

1-1-2017

## **Comparación de la huella hídrica de dos cultivos de mangostino ubicados en Restrepo y San Martín – Meta**

Carolina Inés Góngora Pava  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Íngrid Karina Aristizabal Gutierrez  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria)

---

### **Citación recomendada**

Góngora Pava, C. I., & Aristizabal Gutierrez, Í. K. (2017). Comparación de la huella hídrica de dos cultivos de mangostino ubicados en Restrepo y San Martín – Meta. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/514](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/514)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

**COMPARACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE DOS CULTIVOS DE  
MANGOSTINO UBICADOS EN RESTREPO Y SAN MARTÍN – META.**

**CAROLINA INÉS GÓNGORA PAVA**

**INGRID KARINA ARISTIZABAL GUTIERREZ**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2017**

**COMPARACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE DOS CULTIVOS DE  
MANGOSTINO UBICADOS EN RESTREPO Y SAN MARTÍN – META.**

**CAROLINA INÉS GÓNGORA PAVA**

**INGRID KARINA ARISTIZABAL GUTIERREZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
AMBIENTAL Y SANITARIO**

**DIRECTOR:**

**JESUS ALFONSO TORRES ORTEGA**

**ING. QUÍMICO**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2017**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

**Jesús Alfonso Torres Ortega**

DIRECTOR

---

**Julio César Ramírez**

JURADO 1

---

**Julián Puerto**

JURADO 2

## DEDICATORIA

*Dedico este nuevo paso de mi vida. Primero que todo a Dios porque fue mi guía en el transcurso de mi carrera, a mis padres Agustín Góngora y Gloria Pava porque fueron las personas que más me apoyaron en cada paso que daba, a mi hijo y mi hermana que fueron mi motivación y apoyo para culminar mis estudios y poder sacar mi carrera adelante, como ingeniera ambiental y sanitaria. A todos los profesores que me brindaron el conocimiento y dedicación para poder salir como una buena profesional y a todas las demás personas que estuvieron conmigo en este proceso.*

*Carolina Inés Góngora pava*

## DEDICATORIA

*Dedico esta tesis primeramente a Dios, porque nunca me ha abandonado y me ha apoyado en los obstáculos que se me han presentado a lo largo de mi carrera y de mi vida. A mis padres Juan Pablo Camargo Zea y Lidda Esperanza Gutiérrez Cárdenas que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llevar a ser una profesional.*

*A mis hermanos y demás familia en general por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera Universitaria.*

*Ingrid Karina Aristizabal Gutiérrez*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Los autores agradecen al director de la tesis, Ing. Jesús torres, por su dedicación y apoyo durante la ejecución del proyecto.*

*Al personal de las fincas por su colaboración, comprensión, apoyo y su constante interés por el desarrollo del proyecto.*

*A cada una de nuestras familias por el respaldo y tiempo que dedicaron para la culminación de este proyecto.*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	13
1. INTRODUCCIÓN .....	15
2. RECEPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	17
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	17
2.2. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	17
3. OBJETIVOS.....	18
3.1. GENERAL:.....	18
3.2. ESPECÍFICOS:.....	18
4. MARCO CONCEPTUAL.....	19
5. MARCO TEÓRICO .....	22
5.1. Mangostino .....	22
5.2. Determinación de la textura del suelo.....	23
5.3. Balance Hídrico .....	25
5.5. Concepto huella hídrica .....	30
5.6. CROPWAT 8.0 .....	31
6. MARCO LEGAL .....	33
7. METODOLOGÍA .....	36
8. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	39



8.1.	Fase I: Obtención de información.....	39
8.1.1.	Información de la zona.....	39
8.1.1.1.	Cultivo de Mangostino 1.....	39
8.1.1.2.	Cultivo de Mangostino 2.....	40
8.1.2.	Información del suelo y cultivo.....	41
8.1.2.1.	Cultivo de Mangostino 1.....	41
8.1.2.2.	Cultivo de Mangostino 2.....	45
8.1.3.	Información hidrometeorológica.....	48
8.1.3.1.	Cultivo de Mangostino 1.....	48
8.1.3.2.	Cultivo de Mangostino 2.....	54
8.2.	Fase II: Elaboración del diagnóstico del cultivo.....	60
8.2.1.	Cultivo de Mangostino 1.....	60
8.2.2.	Cultivo de Mangostino 2.....	63
8.3.	Fase III: Cálculo de la huella hídrica.....	66
8.3.1.	Resultados obtenidos mediante el uso del software CROPWAT 8.0.....	68
8.3.2.	Cálculo de la huella hídrica azul.....	88
8.3.3.	Cálculo de la huella hídrica verde.....	89
8.3.4.	Cálculo de la huella hídrica gris.....	91
8.3.5.	Cálculo de la huella hídrica total.....	91
8.5.	Fase IV: Formulación de alternativas.....	95

9.	CONCLUSIONES .....	104
10.	RECOMENDACIONES .....	106
11.	REFERENCIAS .....	107

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fruto y árbol de mangostán. Fuente: (Frutas y Verduras Eladio, S. L, 2015), (Autores).....	22
Figura 2: Determinación de la textura por método del tacto, Fuente: (Mary, 2001) .....	25
Figura 3: Fases de ejecución del proyecto; Fuente: Autores .....	37
Figura 4: Ubicación Cultivo de Mangostino 1; Fuente: Google Earth; Modificado por: Autores.....	40
Figura 5: Ubicación Cultivo de Mangostino 2; Fuente: Google Earth; Modificado por: Autores.....	41
Figura 6: La influencia del estrés hídrico foliar inducido por la retención del riego en días desde el inicio del riego hasta la aparición de flores y el número de frutos por árbol; Fuente: (Paull, 2012) .....	43
Figura 7: Determinación de la textura del suelo; Fuente Autoras, Tomado de: (USDA, 2006).....	44
Figura 8: Características del suelo basado en su textura; Fuente: (USDA, 2006).....	45
Figura 9: Determinación de la textura del suelo; Fuente Autoras, Tomado de: (USDA, 2006).....	47
Figura 10: Características del suelo basado en su textura; Fuente: (USDA, 2006).....	47
Figura 11: Datos de viento, Municipio de Acacias; Fuente: (Meteoblue, 2016).....	53
Figura 12: Distribución de las plantas en el cultivo; Fuente: Autores.....	61
Figura 13: Punto de bombeo, Toma de agua para riego; Fuente: Autores .....	61
Figura 14: Distribución del riego por manguera; Fuente: Autores.....	62
Figura 15: Otras actividades en el predio; Fuente: Autores .....	63

Figura 16: Distribución de las plantas en el cultivo 2 .....	64
Figura 17: Zona de alistamiento del fruto .....	65
Figura 18: Entrada de datos meteorológicos al modelo; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0.....	68
Figura 19: Ingreso de datos de precipitación al modelo; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0.....	69
Figura 20: Datos relativos al cultivo de Mangostán; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0.....	70
Figura 21: Etapas de desarrollo del cultivo de Mangostán; Fuente (Paull, 2012) .....	71
Figura 22: Valores de Ky para cada etapa del desarrollo; Fuente: (FAO, 2012) .....	72
Figura 23: Datos generales del suelo; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0.....	73
Figura 24: Entrada de datos meteorológicos al modelo; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0.....	80
Figura 25: Ingreso de datos de precipitación al modelo; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0.....	80
Figura 26: Datos generales del suelo; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0.....	81
Figura 27: Influencia de cada componente en el valor de huella hídrica total (Cultivo 1); Fuente: Autores.....	93
Figura 28: Influencia de cada componente en el valor de huella hídrica total (Cultivo 2), Fuente: Autores.....	94
Figura 29: Datos de cultivo para un año de producción; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0.....	95

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Capacidad de infiltración según tipo de suelo .....	28
Tabla 2: Marco legal aplicable .....	33
Tabla 3: Ventajas de cada tipo de metodología .....	36
Tabla 4: Características del Cultivo 1.....	42
Tabla 5: Características del Cultivo 2.....	46
Tabla 6: Valores de Precipitación Estación: La Holanda, Año 2015 .....	49
Tabla 7: Valores de Brillo solar en horas para el año 2015.....	50
Tabla 8: Valores de Temperatura para el año 2015 .....	51
Tabla 9: Valores de Humedad Relativa en % para el año 2015 .....	52
Tabla 10: Valores promedio de Velocidad del Viento .....	54
Tabla 11: Valores de Precipitación Estación: Salinas de Upin, Año 2015.....	55
Tabla 12: Valores de Brillo solar en horas para el año 2015.....	56
Tabla 13: Valores de Temperatura para el año 2015 .....	57
Tabla 14: Valores de Humedad Relativa en % para el año 2015 .....	58
Tabla 15: Valores de Velocidad del viento, Estación Salinas de Upin año 2015.....	59
Tabla 16: Tasa de aplicación de fertilizante por árbol según la edad del mismo .....	66
Tabla 17: Coeficientes de cultivo del Mangostan para la estimación del requerimiento de agua en diferentes etapas de desarrollo de la planta.....	70
Tabla 18: Resultados de cálculo del requerimiento de agua en el cultivo 1 de Mangostán .	74
Tabla 19: Resultados de cálculo del requerimiento de agua en el cultivo 2 de Mangostán .	82
Tabla 20: Datos de requerimiento de riego para un año de producción (Cultivo 1) .....	96
Tabla 21: Datos de requerimiento de riego para un año de producción (Cultivo 2) .....	98

## **RESUMEN**

El presente informe expone los resultados obtenidos de la comparación de la huella hídrica generada por dos cultivos de Mangostino ubicados en condiciones geográficas diferentes. La evaluación de la huella hídrica fue realizada mediante una metodología mixta que incluye variables cuantitativas y cualitativas para la obtención de los resultados esperados. La metodología fue dividida en cuatro fases de ejecución las cuales corresponden a la recopilación de información meteorológica y del cultivo, el diagnóstico actual del cultivo, el cálculo de la huella hídrica y finalmente la formulación de alternativas de manejo que puedan reducir la huella calculada.

La información recopilada corresponde a los datos obtenidos de la estación meteorológica de La Holanda monitoreada por el IDEAM, información primaria levantada en campo respecto al fruto y condiciones de suelo obtenidas a partir del software Soil Water Characteristics desarrollado por la USDA. Posterior al diagnóstico del cultivo en sus condiciones actuales se procedió al cálculo de la huella hídrica, cálculo que estuvo apoyado mediante el uso del software de modelación CROPWAT 8.0. Se obtuvo que el cultivo de mangostino ubicado en el municipio de San Martín genera un consumo de agua total de 3562,34 m<sup>3</sup>/ton en sus primeros 3 años de desarrollo y un consumo de 1057,57 m<sup>3</sup>/ton en su fase productiva. Mientras que el cultivo de mangostino ubicado en Restrepo tiene un consumo total de 3021.3 m<sup>3</sup>/ton en sus primeros 3 años de desarrollo y un consumo de 898 m<sup>3</sup>/ton en su fase productiva.

El componente de la huella hídrica que más influencia tiene en el valor total, corresponde a la huella hídrica verde, asociada a la precipitación efectiva y las necesidades de riego, dadas

las condiciones de la zona son mínimas. El componente gris de la huella hídrica no se evidencia dado que no se aplican ningún tipo de agroquímicos en el cultivo.

A partir de los resultados obtenidos fueron propuestas alternativas de manejo para la reducción del valor de la huella hídrica en sus distintos componentes. Se recomienda ampliar el estudio de este tipo de frutos a fin de encontrar similitudes que permitan la implementación de prácticas de gestión del recurso hídrico similares en zonas diferentes.

## 1. INTRODUCCIÓN

El control del consumo del recurso hídrico en las diferentes actividades económicas a nivel nacional es necesario para una adecuada gestión del agua, más aún en épocas donde la variabilidad climática compromete la disponibilidad y calidad del recurso. Para esto es fundamental establecer la huella hídrica que cada sector posee. Sin embargo, teniendo en cuenta el estudio adelantado por la WWF en el país, titulado: “Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica”, donde se establece que el sector agrícola es el primer sector en términos de consumo de agua frente a otros seis sectores incluidos en el estudio, es en este en el cual se centra el desarrollo del presente proyecto.

La disponibilidad de agua para el cultivo, así como los requerimientos nutricionales, entre otros factores, determinan el buen crecimiento de la planta, el correcto desarrollo del fruto y la calidad del sabor de este último. No obstante, no en toda actividad agrícola existe un control real y constante sobre el consumo de recursos que demanda el cultivo, en especial del agua, lo que puede traer consecuencias asociadas al uso ineficiente del recurso hídrico. La mala gestión del agua en la agricultura no solo genera un impacto ambiental por el deterioro del recurso, sino un impacto social por la disponibilidad de este e incluso puede llegar a deteriorar la calidad del cultivo disminuyendo su productividad.

Adicionalmente, el sector agrícola es de especial importancia para la economía del país y se encuentra en constante crecimiento. Colombia a 2015, producía 31,6 millones de toneladas de alimentos al año, exportaba 4,4 millones e importaba 10,3 millones de toneladas.



(Restrepo, 2015). Entre los mercados emergentes se encuentra el del mangostán, donde el país a 2013 ya contaba con la primera empresa nacional exportadora de este fruto, que además cuenta con certificación Global GAP desde este año.

Dado el constante crecimiento de este sector en el mercado, el presente proyecto se centró en comparar el consumo de agua para dos cultivos de mangostino ubicados en el departamento del Meta (Municipio de San Martín y Municipio de Restrepo), que presentan características climáticas y de suelo diferentes.

La evaluación de la huella hídrica de los cultivos se realizó con base en información meteorológica de la zona de estudio e información primaria relacionada con el cultivo. Posteriormente, se elaboró el diagnóstico de las condiciones actuales de cada cultivo y se procedió al cálculo de la huella hídrica desde sus distintos componentes. Los resultados obtenidos fueron comparados para evaluar el comportamiento de esta especie frente a las condiciones climatológicas de la zona y permitieron la formulación de alternativas de manejo en el cultivo que permitan un uso más eficiente del agua y mejoren la productividad del terreno.

En el presente documento se evidencia la descripción del problema y la formulación de los objetivos de investigación. Posteriormente se exponen el marco teórico, conceptual y legal que le da soporte a la investigación realizada. Seguido a esto se describe la metodología desarrollada durante la ejecución del proyecto y se presentan los resultados obtenidos en conjunto con los análisis derivados de los mismos. Finalmente, se plantearon conclusiones y recomendaciones que permiten que en próximas investigaciones se trabaje con mayor profundidad en el tema.

## **2. DESCRIPCION Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **2.1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La actividad agrícola en Colombia, sobre todo la de los pequeños productores, no se encuentra controlada, además no hay estudios detallados que permitan generar alternativas de manejo en estos cultivos, con lo cual se genere un adecuado manejo del recurso hídrico y la optimización de su uso con el fin de preservar los niveles de agua en la fuente y aumentar la eficiencia de producción de la parcela cultivada.

### **2.2.FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Existen diferencias significativas en la huella hídrica de dos cultivos de mangostino, que están ubicados en regiones geográficas que presentan diferentes patrones de precipitación?

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1.GENERAL:**

Comparar la huella hídrica de dos cultivos de mangostino, ubicados en condiciones geográficas diferentes, a fin de establecer patrones de consumo que permitan generar estrategias de manejo del recurso hídrico promoviendo el uso eficiente de éste en el proceso de producción.

#### **3.2.ESPECÍFICOS:**

- Realizar el diagnóstico del estado actual de consumo de agua en la producción de mangostino, en los cultivos ubicados en Restrepo y San Martín - Meta.
- Determinar el valor de la huella hídrica (azul, verde y gris) generada en el proceso de producción del mangostino en los cultivos seleccionados y encontrar patrones de consumo.
- Formular alternativas que mejoren el uso y gestión del recurso hídrico en los cultivos de mangostino.

#### 4. MARCO CONCEPTUAL

**Agua subterránea:** Se define como agua subterránea el agua sub-superficial que aparece justo bajo el nivel freático en suelos y formaciones geológicas completamente saturadas. (Arizabalo, 1991)

**Balance hídrico:** Estudio que permite hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del hombre. (UNESCO, 1981). El balance hídrico es una herramienta que permite conocer características de la cuenca mediante la aplicación del principio de conservación de la masa o la ecuación de continuidad (Rose, 2004).

**Conductividad Hidráulica:** La conductividad hidráulica de un suelo es la medida de la capacidad del suelo para transmitir agua cuando se somete a un gradiente hidráulico. La conductividad hidráulica se define por la ley de Darcy, para un flujo vertical unidimensional. (Argonne National Laboratory, 2000)

**Cropwat 8.0:** Es un programa informático para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y las necesidades de riego dependiendo del suelo, del clima y de los cultivos. Además, el programa permite el desarrollo de programas de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo de esquemas del suministro de agua variando los patrones de cultivo (FAO, 2013)

**Estrés hídrico:** El estrés hídrico ocurre cuando la demanda de agua excede la cantidad disponible durante un período determinado o cuando la mala calidad restringe su uso. El estrés hídrico provoca el deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad

(sobreexplotación de acuíferos, ríos secos, etc.) y calidad (eutrofización, contaminación de materia orgánica, intrusión salina, etc.) (European Environmental Agency, 2005)

**Huella hídrica:** Es el volumen de agua utilizado directa o indirectamente para la producción de cualquier bien o servicio, sumados los consumos de todas las etapas de su cadena productiva. (Arévalo, 2012)

**Huella hídrica Azul:** Volumen de agua dulce extraído de una fuente superficial o subterránea, consumido para producción de bienes y servicios, cubriendo una demanda de agua no satisfecha a causa de un déficit en la disponibilidad de agua procedente de la lluvia. (UNESCO, 2011)

**Huella hídrica Gris:** Volumen de agua necesaria para que el cuerpo receptor reciba el vertido contaminante asociado a la cadena de producción y/o suministro sin que la calidad del agua supere los límites permitidos por la legislación vigente. Se calcula como el volumen de agua adicional teórica necesaria en el cuerpo receptor, por lo que no se refiere a generar un nuevo consumo, sino a reducir el volumen de contaminante (UNESCO, 2011)

**Huella hídrica Verde:** Volumen de agua lluvia que no se convierte en escorrentía, por lo que se almacena en los estratos permeables superficiales y así satisface la demanda de la vegetación. Esta agua subterránea poco profunda es la que permite la existencia de la vegetación natural y vuelve a la atmósfera por procesos de evapotranspiración. (UNESCO, 2011)

**Mangostán:** El mangostán es un árbol perenne de crecimiento lento, que puede medir de 7 a 25m de altura, originario del sureste asiático, principalmente del archipiélago malayo.

Existen más de 400 especies, de las cuales *Garcinia mangostana* es la de mayor importancia comercial. (InfoAgro, 2003)

**Riego por aspersión:** Sistema de riego superficial que se produce asperjando el agua en un rociado de pequeñas gotas sobre o entre las plantas, imitando el agua de lluvia.

**Riego por goteo:** Igualmente conocido bajo el nombre de «riego gota a gota», es un método de irrigación utilizado en las zonas áridas pues permite la utilización óptima de agua y abonos, es un medio eficaz y pertinente de aportar agua a la planta, ya sea en cultivos en línea (mayoría de los cultivos hortícolas o bajo invernadero, viñedos) o en plantas aisladas.

**Textura del Suelo:** La proporción o porcentaje de peso de las partículas menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) existentes en los horizontes del suelo.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1. Mangostino

El mangostino, también conocido con el nombre de mangostán, se caracteriza por ser un fruto de las Gutíferas, una familia de árboles tropicales originarios sobretodo en América y Asia (Natarsan, 2008), es un fruto de un delicioso sabor, posee gajos de color blanco y corteza dura que se obtiene de un árbol tropical originario de Indonesia (véase Fig. 1). Es importante mencionar que está compuesto por una gran cantidad de nutrientes y produce muchos beneficios en el organismo (Colombia, 2012).



Figura 1: Fruto y árbol de mangostán. Fuente: **(Frutas y Verduras Eladio, S. L, 2015)**,  
(Autores)

El mangostán es un árbol de 10 a 20 m de altura, con un tronco central del que salen ramas horizontales opuestas que dan a la planta forma cónica o piramidal. El árbol crece lentamente y los primeros frutos aparecen de 8 a 10 años después de la siembra. (León, 2000)

## **5.2.Determinación de la textura del suelo**

El análisis textural o granulométrico es el conjunto de operaciones útiles para determinar las proporciones cuantitativas de cada fracción granulométrica que presenta un suelo. Existen diversas técnicas para determinación de texturas. En laboratorio la más común es por volumen de sedimentación, por el método de la pipeta y por el método Bouyucos. (Ciancaglini, 2001) Sin embargo, en campo es posible determinar la textura del suelo por métodos organolépticos.

El procedimiento para la determinación y la clasificación textural del suelo se muestra a continuación (Mildford, 1997):

1. Tome una porción del suelo y haga una pelota de suelo humedeciéndola hasta llegar al “punto pegajoso”. El punto pegajoso se logra cuando la bola de suelo no está tan húmeda que tienda a quedarse pegada en la mano, ni tan seca que no se sienta pegajosa. Cuando el suelo esté en su punto, presiónelo entre el dedo pulgar y el índice y trate de formar una plasta lo más larga posible.
2. Determine en que categoría se encuentra el suelo (arcillosa, franco-arcillosa, o franca) teniendo en cuenta las características de la figura 2.



3. Una vez determinado si su suelo es arcilloso, franco-arcilloso, o franco, reexamine la muestra.

Si al frotarlo se siente definitivamente arenoso (áspero), puede clasificarse en arcillo-arenoso, franco-arcillo-arenoso, o franco-arenoso. Si al frotarlo se siente excepcionalmente suave, llámelo arcillo-limoso, franco-arcillo-limoso, o franco-limoso. Si no se siente ni arenoso ni excepcionalmente suave, llámelo simplemente arcilloso, franco-arcilloso, o franco.

A suelos de grano grande que se muestran muy sueltos cuando están secos, y que forman terrones muy frágiles cuando están húmedos llámelos arenosos. A los que son un poco más cohesivos cuando están secos, y que cuando están húmedos forman terrones que pueden levantarse del suelo con la mano sin que se fracturen (pero que se fracturan al dejarlos caer sobre la palma de la mano desde una altura de 15-20 cm) llámelos areno-francos. Si los terrones no se fracturan al dejarlos caer desde una altura de 15-20 cm llámelos franco-arenosos. (Mary, 2001)

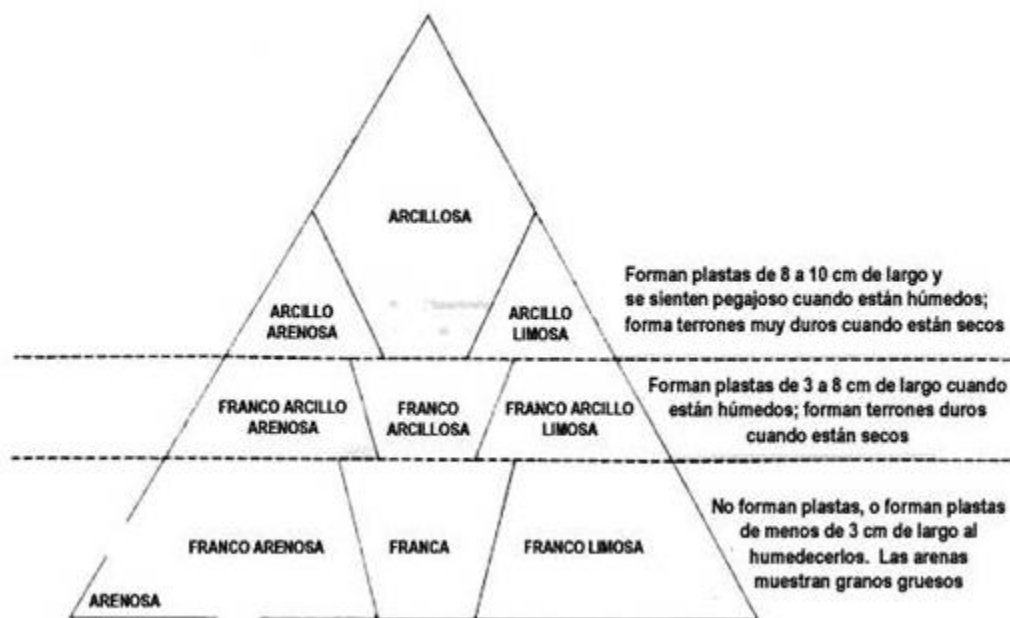


Figura 2: Determinación de la textura por método del tacto, Fuente: (Mary, 2001)

### 5.3. Balance Hídrico

El balance hídrico es una herramienta que permite conocer características de la cuenca mediante la aplicación del principio de conservación de la masa o la ecuación de continuidad (Rose, 2004), de acuerdo con este principio, cualquier diferencia entre las entradas y salidas deben reflejarse en un cambio en el almacenamiento de agua dentro del área del presupuesto. (UNESCO, 1981)

La ecuación del balance hídrico, para cualquier zona o cuenca natural, indica los valores relativos de entrada y salida de flujo y la variación del volumen de agua almacenada en la zona o masa de agua.

Las entradas en la ecuación del balance hídrico comprenden la precipitación (P) y los caudales de entrada aportados por fuentes superficiales y subterráneas (QsI y QuI). Las salidas están comprendidas por la evapotranspiración (E) y la salida de corrientes superficiales y subterráneas (Qs0 y Qu0). El almacenamiento está representado por  $\Delta s$  y un término (v) residual o de diferencia incluido por el error en el que puede incurrir cualquier medición. (UNESCO, 1981)

De esta manera la ecuación general (Ecuación 1) del balance hídrico quedaría:

$$\text{ecuacion 1: } P + QsI + QuI - E - Qs0 - Qu0 - \Delta s - v = 0$$

El conocimiento de la estructura del balance hídrico de lagos, cuencas, etc, es fundamental para conseguir un uso más racional del recurso agua en el espacio y el tiempo, así como para mejorar el control y la distribución del mismo.

En el caso de los cultivos, la planificación agrícola se ve beneficiada con el conocimiento del balance hídrico, ya que la utilización del agua para su consumo por las plantas trae consigo problemas de abastecimiento tanto superficial como subterráneo, así mismo, el estudio de los excesos y deficiencias de agua condiciona las posibilidades de conducir con éxito los cultivos. (Legarda & Benavides, 2000)

### **5.3.1. Evapotranspiración**

Se conoce como evapotranspiración (E), a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. (FAO, 2006)

- **Evaporación:** La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.
- **Transpiración:** La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del mismo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. (FAO, 2006)

### 5.3.2. Infiltración

Se define como infiltración al paso del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Es un proceso que depende fundamentalmente del agua disponible a infiltrar, la naturaleza del suelo, el estado de la superficie y las cantidades de agua y aire inicialmente presentes en su interior. (Universidad de Piura, 2010)

El concepto de capacidad de infiltración como se observa en la Tabla 1, es aplicado para diferenciar el potencial que el suelo tiene de absorber agua a través de su superficie, en términos de lámina de tiempo, de la tasa real de infiltración que se produce cuando hay disponibilidad de agua para penetrar en el suelo. (Universidad de Piura, 2010)

**Tabla 1:** Capacidad de infiltración según tipo de suelo

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Capacidad de Infiltración (mm/h)</b>
Arena	50
Limo arenoso	25
Limo arcilloso	12

Fuente: (Universidad de Piura, 2010)

### **5.3.3. Precipitación**

La precipitación es cualquier forma de hidrometeoro, conformado de partículas acuosas de forma sólida o líquida que caen de las nubes y llegan al suelo. Existen varios tipos de precipitación dependiendo de la cantidad o forma en que caen las partículas, el diámetro se halla generalmente comprendido entre 0,5 y 7 mm, (1 mm de precipitación es la lámina que alcanzaría un litro de agua sobre una superficie de un metro cuadrado, sin que se evapore o percole), y caen a una velocidad del orden de los 3 m/s. (OAB, 2016)

La precipitación efectiva se define como la fracción de la precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades de agua del cultivo; quedan por tanto excluidas la infiltración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación de la superficie del suelo. (SiAR, 2010).

### **5.4. Factor de cultivo**

Las variables asociadas al tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo, según la FAO, deben ser considerados para evaluar el comportamiento de la evapotranspiración en cultivos desarrollados en áreas grandes y bien manejadas (FAO, 2006).

Se presentan diferencias en el cálculo de los niveles de ET en cultivos de las mismas especies, aunque se encuentren bajo condiciones ambientales idénticas, que están relacionados principalmente con variables como la resistencia a la transpiración, la altura del cultivo, la rugosidad del cultivo, el reflejo, la cobertura del suelo y las características radiculares del cultivo. (FAO, 2006)

## 5.5. Concepto huella hídrica

La huella hídrica es un indicador que permite identificar las relaciones socioambientales respecto al agua, orientado a ser medido especialmente hacia las actividades socioeconómicas. Se puede definir como el volumen de agua que es utilizada directa e indirectamente para la producción de cualquier bien o servicio, sumados los consumos de todas las etapas de la cadena productiva. (Arévalo, 2012)

La huella hídrica se presenta como un indicador de sostenibilidad que permite identificar relaciones causa-efecto a nivel socioambiental, siendo las actividades socioeconómicas el principal factor de presión sobre los recursos naturales. (Arévalo, 2012)

La huella hídrica total del proceso del cultivo ( $WF_{proc}$ ) es la suma de los componentes verde ( $WF_{proc,green}$ ), azul ( $WF_{proc,blue}$ ) y gris ( $WF_{proc,greys}$ ). Se calcula teniendo en cuenta la siguiente ecuación general (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2010):

$$WF_{proc} = WF_{proc,green} + WF_{proc,blue} + WF_{proc,greys}$$

Dónde:

$WF_{proc,green} (m^3/ton)$  = Huella hídrica verde

$WF_{proc,blue} (m^3/ton)$  = Huella hídrica Azul

$WF_{proc,greys} (m^3/ton)$  = Huella hídrica Gris

### **5.5.1. Huella hídrica Azul, Verde y Gris**

La huella hídrica Azul es un concepto que hace referencia al consumo de los recursos hídricos superficiales o subterráneos, en toda la cadena de producción de un producto. Con consumo se entiende la pérdida de agua en cuerpos de agua disponibles en la superficie o en acuíferos subterráneos en el área de la cuenca. (Water Footprint Network, 2011)

La huella hídrica verde está relacionada con el consumo de recursos de agua de lluvia que no se convierte en escorrentía, sino que se incorpora en productos agrícolas. (Water Footprint Network, 2011)

La huella hídrica gris se refiere a la contaminación y está definida como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar una carga de contaminantes dados las concentraciones naturales y estándares ambientales de calidad de agua. (Water Footprint Network, 2011)

### **5.6. CROPWAT 8.0**

El cálculo del consumo de agua, y de esta manera de la huella azul, verde y gris en la fase agrícola del área de estudio, estará apoyado con el uso del modelo CROPWAT, el cual fue desarrollado por la FAO y que permite calcular los requerimientos de agua del cultivo. (Zarate & Derk, 2013)

CROPWAT es un programa que utiliza el método de la FAO Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de los cultivos (ET). Los valores de ET son utilizados



posteriormente para estimar los requerimientos de agua de los cultivos y el calendario de riego. (Trezza, 2013)

La estimación de las huellas hídricas verde, azul y gris de un cultivo requiere un gran número de datos tal como se referencian a continuación:

- Datos del clima: El cálculo se realiza utilizando los datos climáticos de la estación meteorológica más cercana y más representativa, ubicada cerca del campo de cultivo.
- Parámetros de cultivo: los coeficientes de los cultivos y el patrón de cultivos (fechas de siembra y cosecha) se pueden tomar a partir de datos locales.
- Mapas de Cultivos
- Rendimientos de los cultivos: los datos de rendimiento pueden ser obtenidos a nivel local.
- Mapas del suelo
- Mapas de riego
- Tasas de aplicación de fertilizantes: Preferiblemente datos locales.
- Tasas de aplicación de plaguicidas
- Fracción de lixiviación y escorrentía: Se tiene que trabajar con datos experimentales de estudios de campo y hacer suposiciones en bruto. Se puede asumir el 10% de los fertilizantes de nitrógeno.
- Normas de calidad ambiental del agua
- Concentraciones naturales en cuerpos receptores de agua: Se puede suponer que las concentraciones naturales en ríos más o menos limpios, son iguales a las

concentraciones reales y por lo tanto se basan en promedios diarios o mensuales a largo plazo, medidos en una estación de medición de las inmediciones.

- Concentración real de la toma de agua.

## 6. MARCO LEGAL

En la Tabla 2 se evidencia por clasificaciones, la normatividad aplicable relacionada con el objeto del proyecto.

**Tabla 2:** Marco legal aplicable

<b>MARCO LEGAL</b>			
<b>TIPO DE NORMA</b>	<b>No.</b>	<b>ARTICULOS Y DESCRIPCIÓN DE LA APLICABILIDAD</b>	<b>EXPEDIDO POR</b>
<b>LEY</b>	9 de 1979	Código sanitario Nacional.	El Congreso de Colombia
		<b>Art. 51-54</b> Control y prevención de las aguas para consumo humano	
		<b>Art. 55</b> aguas superficiales.	
	99 de 1993	<b>Art.10,11,24 Y 29:</b> Prevención y control de contaminación de las aguas	El Congreso de Colombia
<b>Art.42</b> Establece que la utilización directa o indirecta de los recursos como lo son la atmosfera, suelo y agua para arrojar, introducir desechos, desperdicios de origen agrícola, minera, industrial de aguas negras o servidas de cualquier origen ya sea de humos, vapores, sustancias tóxicas de origen antropogénico quedarán sujetas a tasas retributivas.			

	373 de 1997	Uso eficiente y Ahorro del agua	El Congreso de Colombia
DECRETO	79 de 1986	Conservación y protección del recurso agua	El Congreso de Colombia
	1541 de 1978	<b>Art. 104- 106.</b> Ocupación de cauces y permiso de ocupación de cauces	El Presidente de la República
		<b>Art. 211-219</b> Control de vertimientos	
		<b>Art. 225</b> Vertimiento por uso agrícola	
		<b>Art. 231</b> Reglamentación de vertimientos	
	1594 de 1984	<b>Art. 22- 23</b> Ordenamiento del recurso agua	El Presidente de la República
		<b>Art. 29</b> Usos del agua	
		<b>Art. 37- 50</b> Criterios de calidad del agua	
		<b>Art. 60-71</b> Vertimientos de residuos líquidos	
	2811 de 1974	<b>Art. 22- 23</b> Normas de vertimientos	El Presidente de la República
		<b>Art. 77 a 78</b> Clasificación de aguas.	
		<b>Art. 80 a 85:</b> Dominio de las aguas y cauces.	
		<b>Art. 86 a 89:</b> Derecho a uso del agua.	
		<b>Art.134 a 138:</b> Prevención y control de contaminación.	
<b>Art. 149:</b> aguas subterráneas.			
	<b>Art.155:</b> Administración de aguas y cauces.		
3930 de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del	El Presidente de la República	

		<p>Título VI -Parte III -Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.</p> <p><i>Modificado parcialmente por el decreto 4728 de 2010.</i></p> <p><b>Art.13</b> Uso agrícola</p> <p><b>Art.40</b> Control de contaminación por agroquímicos.</p>	
RESOLUCIÓN	865 de 2004	<p>Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones</p> <p>3. Cálculo de la oferta hídrica</p> <p>3.3 Relación lluvia- Escorrentía</p>	Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial
POLÍTICAS PUBLICAS	CONPES 1750 de 1995	Políticas de manejo de las aguas	

Fuente: Autores

## 7. METODOLOGÍA

La metodología adoptada para el desarrollo del proyecto corresponde a un método de investigación con enfoque mixto, que incluye los enfoques cuantitativo y cualitativo con el que se busca una mayor comprensión de los fenómenos estudiados. Se considera según (Hernandez, Fernandez, & P, 2006), que la integración de las características de cada enfoque, mostradas en la Tabla 3 permite recolectar, analizar y vincular datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio o una serie de investigaciones para responder a un planteamiento.

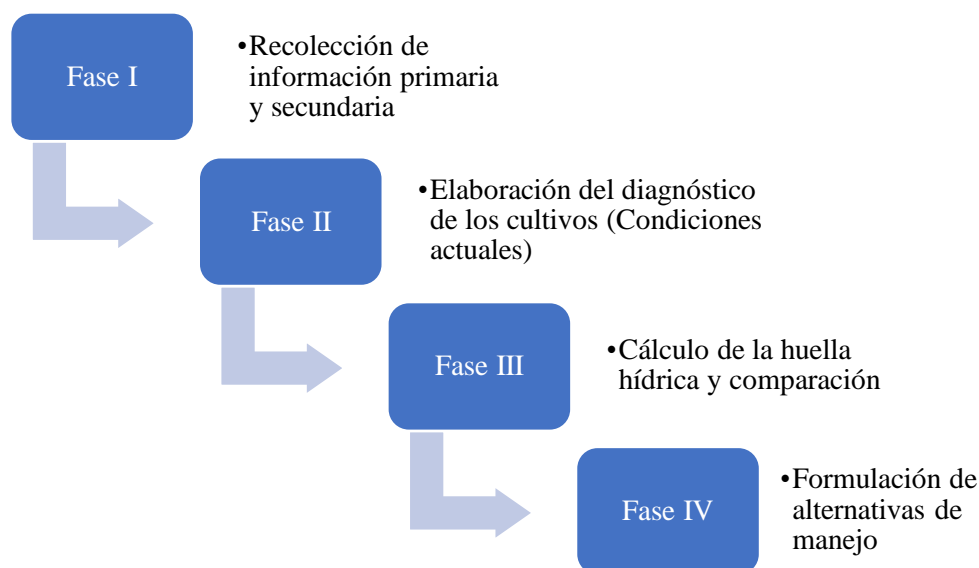
**Tabla 3:** Ventajas de cada tipo de metodología

<b>CUALITATIVA O INDUCTIVA</b>	<b>CUANTITATIVA O DEDUCTIVA</b>	<b>MIXTA O COMBINACION</b>
Inmersión inicial en el campo	Encuestas	Incluye las características de los enfoques cualitativo y cuantitativo
Interpretación contextual	Experimentación	
Flexibilidad	Preguntas e hipótesis	
Preguntas	Patrones (relaciones entre variables)	
Recolección de datos	Recolección de datos	

Fuente: (Hernandez, Fernandez, & P, 2006)

A partir lo mencionado anteriormente, se tuvo en cuenta de manera complementaria la metodología estándar planteada por Water Footprint Network (WFN) (Water Footprint

Network, 2011) para el cálculo de la huella hídrica. Esta metodología planteada por la WFN se adaptó para el presente proyecto definiendo cuatro fases para la consecución de los objetivos planteados (Véase Figura 3).



**Figura 3:** Fases de ejecución del proyecto; Fuente: Autores

La primera fase del proyecto se basó en la recolección de información propia de los cultivos, haciendo uso de la observación y la obtención de información secundaria. Mediante el reconocimiento de la zona de estudio se identificaron las posibles fuentes de abastecimiento de cada una de las fincas utilizadas para el proceso productivo. Posteriormente se llevó a cabo el reconocimiento del cultivo donde se obtuvieron datos relacionados directamente con el suelo y el cultivo en estudio. Finalmente se hizo un reconocimiento de las estaciones meteorológicas cercanas que pudieran garantizar representatividad en la información a recolectar.

Entre las variables recolectadas u o la información secundaria obtenida se encuentran las siguientes: los coeficientes de los cultivos y el patrón de cultivos (fechas de siembra y cosecha), rendimientos de los cultivos, textura del suelo, características hidráulicas del suelo e información hidrometeorológica obtenida de estaciones de monitoreo del IDEAM.

La fase II del proyecto estuvo enfocada en el análisis y tratamiento preliminar de la información recolectada a fin de levantar un diagnóstico de cada zona de estudio y así la posterior definición de las entradas al modelo CROPWAT 8.0.

La cuantificación de la huella hídrica apoyada en el software de modelación CROPWAT 8.0. fue el objetivo de la tercera fase definida en la metodología. La información de entrada al modelo corresponde a la obtenida de manera previa en la segunda fase y la información de salida del modelo permitió establecer la huella hídrica del cultivo con cada una de sus componentes, (huella verde, azul y gris).

Finalmente, en la fase IV, se analizaron los resultados obtenidos con el fin de determinar si cada uno de los cultivos de mangostán tiende a tener condiciones de uso consuntivo o si tiene niveles de consumo inadecuado del recurso hídrico. De manera complementaria, se formularon alternativas y estrategias de manejo y gestión del recurso hídrico que contribuyen al adecuado uso del agua en el proceso de producción del mangostán en cada zona en específico.

## **8. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

### **8.1.Fase I: Obtención de información**

Los resultados obtenidos de la primera fase denominada “Obtención de información” están divididos en tres secciones. La primera sección corresponde a la información recolectada referente a la zona de estudio en términos de ubicación y descripción de la misma. La sección subsecuente corresponde a la información relacionada directamente con el suelo y la zona de cultivo. La última sección corresponde a la obtención de información hidrometeorológica.

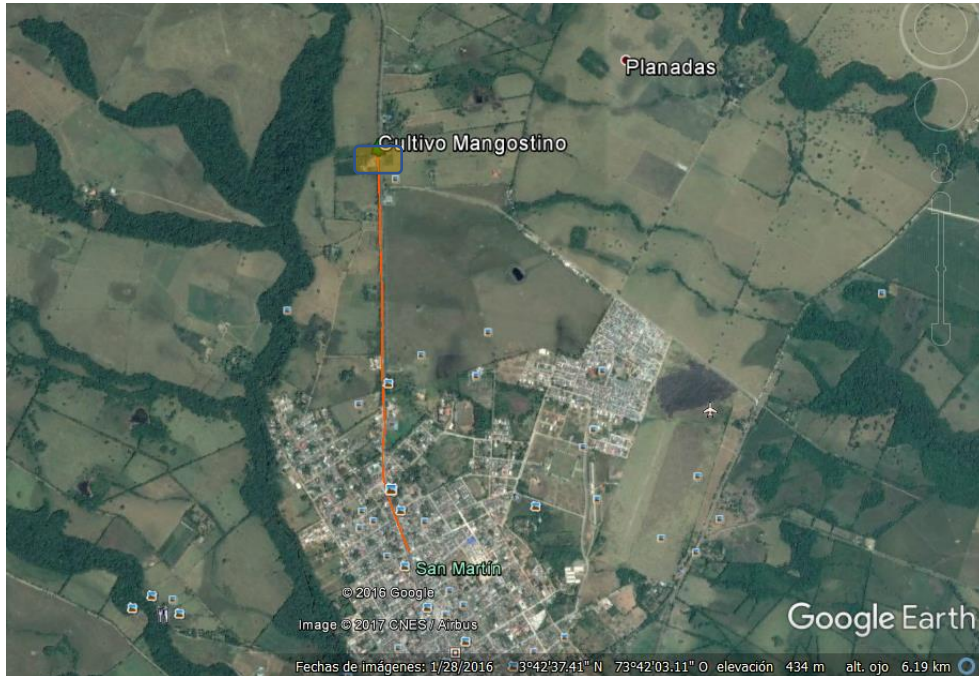
#### **8.1.1. Información de la zona**

##### **8.1.1.1. Cultivo de Mangostino 1**

Ubicado aproximadamente a 2,2km de la cabecera municipal de San Martín - Meta se encuentra el cultivo de Mangostino en estudio, objeto del presente proyecto, tal como se muestra en la Figura 4.

El ingreso al predio está ubicado en las coordenadas geográficas (Sistema WGS 84) de  $3^{\circ}43'7.83''N$  y  $73^{\circ}42'5.12''W$  y tiene un área total de aproximadamente 4,2 hectáreas. Sin embargo, el área cultivada corresponde a 3 hectáreas en total.





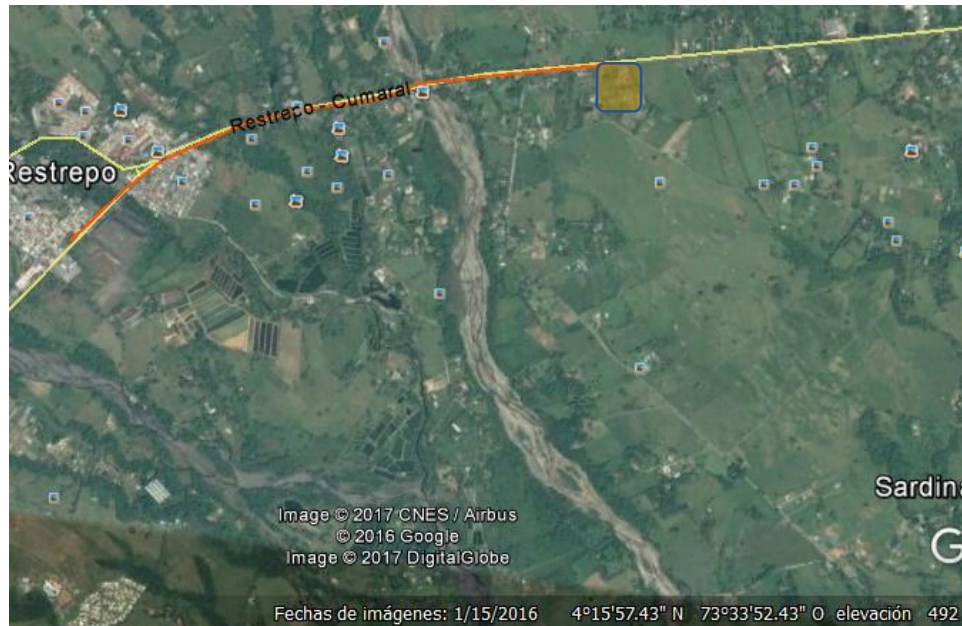
**Figura 4:** Ubicación Cultivo de Mangostino 1; Fuente: Google Earth; Modificado por:  
Autores

El predio se encuentra a 0,39 km de una fuente hídrica superficial conocida como Caño Camoa, pero teniendo en cuenta la información suministrada por el propietario y la revisión en campo, no se obtiene agua para el riego de la misma.

#### **8.1.1.2. Cultivo de Mangostino 2**

Ubicado aproximadamente a 2,75km de la cabecera municipal de Restrepo - Meta se encuentra el segundo cultivo de Mangostino, tal como se muestra en la Figura 5.

El ingreso al predio está ubicado en las coordenadas geográficas (Sistema WGS 84) de 4°16'3.29''N y 73°32'11.74''W y tiene un área total de aproximadamente 7 hectáreas. Sin embargo, el área cultivada corresponde a 6 hectáreas en total.



**Figura 5:** Ubicación Cultivo de Mangostino 2; Fuente: Google Earth; Modificado por:

Autores

El predio se encuentra a 0,92 km de una fuente hídrica superficial conocida como Río Caney, pero teniendo en cuenta la información suministrada por el propietario y la revisión en campo, no se obtiene agua para el riego de la misma.

## **8.1.2. Información del suelo y cultivo**

### **8.1.2.1. Cultivo de Mangostino 1**

Respecto a la recolección de información en campo relacionada directamente con el cultivo de Mangostino 1 y el área de suelo utilizada para el mismo, se tiene en su mayoría información secundaria.

En función de las características del cultivo se presenta la Tabla 4 donde se recopila la información principal con respecto a la planta de Mangostino y el área cultivada en el predio.

**Tabla 4:** Características del Cultivo 1

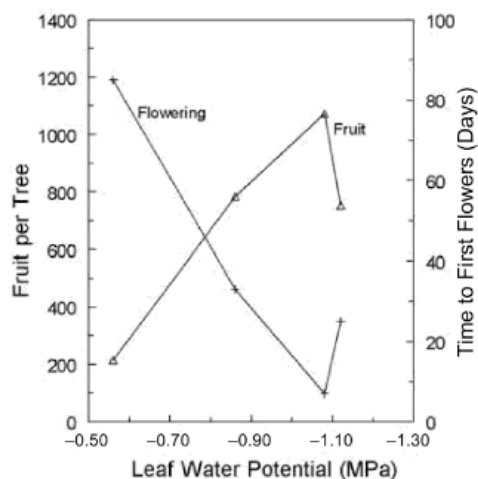
CARACTERISTICAS DEL MANGOSTINO			
Item	Descripción	Unidades	Fuente
Número de plantas	500	Un.	Productor
Altura promedio de planta	10	m	(Othman, 1995)
Profundidad de la raíz	0.3	m	(Othman, 1995)
Diámetro del fruto	4.3	cm	Medido en campo
Área cultivada	30000	m <sup>2</sup>	Productor
Distancia entre plantas	2	m	Medido en campo
Producción por planta	800	Frutos/año	Calculado
Número de cosechas	2	Cosecha/año	Productor
Producción total estimada	400000	Frutos/año	Productor
Rendimiento del Cultivo	1.49	Kg/m <sup>2</sup>	Calculado
Peso aprox. fruto	0.112	Kg	(Othman, 1995)

Fuente: Autores

Para los cálculos relativos al rendimiento del cultivo se consideró la producción de frutos en kilogramos cosechados al año, dividido en el área en metros cuadrados cultivada, ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ ) (Amézquita & Motta, 2015). Para la obtención de dicho valor se tuvo en cuenta el peso promedio del fruto que corresponde a 112 gr y la cantidad de producción promedio por año suministrada por el productor. La fórmula de cálculo se muestra a continuación:

$$\text{Rend} \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right) = \frac{\text{Prod. Total estimada} * \text{Peso Prom Fruto}}{\text{Área cultivada}}$$

Los datos calculados de la producción de frutos por árbol, realizados con base en la información suministrada por el productor, fueron corroborados contra fuentes bibliográficas donde se estima una producción hasta de 1200 frutos por árbol en edades maduras tal como se evidencia en la Figura 6.



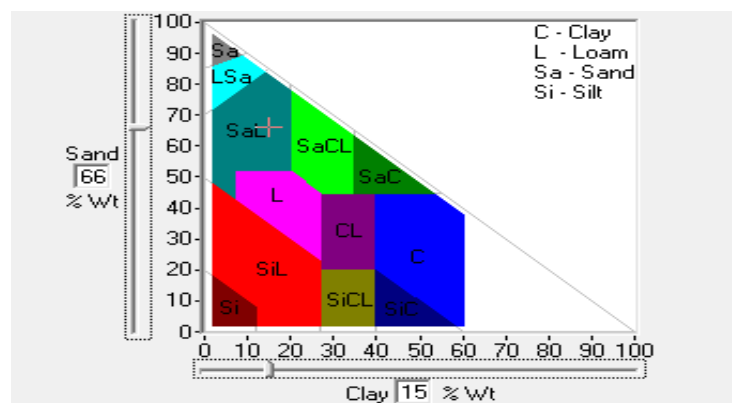
**Figura 6:** La influencia del estrés hídrico foliar inducido por la retención del riego en días desde el inicio del riego hasta la aparición de flores y el número de frutos por árbol; Fuente:

(Paull, 2012)

Teniendo en cuenta los requerimientos de información que tiene el software CROPWAT 8.0 para el cálculo del requerimiento de agua del cultivo, se hizo necesaria la determinación de la textura del suelo que tiene el área cultivada. Esto con el fin de definir parámetros específicos del comportamiento del suelo y el agua disponible en función de dicha característica.

Para la determinación de la textura del suelo se llevó a cabo el método organoléptico siguiendo cada uno de los pasos descritos por (Mildford, 1997).

El resultado obtenido de dicha valoración corresponde a un suelo areno limoso con un porcentaje mayor de arenas que de material fino, con una permeabilidad moderada. Mediante el software Soil and Water Characteristics se puede clasificar el suelo gráficamente en uno de los grupos texturales definidos tal como se evidencia en la Figura 7. Adicionalmente, este software determina datos estándar de tipo hidráulico y mecánico del suelo como se observa en la Figura 8.



**Figura 7:** Determinación de la textura del suelo; Fuente Autoras, Tomado de: (USDA, 2006)

Soil Characteristics	
Texture Class:	Sandy Loam
Wilting Point	10.9 % Vol
Field Capacity	20.2 % Vol
Saturation	44.1 % Vol
Available Water	1.12 in/ft
Sat. Hydraulic Cond.	1.30 in/hr
Matric Bulk Density	92.51 lb/ft <sup>3</sup>

**Figura 8:** Características del suelo basado en su textura; Fuente: (USDA, 2006)

La información obtenida de las características del suelo mediante el método organoléptico fue corroborada con información secundaria disponible donde se establece que los suelos de San Martín de los Llanos corresponden a una clasificación Areno-Limosa color café oscuro con 4.63% de gravas, 65.33% de arenas y 30.04% de finos. (Ingevias Construc Ltda, 2010).

#### **8.1.2.2.Cultivo de Mangostino 2**

Respecto a la recolección de información en campo relacionada directamente con el cultivo de Mangostino 2 y el área de suelo utilizada para el mismo, se tiene en su mayoría información secundaria.

En función de las características del cultivo se presenta la Tabla 5 donde se recopila la información principal con respecto a la planta de Mangostino y el área cultivada en el predio.

**Tabla 5: Características del Cultivo 2**

<b>CARACTERISTICAS DEL MANGOSTINO</b>			
Item	Descripción	Unidades	Fuente
Número de plantas	1000	Un.	Productor
Altura promedio de planta	10	m	(Othman, 1995)
Profundidad de la raíz	0.3	m	(Othman, 1995)
Diámetro del fruto	4	cm	Medido en campo
Área cultivada	60000	m <sup>2</sup>	Productor
Distancia entre plantas	2	m	Medido en campo
Producción por planta	750	Frutos/año	Calculado
Número de cosechas	2	Cosecha/año	Productor
Producción total estimada	750000	Frutos/año	Productor
Rendimiento del Cultivo	1.4	Kg/m <sup>2</sup>	Calculado
Peso aprox. fruto	0.112	Kg	(Othman, 1995)

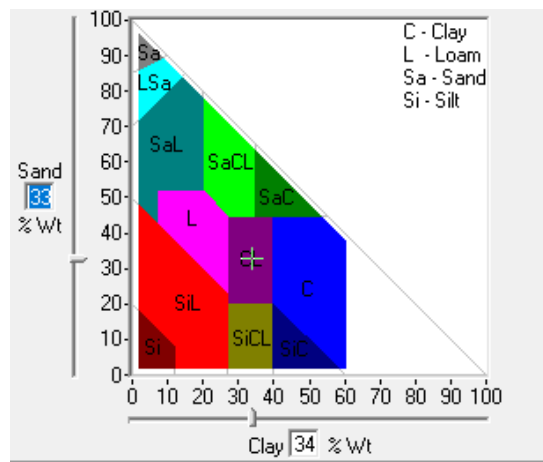
Fuente: Autores

Los cálculos de la producción de fruto y el rendimiento del cultivo fueron llevados a cabo de la misma manera que en la sección anterior.

Para la determinación de la textura del suelo se llevó a cabo el método organoléptico siguiendo cada uno de los pasos descritos por (Mildford, 1997) igual que para el cultivo 1.

El resultado obtenido corresponde a un suelo franco arcilloso con un porcentaje mayor de arcillas. Mediante el software Soil and Water Characteristics se puede clasificar el suelo gráficamente en uno de los grupos texturales definidos tal como se evidencia en la Figura 9

**Figura 7.** Adicionalmente, este software determina datos estándar de tipo hidráulico y mecánico del suelo como se observa en la Figura 10.



**Figura 9:** Determinación de la textura del suelo; Fuente Autoras, Tomado de: (USDA, 2006)

Soil Characteristics	
Texture Class:	Clay Loam
Wilting Point	21.3 % Vol
Field Capacity	35.0 % Vol
Saturation	47.2 % Vol
Available Water	1.65 in/ft
Sat. Hydraulic Cond.	0.18 in/hr
Matric Bulk Density	87.39 lb/ft <sup>3</sup>

**Figura 10:** Características del suelo basado en su textura; Fuente: (USDA, 2006)



La información obtenida concuerda con los estudios adelantados por INGEGAR INGENIERÍA E.U. donde se especifica que el tipo de suelo corresponde a arcillas inorgánicas de plasticidad media – color café y gravas arcillosas. (INGEGAR INGENIERIA E.U., 2010).

### **8.1.3. Información hidrometeorológica**

#### **8.1.3.1. Cultivo de Mangostino 1**

La información meteorológica fue obtenida de la estación 32075040 de Nombre La Holanda, la cual pertenece a la red de monitoreo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

La estación de La Holanda se encuentra localizada en las coordenadas 3°30'N y 73°42'W (Sistema WGS 84) y está ubicada a una elevación de 360 msnm.

Las variables obtenidas de la estación se describen a continuación:

##### **8.1.3.1.1. Precipitación**

Los valores para el año 2015 de precipitación mensual total, media mensual, días de lluvia al mes y precipitación máxima mensual obtenidos se presentan en la **Tabla 6**.

**Tabla 6:** Valores de Precipitación Estación: La Holanda, Año 2015

<b>Año</b>	2015		<b>Estación</b>	La Holanda
<b>Variable</b>	<b>Mensuales</b>	<b>Medios</b>	<b>Días de</b>	<b>Precipitaciones</b>
<b>Mes</b>	<b>Totales</b>	<b>Mensuales</b>	<b>Lluvia al</b>	<b>Máximas</b>
	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>mes (Días)</b>	<b>Mensuales</b>
				<b>(mm)</b>
Enero	266.9	35.9	12	99
Febrero	58	72.5	9	24
Marzo	227.6	189.6	11	68
Abril	324.6	345.8	18	95
Mayo	402	406.2	19	55
Junio	329	345.3	24	50
Julio	278	277.4	23	37
Agosto	205	230.9	17	53
Septiembre	291.2	228.2	19	65
Octubre	175.6	271.7	17	43
Noviembre	189.3	221.7	19	27
Diciembre	33.4	79.3	5	10

Fuente: IDEAM, Modificado por: Autores.

### 8.1.3.1.2. Brillo Solar

Los datos de brillo solar obtenidos de la estación meteorológica se evidencian en la Tabla 7

**Tabla 7:** Valores de Brillo solar en horas para el año 2015

<b>Año</b>	2015	<b>Estación</b>	La Holanda
<b>Variable</b>	<b>Brillo Solar</b>		
<b>Mes</b>	<b>(Horas)</b>		
Enero	158.5		
Febrero	152.2		
Marzo	93.3		
Abril	79.1		
Mayo	61.5		
Junio	56.4		
Julio	88.7		
Agosto	74.2		
Septiembre	136.6		
Octubre	125.9		
Noviembre	121.2		
Diciembre	173.65		

Fuente: IDEAM, Modificado por: Autores.

### 8.1.3.1.3. Temperatura

En la Tabla 8 se evidencian los valores de temperatura registrados en la estación La Holanda para el año 2015.

**Tabla 8:** Valores de Temperatura para el año 2015

<b>Año</b>	2015	<b>Estación</b>	La Holanda
<b>Variable</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Máximos de</b>	<b>Mínimos de</b>
<b>Mes</b>	<b>Media Mensual</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Temperatura</b>
	<b>(°C)</b>	<b>Mensual (°C)</b>	<b>Mensual (°C)</b>
Enero	25.9	28.3	25.4
Febrero	26.9	28.5	25.2
Marzo	26.2	27.5	25
Abril	25.6	28.2	24.7
Mayo	25.5	27.1	24.4
Junio	24.3	25.8	23.3
Julio	24.8	26.9	23.1
Agosto	25.1	25.9	23.7
Septiembre	26	26.7	24.5
Octubre	25.6	26.7	24.5
Noviembre	25.4	26.6	24.5
Diciembre	26.3	27.4	24.4

Fuente: IDEAM, Modificado por: Autores.

#### 8.1.3.1.4. Humedad

En la Tabla 9 se presentan los valores de humedad relativa registrados para el año 2015 en la estación La Holanda.

**Tabla 9:** Valores de Humedad Relativa en % para el año 2015

<b>Año</b>	2015	<b>Estación</b>	La Holanda
<b>Variable</b>	<b>Humedad Relativa</b>		
<b>Mes</b>	<b>(%)</b>		
Enero	78		
Febrero	74		
Marzo	78		
Abril	84		
Mayo	85		
Junio	90		
Julio	87		
Agosto	85		
Septiembre	83		
Octubre	85		
Noviembre	86		
Diciembre	81		

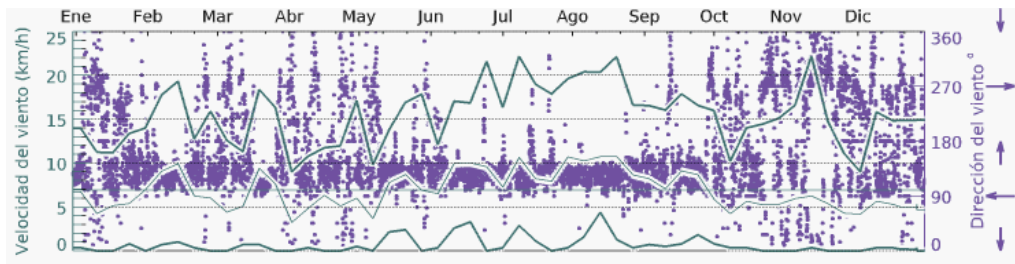
Fuente: IDEAM, Modificado por: Autores.

### 8.1.3.1.5. Velocidad Promedio del Viento

Para los datos de la velocidad del viento fue necesario obtener la información de un municipio cercano como Acacias dada la falta de medición de este parámetro en la estación seleccionada.

En la Figura 11 los puntos morados representan la dirección del viento, como se muestra en el eje derecho. La línea intermedia representa los valores medios de velocidad para todo el año. En la

Tabla 10 : Se evidencia el valor en m/s para cada mes durante el año en estudio.



**Figura 11:** Datos de viento, Municipio de Acacias; Fuente: (Meteoblue, 2016)

**Tabla 10:** Valores promedio de Velocidad del Viento

<b>Año</b>	2015	<b>Estación</b>	Acacias
<b>Variable</b>	<b>Velocidad del</b>		
<b>Mes</b>	<b>Viento (m/s)</b>		
Enero	1.9		
Febrero	2.5		
Marzo	1.7		
Abril	0.8		
Mayo	1.7		
Junio	1.9		
Julio	1.9		
Agosto	3.1		
Septiembre	2.2		
Octubre	1.9		
Noviembre	1.4		
Diciembre	1.4		

Fuente: (Meteoblue, 2016), Modificado por Autores

### 8.1.3.2. Cultivo de Mangostino 2

La información meteorológica fue obtenida de la estación 35035110 de Nombre Salinas de Upin, la cual pertenece a la red de monitoreo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

La estación de Salinas de Upin se encuentra localizada en las coordenadas 4°16'25.9" N y 73°35'12.7" W (Sistema WGS 84) y está ubicada a una elevación de 690 msnm.

Las variables obtenidas de la estación se describen a continuación:

### 8.1.3.2.1. Precipitación

Los valores para el año 2015 de precipitación mensual total, media mensual, días de lluvia al mes y precipitación máxima mensual obtenidos se presentan en la **Tabla 11**.

**Tabla 11:** Valores de Precipitación Estación: Salinas de Upin, Año 2015

Año	2015		Estación	Salinas de Upin
Variable	Mensuales	Medios	Días de	Precipitaciones
Mes	Totales (mm)	Mensuales	Lluvia al mes	Máximas Mensuales
		(mm)	(Días)	(mm)
Enero	0.0	0.0	0	0.0
Febrero	33.3	1.2	11	19.1
Marzo	146.1	4.7	19	29.8
Abril	399.9	13.3	29	65.9
Mayo	7.4	0.2	14	3.5
Junio	0.5	0.0	5	0.1
Julio	376.0	12.1	18	71.3
Agosto	364.9	11.8	30	76.8
Septiembre	160.2	5.5	13	59.5



Octubre	123.5	4.0	15	31.2
Noviembre	27.8	0.9	30	6.1
Diciembre	129.5	4.2	16	43.9

Fuente: IDEAM, Modificado por: Autores.

### 8.1.3.2.2. Brillo Solar

Los datos de brillo solar obtenidos de la estación meteorológica se evidencian en la Tabla

12

**Tabla 12:** Valores de Brillo solar en horas para el año 2015

Año	2015	Estación	Salinas de Upin
<b>Variable</b>	<b>Brillo Solar (Horas)</b>		
<b>Mes</b>			
Enero	91.8		
Febrero	143.2		
Marzo	62.8		
Abril	88.4		
Mayo	90.8		
Junio	41.2		
Julio	75.3		
Agosto	98.9		
Septiembre	134.0		
Octubre	88.4		

Noviembre	75.3
Diciembre	102.8

Fuente: IDEAM, Modificado por: Autores.

### 8.1.3.2.3. Temperatura

En la Tabla 13 se evidencian los valores de temperatura registrados en la estación Salinas de Upin para el año 2015.

**Tabla 13:** Valores de Temperatura para el año 2015

<b>Año</b>	2015	<b>Estación</b>	Salinas de Upin
<b>Variable</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Máximos de</b>	<b>Mínimos de</b>
<b>Mes</b>	<b>Media Mensual (°C)</b>	<b>Temperatura Mensual (°C)</b>	<b>Temperatura Mensual (°C)</b>
Enero	25.9	31.6	18.8
Febrero	26.9	32.5	18.9
Marzo	26.2	33.9	19.7
Abril	25.6	31.8	19.0
Mayo	25.5	32.0	19.6
Junio	24.3	31.4	19.0
Julio	24.8	32.1	19.1
Agosto	25.1	32.5	18.6

Septiembre	26	33.5	18.3
Octubre	25.6	33.7	18.8
Noviembre	25.4	30.9	19.0
Diciembre	26.3	32.6	19.3

Fuente: IDEAM, Modificado por: Autores.

#### 8.1.3.2.4. Humedad

En la Tabla 14 se presentan los valores de humedad relativa registrados para el año 2015 en la estación Salinas de Upin.

**Tabla 14:** Valores de Humedad Relativa en % para el año 2015

<b>Año</b>	2015	<b>Estación</b>	Salinas de Upin
<b>Variable</b>	<b>Humedad Relativa (%)</b>		
<b>Mes</b>			
Enero	77.2		
Febrero	74.3		
Marzo	73.3		
Abril	86.5		
Mayo	86.7		
Junio	91.2		
Julio	89.6		
Agosto	86.3		

Septiembre	80.7
Octubre	83.2
Noviembre	88.6
Diciembre	82.0

Fuente: IDEAM, Modificado por: Autores.

#### 8.1.3.2.5. Velocidad Promedio del Viento

Los datos registrados en la estación referenciada sobre velocidad promedio del viento se presentan en la Tabla 15.

**Tabla 15:** Valores de Velocidad del viento, Estación Salinas de Upin año 2015

<b>Año</b>	2015	<b>Estación</b>	Salinas de Upin
<b>Variable</b>	<b>Velocidad del Viento (m/s)</b>		
<b>Mes</b>			
Enero	1.3		
Febrero	1.2		
Marzo	1.2		
Abril	1.1		
Mayo	1.0		
Junio	1.0		
Julio	1.0		
Agosto	1.1		

Septiembre	1.2
Octubre	1.1
Noviembre	1.1
Diciembre	1.1

Fuente: IDEAM, Modificado por: Autores.

## 8.2. Fase II: Elaboración del diagnóstico del cultivo

### 8.2.1. Cultivo de Mangostino 1

El cultivo 1 en estudio está ubicado en una finca de 4,2 ha de área disponible con 3 ha cultivadas, ubicada en un predio a 2.2 km de la cabecera municipal de San Martín de los Llanos, departamento del Meta.

En las 3 ha de cultivo se encuentran aproximadamente 500 individuos de la especie *Garcinia mangostana* (Mangostán), entre los 8 y 12 años de edad, encontrándose estos en una etapa de madurez media y una época de alta productividad.

Según la información recolectada en campo el suelo del predio corresponde a un suelo limo-arenoso con predominancia de arenas en más de un 60% lo que permite una moderada permeabilidad del suelo. Presenta precipitaciones moderadas con valores comprendidos entre los 40 y 400 mm de precipitación media para el año de estudio. La zona presenta régimen bimodal y periodos de alta precipitación en los meses de abril-mayo y septiembre-octubre, aunque los primeros meses son de mayor precipitación.

De manera complementaria, tal como se evidencia en la Figura 12, se garantiza de manera aproximada la distancia mínima entre plantas. La distribución de las plantas en la siembra

se acerca a una densidad poblacional de 280 árboles/ha cumpliendo con lo sugerido por (Othman, 1995).



**Figura 12:** Distribución de las plantas en el cultivo; Fuente: Autores

Las tres hectáreas cultivadas cuentan con un sistema de mangueras (Véase Figura 14) que distribuyen agua de riego extraída de un pozo subterráneo a una tasa de 1 L/s. El pozo de bombeo se evidencia en la Figura 13. No obstante, el riego solo es aplicado por aproximadamente 2 horas en días donde se hayan presentado tres o más días secos precedentes (0 precipitación), según información suministrada por el productor.



**Figura 13:** Punto de bombeo, Toma de agua para riego; Fuente: Autores



**Figura 14:** Distribución del riego por manguera; Fuente: Autores

Dentro del área que pertenece al predio se realizan otras actividades, las cuales no están relacionadas al cultivo. El predio, según información del productor trabaja como vivero. Entre las actividades de comercialización encontradas en el reconocimiento en campo se encuentra la comercialización de algunas hortalizas menores en estado medio de maduración, tal como se observa en la Figura 15.

Estos procesos están apartados en más de 10 metros de la zona de cultivo del mangostán y no influyen de ninguna manera en el requerimiento de agua del mismo.



**Figura 15:** Otras actividades en el predio; Fuente: Autores

### **8.2.2. Cultivo de Mangostino 2**

El cultivo de mangostino número 2 se encuentra ubicado a 2,75 km de la cabecera municipal de Restrepo – Meta. Éste se encuentra ubicado en una finca de 7 ha de las cuales 6 se encuentran cultivadas alcanzando una población aproximada de 1000 individuos.

Tal como se evidencia en la Figura 16, se garantiza la distancia mínima entre plantas. La distribución de las plantas en la siembra se acerca a una densidad poblacional de 280 árboles/ha cumpliendo con lo sugerido por (Othman, 1995).





**Figura 16:** Distribución de las plantas en el cultivo 2; Fuente: Autores

Según la información recolectada en campo el suelo del predio corresponde a un suelo Franco arcilloso, con predominancia de arcillas y material orgánico que lo hacen un suelo altamente fértil. Presenta precipitaciones moderadas con valores comprendidos entre los 30 y 350 mm de precipitación media para el año de estudio. La zona presenta régimen bimodal y periodos de alta precipitación en los meses de marzo-abril y julio-agosto.

El cultivo no cuenta con aplicación de ningún tipo de agroquímico y tampoco tiene algún tipo de riego asistido. Sin embargo, el producto obtenido es de exportación. El alistamiento del producto se hace con aire a presión con el cual el fruto es limpiado y se le retira todo insecto o restos de tierra que pueda tener. La infraestructura de limpieza se muestra en la Figura 17.



**Figura 17:** Zona de alistamiento del fruto: Fuente: Autores

Con respecto a la tasa de uso de fertilizantes (Othman, 1995) define que una vez que las plantas alcanzan un crecimiento estable se realizan aplicaciones mensuales de sulfato de amonio a una tasa de 50 a 100 g por árbol y se continúa con estas aplicaciones durante aproximadamente 6 meses. Adicionalmente se presenta en la Tabla 16 con valores estándar de aplicación de fertilizantes en suelos tailandeses.

**Tabla 16:** Tasa de aplicación de fertilizante por árbol según la edad del mismo

<b>Edad del Árbol (Años)</b>	<b>Fertilizante Aplicado (kg)</b>
1-2	0.25
2-4	0.5
4-6	1
6-8	2
8-10	4
+10	7

Fuente: (Othman, 1995)

Sin embargo, los productores de ambos cultivos afirmaron que no realiza ningún tipo de aplicación de fertilizantes en sus cultivos, por lo que no se incluye este componente en el cálculo.

### **8.3. Fase III: Cálculo de la huella hídrica**

Es necesario para la determinación de cada componente de Huella hídrica y el valor total de la huella para el cultivo de Mangostino en evaluación, definir la metodología mediante la cual el software de modelación CROPWAT realiza el cálculo.

El software realiza el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo en periodos de 10 días (decadales). Para cada periodo definido los cálculos del Requerimiento de Agua del Cultivo (RAC) están basados en el enfoque de coeficiente de cultivo. En dicho enfoque, la evapotranspiración se calcula a partir de datos climáticos y la integración directa de la

resistencia del cultivo, albedo y la resistencia del aire incluidos en el enfoque FAO Penman-Monteith. (CROPWAT, 2009)

El método de Penman-Monteith es utilizado con el fin de estimar la tasa de evapotranspiración del Cultivo de referencia ( $ET_o$ ). Relaciones de  $ET_c/ET_o$  determinadas experimentalmente, llamadas coeficiente de cultivos ( $K_c$ ), se utilizan para relacionar la Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar ( $ET_c$ ) con  $ET_o$ . Esto se conoce como el enfoque de coeficiente de cultivo. (CROPWAT, 2009)

Variables como la radiación solar, la temperatura media, la humedad y la velocidad del viento son incorporadas en la estimación de la  $ET_o$ . Esto hace que la  $ET_o$  represente un índice de la demanda climática. Adicionalmente, el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) varía principalmente con las características del cultivo específico y sólo en forma limitada con el clima y la evaporación del suelo. Esto permite la transferencia de valores estándar para  $K_c$  entre localidades y climas. Esta ha sido la razón principal de la aceptación mundial y la utilidad del enfoque de coeficiente de cultivo y los factores  $K_c$  desarrollados en anteriores estudios. (CROPWAT, 2009)

En términos del cálculo de la evapotranspiración del cultivo decadal se realiza una multiplicación del número de días efectivos de cultivo. El software realiza una interpolación lineal para convertir los datos de precipitación mensual a valores. Los valores para la primera y tercera décadas de cada mes se calculan por interpolación con el mes anterior y posterior, respectivamente. De manera complementaria el software lleva a cabo una reiteración que compense las desviaciones en los meses máximo y mínimo, para cumplir con la condición de que los 3 valores decadales promedian la media mensual. (CROPWAT, 2009).

### 8.3.1. Resultados obtenidos mediante el uso del software CROPWAT 8.0

Dada la información meteorológica recolectada, relacionada en la sección 8.1 del presente documento, se hizo la entrada de los datos correspondientes al modelo tal como se muestra en la Figura 18. Los datos de Radiación y Evapotranspiración son calculados por el programa (Columnas iluminadas).

#### 8.3.1.1. Cultivo de Mangostino 1

País		Colombia	Estación		La Holanda	
Altitud	360 m.	Latitud	3.50 °N	Longitud	73.70 °E	
Mes	Prom Temp	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ET <sub>o</sub>
	°C	%	m/s	horas	MJ/m <sup>2</sup> /día	mm/día
Enero	25.9	78	1.9	5.3	16.5	3.67
Febrero	26.9	74	2.5	5.1	16.9	4.18
Marzo	26.2	78	1.7	3.1	14.3	3.42
Abril	25.6	84	0.8	2.6	13.3	2.91
Mayo	25.5	85	1.7	2.1	12.0	2.77
Junio	24.3	90	1.9	1.9	11.4	2.42
Julio	24.8	87	1.9	3.0	13.1	2.78
Agosto	25.1	85	3.1	2.5	12.9	2.97
Septiembre	26.0	83	2.2	4.6	16.4	3.59
Octubre	25.6	85	1.9	4.2	15.6	3.34
Noviembre	25.4	86	1.4	4.0	14.7	3.05
Diciembre	26.3	81	1.4	5.8	16.9	3.57
Promedio	25.6	83	1.9	3.7	14.5	3.22

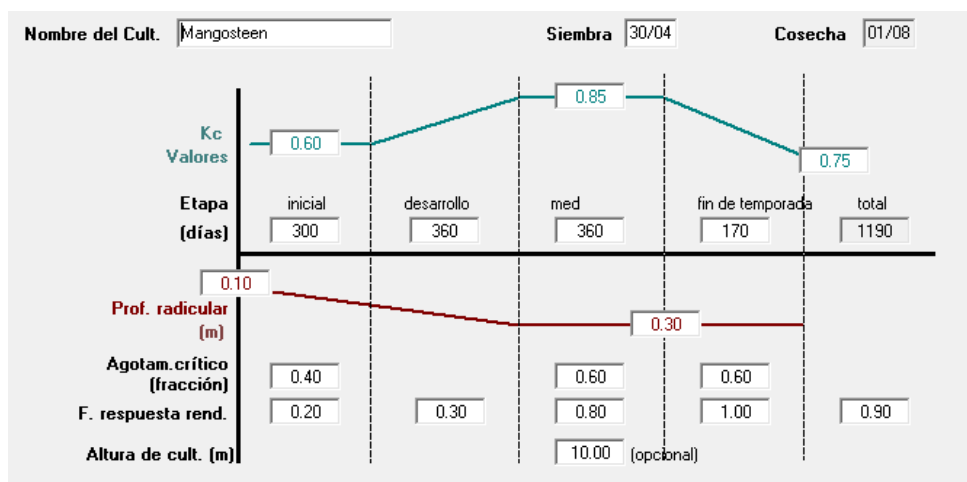
**Figura 18:** Entrada de datos meteorológicos al modelo; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0

Seguido a esto se dio ingreso a los valores de las variables hidrológicas, en este caso de precipitación (Véase Figura 19), los valores de precipitación efectiva son calculados mediante el método de la USDA S. C.

Estación		Método Prec. Ef	
La Holanda		Método USDA S.C.	
	Precipit.	Prec. efec	
	mm	mm	
<b>Enero</b>	266.9	151.7	
<b>Febrero</b>	58.0	52.6	
<b>Marzo</b>	227.6	144.7	
<b>Abril</b>	324.6	157.5	
<b>Mayo</b>	402.0	165.2	
<b>Junio</b>	329.0	157.9	
<b>Julio</b>	278.0	152.8	
<b>Agosto</b>	205.0	137.8	
<b>Septiembre</b>	291.2	154.1	
<b>Octubre</b>	175.6	126.3	
<b>Noviembre</b>	189.3	132.0	
<b>Diciembre</b>	33.4	31.6	
<b>Total</b>	<b>2780.6</b>	<b>1564.1</b>	

**Figura 19:** Ingreso de datos de precipitación al modelo; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0

El ingreso de la información correspondiente al cultivo se evidencia en la Figura 20, en esta se evidencian los valores del coeficiente del cultivo  $K_c$ , duración de cada etapa de crecimiento del cultivo en días, profundidad radicular en metros, el agotamiento crítico expresado en fracción, el factor de respuesta del rendimiento y la altura promedio del cultivo.



**Figura 20:** Datos relativos al cultivo de Mangostán; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0

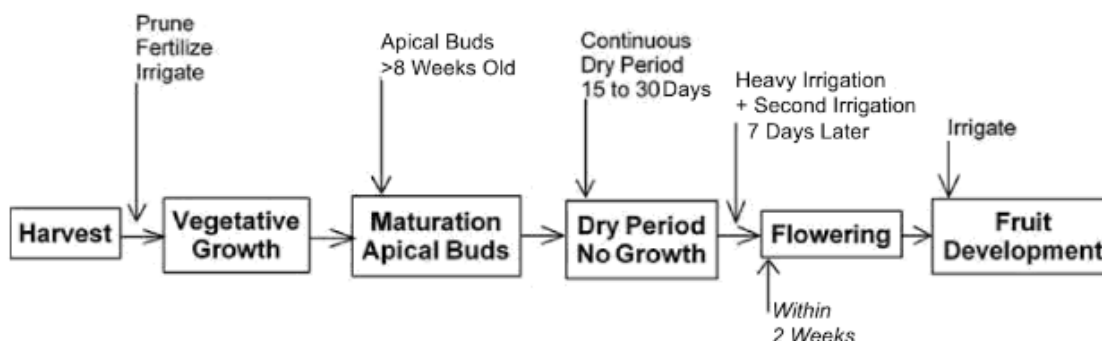
La definición de los valores de  $K_c$  para cada etapa del cultivo se hizo con base en los valores establecidos por (Othman, 1995), véase la Tabla 17.

Tabla 17: Coeficientes de cultivo del Mangostan para la estimación del requerimiento de agua en diferentes etapas de desarrollo de la planta

Stage of development	$K_c$
Vegetative growth	0.60
Floral initiation	0.00
Floral development	0.75
Fruit setting	0.75
Early fruit growth	0.80
Late fruit growth	0.85
Fruit maturity	0.85

Fuente: (Paull, 2012)

Con respecto a la definición de la duración en días de las diferentes etapas del cultivo, se tuvo en cuenta la información que se evidencia en la Figura 21



**Figura 21:** Etapas de desarrollo del cultivo de Mangostán; Fuente (Paull, 2012)

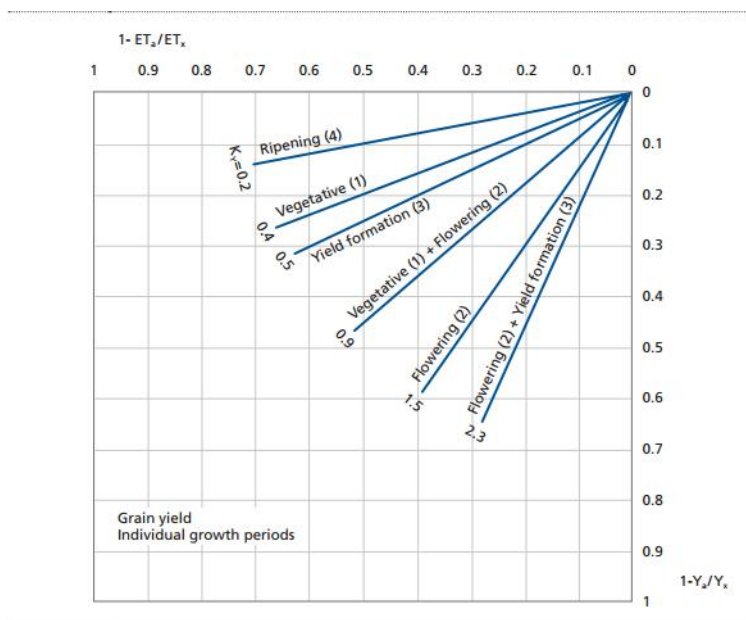
Sin embargo, la duración de las etapas de crecimiento real de la planta de mangostino son extensas y no es sino hasta el quinto año aproximadamente que la planta empieza su periodo productivo.

Los datos ingresados al modelo, como se evidencian en la Figura 20 fueron adaptados teniendo en cuenta las restricciones del software en estos valores, ajustándose, lo más cercano posible a la realidad del crecimiento de la planta.

El factor de respuesta del rendimiento ( $K_y$ ) cuantifica la respuesta del rendimiento del cultivo al aporte de agua. En ese sentido, el deficit de agua de una determinada magnitud, expresado en la relación entre la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estandar y la evapotranspiración en condiciones estandar, puede ocurrir continuamente durante el periodo total de crecimiento del cultivo, o individualmente durante cualquiera de las etapas del mismo. (CROPWAT, 2009).



Para la determinación de los valores presentados se tuvo en cuenta los valores estandar propuestos por la FAO ya que no existen estudios específicos para el mangostán. La Figura 22 expone los coeficientes definidos para cada etapa del desarrollo de las plantas.



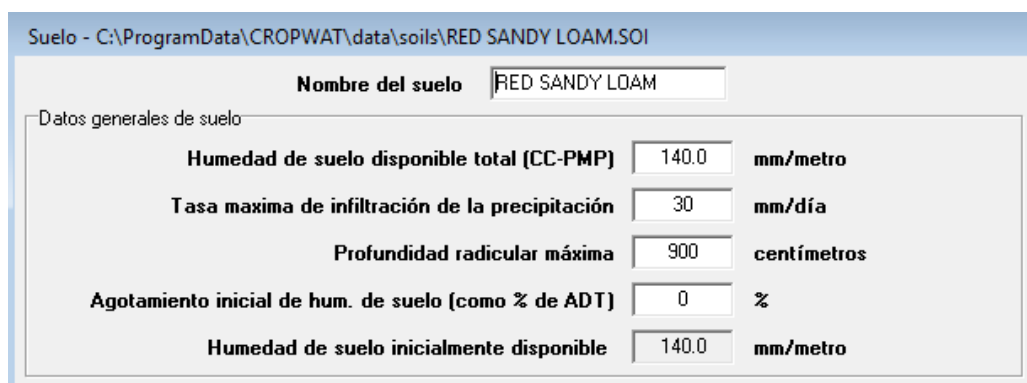
**Figura 22:** Valores de  $K_y$  para cada etapa del desarrollo; Fuente: (FAO, 2012)

Con respecto a la fracción de agotamiento crítico ( $p$ ) se entiende esta como el nivel crítico de humedad del suelo, donde ocurre la primera sequía que afecta la evapotranspiración del cultivo y la producción del cultivo.

Los valores se expresan como una fracción del Total Disponible de Agua (TAW en inglés) y varían normalmente entre 0,4 y 0,6, con valores más bajos para cultivos sensibles con sistemas de enraizamiento limitados y condiciones de evaporación altas y valores más altos para cultivos profundos y densos y con bajas tasas de evaporación. (FAO, 2006).

Dadas las condiciones bajo las cuales se comporta el cultivo se define el valor mínimo para la etapa inicial de crecimiento. Las etapas de desarrollo de la planta subsecuentes, presentan un comportamiento contrario donde existe mayor productividad con la ocurrencia ocasional de estrés hídrico.

En función de las características del suelo como ya se determinó en la sección 8.1 el suelo del cultivo corresponde a un suelo franco arenoso. El software contiene en su base de datos condiciones definidas para los parámetros requeridos en función de la clasificación textural. Los datos seleccionados se evidencian en la Figura 23.



Suelo - C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\RED SANDY LOAM.SOI

Nombre del suelo: RED SANDY LOAM

Datos generales de suelo:

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	140.0	mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	30	mm/día
Profundidad radicular máxima	900	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	0	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	140.0	mm/metro

**Figura 23:** Datos generales del suelo; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0

A partir de la información ya definida se procede a correr el modelo con el fin de calcular la precipitación efectiva que será el insumo para el cálculo de la huella hídrica verde y el requerimiento de riego el cual será base para el cálculo de la huella hídrica azul.

En la Tabla 18 se muestran los resultados obtenidos por el modelo CROPWAT 8.0 para el cultivo 1 de Mangostán.

**Tabla 18:** Resultados de cálculo del requerimiento de agua en el cultivo 1 de Mangostán

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			Coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Abr	3	Inic	0.5	1.44	1.4	5.3	0
May	1	Inic	0.49	1.39	13.9	54.7	0
May	2	Inic	0.49	1.35	13.5	55.8	0
May	3	Inic	0.48	1.27	13.9	54.7	0
Jun	1	Inic	0.47	1.19	11.9	53.4	0
Jun	2	Inic	0.46	1.11	11.1	52.6	0
Jun	3	Inic	0.45	1.14	11.4	52	0
Jul	1	Inic	0.44	1.18	11.8	51.8	0
Jul	2	Inic	0.43	1.21	12.1	51.4	0
Jul	3	Inic	0.43	1.21	13.3	49.6	0
Ago	1	Inic	0.42	1.22	12.2	46.6	2.4
Ago	2	Inic	0.56	1.67	16.7	44.5	0
Ago	3	Inic	0.56	1.79	19.7	46.8	0
Sep	1	Inic	0.56	1.91	19.1	50.9	0
Sep	2	Inic	0.56	2.02	20.2	53.4	0
Sep	3	Inic	0.56	1.97	19.7	49.6	0
Oct	1	Inic	0.56	1.93	19.3	44.1	0
Oct	2	Inic	0.56	1.88	18.8	40.5	0

Oct	3	Inic	0.56	1.83	20.1	41.7	0
Nov	1	Inic	0.56	1.77	17.7	46.7	0
Nov	2	Inic	0.56	1.72	17.2	49	0
Nov	3	Inic	0.56	1.82	18.2	36.2	0
Dic	1	Inic	0.56	1.91	19.1	14.7	4.4
Dic	2	Inic	0.56	2.01	20.1	0.1	20
Dic	3	Inic	0.56	2.03	22.3	16.9	5.4
Ene	1	Inic	0.56	2.05	20.5	44.2	0
Ene	2	Inic	0.56	2.07	20.7	61	0
Ene	3	Inic	0.56	2.16	23.8	46.5	0
Feb	1	Inic	0.56	2.3	23	22.5	0.4
Feb	2	Inic	0.56	2.4	24	8.5	15.5
Feb	3	Des	0.55	2.21	17.7	21.7	0
Mar	1	Des	0.55	2.01	20.1	40.5	0
Mar	2	Des	0.54	1.84	18.4	52	0
Mar	3	Des	0.53	1.72	18.9	52.2	0
Abr	1	Des	0.52	1.6	16	51.2	0
Abr	2	Des	0.51	1.48	14.8	52.7	0
Abr	3	Des	0.5	1.44	14.4	53.5	0
May	1	Des	0.49	1.39	13.9	54.7	0
May	2	Des	0.49	1.35	13.5	55.8	0
May	3	Des	0.48	1.27	13.9	54.7	0
Jun	1	Des	0.47	1.19	11.9	53.4	0

Jun	2	Des	0.46	1.11	11.1	52.6	0
Jun	3	Des	0.45	1.14	11.4	52	0
Jul	1	Des	0.44	1.18	11.8	51.8	0
Jul	2	Des	0.43	1.21	12.1	51.4	0
Jul	3	Des	0.43	1.21	13.3	49.6	0
Ago	1	Des	0.42	1.22	12.2	46.6	2.4
Ago	2	Des	0.56	1.67	16.7	44.5	0
Ago	3	Des	0.56	1.79	19.7	46.8	0
Sep	1	Des	0.56	1.91	19.1	50.9	0
Sep	2	Des	0.56	2.02	20.2	53.4	0
Sep	3	Des	0.56	1.97	19.7	49.6	0
Oct	1	Des	0.56	1.93	19.3	44.1	0
Oct	2	Des	0.56	1.88	18.8	40.5	0
Oct	3	Des	0.56	1.83	20.1	41.7	0
Nov	1	Des	0.56	1.77	17.7	46.7	0
Nov	2	Des	0.56	1.72	17.2	49	0
Nov	3	Des	0.56	1.82	18.2	36.2	0
Dic	1	Des	0.56	1.91	19.1	14.7	4.4
Dic	2	Des	0.56	2.01	20.1	0.1	20
Dic	3	Des	0.56	2.03	22.3	16.9	5.4
Ene	1	Des	0.56	2.05	20.5	44.2	0
Ene	2	Des	0.56	2.07	20.7	61	0
Ene	3	Des	0.56	2.16	23.8	46.5	0

Feb	1	Des	0.56	2.3	23	22.5	0.4
Feb	2	Med	0.56	2.4	24	8.5	15.5
Feb	3	Med	0.55	2.21	17.7	21.7	0
Mar	1	Med	0.55	2.01	20.1	40.5	0
Mar	2	Med	0.54	1.84	18.4	52	0
Mar	3	Med	0.53	1.72	18.9	52.2	0
Abr	1	Med	0.52	1.6	16	51.2	0
Abr	2	Med	0.51	1.48	14.8	52.7	0
Abr	3	Med	0.5	1.44	14.4	53.5	0
May	1	Med	0.49	1.39	13.9	54.7	0
May	2	Med	0.49	1.35	13.5	55.8	0
May	3	Med	0.48	1.27	13.9	54.7	0
Jun	1	Med	0.47	1.19	11.9	53.4	0
Jun	2	Med	0.46	1.11	11.1	52.6	0
Jun	3	Med	0.45	1.14	11.4	52	0
Jul	1	Med	0.44	1.18	11.8	51.8	0
Jul	2	Med	0.43	1.21	12.1	51.4	0
Jul	3	Med	0.43	1.21	13.3	49.6	0
Ago	1	Med	0.42	1.22	12.2	46.6	2.4
Ago	2	Med	0.56	1.67	16.7	44.5	0
Ago	3	Med	0.56	1.79	19.7	46.8	0
Sep	1	Med	0.56	1.91	19.1	50.9	0
Sep	2	Med	0.56	2.02	20.2	53.4	0

Sep	3	Med	0.56	1.97	19.7	49.6	0
Oct	1	Med	0.56	1.93	19.3	44.1	0
Oct	2	Med	0.56	1.88	18.8	40.5	0
Oct	3	Med	0.56	1.83	20.1	41.7	0
Nov	1	Med	0.56	1.77	17.7	46.7	0
Nov	2	Med	0.56	1.72	17.2	49	0
Nov	3	Med	0.56	1.82	18.2	36.2	0
Dic	1	Med	0.56	1.91	19.1	14.7	4.4
Dic	2	Med	0.56	2.01	20.1	0.1	20
Dic	3	Med	0.56	2.03	22.3	16.9	5.4
Ene	1	Med	0.56	2.05	20.5	44.2	0
Ene	2	Med	0.56	2.07	20.7	61	0
Ene	3	Med	0.56	2.16	23.8	46.5	0
Feb	1	Med	0.56	2.3	23	22.5	0.4
Feb	2	Fin	0.56	2.4	24	8.5	15.5
Feb	3	Fin	0.55	2.21	17.7	21.7	0
Mar	1	Fin	0.55	2.01	20.1	40.5	0
Mar	2	Fin	0.54	1.84	18.4	52	0
Mar	3	Fin	0.53	1.72	18.9	52.2	0
Abr	1	Fin	0.52	1.6	16	51.2	0
Abr	2	Fin	0.51	1.48	14.8	52.7	0
Abr	3	Fin	0.5	1.44	14.4	53.5	0
May	1	Fin	0.49	1.39	13.9	54.7	0

May	2	Fin	0.49	1.35	13.5	55.8	0
May	3	Fin	0.48	1.27	13.9	54.7	0
Jun	1	Fin	0.47	1.19	11.9	53.4	0
Jun	2	Fin	0.46	1.11	11.1	52.6	0
Jun	3	Fin	0.45	1.14	11.4	52	0
Jul	1	Fin	0.44	1.18	11.8	51.8	0
Jul	2	Fin	0.43	1.21	12.1	51.4	0
Jul	3	Fin	0.43	1.21	13.3	49.6	0
Ago	1	Fin	0.42	1.22	2.4	9.3	2.4

**TOTAL    1993.2    5182.9    147.2**

Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0

Las unidades de registro de resultados tanto para el parámetro de precipitación efectiva como para el requerimiento de riego están en mm/dec. Dado que serán usados los totales para el cálculo de la huella hídrica azul y verde, las unidades en las que se registran estos parámetros es de mm.

En las secciones siguientes se evidencian los cálculos realizados para cada componente de la huella hídrica global.

### **8.3.1.2.Cultivo de Mangostino 2**

Para el cultivo de mangostino 2 se tienen en cuenta los datos registrados por la estación Salinas de Upin referenciados en la sección 8.1. Los datos ingresados se evidencian en la Figura 24.



País	Colombia		Estación	Salinas de Upin			
Altitud	690	m.	Latitud	4.16	°N	Longitud	73.35 °W
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	18.8	31.6	77	1.3	3.1	13.2	3.23
Febrero	18.9	32.5	74	1.2	4.8	16.4	3.81
Marzo	19.7	33.9	73	1.2	2.1	12.7	3.41
Abril	19.0	31.8	86	1.1	2.9	13.8	3.18
Mayo	19.6	32.0	87	1.0	3.0	13.4	3.05
Junio	19.0	31.4	91	1.0	1.4	10.8	2.49
Julio	19.1	32.1	90	1.0	2.5	12.5	2.82
Agosto	18.6	32.5	86	1.1	3.3	14.1	3.23
Septiembre	18.3	33.5	81	1.2	4.5	16.3	3.77
Octubre	18.8	33.7	83	1.1	2.9	13.5	3.29
Noviembre	19.0	30.9	89	1.1	2.5	12.4	2.77
Diciembre	19.3	32.6	82	1.1	3.4	13.4	3.13
Promedio	19.0	32.4	83	1.1	3.0	13.5	3.18

**Figura 24:** Entrada de datos meteorológicos al modelo; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0

Frente a las condiciones de precipitación, como ya se había mencionado, se ingresan al modelo como se evidencia en la Figura 25 los datos registrados por la estación Salinas de Upin y el cálculo de la precipitación efectiva se hace a través del método de la USDA S.C.

Estación	Salinas de Upin		Método Prec. Ef	Método USDA S.C.
	Precipit.	Prec. efec		
	mm	mm		
Enero	0.0	0.0		
Febrero	33.3	31.5		
Marzo	146.1	111.9		
Abril	399.9	165.0		
Mayo	7.4	7.3		
Junio	0.5	0.5		
Julio	376.0	162.6		
Agosto	364.9	161.5		
Septiembre	160.2	119.1		
Octubre	123.5	99.1		
Noviembre	27.8	26.6		
Diciembre	129.5	102.7		
Total	1769.1	987.8		

**Figura 25:** Ingreso de datos de precipitación al modelo; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0

El ingreso de la información correspondiente al cultivo se evidencia en la Figura 20, en esta se evidencian los valores del coeficiente del cultivo  $K_c$ , duración de cada etapa de crecimiento del cultivo en días, profundidad radicular en metros, el agotamiento crítico expresado en fracción, el factor de respuesta del rendimiento y la altura promedio del cultivo. La explicación teórica de la definición de cada valor ya fue dada.

En función de las características del suelo como ya se determinó en la sección 8.1 el suelo del cultivo corresponde a un suelo franco arcilloso. El software contiene en su base de datos condiciones definidas para los parámetros requeridos en función de la clasificación textural. Los datos seleccionados se evidencian en la Figura 26.

Nombre del suelo		BLACK CLAY SOIL
Datos generales de suelo		
Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	200.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precipitación	30	mm/día
Profundidad radicular máxima	900	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	50	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	100.0	mm/metro

**Figura 26:** Datos generales del suelo; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0

A partir de la información ya definida se procede a correr el modelo con el fin de calcular la precipitación efectiva que será el insumo para el cálculo de la huella hídrica verde y el requerimiento de riego el cual será base para el cálculo de la huella hídrica azul.

En la Tabla 19 se muestran los resultados obtenidos por el modelo CROPWAT 8.0 para el cultivo 2 de Mangostán.

**Tabla 19:** Resultados de cálculo del requerimiento de agua en el cultivo 2 de Mangostán

Mes	Decada	Etap	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/dia	mm/dia	mm/dec	mm/dec
Jun	1	Inic	0.76	2.03	10.2	0	20.3
Jun	2	Inic	0.75	1.87	18.7	0	18.7
Jun	3	Inic	0.74	1.93	19.3	0.6	18.8
Jul	1	Inic	0.74	2	20	41.4	0
Jul	2	Inic	0.73	2.06	20.6	61.9	0
Jul	3	Inic	0.72	2.13	23.5	59.2	0
Ago	1	Inic	0.71	2.21	22.1	55.2	0
Ago	2	Inic	0.71	2.28	22.8	55.7	0
Ago	3	Inic	0.7	2.38	26.2	50.4	0
Sep	1	Inic	0.69	2.53	25.3	43.8	0
Sep	2	Inic	0.81	3.15	31.5	38.7	0
Sep	3	Inic	0.81	2.99	29.9	36.8	0
Oct	1	Inic	0.81	2.81	28.1	36.9	0
Oct	2	Inic	0.81	2.67	26.7	35.5	0
Oct	3	Inic	0.81	2.53	27.9	26.6	1.3
Nov	1	Inic	0.81	2.4	24	12.2	11.7
Nov	2	Inic	0.81	2.26	22.6	1.8	20.8

Nov	3	Inic	0.81	2.35	23.5	12.6	10.9
Dic	1	Inic	0.81	2.45	24.5	31.4	0
Dic	2	Inic	0.81	2.54	25.4	42.7	0
Dic	3	Inic	0.81	2.57	28.3	28.4	0
Ene	1	Inic	0.81	2.6	26	0.1	25.9
Ene	2	Inic	0.81	2.63	26.3	0	26.3
Ene	3	Inic	0.81	2.79	30.6	0	30.6
Feb	1	Inic	0.81	3	30	5.5	24.5
Feb	2	Inic	0.81	3.18	31.8	8.2	23.6
Feb	3	Inic	0.81	3.05	24.4	17.9	6.5
Mar	1	Inic	0.81	2.88	28.8	29.2	0
Mar	2	Inic	0.81	2.78	27.8	38.6	0
Mar	3	Inic	0.81	2.7	29.7	44	0
Abr	1	Des	0.8	2.61	26.1	55.8	0
Abr	2	Des	0.8	2.53	25.3	65	0
Abr	3	Des	0.79	2.47	24.7	44.1	0
May	1	Des	0.78	2.42	24.2	7.4	16.8
May	2	Des	0.77	2.36	23.6	0	23.6
May	3	Des	0.77	2.2	24.1	0	24.1
Jun	1	Des	0.76	2.03	20.3	0	20.3
Jun	2	Des	0.75	1.87	18.7	0	18.7

Jun	3	Des	0.74	1.93	19.3	0.6	18.8
Jul	1	Des	0.74	2	20	41.4	0
Jul	2	Des	0.73	2.06	20.6	61.9	0
Jul	3	Des	0.72	2.13	23.5	59.2	0
Ago	1	Des	0.71	2.21	22.1	55.2	0
Ago	2	Des	0.71	2.28	22.8	55.7	0
Ago	3	Des	0.7	2.38	26.2	50.4	0
Sep	1	Des	0.69	2.53	25.3	43.8	0
Sep	2	Des	0.81	3.15	31.5	38.7	0
Sep	3	Des	0.81	2.99	29.9	36.8	0
Oct	1	Des	0.81	2.81	28.1	36.9	0
Oct	2	Des	0.81	2.67	26.7	35.5	0
Oct	3	Des	0.81	2.53	27.9	26.6	1.3
Nov	1	Des	0.81	2.4	24	12.2	11.7
Nov	2	Des	0.81	2.26	22.6	1.8	20.8
Nov	3	Des	0.81	2.35	23.5	12.6	10.9
Dic	1	Des	0.81	2.45	24.5	31.4	0
Dic	2	Des	0.81	2.54	25.4	42.7	0
Dic	3	Des	0.81	2.57	28.3	28.4	0
Ene	1	Des	0.81	2.6	26	0.1	25.9
Ene	2	Des	0.81	2.63	26.3	0	26.3

Ene	3	Des	0.81	2.79	30.6	0	30.6
Feb	1	Des	0.81	3	30	5.5	24.5
Feb	2	Des	0.81	3.18	31.8	8.2	23.6
Feb	3	Des	0.81	3.05	24.4	17.9	6.5
Mar	1	Des	0.81	2.88	28.8	29.2	0
Mar	2	Des	0.81	2.78	27.8	38.6	0
Mar	3	Med	0.81	2.7	29.7	44	0
Abr	1	Med	0.8	2.61	26.1	55.8	0
Abr	2	Med	0.8	2.53	25.3	65	0
Abr	3	Med	0.79	2.47	24.7	44.1	0
May	1	Med	0.78	2.42	24.2	7.4	16.8
May	2	Med	0.77	2.36	23.6	0	23.6
May	3	Med	0.77	2.2	24.1	0	24.1
Jun	1	Med	0.76	2.03	20.3	0	20.3
Jun	2	Med	0.75	1.87	18.7	0	18.7
Jun	3	Med	0.74	1.93	19.3	0.6	18.8
Jul	1	Med	0.74	2	20	41.4	0
Jul	2	Med	0.73	2.06	20.6	61.9	0
Jul	3	Med	0.72	2.13	23.5	59.2	0
Ago	1	Med	0.71	2.21	22.1	55.2	0
Ago	2	Med	0.71	2.28	22.8	55.7	0

Ago	3	Med	0.7	2.38	26.2	50.4	0
Sep	1	Med	0.69	2.53	25.3	43.8	0
Sep	2	Med	0.81	3.15	31.5	38.7	0
Sep	3	Med	0.81	2.99	29.9	36.8	0
Oct	1	Med	0.81	2.81	28.1	36.9	0
Oct	2	Med	0.81	2.67	26.7	35.5	0
Oct	3	Med	0.81	2.53	27.9	26.6	1.3
Nov	1	Med	0.81	2.4	24	12.2	11.7
Nov	2	Med	0.81	2.26	22.6	1.8	20.8
Nov	3	Med	0.81	2.35	23.5	12.6	10.9
Dic	1	Med	0.81	2.45	24.5	31.4	0
Dic	2	Med	0.81	2.54	25.4	42.7	0
Dic	3	Med	0.81	2.57	28.3	28.4	0
Ene	1	Med	0.81	2.6	26	0.1	25.9
Ene	2	Med	0.81	2.63	26.3	0	26.3
Ene	3	Med	0.81	2.79	30.6	0	30.6
Feb	1	Med	0.81	3	30	5.5	24.5
Feb	2	Med	0.81	3.18	31.8	8.2	23.6
Feb	3	Med	0.81	3.05	24.4	17.9	6.5
Mar	1	Med	0.81	2.88	28.8	29.2	0
Mar	2	Med	0.81	2.78	27.8	38.6	0

Mar	3	Fin	0.81	2.7	29.7	44	0
Abr	1	Fin	0.8	2.61	26.1	55.8	0
Abr	2	Fin	0.8	2.53	25.3	65	0
Abr	3	Fin	0.79	2.47	24.7	44.1	0
May	1	Fin	0.78	2.42	24.2	7.4	16.8
May	2	Fin	0.77	2.36	23.6	0	23.6
May	3	Fin	0.77	2.2	24.1	0	24.1
Jun	1	Fin	0.76	2.03	20.3	0	20.3
Jun	2	Fin	0.75	1.87	18.7	0	18.7
Jun	3	Fin	0.74	1.93	19.3	0.6	18.8
Jul	1	Fin	0.74	2	20	41.4	0
Jul	2	Fin	0.73	2.06	20.6	61.9	0
Jul	3	Fin	0.72	2.13	23.5	59.2	0
Ago	1	Fin	0.71	2.21	22.1	55.2	0
Ago	2	Fin	0.71	2.28	22.8	55.7	0
Ago	3	Fin	0.7	2.38	26.2	50.4	0
Sep	1	Fin	0.69	2.53	20.3	35	0
Total					<b>2947.1</b>	<b>3322.8</b>	<b>970.6</b>



### 8.3.2. Cálculo de la huella hídrica azul

La huella hídrica azul ( $WF_{proc.blue}$  [m<sup>3</sup>/ton]), está definida por el cociente entre el agua aprovechada por el cultivo proveniente de riego y el rendimiento del cultivo en Kg/m<sup>2</sup>. (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2010)

La diferencia entre la precipitación efectiva y los requerimientos totales de agua en el cultivo definen la cantidad de agua que aprovecha el cultivo proveniente del riego. El valor obtenido como el requerimiento de riego del cultivo es el que se divide por el rendimiento del mismo. El rendimiento está definido como la cantidad de producto final cosechado por unidad de área. (Barros, 2012)

A continuación, se evidencia la ecuación que permite el cálculo de la huella hídrica azul para ambos cultivos:

$$WF_{proc.blue} = \frac{Req. Riego}{Y}$$

Dónde:

Req. Riego = requerimientos de riego de los cultivos (m)

Y= Rendimiento del cultivo (Kg/m<sup>2</sup>)

La determinación de los requerimientos hídricos del cultivo realizada por el modelo CROPWAT 8.0 estuvo basada en la estimación de la evapotranspiración potencial ligada a las características del cultivo y del suelo, obteniendo así los requerimientos de riego del cultivo.

Los cálculos de la huella hídrica azul se evidencian a continuación:

$$WF_{proc.blue1} = \frac{0.1472 \text{ m}}{1.49 \frac{Kg}{m^2}}$$

$$WF_{proc.blue2} = \frac{0.9076 \text{ m}}{1.4 \frac{Kg}{m^2}}$$

$$WF_{proc.blue1} = 0.098 \frac{m^3}{Kg}$$

$$WF_{proc.blue2} = 0.648 \frac{m^3}{Kg}$$

$$WF_{proc.blue1} = 98.79 \frac{m^3}{Ton}$$

$$WF_{proc.blue2} = 648.28 \frac{m^3}{Ton}$$

### 8.3.3. Cálculo de la huella hídrica verde

La huella hídrica verde corresponde a la relación entre el agua utilizada por el cultivo proveniente de la precipitación y el rendimiento del cultivo (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2010). Teniendo en cuenta a (Barros, 2012), la cantidad de agua aprovechada por el cultivo que proviene de la precipitación, corresponde a la precipitación efectiva. Entonces, la huella hídrica verde se entiende como la razón entre la precipitación efectiva del lugar donde se ubica el cultivo y el rendimiento del mismo.

La precipitación efectiva está definida como la cantidad de agua precipitada que no se pierde a través de escorrentía superficial ni por percolación profunda, por lo que queda disponible para el aprovechamiento de la planta. (FAO, 2010)

A continuación, se evidencia la ecuación que permite el cálculo de la huella hídrica verde:

$$WF_{proc.green} = \frac{P_{ef.}}{Y}$$

Dónde:

$P_{ef}$  = Precipitación efectiva (m)

Y = Rendimiento del cultivo ( $Kg/m^2$ )

El valor de precipitación efectiva calculado por el modelo es de 5.183 y 3.322 m. Los cálculos de la huella hídrica verde se evidencian a continuación:

$$WF_{proc.green1} = \frac{5.183 \text{ m}}{1.49 \frac{Kg}{m^2}}$$

$$WF_{proc.green2} = \frac{3.322 \text{ m}}{1.4 \frac{Kg}{m^2}}$$

$$WF_{proc.green1} = 3.47 \frac{m^3}{Kg}$$

$$WF_{proc.green2} = 2.37 \frac{m^3}{Kg}$$

$$WF_{proc.green1} = 3478 \frac{m^3}{Ton}$$

$$WF_{proc.green2} = 2373 \frac{m^3}{Ton}$$

### 8.3.4. Cálculo de la huella hídrica gris

La estimación de la huella hídrica gris está en función de la tasa de aplicación de productos químicos por unidad de área del cultivo, la fracción de lixiviación, el rendimiento del cultivo, la concentración máxima permisible y la concentración natural de los contaminantes en el cuerpo de agua receptor.

Teniendo en cuenta que la aplicación de agro químicos en ambos cultivos es nula, este parámetro no fue calculado y se asume como 0 para el cálculo de la huella hídrica total.

### 8.3.5. Cálculo de la huella hídrica total

La huella hídrica total se calcula como la sumatoria del valor obtenido para cada uno de los componentes. La ecuación se describe a continuación:

$$WF_{proc} = WF_{proc,green} + WF_{proc,blue} + WF_{proc,grey}$$

Dónde:

$WF_{proc,green} (m^3/Kg)$  = Huella hídrica verde

$WF_{proc,blue} (m^3/Kg)$  = Huella hídrica Azul

$WF_{proc,grey} (m^3/Kg)$  = Huella hídrica Gris

El valor total estimado de huella hídrica para los cultivos de Mangostino es de:

$$WF_{Proc1} = \frac{3478 \text{ m}^3}{\text{ton}} + \frac{98.79 \text{ m}^3}{\text{ton}}$$

$$WF_{Proc2} = \frac{2373 \text{ m}^3}{\text{ton}} + \frac{648.28 \text{ m}^3}{\text{ton}}$$

$$WF_{Proc1} = \frac{3576.8 \text{ m}^3}{\text{ton}}$$

$$WF_{Proc2} = \frac{3021.3 \text{ m}^3}{\text{ton}}$$

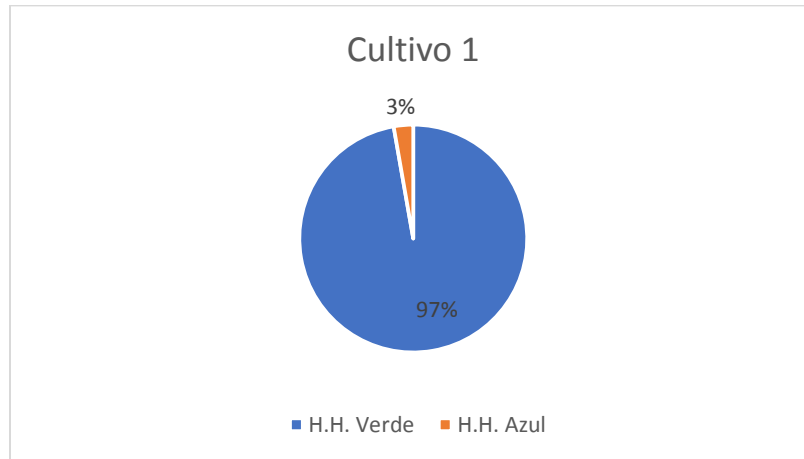
#### **8.4. Análisis de resultados**

Dadas las condiciones del cultivo de Mangostino ubicado en el municipio de San Martín de los Llanos, Departamento del Meta, se obtuvo una huella hídrica total de 3576.8 m<sup>3</sup> de agua por cada tonelada de fruto producida. El valor obtenido para el cultivo ubicado en el municipio de Restrepo fue de 3021,3 m<sup>3</sup>.

Este valor de huella hídrica correspondería a la primera cosecha que se obtiene del cultivo, teniendo en cuenta las fases de desarrollo de la planta. Se entiende que hay un mayor requerimiento de agua en estas fases, dado el lento desarrollo del árbol hasta el momento de su primera floración y producción.

Durante este periodo de tiempo, se encontró que la influencia de cada componente en el valor de huella hídrica para el cultivo 1 es del 97% para la huella hídrica verde, es decir agua obtenida directamente de la precipitación efectiva, tal como se muestra en la Figura

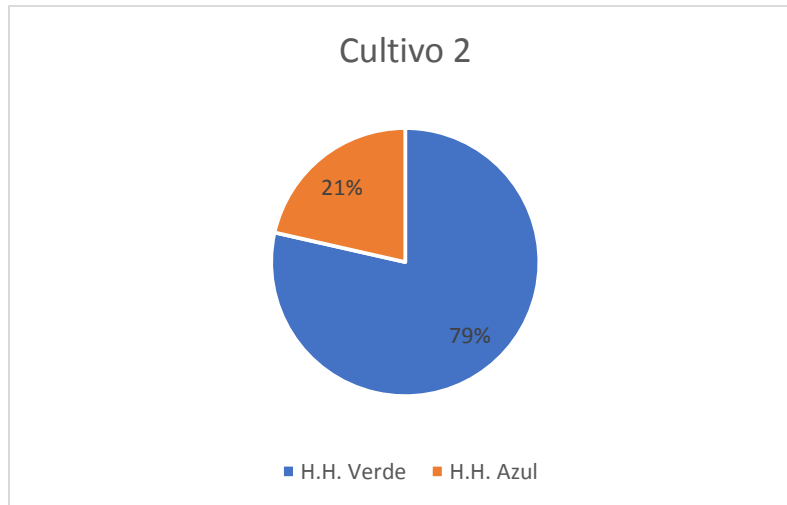
27. El 3% restante corresponde al componente de huella hídrica azul, definido como la necesidad de riego.



**Figura 27:** Influencia de cada componente en el valor de huella hídrica total (Cultivo 1);

Fuente: Autores

En contraposición, la distribución de la influencia de cada uno de los componentes de la huella hídrica para el cultivo 2 corresponde a un 79% de huella hídrica verde y un 21% del componente de huella hídrica azul tal como se evidencia en la



**Figura 28:** Influencia de cada componente en el valor de huella hídrica total (Cultivo 2),

Fuente: Autores.

Adicionalmente, se estableció que el componente de la huella hídrica gris, para el caso de estudio es nulo, dado que no se hace uso de ningún tipo de agroquímico en el proceso.

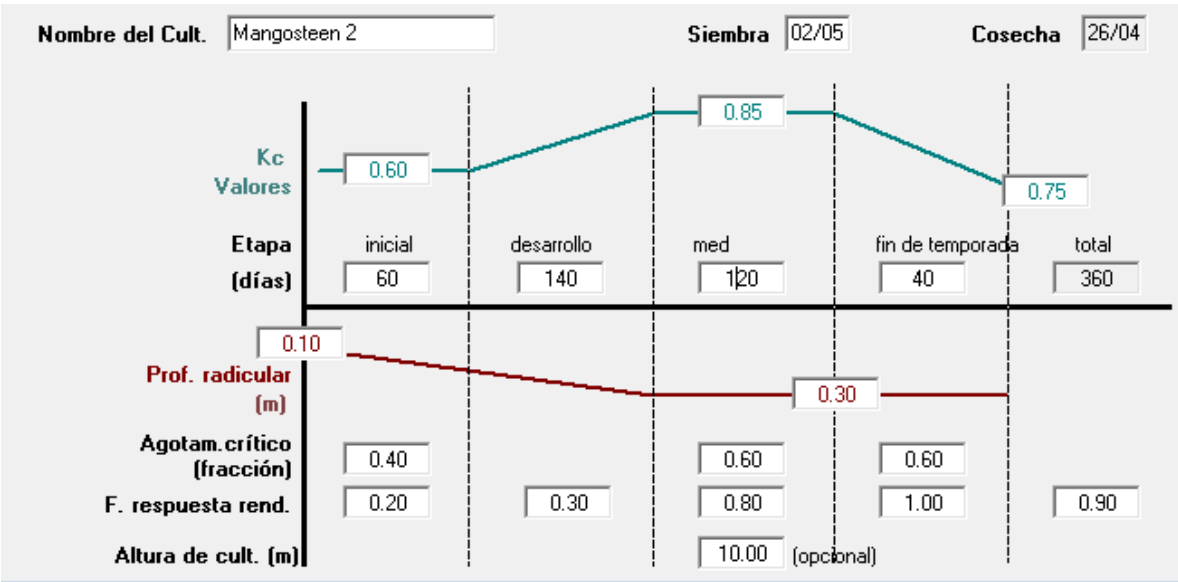
Cuando se comparan los valores obtenidos para los dos cultivos se encuentra que, aunque la necesidad de riego para el cultivo 1 es mucho menor con respecto a la necesidad de riego del cultivo 2 ubicado en Restrepo – Meta, el consumo global de agua es mucho menor en este último cultivo relacionado.

La diferencia de la huella hídrica total corresponde a  $555.5 \text{ m}^3$  por tonelada de fruto producido. Las diferencias entre las necesidades de riego pueden estar dadas por las bajas precipitaciones presentadas en el municipio de Restrepo en comparación con las registradas en San Martín.

Sin embargo, la diferencia en el consumo total de agua puede deberse a las condiciones del suelo y los valores de temperatura registrados.

**8.5. Fase IV: Formulación de alternativas**

Para la formulación de alternativas se realizaron nuevamente los cálculos del requerimiento de riego, ajustando los valores de duración de cada una de las fases de desarrollo de la planta como se muestra en la Figura 29 para definir un año como periodo de cosecha.



**Figura 29:** Datos de cultivo para un año de producción; Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0

Los resultados obtenidos para este periodo de tiempo se muestran en la Tabla 20 y Tabla 21 para cada cultivo en estudio



**Tabla 20:** Datos de requerimiento de riego para un año de producción (Cultivo 1)

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
May	1	Inic	0.6	1.69	15.2	49.2	0
May	2	Inic	0.6	1.66	16.6	55.8	0
May	3	Inic	0.6	1.59	17.5	54.7	0
Jun	1	Inic	0.6	1.52	15.2	53.4	0
Jun	2	Inic	0.6	1.45	14.5	52.6	0
Jun	3	Inic	0.6	1.52	15.2	52	0
Jul	1	Des	0.6	1.59	15.9	51.8	0
Jul	2	Des	0.59	1.65	16.5	51.4	0
Jul	3	Des	0.59	1.67	18.3	49.6	0
Ago	1	Des	0.58	1.69	16.9	46.6	0
Ago	2	Des	0.57	1.71	17.1	44.5	0
Ago	3	Des	0.57	1.81	19.9	46.8	0
Sep	1	Des	0.56	1.91	19.1	50.9	0
Sep	2	Des	0.56	2.01	20.1	53.4	0
Sep	3	Des	0.55	1.94	19.4	49.6	0
Oct	1	Des	0.55	1.87	18.7	44.1	0
Oct	2	Des	0.54	1.81	18.1	40.5	0
Oct	3	Des	0.54	1.74	19.1	41.7	0

Nov	1	Des	0.53	1.67	16.7	46.7	0
Nov	2	Med	0.53	1.61	16.1	49	0
Nov	3	Med	0.52	1.69	16.9	36.2	0
Dic	1	Med	0.52	1.78	17.8	14.7	3.1
Dic	2	Med	0.52	1.87	18.7	0.1	18.7
Dic	3	Med	0.52	1.89	20.8	16.9	3.9
Ene	1	Med	0.52	1.91	19.1	44.2	0
Ene	2	Med	0.52	1.92	19.2	61	0
Ene	3	Med	0.52	2.01	22.2	46.5	0
Feb	1	Med	0.52	2.14	21.4	22.5	0
Feb	2	Med	0.52	2.25	22.5	8.5	14
Feb	3	Med	0.52	2.1	16.8	21.7	0
Mar	1	Med	0.52	1.93	19.3	40.5	0
Mar	2	Fin	0.52	1.79	17.9	52	0
Mar	3	Fin	0.49	1.6	17.6	52.2	0
Abr	1	Fin	0.46	1.4	14	51.2	0
Abr	2	Fin	0.42	1.22	12.2	52.7	0
Abr	3	Fin	0.39	1.12	6.7	32.1	0

**Total                    629.2            1537.2            39.6**

Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0

**Tabla 21:** Datos de requerimiento de riego para un año de producción (Cultivo 2)

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/dia	mm/dia	mm/dec	mm/dec
Jun	1	Inic	0.6	1.61	8	0	8
Jun	2	Inic	0.6	1.49	14.9	0	14.9
Jun	3	Inic	0.6	1.56	15.6	0.6	15
Jul	1	Inic	0.6	1.63	16.3	41.4	0
Jul	2	Inic	0.6	1.69	16.9	61.9	0
Jul	3	Inic	0.6	1.77	19.5	59.2	0
Ago	1	Des	0.6	1.86	18.6	55.2	0
Ago	2	Des	0.62	1.99	19.9	55.7	0
Ago	3	Des	0.63	2.15	23.7	50.4	0
Sep	1	Des	0.65	2.37	23.7	43.8	0
Sep	2	Des	0.66	2.56	25.6	38.7	0
Sep	3	Des	0.68	2.49	24.9	36.8	0
Oct	1	Des	0.69	2.38	23.8	36.9	0
Oct	2	Des	0.7	2.32	23.2	35.5	0
Oct	3	Des	0.72	2.24	24.7	26.6	0
Nov	1	Des	0.74	2.17	21.7	12.2	9.4
Nov	2	Des	0.75	2.08	20.8	1.8	19
Nov	3	Des	0.76	2.21	22.1	12.6	9.5

Dic	1	Des	0.78	2.34	23.4	31.4	0
Dic	2	Des	0.79	2.48	24.8	42.7	0
Dic	3	Med	0.8	2.54	27.9	28.4	0
Ene	1	Med	0.8	2.56	25.6	0.1	25.6
Ene	2	Med	0.8	2.59	25.9	0	25.9
Ene	3	Med	0.8	2.75	30.2	0	30.2
Feb	1	Med	0.8	2.96	29.6	5.5	24.1
Feb	2	Med	0.8	3.14	31.4	8.2	23.2
Feb	3	Med	0.8	3.01	24	17.9	6.1
Mar	1	Med	0.8	2.85	28.5	29.2	0
Mar	2	Med	0.8	2.74	27.4	38.6	0
Mar	3	Med	0.8	2.68	29.4	44	0
Abr	1	Med	0.8	2.61	26.1	55.8	0
Abr	2	Med	0.8	2.55	25.5	65	0
Abr	3	Fin	0.79	2.47	24.7	44.1	0
May	1	Fin	0.76	2.35	23.5	7.4	16.1
May	2	Fin	0.73	2.22	22.2	0	22.2
May	3	Fin	0.69	1.99	21.9	0	21.8
				Totales	<b>836</b>	<b>987.8</b>	<b>271.1</b>

Fuente: Autores, tomado de CROPWAT 8.0

Se calculan para este periodo de tiempo nuevamente cada uno de los componentes de la huella hídrica total obteniendo los siguientes resultados:

- Huella hídrica verde:

$$WF_{proc.green1} = \frac{P_{ef.}}{Y} \quad WF_{proc.green1} = \frac{1.537 \text{ m}}{1.49 \frac{Kg}{m^2}} \quad WF_{proc.green1} = 1.03 \frac{m^3}{Kg}$$

$$WF_{proc.green1} = 1031 \frac{m^3}{Ton}$$

$$WF_{proc.green2} = \frac{P_{ef.}}{Y} \quad WF_{proc.green2} = \frac{0.9878 \text{ m}}{1.4 \frac{Kg}{m^2}} \quad WF_{proc.green2} = 0.705 \frac{m^3}{Kg}$$

$$WF_{proc.green2} = 705 \frac{m^3}{Ton}$$

- Huella hídrica azul:

$$WF_{proc.blue1} = \frac{Req.Riego}{Y} \quad WF_{proc.blue1} = \frac{0.0396 \text{ m}}{1.49 \frac{Kg}{m^2}} \quad WF_{proc.blue1} = 0.0265 \frac{m^3}{Kg}$$

$$WF_{proc.blue1} = 26.57 \frac{m^3}{Ton}$$

$$WF_{proc.blue2} = \frac{Req.Riego}{Y} \quad WF_{proc.blue2} = \frac{0.271 \text{ m}}{1.4 \frac{Kg}{m^2}} \quad WF_{proc.blue2} = 0.193 \frac{m^3}{Kg}$$

$$WF_{proc.blue2} = 193.57 \frac{m^3}{Ton}$$

Para definir el requerimiento total de agua en el cultivo 1 en un año se hace uso del valor obtenido en la huella hídrica azul que corresponde a los requerimientos de riego y se multiplica por la producción total estimada. Los cálculos correspondientes son los siguientes:

$$Req. total Agua = \frac{26.57 m^3}{ton} \left( \frac{1 ton}{1000 kg} \right) \left( \frac{0,112 kg}{1 un} \right) \left( \frac{400000 un}{año} \right)$$

$$Req. total Agua = 1190,4 \frac{m^3}{año}$$

Teniendo el valor de agua requerida en el cultivo, se procedió a hacer el cálculo del agua que está siendo utilizada para riego dado las condiciones de bombeo definidas con anterioridad. Para el desarrollo de este cálculo se tienen en cuenta las condiciones de días sin precipitación, obtenidas como un total de días secos al año a partir de la información de la estación La Holanda. Los registros de días con lluvia se muestran en la Tabla 6.

En total se obtuvieron 193 días de lluvia y en concordancia 172 días secos para el año en estudio. El riego se hace después de tres días donde no se haya presentado precipitación por lo tanto se establecieron en total un aproximado de 58 riegos al año.

Cada riego se hace durante dos horas a un caudal de 1L/s. Los resultados de la cantidad total de agua suministrada al año se presentan a continuación:

$$Agua\ Sums. = \frac{1L}{s} \left( \frac{3600s}{1\ h} \right) \left( \frac{2h}{riego} \right) \left( \frac{58\ riegos}{año} \right) \left( \frac{1m^3}{1000L} \right)$$

$$Agua\ Sums. = 417.6 \frac{m^3}{año}$$

Si se comparan los valores de las necesidades de riego totales en un año de producción, teniendo en cuenta los resultados obtenidos por la aplicación del modelo y la tasa de riego que se lleva a cabo actualmente en la finca donde se encuentra ubicado el cultivo, se encuentra un déficit de 772,8m<sup>3</sup> de agua al año.

Este valor correspondería a un déficit total de 2.2 m<sup>3</sup> al día en todo el cultivo. Aunque se conoce que la planta de mangostán requiere de un nivel mínimo de estrés hídrico para la producción del fruto, se recomienda ajustar el valor del riego para el cumplimiento de las necesidades de abastecimiento del recurso. Lo anterior, teniendo en cuenta que los datos suministrados al modelo, incluyendo el Kc ya están definidos por el comportamiento de la planta.

En el caso del cultivo, el cálculo del requerimiento de riego se hace de la misma manera, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Req.\ total\ Agua = \frac{193.57\ m^3}{ton} \left( \frac{1\ ton}{1000\ kg} \right) \left( \frac{0,112kg}{1\ un} \right) \left( \frac{750000\ un}{año} \right)$$

$$Req.\ total\ Agua = 16259,88 \frac{m^3}{año}$$

Se determinó a partir del cálculo del requerimiento de riego que el cultivo 2 presenta un déficit de agua durante la etapa media y final de cultivo haciéndose necesaria la implementación de un sistema de riego.



## 9. CONCLUSIONES

- La huella hídrica del cultivo de mangostino ubicado en el municipio de San Martin corresponde a un total de  $3562,34\text{m}^3/\text{ton}$  de fruto producido durante las primeras etapas de maduración de la planta. Después de alcanzada la edad productiva la huella hídrica del cultivo es de  $1057,57\text{m}^3/\text{ton}$ , mientras que el cultivo de mangostino ubicado en Restrepo tiene un consumo total de  $3021.3\text{ m}^3/\text{ton}$  en sus primeros 3 años de desarrollo y un consumo de  $898\text{ m}^3/\text{ton}$  en su fase productiva.
- Aunque la representatividad de la huella hídrica verde es mayor en los dos cultivos evaluados, se evidencian diferencias significativas presentándose un 97% de influencia en la huella hídrica total del cultivo ubicado en San Martin, mientras que la influencia en el cultivo ubicado en Restrepo corresponde solo al 79%
- El cultivo de mangostán ubicado en el municipio de San Martin de los Llanos en el departamento del meta cuenta con un sistema de riego tecnificado de bombeo por pozo perforado cuya tasa de bombeo no supe las necesidades del cultivo. Mientras que el cultivo de Restrepo requiere un sistema de riego tecnificado que supla el déficit de agua en la época definida en la evaluación.
- Dados los resultados obtenidos se puede concluir que, aunque el cultivo ubicado en el municipio de Restrepo requiere mayor cantidad de agua de riego, el consumo total de agua es menor comparado con la huella hídrica total del cultivo ubicado en

San Martín. Esta diferencia en las cantidades puede deberse al tipo de suelo, las condiciones de precipitación y de temperatura que se presentan en la zona concluyendo que el requerimiento de agua no depende solo del tipo de especie a cultivar.

- Se considera, dados los resultados obtenidos, que la producción en las tres hectáreas del cultivo, puede incrementarse si se ajustan los valores de riego para que cumplan la demanda requerida, puesto que a la tasa de bombeo actual existe un déficit de 772 m<sup>3</sup>/año.

## **10. RECOMENDACIONES**

- Para un cálculo más exacto de la huella hídrica de un cultivo como el Mangostino, del cual no se tiene mucha información disponible, es necesario hacer estudios específicos de suelo a fin de ajustar las variables de comportamiento hidráulico del mismo y reducir el error en el cálculo de los requerimientos hídricos.
- La aplicación de agroquímicos depende del tipo de suelo que se tenga o del tipo de control de plagas (en el caso de los plaguicidas) que establezca el productor al momento de hacer la plantación y mantener en condiciones óptimas las parcelas cultivadas. De la misma manera la huella hídrica gris, derivada de la aplicación de dichos elementos, está asociada con la concentración de los componentes principales en la fuente hídrica receptora. Por esta razón, se sugiere una evaluación de la huella hídrica gris para cada cultivo de manera específica.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- Amézquita, V., & Motta, D. (2015). *Evaluación de huella hídrica en la producción de un cultivo de papa R12*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Arévalo, D. (2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica*. WWF.
- Argonne National Laboratory. (2000). *Hydraulic conductivity*. Obtenido de Environmental Science Division: <http://web.ead.anl.gov/resrad/datacoll/conuct.htm>
- Arizabalo, R. (1991). *La contaminación del agua subterránea y su transporte en medios porosos*. Mexico: UNAM.
- Barros, M. J. (2012). *Estimación de la huella hídrica con potencial bioenergético en la provincia de Limarí, región de coquimbo*. Chile: Limarí.
- Ciancaglini, N. (2001). *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*. San Juan: INTA EEA.
- Colombia. (2012). *Conoce las propiedades del mangostán y sus beneficios*. Obtenido de <http://www.colombia.com/vida-sana/nutricion/sdi/38069/conoce-las-propiedades-del-mangostan-y-sus-beneficios>
- CROPWAT. (2009). *Manual de Uso*. FAO.
- European Environmental Agency. (2005). *Water Stress*. Obtenido de <http://www.eea.europa.eu/themes/water/wise-help-centre/glossary-definitions/water-stress>

- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO.
- FAO. (2010). *CROPWAT 8.0 Model*. Roma: FAO.
- FAO. (2012). *Crop yield Response to water*. Roma.
- FAO. (2013). *FAO WATER LAND A WATER DIVISION*. Obtenido de FAO WATER LAND A WATER DIVISION helping to build a world without hunger:  
[http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html)
- FAO. (s.f.). Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego mas adecuado .
- Frutas y Verduras Eladio, S. L. (2015). *Mangostán*. Obtenido de  
<http://www.frutaseladio.com/es/mangostan>
- Hernandez, R., Fernandez, C., & P, B. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (16 de 10 de 2010). Manual de Evaluación de la huella hídrica. . *Manual de Evaluación de la huella hídrica. Definiendo una norma global*.
- InfoAgro. (2003). *El cultivo del Mangostán*. Obtenido de  
[http://www.infoagro.com/documentos/el\\_cultivo\\_del\\_mangostan.asp](http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_mangostan.asp)
- INGEGAR INGENIERIA E.U. (2010). *Informe final estudio de suelos proyecto urbanización La Madrid*. Villavicencio: INGENGAR.

- Ingevias Construc Ltda. (2010). *ESTUDIO DE SUELOS PARA LA SUBESTACION SAN MARTIN*. San Martín de los Llanos: Ingevias Construc Ltda .
- Legarda, L., & Benavides, O. (2000). Balances hídricos agrícolas de algunos cultivos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 100.
- León, J. (2000). *Botánica de los cultivos tropicales*. Agroamerica.
- Mary, R. (2001). *Determinación manual de la textura de suelos mediante la técnica del "Tacto"*. Obtenido de <http://textura1.tripod.com/>
- Meteoblue. (2016). *Archivo meteorológico Acacías*. Obtenido de [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/archive/acac%C3%ADas\\_colombia\\_3690577?fcstlength=1y&year=2016&month=5](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/archive/acac%C3%ADas_colombia_3690577?fcstlength=1y&year=2016&month=5)
- Mildford, M. (1997). *Soils and Soils Science: Laboratory exercises. 4th Edition*. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.
- MORLLLO, J., RODRIGUEZ, J. A., CAMACHO, E., & MONTESINOS, P. (2014). Linking water footprint accounting with irrigation management in high value crops. *ELSEVIER- Science Direct*.
- Natursan. (2008). *Mangostán: Beneficios y propiedades*. Obtenido de <http://www.natursan.net/mangostan-beneficios-y-propiedades/>
- OAB. (2016). *Observatorio Ambiental de Bogotá*. Obtenido de Precipitación mensual: <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=512&v=1>
- Othman, Y. (1995). *Mangosteen Cultivation*. FAO.

- Paull, R. (2012). *Tropical Fruits: Crop production science in Horticulture Vol. 2*. Lima: MPG Books Ltd.
- Restrepo, J. (30 de Agosto de 2015). *El Mangostino la Fruta de la Vida*. Obtenido de ANeIA: <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2015/08/31/el-mangostino-la-fruta-de-la-vida/>
- Rose, C. (2004). *An Introduction to the Environmental Physics of Soil, Water and Watersheds*, . United Kingdom: University of Cambridge.
- SiAR. (2010). *CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA* . Obtenido de [http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/precipitacionefectiva05\\_tcm7-380300.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/precipitacionefectiva05_tcm7-380300.pdf)
- Trezza, R. (2013). *CROPWAT PARA WINDOWS*. Obtenido de [http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT\\_MANUAL.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf)
- UNESCO. (1981). *Métodos de cálculo del balance hídrico*. Unesco.
- UNESCO. (2011). *Estudio Nacional de la Huella hídrica en Colombia*. Terrassa: Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo.
- Universidad de Piura. (2010). *Infiltración*. Obtenido de [http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1\\_136\\_147\\_89\\_1258.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_136_147_89_1258.pdf)
- USDA. (2006). *Soil Water Characteristics*. Washington, USA.
- Vanegas, Y., Vera, L., & Torres, J. (2013). *Evaluación de la Huella Hídrica del Lirio Japonés*. Bogotá: Revista Especializada en Ingeniería UNAD.

Water Footprint Network. (2011). *The water footprint assessment manual*. London: Water Footprint Network.

Zarate, E., & Derk, K. (2013). *Evaluación de huella hídrica del banano para pequeños productores en Perú y Ecuador*. Bowil - Switzerland: TECHNICAL ASSISTANCE FOR SUSTAINABLE TRADE & ENVIRONMENT.