cuanto a los lotes de Mango y Naranja el valor se estimó de acuerdo a los caudales que cada microaspersor suministra.

**Tabla. 15.** Volumen de Agua (m<sup>3</sup>) Por Turno de Riego en lote Arroz

<b>Volumen Inicial (m<sup>3</sup>)</b>	635,5
<b>Volumen Descole (m<sup>3</sup>)</b>	242,2
<b>Volumen Retenido (m<sup>3</sup>)</b>	393,3

Fuente: Estudiantes Ingeniería Agrícola USCO - Curso de practica integral. 2 periodo 2014

### 3.4.1.2. Huella Hídrica Azul Y Huella Hídrica Verde

Después de ingresar los datos anteriores al modelo CROPWAT con la opción de programación de riego, se sigue con la metodología propuesta en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica (The Water Footprint Assessment , 2011) en el apéndice II, en el que ilustra un ejemplo del cálculo de las HH<sub>verde</sub> y HH<sub>azul</sub>. Donde ET<sub>azul</sub> es igual al mínimo de riego neto total y el requisito de riego real, y ET<sub>verde</sub> es igual al total de la evapotranspiración menos el agua azul evapotranspirada.

El resultado que entrega CROPWAT 8.0 esta expresado en milímetros, por la cual es necesario multiplicar por 10 para que quede expresada en m<sup>3</sup>/ha, que se denomina consumo de agua del cultivo (UAC) y éste a su vez debe ser expresado en unidades de (m<sup>3</sup>/t) por lo que se tiene que dividir por el rendimiento del cultivo (t/ha). En cuanto a los rendimientos solo se contó con información de los cultivos

de arroz y maíz en la granja experimental de la universidad Surcolombiana, y para el resto de los cultivos se trabajó con los del anuario estadístico del Huila.

### 3.4.1.3. Huella Hídrica Gris

La HH gris represente la cantidad de agua requerida para la asimilación de cargas de contaminantes alcanzando los cuerpos de agua. Se considera que la carga de contaminantes ha sido asimilada cuando la concentración del mismo en el cuerpo de agua se encuentra por debajo de la concentración ambiental máxima para ese contaminante en el cuerpo de agua de interés. Los nutrientes lixiviados de los campos agrícolas representan una fuente mayor de contaminación difusa de los cuerpos de agua (Hoekstra, *et al.*, 2011).

Para el cálculo de la *Huella Hídrica Gris* se utilizó como referente la contaminación del agua por causa de aplicación del fertilizante nitrógeno (N), por ser un contaminante crítico (Hoekstra *et al.*, 2011) en cuanto al fósforo se dejó por fuera ya que al ser aplicado generalmente se acumula en el suelo y solo una fracción muy pequeña va hacia las fuentes de agua subsuperficiales y subterráneas. No se tuvo en cuenta pesticidas y otros agroquímicos debido a que de acuerdo con la literatura revisada, en Colombia todavía hay muy poca información al respecto.

El valor de nitrógeno aplicado fue suministrado por los encargados de la granja. Para la tasa de lixiviación/escorrentía de este contaminante se asumió una fracción del 10% del total de N aplicado al campo, según recomendación del manual de HH (Hoekstra *et al.*, 2011), y para la concentración máxima permitida de nitrógeno 30mg/l, como también se asumió una concentración natural del nitrógeno de 0,001mg/l

A partir de las cantidades de fertilizantes (Anexo B) que se aplicaron a cada uno de los lotes de arroz y maíz se calculó la cantidad de kilogramos de nitrógeno (tabla 16) que se suministraron en el año 2014.

**Tabla. 16.** Cantidad de Nitrógeno (kg).

Lote	Cultivo	Área(ha)	N(kg)
A1	Arroz	6	834,5
B1	Arroz	6,5	1228,5
C1	Maíz	7	999
A2	Arroz	6	852
C2	Arroz	7	1687,5
Invernadero	Tomate	9,68E-03	31,11

Teniendo la información completa se procedió a estimar el valor de la huella hídrica gris por fertilización con nitrógeno para los cultivos de arroz, maíz, frutales e invernadero, dejando por fuera los otros cultivos por falta de información.

### **3.4.2. HUELLA HÍDRICA POR CONSUMIDOR EN LA GRAJA**

En el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica (The Water Footprint assessment Manual. Setting the global Standard. A. Hoekstra, A. Chapagain, M. Aldaya, M. Mekonnen. 2011) define la huella hídrica de un consumidor como el volumen total de agua dulce consumida y contaminada para la producción de los bienes y servicios consumidos. Se calcula sumando la “Huella Hídrica” directa de la persona y su “Huella Hídrica” indirecta. Donde la “Huella Hídrica” directa, se refiere al consumo y la contaminación del agua relacionada con su uso en el hogar, mientras que la “Huella Hídrica” indirecta, se refiere, el agua que se utilizó para producir la comida, la ropa, el papel, la energía y los bienes industriales consumidos.

Para la granja solo se determinó la huella hídrica directa, donde se estimaron los valores de consumo propio (preparación de alimentos, higiene, y usos en sistemas sanitarios), y el uso en actividades de mantenimiento y aseo, expresado a nivel per cápita en litros/habitante-día, basándonos en los valores por el IDEAM 2010. Dado que la huella hídrica indirecta por consumidor no utiliza el agua de las fuentes de abastecimiento que se encuentran en la granja, para la producción de los productos utilizados por persona, por esta razón no se toma en cuenta para este estudio.

A ese valor de huella hídrica directa, como no se conoce la exactitud el agua que se utiliza para consumo, (bebidas, alimentos preparados), se asume que este valor es del 10%, y el 90% restante corresponde a vertimientos (huella hídrica gris)(Arango, 2013).



**Figura 17.** Casa y jardines

### **3.4.3. HUELLA HÍDRICA PECUARIA**

En este sector de la granja solo se conocieron los volúmenes de los tanques que se utiliza para la producción de peces y las veces que cambia el agua en cada uno de ellos. No se pudo conocer los valores de rendimientos y densidades de siembra que se maneja y tampoco si se está llevando un control con estudios de calidad de agua.

Para la variable de rendimiento anual, a densidades finales expresadas en  $\text{kg}/\text{m}^3$  de tilapia se tomó el valor de los reportes del IDEAM (2010).



**Figura 18.** Proyecto de acuaponia.

### 3.4.4. HUELLA HÍDRICA PARA OTROS SECTORES DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Para la estimación de los demás sectores de la granja (lavado de maquinaria y herramientas se hizo un estudio muy general. Se tomó un valor promedio de la cantidad de agua que se gasta en tiempo lavando maquinaria agrícola.



**Figura 19.** Hangar

Para los lagos se estimaron las pérdidas por evaporación del agua. En cuanto a los volúmenes que este suministra a los cultivos, se tomaron en cuenta en la huella hídrica agrícola por producto. Para el volumen evaporado se utilizó la ecuación 10

**Ecuación 10.** Estimación de Evaporación de los lagos

$$V. \text{evap} = 10 * S * E$$

Dónde:

S: Área de espejo de agua, en ha

E: Evaporación en mm/mes



**Figura 20.** Lago

En cuanto la huella hídrica para las zonas de jardinería, solo se estimaron los uso consumo de agua, pues al no tener rendimientos no se puede saber la huella hídrica por producción.



**Figura 21.** Jardines.

## 4. RESULTADOS

Como se mencionó anteriormente, para la evaluación de la estimación de la huella hídrica de la granja experimental de universidad Surcolombiana se tomó como año de estudio el 2014.

En la granja experimental de la universidad Surcolombiana, el agua empleada para los cultivos proviene del distrito de riego Asojuncal, y la utilizada en la casa (preparación de alimentos, uso doméstico) al igual que para el proyecto de acuaponia es suministrada por un aljibe.

### 4.1. LÁMINAS DE IRRIGACIÓN

**Tabla. 17** Comparación de las estimaciones de láminas a aplicar y aplicadas

<b>Cultivo</b>	<b>Lamina De Riego Neta Total (mm)</b>	<b>Requerimiento real de riego (mm)</b>
<b>Maíz</b>	441	146,1
<b>Arroz</b>	1549,4	1038,8
<b>Mango</b>	266	714,4
<b>Naranja</b>	483	297,6

Fuente: Elaboración del autor

El patrón de irrigación seguido por los encargados de la granja experimental de la universidad Surcolombiana (Anexo A) indica un mal manejo de los turnos, lámina y frecuencia de riego, pues irrigan a consideración de los trabajadores sin tener unos cálculos de requerimientos hídricos adecuados para cada cultivo. Esto claramente se puede observar en la tabla 17, donde el cultivo de mango se encuentra con un déficit de 448mm de lámina de riego anual a aplicar según los datos arrojados por el modelo CROPWAT 8.0; en el cultivo de naranja aunque muestra que cuenta con la lámina de agua anual necesaria a aplicar, no se cuenta ni con el turno de riego adecuado ni con la frecuencia con que debería ser, por las razones que solo se aplicó un turno de riego de tres días seguidos (Anexo A) para el año 2014. Para el cultivo de maíz se observa una lámina mayor aplicada en cuanto a la necesaria, donde podría traer como consecuencia mayores costos

de bombeo, lavado y lixiviación de nutrientes. En la lámina de riego neta para el cultivo de arroz se observa que se encuentra mayor del requerimiento hídrico aproximado indicado por el programa CROPWAT 8.0 con una diferencia de 510.6 mm de más, donde se podría presentar salinización y la degradación de los suelos

De igual manera en la tabla 18 se aprecian los valores de volúmenes de agua que se aplicaron al lote C1, respecto a los estimados, con esto claramente se observa que el papel de irrigación en los lotes de arroz no solo se centra como tal en la aplicación de agua en función de la evapotranspiración, sino que también se tiene que tener en cuenta los flujos de percolación, la infiltración al igual que para prácticas de manejo como la preparación del terreno y el drenaje ya que hace parte del balance hídrico, por tal razón las láminas aplicadas son 3 veces mayor a las estimadas.

**Tabla. 18.** Volumen de agua para el cultivo de arroz lote C1

	Estimado	Medido
<b>LARA por turno (m<sup>3</sup>/ha)</b>	164,7	635,5
<b>Volumen en 11 turnos (m<sup>3</sup>)</b>	1811	6990,5

Fuente: Estudiantes Ingeniería Agrícola USCO - Curso de practica integral. 2 periodo 2014

#### 4.2. RENDIMIENTOS

Los rendimientos de los cultivos que se estudiaron se presentan en la tabla 19.

**Tabla. 19.** Rendimientos utilizados para la estimación de la Huella Hídrica Agrícola de la granja experimental de la universidad Surcolombiana

Cultivo	lote	Rendimientos (ton/ha)
<b>Arroz</b>	A1	3,9
<b>Arroz</b>	B1	5,4
<b>Arroz</b>	A2	4,7
<b>Arroz</b>	C2	5,6
<b>Maíz</b>	C1	3,6
<b>Mango</b>	Sector 1 y 2	6,1
<b>Naranja</b>	Sector 1 y 2	5,9
<b>Tomate</b>	Invernadero	47,6

**Tabla. 20.** Rendimientos en el Departamento del Huila

<b>Cultivo</b>	<b>Rendimiento En El Departamento Del Huila (ton/Ha)</b>
<b>Maíz</b>	3,7
<b>Arroz</b>	6,9

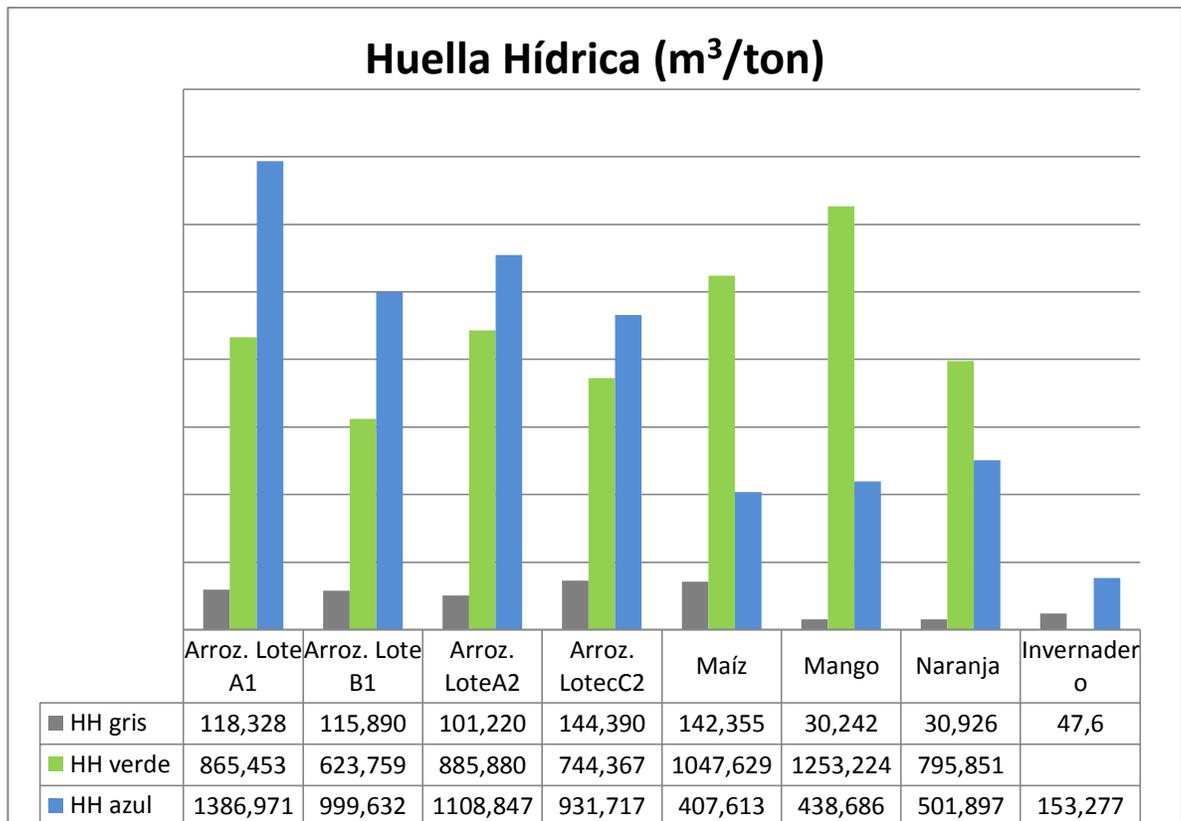
En la tabla 19, se observa que el arroz a pesar de ser uno de los cultivos que en la granja tiene mayor control para su producción se encuentra con unos rendimientos variables y por debajo al valor presentado en el anuario estadístico agropecuario del Huila (tabla 20), esta reducción se encuentra entre el 20% y 45%, sin conocer cuáles serían las consecuencias de esta disminución.

En las tablas 19 y 20 se observa que el rendimiento en el cultivo de maíz que dio en la granja en el 2014, el cual está muy similar con el mostrado por el anuario estadístico agropecuario del Huila, siendo una diferencia menor al 1 %.

### **4.3. HUELLA HÍDRICA DE LA FASE AGRÍCOLA**

#### **4.3.1. Huella Hídrica Expresada En m<sup>3</sup>/Ton**

A continuación se presentan los valores graficados obtenidos de la huella hídrica m<sup>3</sup>/ton verde, azul y gris para los cultivos de maíz, mango, naranja y arroz que se encuentran presentes en la granja experimental de universidad Surcolombiana. Los demás cultivos se dejaron fuera del estudio de la huella hídrica por no contar con datos de rendimientos agrícolas a nivel departamental e institucional.

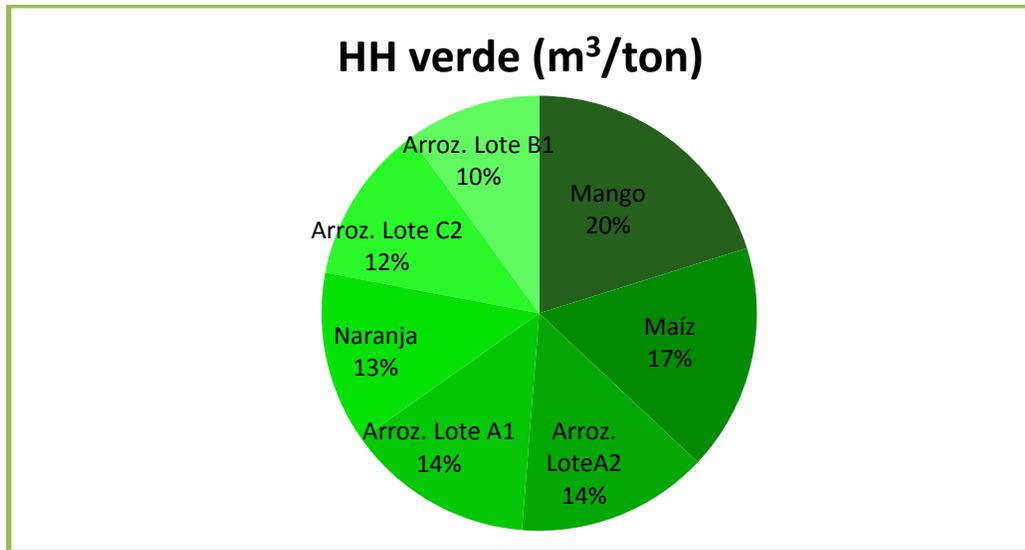


**Figura 22.** Huella Hídrica agrícola del arroz, maíz, mango y naranja (m<sup>3</sup>/ton) de la granja experimental de la universidad Surcolombiana.

Fuente: Elaboración del autor.

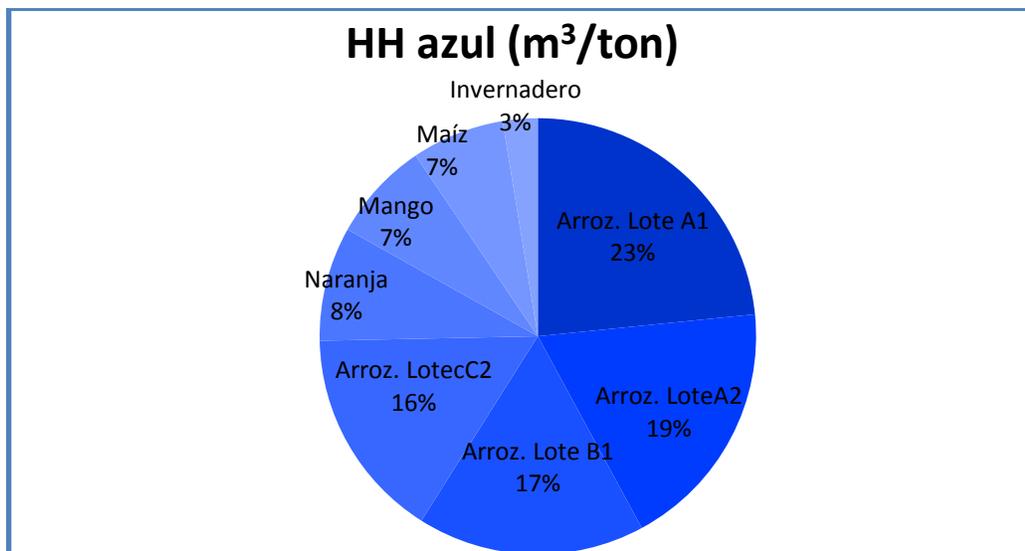
En la Figura 22 se ven reflejados los consumos de agua que requiere cada cultivo para su producción agrícola. Cabe anotar que cuando hablamos de consumo, se está hablando de agua evapotranspirada por el cultivo, y no de extracciones de agua para riego. También se aprecia como la huella hídrica varía de una manera significativa, a pesar de que se encuentran con suelos similares y las condiciones ambientales son las mismas.

Otra situación que se puede observar es la dependencia que tienen los cultivos de arroz con la irrigación, pues los consumos de agua son mayores a los suministrados por las precipitaciones. Para el invernadero no se tiene en cuenta la huella hídrica verde pues esta se encuentra bajo cubierta haciendo que dependa de un 100% de irrigación.



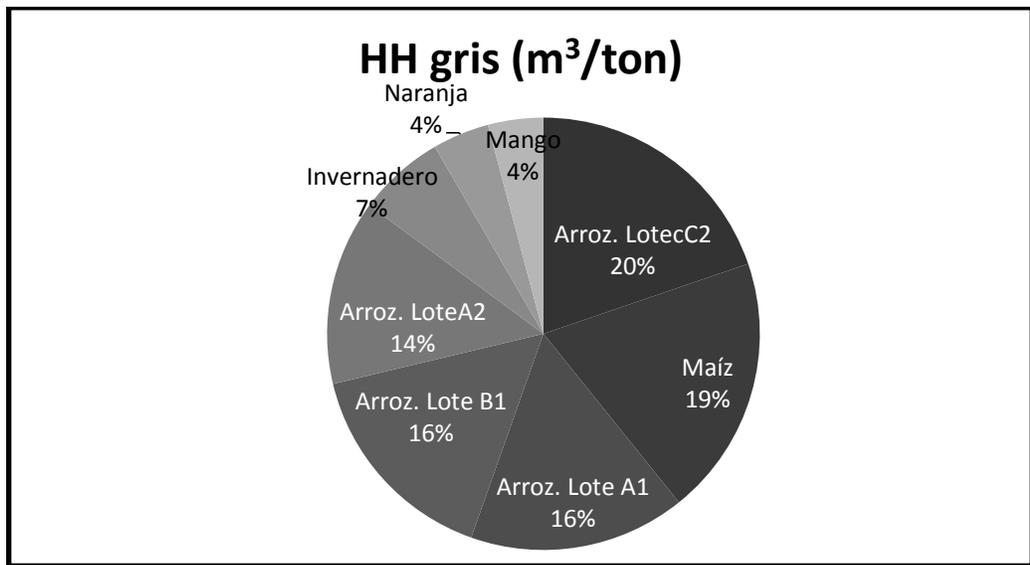
**Figura 23.** Distribución porcentual de la huella hídrica verde agrícola de la granja experimental de la universidad Surcolombiana.

Fuente: Elaboración del autor



**Figura 24.** Distribución porcentual de la huella hídrica azul agrícola de la granja experimental de la universidad Surcolombiana.

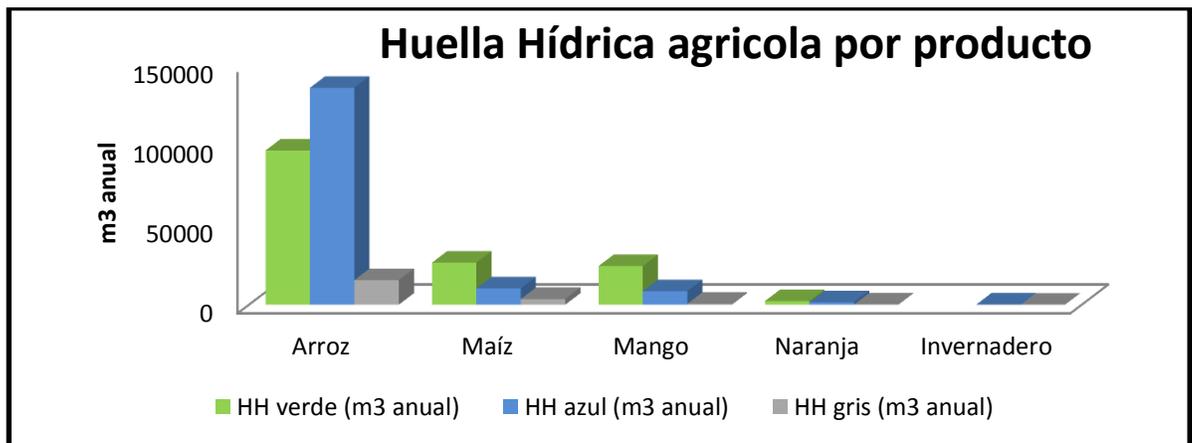
Fuente: Elaboración del autor



**Figura 25.** Distribución porcentual de la huella hídrica gris agrícola de la granja experimental de la universidad Surcolombiana.

Fuente: Elaboración del autor

#### 4.3.2. Huella Hídrica Expresada En m³/Año Tomando Como Base La Producción.



**Figura 26 .** Huella Hídrica anual agrícola por producto de la granja experimental de la universidad Surcolombiana.

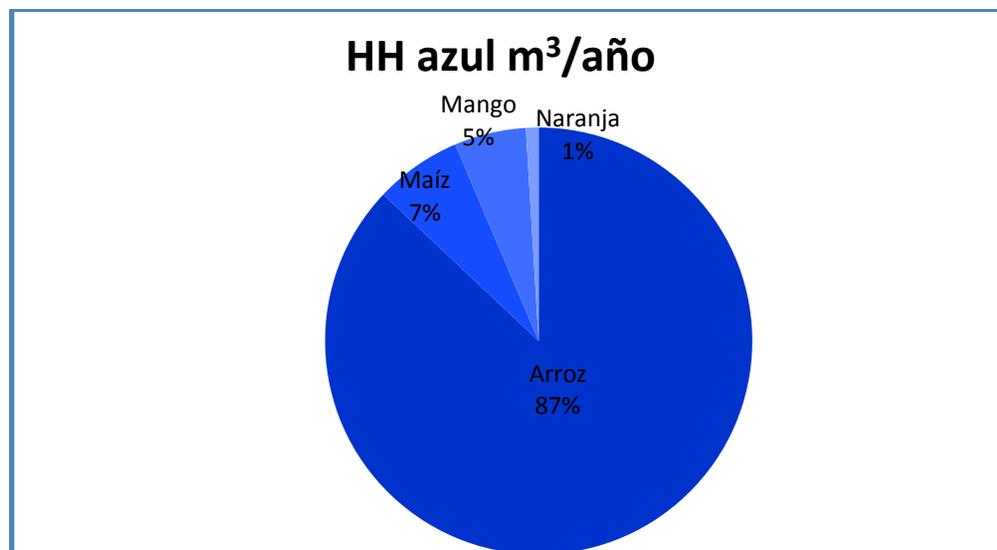
Fuente: Elaboración del autor

En la figura 26 y tabla 21 se observa la huella hídrica anual de los cultivos maíz, mango, naranja y arroz presentes en la granja experimental de la universidad Surcolombiana, apreciándose como mayor consumidor de agua verde y azul anual, el cultivo del arroz, aclarando que esto se debe que cuenta con una mayor extensión en área cultivada y producción durante el año de estudio.

**Tabla. 21.** Huella Hídrica total anual agrícola por producto de la granja experimental de la universidad Surcolombiana.

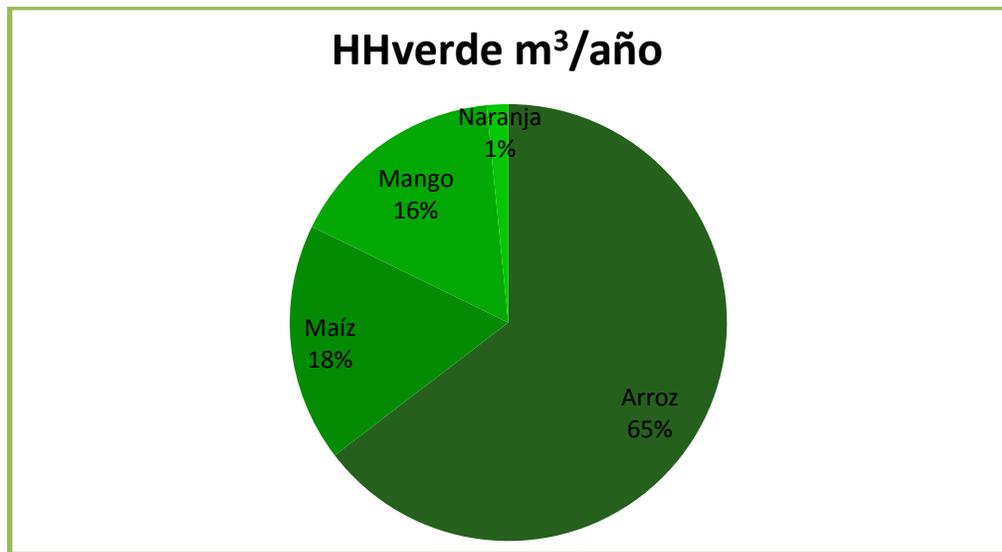
Cultivo	HH Verde (m <sup>3</sup> Anual)	HH Azul (m <sup>3</sup> Anual)	HH Gris (m <sup>3</sup> Anual)	HH Total (m <sup>3</sup> Anual)
Arroz	96272	135381	15346,78	246999,78
Maíz	26285	10227	3571,69	40083,69
Mango	24108,4	8439	581,86	33129,26
Naranja	2369,4	1494,3	92,16	3955,86
Invernadero		70,62	21,93	92,56

Fuente: Elaboración del autor



**Figura 27 .** Distribución porcentual de la Huella Hídrica azul total anual agrícola por producto de la granja experimental de la universidad Surcolombiana.

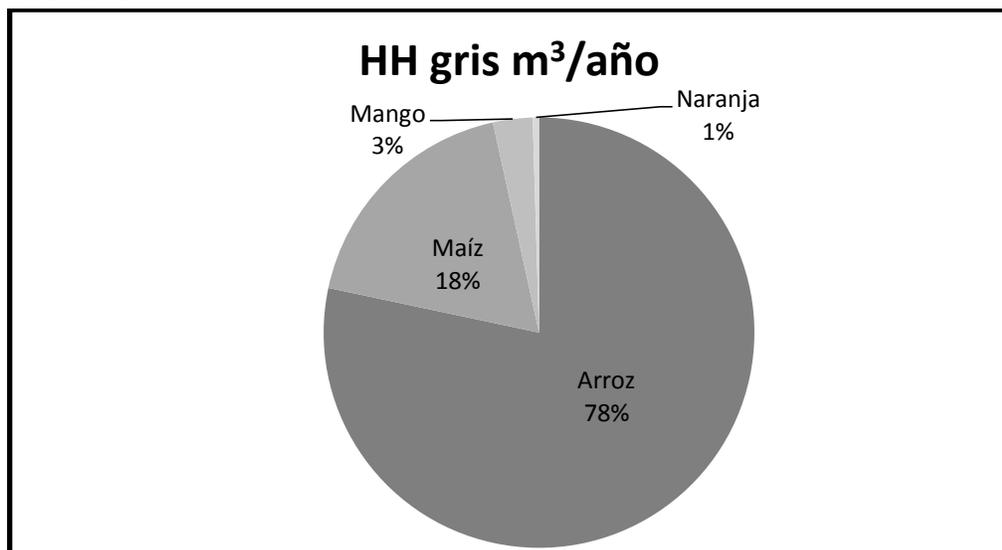
Fuente: Elaboración del autor



**Figura 28.** Distribución porcentual de la Huella Hídrica verde total anual agrícola por producto de la granja experimental de la universidad Surcolombiana.

Fuente: Elaboración del autor

En las figuras 27 y 28 se observa de una manera más simplificada el consumo de agua respecto a la producción anual de los cultivos estudiados, sobresaliendo el cultivo del arroz.



**Figura 29.** Distribución porcentual de la Huella Hídrica gris total anual agrícola por producto de la granja experimental de la universidad Surcolombiana.

Fuente: Elaboración del autor

Para las figuras 27 y 29 se dejó por fuera los valores del invernadero pues al tener una producción tan baja respecto a los demás, da un valor de 0%.

#### **4.4. HUELLA HÍDRICA POR CONSUMIDOR EN LA GRAJA**

De acuerdo con el IDEAM (2010), en promedio una persona consume 110ltr/habitante-día, con este valor y sacando un promedio por consumidor registrado en las facturas de la empresa prestadora de servicio da 113 ltr/habitante-día, similar al anterior dato.

Para la granja este valor se aplicó para los 4 trabajadores que constantemente se la pasa en la granja.

#### **4.5. HUELLA HÍDRICA PECUARIA**

Partiendo de la información suministrada por el encargado del proyecto de acuaponia, se realizaron los cálculos en los que se tuvo en cuenta las dimensiones de los tanques cilíndricos, uno de 7m<sup>3</sup> y dos de 3m<sup>3</sup>, los cuales dos veces por semana se cambia el agua hasta la mitad, Dando como resultado que para 180 días que es el promedio que dura un cultivo de peces para sacar a la venta, se estimó un valor de 176m<sup>3</sup> y para los otros dos que son más pequeños 76,5m<sup>3</sup> para cada uno.

Según en un estudio realizado por el IDEAM 2010 el Huila cuenta con un rendimiento anual a densidades finales de 300gr/3,2m<sup>3</sup>.

Para este sector de la granja no se obtuvo valores de contaminación producidas por los peces.

#### **4.6. HUELLA HÍDRICA PARA OTROS SECTORES DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

En los lagos se estimaron valores de pérdidas por evaporación de 2134,7 m<sup>3</sup> anual en el lago 1 y 2318,9 m<sup>3</sup> anual para el lago 2, esto de acuerdo a las condiciones climáticas que se presentan en la granja experimental de la universidad Surcolombiana.

En jardinería, al contrario que en agricultura, no se determinaron las necesidades de agua para maximizar una producción, pues el propósito en estas plantas es aplicar las láminas de agua suficiente para mantenerlas las condiciones de aceptables de embellecimiento de la zona. Dando como resultado que para un área de 300 mts<sup>2</sup> da una Etverde de 166,92m<sup>3</sup> y la Etazul es de 40,45m<sup>3</sup> anual.

En la parte de lavado de maquinaria se estima que se pueden gastar entre 400 y 600 litros por automotor dependiendo la presión con que se lava y lo sucio que pueda esta la máquina. Para un estimativo aproximado se piensa que el tractor se utiliza como mínimo una vez por día laboral, dejando por fuera lavado de palas, barras y demás. .

#### 4.7. ESTIMATIVO DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA



**Figura 30.** Huella Hídrica de los sectores de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana

Fuente: Elaboración propia

En la figura 30 se observa la incidencia tan alta que tienen los cultivos presentes en la granja experimental de la universidad Surcolombiana sobre el recurso hídrico.

## 5. PUNTOS CRITICOS DEL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO

Terminado las estimaciones de la huella hídrica de los sectores, lo que se buscó con los resultados fue la identificación de las fallas más recurrentes que se presentan en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana que afectan de una manera el recurso hídrico (Tabla 22).

**Tabla. 22.** Puntos Críticos

Captación y Conducción de agua para riego	Bocatoma	Se encuentra en condiciones de mucha vegetación arrastrando con ello sedimentos hasta el desarenador.
		No cuenta con los dispositivos adecuados para medir los volúmenes de agua que ingresan al desarenador.
	Desarenador	No se realiza un mantenimiento periódico, provocando taponamiento en las tuberías
	Vertedero	Ni el estado ni las dimensiones del vertedero son suficientes para recibir el agua que llega de la tubería de descarga que luego es suministrada a los cultivos que son regados por superficie, pues está llena con facilidad provocando un desborde y pérdida del agua.
Suministro de agua a los cultivos	Turnos	Para los frutales se encontró que solo se rego por tres días seguidos una vez al año.
		Para los cultivos de arroz y maíz sus turnos son a consideración del regador.
Captación de agua para las demás actividades de la granja	Aljibe	Del aljibe se suministra agua para los sectores de la casa, el hangar y la parte pecuaria, unos de las fallas que se observa es que este no cuenta con ningún medidor de volumen, para poder tener un conocimiento más claro de lo que se suministra.

Continuación Tabla 11. Resumen de los puntos críticos.

Información de las actividades de la granja	Agrícola, pecuario, casa, hangar	No se cuenta con una base de datos con sus respectivas planillas ni un historial debidamente sistematizado donde registren todos los procedimientos que se realizan en cada cultivo, como los días de riego, inicio y finalización de riego, maquinaria, y demás labores.
		En la parte del proyecto pecuario, fue difícil conseguir información al respecto, pues el encargado no la suministró a tiempo
		La granja aún no cuenta con una base de datos que involucre todas las actividades que se realizan en ella.
		En los sectores son los que menos tienen información al respecto.
Lagos		En muchas ocasiones se empiezan a llenar sin ninguna vigilancia pasando que estos se desbordan causando la pérdida de agua
Agrícola		Altos costos de producción y bajos rendimientos de los cultivos
		Contaminación del recurso hídrico por la utilización de productos químicos y orgánicos.



**Figura 31.** Desarenador



**Figura 32.** Raíces de árboles en los canales



**Figura 33.** Compuertas improvisadas, canales en mal estado



**Figura 34.** .Canales irregulares con compuertas improvisadas

## 6. CONCLUSIONES

La metodología de evaluación de Huella Hídrica se aplicó para cada uno de los sectores de la granja experimental de la universidad Surcolombiana dando una huella hídrica promedio para el año 2014 de 329701,9071 m<sup>3</sup> anual

El análisis se realizó por sectores y sólo se consideraron los que tienen una fuerte demanda sobre los recursos hídricos que cuenta la granja experimental de la universidad Surcolombiana. La estimación de huella hídrica verde se realizó en el sector de agricultura y no se consideró en los demás sectores.

La metodología desarrollada para la estimación de huella hídrica de la granja experimental de la universidad Surcolombiana en este proyecto puede ser utilizada como una guía para otras zonas con sectores de producción similares.

Se encontró que la huella hídrica anual promedio para el sector agrícola por producto en la granja experimental de la universidad Surcolombiana es de 324168,6m<sup>3</sup>; mucho mayor respecto a los demás sectores

El arroz es el que mayor huella hídrica tiene en comparación con los demás cultivos pues este cuenta con un valor de 246999,78 m<sup>3</sup> anual esto podría presentarse por las razones que cuenta con mayor área de producción y su alta dependencia por valor de agua suministrada.

En los resultados se pudo apreciar como el rendimiento tiene una influencia significativa en la huella hídrica de un producto agrícola, un caso en el que se observó claramente este hecho es el arroz, que al contar con suelos muy similares y las mismas condiciones climáticas, los lotes que cuentan con rendimientos altos su huella hídrica es menor, esto se puede ver con los lotes A1(1383,7 m<sup>3</sup>/ton) y B1 (997,2 m<sup>3</sup>/ton) pues aunque fueron sembrados en el primer semestre del 2014, tienen una diferencia de 32,8 m<sup>3</sup>/ton.

En la granja experimental de la universidad Surcolombiana se riega de una manera poco tecnificada, donde no se lleva una contabilización sistemática de frecuencia de riego ni de los volúmenes empleados, aunque en algunos sectores cuentan con sistemas de riego a presión no son utilizados de una manera favorecedora para los cultivos (áreas sembradas con mango, naranja, moringa).

En las prácticas de irrigación que se realizan en los cultivos de mango y naranja, el suelo sufre una sobresaturación de agua en los únicos tres días seguidos que se regaron durante el año 2014, causando estrés hídrico en el resto del año y bajos rendimientos.

Al aplicarse láminas de agua mayores a la necesarias a los cultivos, lo que puede provocarse es que se incrementen los impactos de lavado, lixiviación de nutrientes, mal drenaje, salinización y deterioro de los suelos y consigo mayores consumos del recurso hídrico. En cuanto al riego por superficie, se observó que es ineficiente, pues los canales que conducen el agua hacia los lotes, se encuentran en condiciones desfavorables provocando pérdidas del recurso hídrico y un mal manejo del mismo, ocasionando que se eleven los costos en las producciones de los cultivos que cuentan con este sistema de riego.

Es necesario conocer más a fondo los procesos que llevan a cabo en el proyecto de acuaponía, pues con esto se conocerá los puntos críticos de uso de agua, para poder plantear buenas prácticas enfocados al uso eficiente del agua en la granja.

La falta de una base de datos más estructurada genera problemas a la hora del desarrollo de un estudio, pues al no contar con ellos los factores pueden diferir de la realidad.

Se observó como en algunas producciones se tiene mayores costos respecto a los rendimientos, pues en el cultivo de arroz lote A1, tiene un costo de producción de \$20.292.560, y un costo de venta de \$22.028.705, dejando una ganancia de \$1.736.145 con un rendimiento de 3,9ton/ha, esto mismo ocurrió con el cultivo de maíz lote C1 y el lote A2 con arroz, donde fueron una de las producciones más bajas en ese año.

Al ser este el primer estudio de huella hídrica en la granja experimental de la universidad Surcolombiana, sería conveniente realizar estudios más detallados de cada sector, en relación con datos más específicos en cuanto lo económico, social y ambiental.

Más que pensar en un valor de huella hídrica para la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, que en teoría podría tener una pequeña variación en función de las metodologías de cálculo utilizadas y de la información suministrada, es pensar en los puntos críticos del uso del recurso hídrico y las opciones y

alternativas adecuadas de manejo que se deben implementar para disminuir la huella hídrica, es decir, el impacto negativo sobre el recurso hídrico.

La evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica verde y azul del sector agropecuario de la granja experimental de la universidad Surcolombiana muestra que en el ámbito social y ambiental es sostenible, puesto que el agua utilizada es suministrada del distrito de riego Asojuncal, hasta el momento no presenta ningún problema de escases o estrés hídrico pues durante todo el año cuenta con el agua que se desea obtener, además no se observa competencias con las actividades productivas, y para la evaluación de sostenibilidad de la huella hídrica gris del sector agrícola no es de gran impacto negativo pues estas aguas no son vertidas directamente a ninguna cuenca o afluente.

En el ámbito económico, la sostenibilidad de la huella hídrica del sector agropecuario no es utilizada de forma económica eficiente, debido a las diferencias que se encuentran con los rendimientos, las producciones y costos de ventas de producción, donde se pagaría más por el agua extraída dejando poco en ganancias en cuanto a la producción.

Para los demás sectores su ámbito de sostenibilidad de huella hídrica azul en la actualidad no se encontró ninguna amenaza ambiental, social y económica pues este abastece todas las necesidades básicas humanas, sin afectar de alguna manera significativa a un efluente

## 7. ESTRATEGIAS PARA UNA EFICIENCIA DEL RECURSO HÍDRICO

- Los rendimientos de producción son un valor importante en el resultado de la huella hídrica agrícola por producto, pues este influye de una manera directa en el valor final, como ejemplo se toma el lote A1 que para el primer semestre del año 2014, tuvo un rendimiento de 3,9ton/ha y su huella hídrica fue de 2370 m<sup>3</sup>/ton, lo cual si se aumenta el rendimiento similar al anuario estadístico agropecuario de la gobernación del Huila que es de 6,9ton/ha la huella hídrica bajaría aproximadamente a 1346,4m<sup>3</sup>/ton, disminuyendo casi el 50%, entonces observando esto se debe analizar cuáles son las prácticas agrícolas que se llevan a cabo, o cual es el factor que influye en que las producciones por hectárea sean bajas, ya que la huella hídrica agrícola por producto en m<sup>3</sup> año es casi el 90 % del valor de la huella hídrica total de la granja experimental de la universidad Surcolombiana.
- Aunque la huella hídrica verde aparentemente no constituye un impacto ambiental o económico negativo, probablemente sería una solución en la reducción de la huella hídrica azul, buscando una utilización al máximo del agua lluvia para mejorar la planificación de la irrigación, también se podría pensar en realizar unos recolectores que sirvan para suministrar en épocas secas.
- Como el cultivo de arroz tiene una huella hídrica de 246999,8 m<sup>3</sup>, siendo el mayor respecto a los demás cultivos dentro de la granja experimental de universidad Surcolombiana. Una de las formas de poder reducir este valor es pensar en otros cultivos que demanden menos uso del recurso hídrico, o reducir las cantidades de hectáreas sembradas por arroz, pues este cultivo para el 2014 conto 25,5ha, lo cual provoca que la huella hídrica aumente.
- Para la reducción de la huella hídrica de los sectores de la casa y el hangar, se debe realizar como medida preventiva y de control un estudio de tallado de la red de distribución de agua, para verificar que no se cuente con fugas o daños, además de implementar equipos ahorradores tales

como inodoros y griferías que pueden llegar a lograr un ahorro de agua hasta del 70%.

- Como se asume que el 90% de agua que es utilizada para labores de preparación de alimentos, higiene y usos de sistemas sanitarios se convierte en vertimientos, aumentando el valor de la huella hídrica gris, algo que se puede hacer es poder reutilizar cierta cantidad de agua en labores de regadío o en otras actividades donde se permita.
- Se recomienda que se piense en implementar cultivos que requiera un menor uso de agroquímicos, dado que esto disminuiría el valor de huella hídrica gris, dando como resultado un menor uso de agua para la asimilación de contaminantes.
- Para la granja experimental de la universidad Surcolombiana se recomienda tener una base de datos, en lo posible sistemática para tener un conocimiento más completo de los procesos que se llevan a cabo en ella. Algo que se propone es un formato (anexo D) donde se puede anotar las actividades diarias, rendimientos agrícolas, porcentajes de merma, frecuencia y volúmenes de irrigación, cantidades de agroquímicos aplicados que se realizan en él, pues esta información permitiría tener un mayor conocimiento de los consumos de agua, y con ello poder tener un mayor control del recurso hídrico.
- En los canales que conducen el agua a lotes A, B y C es necesario un mantenimiento o reconstrucción de estos para evitar las pérdidas por infiltración o escorrentía, pues en algunos casos son dañados por el paso de los tractores provocando la pérdida continua de agua.
- Pensando que los lotes A, B y C donde se utilizan cultivos que son regados por superficie, se presentan en ocasiones grandes escorrentías, se recomienda realizar un recolector en la parte del lote A, que es donde se presentan mayores descoles de los lotes pierde por escorrentía, se podría pensar en realizar unos reservorios de recolección de agua, la cual podría ser utilizada en otras actividades y así disminuir huella hídrica azul y gris.
- Para tener un mayor control de los caudales obtenidos del distrito de riego asojuncal, es necesario colocar un medidor de volumen a la entrada del

desarenador para poder obtener un mayor conocimiento de los volúmenes que ingresan a la granja con fines de riego.

- Se podría pensar en un estudio sobre el coeficiente ( $k_c$ ) del cultivo de la moringa, y los rendimientos de producción que este pueda tener, aprovechando que se cuenta con un cultivo ya establecido, y así incluirlo dentro de estudios próximos a detallados sobre la huella hídrica.
- Para tener un mayor conocimiento de la huella hídrica del sector de la casa y el hangar, se debe instalar un medidor de volumen en el lugar de captación, para conocer las cantidades que se extraen del aljibe.
- Al presentarse cultivos (arroz y maíz) con altos costos de producción y bajos rendimientos, se puede pensar en establecer otro tipo de cultivos con mayores eficiencias o cultivos que se utilicen para investigación o actividades para la parte de formación académica.
- Aunque siempre se cuenta con agua en la granja experimental de la universidad Surcolombiana por parte del distrito de riego Asojuncal, se debe hacer un análisis más detallado de sostenibilidad de la Huella hídrica de la zona respecto al río Magdalena, pues de este es donde toma el agua para distribuirla en 3397 has aproximadamente, en su mayoría arroz, donde se recomienda un análisis de cómo las actividades pueden afectar las cuestiones de escasez de agua y su contaminación, y buscar alternativas para que los procesos puedan ser sostenibles desde la perspectiva del agua.

## BIBLIOGRAFÍA

Aldaya, M., Niemeyer, I., Zarate, E., 2011. Agua Globalización: Retos y oportunidades para una mejor Gestión de los recursos hídricos. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros, n. ° 230.

Anaconda, P., Rojas, F., 1999. Tesis Clasificación de los suelos de la granja “la Universidad” con fines de riego y drenaje.

Anuario Estadístico Agropecuario Año 2012 Neiva, Gobernación Del Huila  
Secretaría De Agricultura Y Minería.

Arévalo, D., 2012. Una mira a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica. WWF Colombia.

Arango, J., 2013. Tesis sobre Determinación de la huella hídrica del sector doméstico en la cuenca del río Porce. Universidad pontificia Bolivariana. Escuela de ingeniería Facultad de ingeniería Química. Programa de ingeniería Química. Medellín

Bolaños, M., 2011. Tesis sobre Determinación de la huella hídrica y comercio de agua virtual de los principales productos agrícolas de Honduras

Campo, O. 2011 El cambio climático y su impacto en el agro. #33 revista de ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá D.C., Colombia. rev.ing. ISSN. 0121-4993.

Campuzano, C., y Arévalo, D., 2012. Guía Metodológica de Aplicación de Huella Hídrica en cuenca. Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA.

Chapagain, A., Hoekstra, A., 2010. The Blue, Green And Grey Water Footprint Of Rice From Production And Consumption Perspectives.

FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO.

Guía estándar internacional ISO 14046:2014, Huella hídrica: Principios, requerimientos y guía para estimarla. La International Organization for Standardization (ISO) publicó la guía estándar internacional ISO 14046:2014.

Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., and Mekonnen, M., 2011. The Water Footprint assessment Manual. Setting the global Standard. Londres: Earthscan, 2011

IDEAM, 2010. Estudio Nacional Del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C.

Leal, B., Bernal, D., Gomez, G., Ramirez, L., 2014. Trabajo De Practica Integral Evaluación Del Consumo De Agua Para El Cultivo De Arroz De La Granja Experimental De La Universidad Surcolombiana Riego Por Superficie. Neiva. Huila.

Montaño J., 2002. Guía de ahorro y eficiencia del agua. Centro nacional de producción más limpia y tecnologías ambientales

Münger, F., 2010. Conferencia huella hídrica Colombia suiza FIMA, Bogotá.

Polania, D., 2011. Tesis Sobre Diseño Y Construcción Del Sistema De Riego Para Las Parcelas De Estudio De La (*Moringa Oleífera*) En La Granja De La Universidad Surcolombiana En El Municipio Del Palermo Dpto Huila.

Tafur, C., Tovar, R. 2008. Tesis Sobre Suministro Y Manejo Del Recurso Hidrico En El Centro Piloto De Riego A Presión (Ceprap) De La Granja De La Universidad Surcolombiana Municipio De Palermo Dpto Huila.

WWAP (World Water Assessment Programme). 2012. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris, UNESCO.

Zarate, E. Kuiper, D., 2013. Evaluación de Huella Hídrica del banana para pequeños productores en Perú y Ecuador. GOOD STUFF INTERNATIONAL – Switzerland.

# **ANEXOS**

## Anexo A. Programación de Riego

### Lote A

PROGRAMACION DE RIEGO PARA LOTE A 2014-A			
ARROZ			
FECHA		INICIO	FIN
28/01/2014	SIEMBRA		
06/02/2014		08:30	03:30
07/02/2014		08:30	03:30
08/02/2014		08:30	03:30
10/02/2014		08:30	03:30
11/02/2014		08:30	03:30
12/02/2014		08:30	03:30
20/02/2014		08:30	03:30
21/02/2014		08:30	03:30
26/03/2014		08:30	03:30
10/04/2014		08:30	03:30
14/04/2014		08:30	03:30
22/04/2014		08:30	03:30
23/04/2014		08:30	03:30
28/04/2014		08:30	03:30
07/05/2014		08:30	03:30
16/05/2014		08:30	03:30
17/05/2014		08:30	03:30
19/05/2014		08:30	03:30
20/05/2014		08:30	03:30
26/05/2014		08:30	03:30
27/05/2014		08:30	03:30
05/06/2014	COSECHA		

---

**PROGRAMACION DE RIEGO PARA LOTE B 2014-A**

---

<b>ARROZ</b>			
<b>FECHA</b>		<b>INICIO</b>	<b>FIN</b>
<b>27/03/2014</b>	<b>SIEMBRA</b>		
<b>04/04/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>05/04/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>07/04/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>15/04/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>16/04/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>30/04/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>21/05/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>22/05/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>26/05/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>27/05/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>09/06/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>10/06/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>11/06/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>16/06/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>17/06/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>18/06/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>21/06/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>01/07/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>02/07/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>03/07/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>07/07/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>08/07/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>11/07/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>21/07/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>26/07/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>31/07/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>01/08/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>05/08/2014</b>		<b>08:30</b>	<b>03:30</b>
<b>12/08/2014</b>	<b>COSECHA</b>		

---

**PROGRAMACION DE RIEGO LOTE A 2014-B**

<b>FECHA</b>		<b>INICIA</b>	<b>FINAL</b>
10/07/2014	RIEGO	08:30	03:30
28/07/2014	SIEMBRA		
30/07/2014		08:30	03:30
31/07/2014		08:30	03:30
02/08/2014		08:30	03:30
20/08/2014		08:30	03:30
21/08/2014		08:30	03:30
25/08/2014		08:30	03:30
26/08/2014		08:30	03:30
01/09/2014		08:30	03:30
02/09/2014		08:30	03:30
03/09/2014		08:30	03:30
08/09/2014		08:30	03:30
12/09/2014		08:30	03:30
15/09/2014		08:30	03:30
22/09/2014		08:30	03:30
23/09/2014		08:30	03:30
26/09/2014		08:30	03:30
28/09/2014		08:30	03:30
29/09/2014		08:30	03:30
03/10/2014		08:30	03:30
06/10/2014		08:30	03:30
14/10/2014		08:30	03:30
15/10/2014		08:30	03:30
18/11/2014		08:30	03:30
27/11/2014		08:30	03:30
01/12/2014		08:30	03:30
05/12/2014		08:30	03:30
10/12/2014	COSECHA		

**PROGRAMACION DE RIEGO LOTE C 2014-B**

<b>FECHA</b>		<b>INICIA</b>	<b>FINAL</b>
15/07/2014	RIEGO	08:30	03:30
14/08/2014	SIEMBRA		
21/08/2014		08:30	03:30
22/08/2014		08:30	03:30
23/08/2014		08:30	03:30
25/08/2014		08:30	03:30
04/09/2014		08:30	03:30
05/09/2014		08:30	03:30
06/09/2014		08:30	03:30
11/09/2014		08:30	03:30
13/09/2014		08:30	03:30
18/09/2014		08:30	03:30
20/09/2014		08:30	03:30
24/09/2014		08:30	03:30
25/09/2014		08:30	03:30
27/09/2014		08:30	03:30
30/09/2014		08:30	03:30
01/10/2014		08:30	03:30
02/10/2014		08:30	03:30
17/10/2014		08:30	03:30
18/10/2014		08:30	03:30
24/10/2014		08:30	03:30
03/12/2014		08:30	03:30
04/12/2014		08:30	03:30
26/12/2014	COSECHA		

**PROGRAMACION DE RIEGO PARA LOTE C 2014-A**

<b>MAIZ</b>			
<b>FECHA</b>		<b>INICIO</b>	<b>FIN</b>
22/02/2014	SIEMBRA		
28/03/2014		08:30	03:30
31/03/2014		08:30	03:30
07/04/2014		08:30	03:30
08/04/2014		08:30	03:30
09/04/2014			
21/04/2014			
06/05/2014			
05/07/2014	COSECHA		

## Anexo B. Tabla de Fertilizantes aplicados.

Fertilizantes aplicados			
Lote	Area (ha)	Insumos	Cantidad (bultos)
Arroz lote A1. 2014- A	6	Triple 18+Zn	17.5
		Hidran	18
		Urea	22
Arroz lote B1. 2014- A	6.5	Rafos	21
		Map	4
		Cimos	7
		Sam	14
		Urea	40,5
Maiz lote C1. 2014- A	7	Rafos	18
		Korkali	10
		Urea	14
		Terrabiol	14
		Sam	10
		Nitroxted	21
		Map	4
		Kanlkoon Kali	11
		Cosmo	7
Arroz lote A2 . 2014- B	6	Sam	12
		Map	12
		Kcl	
		Urea	24
		Triple 18+Zn	10
Arroz lote C2. 2014- B	7	Map	7
		Urea	29
		Radiquel	7
		Sulcamag	6
		Abotk	24
		Amidas	14

Lote	Insumos	Cantidad
Frutales (Mango y Naranja)	Agrimins	23 kg
	Microfertil	184 kg
	Samx50	150 kg
	Solufos	50 kg
	Terrabiol	20 kg
	Triple 18	400 kg
	Urea	150 kg
	Sumag	250 kg
	Pamenkali	450 kg
	Inta cosecha	3.5 kg
	Aminogib	4L
	Biocel	1L
	Hurmonagro	2 L
	Ares	12L
Menores frutales	4 Kg	

Lote	Insumos	Cantidad (kg)
Invernadero	Nitrofer Calcio	12,5
	DAP	25
	KCl	50
	Urea	50
	Sumag	50
	Cosmo	12

## Anexo C. Datos arrojados por el modelo CROPWAT 8.0

### Maíz

Lamina de riego bruta total	882
lamina de riego neta total	441
perdida de riego totales	361,1
Etc total (mm)	375,5
uso real del agua del cultivo (mm)	375,3
riego neto total (mm)	882
Requerimiento real de riego mm	146,1
Etverde (mm)	375,5
Etazul (mm)	146,1

### Mango

Lamina de riego bruta total	380
lamina de riego neta total	266
perdida de riego totales	199
Etc total (mm)	1025,9
uso real del agua del cultivo (mm)	1027,3
riego neto total (mm)	380
Requerimiento real de riego mm	714,4
Etverde (mm)	759,9
Etazul (mm)	266

### Naranja

Lamina de riego bruta total	690
lamina de riego neta total	483
perdida de riego totales	438,4
Etc total (mm)	769,5
uso real del agua del cultivo (mm)	770,7
riego neto total (mm)	690
Requerimiento real de riego mm	297,6
Etverde (mm)	471,9
Etazul (mm)	297,6

## Arroz

lamina de riego neta total (mm)	1549,4
uso real del agua del cultivo (mm)	1038,8
Etc mm/dec	933
Prec, efec mm/dec	416,8
Etverde (mm)	339,2
Etazul (mm)	543,6



