

|   |   |                     |                   |          |
|---|---|---------------------|-------------------|----------|
|  | <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b> |                     |                   |          |
|   | Documento   | Código              | Fecha             | Revisión |
|   | <b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>  | <b>F-AC-DBL-007</b> | <b>10-04-2012</b> | <b>A</b> |
| Dependencia   | Aprobado  |                     | Pág.              |          |
| <b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>   | <b>SUBDIRECTOR ACADÉMICO</b>                          |                     | <b>1(105)</b>     |          |

### RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

|   |  |                   |           |
|---|--|-------------------|-----------|
| <b>AUTORES</b>  | SINDY PAOLA ARÉVALO PACHECO<br>LAURA JIMENA JIMÉNEZ PACHECO  |                   |           |
| <b>FACULTAD</b>   | CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE   |                   |           |
| <b>PLAN DE ESTUDIOS</b>   | INGENIERIA AMBIENTAL   |                   |           |
| <b>DIRECTOR</b>   | WILSON ANGARITA CASTILLA   |                   |           |
| <b>TÍTULO DE LA TESIS</b>   | CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE TOMATE DEL DISTRITO DE RIEGO ASUDRA ABREGO, NORTE DE SANTANDER. |                   |           |
| <b>RESUMEN</b><br>(70 PALABRAS APROXIMADAMENTE)   |  |                   |           |
| <p>LA HUELLA HÍDRICA ES UN INDICADOR QUE DEFINE EL VOLUMEN TOTAL DE AGUA DULCE USADO PARA PRODUCIR LOS BIENES Y SERVICIOS PRODUCIDOS POR UNA EMPRESA, O CONSUMIDOS POR UN INDIVIDUO O COMUNIDAD. MIDE EN EL VOLUMEN DE AGUA CONSUMIDA, EVAPORADA O CONTAMINADA A LO LARGO DE LA CADENA DE SUMINISTRO, YA SEA POR UNIDAD DE TIEMPO PARA INDIVIDUOS Y COMUNIDADES, O POR UNIDAD PRODUCIDA PARA UNA EMPRESA.</p> |  |                   |           |
| <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |  |                   |           |
| PÁGINAS: 106  | PLANOS: 0  | ILUSTRACIONES: 36 | CD-ROM: 1 |



CÁLCULO DE LA HUELLA HIDRICA EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE  
TOMATE DEL DISTRITO DE RIEGO ASUDRA ABREGO, NORTE DE SANTANDER.

AUTORES:

SINDY PAOLA ARÉVALO PACHECO

LAURA JIMENA JIMÉNEZ PACHECO

Trabajo de grado para Optar el título de Ingeniero ambiental

Director

WILSON ANGARITA CASTILLA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

INGENIERIA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

Agosto de 2016

## **Agradecimientos**

Las autoras dan los agradecimientos al Ingeniero Ambiental Wilson Angarita Castilla por su acompañamiento durante esta última etapa de la carrera profesional.

A los profesionales que trabajan en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, específicamente en la Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente por su colaboración y confianza brindada para poder culminar el trabajo de grado.

## Índice

|   | Pág.         |
|---|--------------|
| <b>Capítulo 1: Cálculo de la huella hídrica en la producción del cultivo de tomate del distrito de riego Asudra Abrego, Norte de Santander.</b> | <b>1</b>     |
| 1.1 Planteamiento del problema.   | 1            |
| 1.2 Formulación del problema.   | 2            |
| 1.3 Objetivos.  | 2            |
| 1.3.1 General.  | 2            |
| 1.3.2 Específicos.  | 2            |
| 1.4 Justificación.  | 4            |
| 1.5 Delimitaciones.   | 6            |
| 1.5.1 Conceptual.   | 6            |
| 1.5.2 Operativa.  | 7            |
| 1.5.3 Temporal.   | 7            |
| 1.5.4 Geográfica.   | 7            |
| <br><b>Capítulo 2: Marco referencial</b>  | <br><b>8</b> |
| 2.1 Marco histórico.  | 8            |
| 2.1.1 Antecedentes históricos de la huella hídrica a nivel internacional.   | 8            |
| 2.1.2 Antecedentes históricos de la huella hídrica a nivel nacional.  | 9            |
| 2.1.3 Antecedentes históricos de la huella hídrica a nivel local.   | 15           |
| 2.2 Marco conceptual.   | 19           |
| 2.2.1 Huella hídrica.   | 19           |
| 2.2.2 Cultivos.   | 19           |
| 2.2.3 Huella hídrica azul.  | 20           |
| 2.2.4 Huella hídrica verde.   | 20           |
| 2.2.5 Huella hídrica gris.  | 20           |
| 2.2.6 La huella hídrica en la producción agrícola en Colombia.  | 20           |
| 2.2.7 Evapotranspiración de referencia.   | 21           |
| 2.2.8 Precipitación.  | 22           |
| 2.2.9 Pérdida de Nitrógeno en el suelo.   | 22           |
| 2.2.10 Calculo de la huella hídrica Agrícola.   | 23           |
| 2.3 Marco contextual.   | 28           |
| 2.4 Marco legal   | 30           |
| 2.4.1 Constitución política de Colombia de 1991.  | 30           |
| 2.4.2 Decreto 1541 de 1978.   | 30           |
| 2.4.3 Decreto 2857 de 1981..  | 31           |
| 2.4.4 Decreto 1640 de 2012.   | 32           |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.4.5 Decreto 0953 de 2013.  | 33        |
| <b>Capítulo 3: Diseño metodológico</b>   | <b>35</b> |
| 3.1 Tipo de investigación.   | 35        |
| 3.2 Población.   | 39        |
| 3.3 Muestra  | 39        |
| 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de la información.  | 40        |
| 3.5 Procesamiento y análisis de la información   | 41        |
| <b>Capítulo 4: Presentación de resultados</b>  | <b>42</b> |
| 4.1 Caracterización del proceso productivo del tomate desde el vivero, hasta la obtención de su cosecha.                             | 42        |
| 4.2 Determinar la huella hídrica verde para establecer cuánta agua lluvia se necesita en la producción del cultivo de tomate.        | 76        |
| 4.3 Determinar la huella hídrica azul para establecer el consumo de agua superficial, en la producción de cultivo.                   | 77        |
| 4.4 Determinar la huella hídrica gris para establecer el volumen de agua dulce que es necesaria para asimilar la carga contaminante. | 77        |
| <b>Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones</b>  | <b>79</b> |
| <b>Referencias</b>   | <b>81</b> |
| <b>Apéndices</b>   | <b>85</b> |

## Lista de tablas

|  | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Disponibilidad Hídrica y población por Área Hidrográfica en Colombia. | 10   |
| Tabla 2. Proceso de siembra  | 54   |

## Lista de figuras

|   | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Distribución poblacional de Colombia por Área Hidrográfica  | 11   |
| Figura 2. Disponibilidad Hídrica en Colombia por Área Hidrográfica.   | 12   |
| Figura 3. Índice de escasez para año modal.   | 16   |
| Figura 4. Ubicación del Municipio de Abrego y la zona de estudio  | 42   |
| Figura 5. Relación de las veredas que componen el área de estudio   | 43   |
| Figura 6. Mapa de las subzonas hidrográficas presentes en el municipio de Abrego  | 44   |
| Figura 7. Información entregada por el IDEAM, la cual contiene los registros de la precipitación por estaciones meteorológicas dentro de la cuenca del algodónal parte alta, serie de tiempo de los últimos 20 años | 45   |
| Figura 8. Mapa de Isoyetas para cálculo de la precipitación sobre la zona de estudio, método de interpolación (SPLINING)  | 46   |
| Figura 9. Diagrama de barras distribución de la precipitación vs áreas en Ha  | 47   |
| Figura 10. Mapas de la distribución de las temperaturas máximas y mínimas en la zona de estudio.  | 48   |
| Figura 11. Plantulas Bucaramanga  | 50   |
| Figura 12. Plantuladora nazi  | 51   |
| Figura 13. Plantuladora Abrego  | 51   |
| Figura 14. Invernadero  | 52   |
| Figura 15. Fotografía del interior de un plantuladero en el municipio de Abrego Norte de Santander.   | 57   |
| Figura 16. Cultivo de tomate de mesa tipo rio grande a campo abierto en el municipio de Abrego Norte de Santander.  | 58   |
| Figura 17. Productor de tomate del municipio de Abrego Norte de Santander.  | 59   |
| Figura 18. Zonificación Ambiental de la zona de estudio según el PBOT del municipio de Abrego   | 60   |
| Figura 19. Zonificación ambiental   | 61   |
| Figura 20. Mapa de la localización de los predios con siembras de tomate de primer semestre del 2016  | 62   |
| Figura 21. Cantidad de agua utilizada   | 63   |
| Figura 22. Zonas de estudio   | 64   |
| Figura 23. ESTUDIO GENERAL DE SUELOS Y ZONIFICACION DE TIERRAS DE NORTE DE SANTANDER, 2010 BASE DE DATOS ARCHIVO GEOGRAFICO   | 66   |
| Figura 24. Valores de precipitación mensual   | 66   |
| Figura 25. Datos de temperatura   | 67   |
| Figura 26. Interfaz de trabajo  | 68   |
| Figura 27. Figura de barras completa con todos los parámetros climatológicos de análisis construidos con las series de tiempo de 20 años  | 69   |
| Figura 28. Precipitación efectiva vs precipitación promedio gráfico generado a partir de la información climática oficial del IDEAM con series de tiempo de 20 años   | 70   |
| Figura 29. Temperatura máxima generada a partir de datos climáticos de las  | 70   |

|   |    |
|---|----|
| estaciones del IDEAM con series de tiempo de 20 años  | 71 |
| Figura 30. Humedad relativa en la zona de estudio construida a partir de los datos de las estaciones climatológicas del IDEAM con series de tiempo de 20 años | 71 |
| Figura 31. Horas luz día en la zona de estudio  |    |
| Figura 32. Requerimiento hídrico del cultivo de tomate para el primer ciclo del año 2015  |    |
| Figura 33. Requerimiento hídrico del tomate vs evapotranspiración   | 72 |
| Figura 34. Software   | 72 |
| Figura 35. Evolución de la EVTo vs los requerimientos del cultivo a los largo del ciclo   | 74 |
| Figura 36. Caudal   | 75 |

## Lista de apéndices

|   | Pág. |
|---|------|
| Apéndice 1. Encuesta dirigida a los usuarios de ASUDRA Abrego, Norte de Santander | 10   |
| Apéndice 2. Recuento fotográfico  | 54   |

## Resumen

La huella hídrica es un indicador que define el volumen total de agua dulce usado para producir los bienes y servicios producidos por una empresa, o consumidos por un individuo o comunidad. Mide en el volumen de agua consumida, evaporada o contaminada a lo largo de la cadena de suministro, ya sea por unidad de tiempo para individuos y comunidades, o por unidad producida para una empresa. Se puede calcular para cualquier grupo definido de consumidores (por ejemplo, individuos, familias, pueblos, ciudades, departamentos o naciones) o productores (por ejemplo, organismos públicos, empresas privadas o el sector económico).

### Componentes de la huella hídrica:

**Azul:** Es el volumen de agua dulce extraída de un cuerpo de agua superficial o subterránea y que es evaporada en el proceso productivo o incorporada en un producto.

**Verde:** Es el volumen de agua de precipitación que es evaporada en el proceso productivo o incorporada en un producto.

**Gris:** Es el volumen de agua contaminada, que puede ser cuantificada como el volumen de agua requerida para diluir los contaminantes hasta el punto en que la calidad del agua esté sobre los estándares aceptables.

## Introducción

El área definida para este estudio se compone de un total de 13 veredas del municipio de Abrego Norte de Santander específicamente, estas veredas están bajo la influencia geográfica y de servicio del distrito de riego “ASUDRA”, según la asociación de usuarios del distrito de riego de Abrego este distrito cuenta con un total de 4 zonas (1,2,3,4), para un total de 430 usuarios y 530 predios. según (ASOMUNICIPIOS 2013; el municipio de Abrego es de vocación agropecuaria, siendo la actividad que más se desarrolla la de la producción agrícola en especial la de cultivos de ciclo corto tales como: Tomate de mesa, pimentón, pepino cohombro, tabaco, maíz, cebolla, ají dulce (topito)

El cultivo del tomate de mesa es un cultivo de ciclo corto 3 meses en el ciclo y se siembra de forma constante durante 2.5 veces al año, este cultivo es de gran aceptación por parte de los productores agrícolas de la zona dado que en momentos de precios buenos y buenas producciones puede significar el desarrollo social y económico de una o varias familias en poco tiempo.

En la actualidad los productores de esta hortaliza desconocen cuáles son los requerimientos hídricos de este cultivo, realizan las aplicaciones de agua de acuerdo a sus experiencias propias o de sus vecinos productores, el sistema de riego que más se usa en la zona es el riego por aspersión, este desconocimiento de las necesidades hídricas del cultivo, lo cual redundará en un mal uso del recurso hídrico, no solo desde

el punto de vista de volumen de agua usado , también desde la contaminación de este recurso debido a la carga contaminante que se usa en la producción de esta hortaliza . Este proyecto permitió determinar el uso directo e indirecto del agua procedente del distrito de riego de Abrego por parte de los usuarios ubicados en el área de la influencia geográfica de las 13 veredas escogidas para este proyecto de investigación.

# **1 Cálculo de la huella hídrica en la producción del cultivo de tomate del distrito de riego Asudra Abrego, Norte de Santander**

## **1.1 Planteamiento del problema.**

Desde el inicio, cuando el ser humano empezó a intercambiar productos, el flujo de agua virtual siempre ha estado presente, pero es ahora cuando los expertos y políticos se han detenido a estudiar estos conceptos y sus repercusiones a nivel local y global. (Collado, 2010)

La agricultura colombiana no presenta un desempeño destacable frente a las necesidades de desarrollo, las problemáticas de los habitantes de los territorios rurales, las potencialidades naturales con que se cuenta, y las oportunidades de crecimiento que ofrecen los mercados interno e internacional. La determinación de indicadores como la huella hídrica en un sector específico como el agrícola puede dar una idea del manejo que se le está dando al recurso hídrico en dicho sector, lo cual ayuda en la toma de decisiones por parte de los órganos competentes, y permite encontrar una manera de generar sostenibilidad de los recursos hídricos desde las unidades de planificación del territorio, incluyendo en ellas la cuenca como la mejor manera de analizar los procesos que ocurren en él. (WWF, 2013)

El Distrito de Riego de Abrego, está diseñado para captar 2500 l/seg. Del cual solo se aprovecha el del 10 al 20%. En la actualidad es administrado por la Asociación del

distrito de riego ASUDRA, cuenta con una totalidad de 430 usuarios que hacen explotación agropecuaria sobre 530 predios, en cultivos de ciclo corto tales como: Tomate de mesa, pimentón, pepino cohombro, tabaco, maíz, cebolla, ají dulce (topito). El distrito cuenta con una concesión de aguas otorgada por la autoridad ambiental, mediante resolución número 072-de 03 de mayo 2012. En la cual le autoriza utilizar un caudal para el rio Oroque de 69 l/s y para Rio frio un caudal de 59 L/s.

Por último se debe decir que el cambio climático es un cambio en la distribución estadística de los patrones meteorológicos durante un periodo prolongado de tiempo. Puede referirse a un cambio en las condiciones promedio del tiempo o en la variación temporal meteorológica de las condiciones promedio a largo plazo. Está causado por factores como procesos bióticos, variaciones en la radiación solar recibida por la Tierra, tectónica de placas y erupciones volcánicas. También se han identificado ciertas actividades humanas como causas significativas del cambio de clima reciente, a menudo llamado calentamiento global, de lo cual Abrego no ha sido ajena a esto como el fenómeno de la niña y efectos ocasionados por el cambio climático, por lo que el caudal autorizado para ser utilizado por los usuarios se ha visto afectado por restricciones en el suministro, siendo abastecidas la veredas solo tres veces por semana, lo que ha ocasionado problemas en el cultivo del tomate.

## **1.2 Formulación del problema.**

¿Cuánta huella hídrica se utiliza para la producción del cultivo de tomate del distrito de riego Asudra en Abrego?

## **1.3 Objetivos.**

**1.3.1 General.** Calcular la huella hídrica en el cultivo del tomate como herramienta para determinar el manejo del recurso en el proceso productivo.

**1.3.2 Específicos.** Caracterizar el proceso productivo del tomate desde el vivero, hasta la obtención de su cosecha.

Determinar la huella hídrica verde para establecer cuánta agua lluvia se necesita en la producción del cultivo de tomate.

Determinar la huella hídrica azul para establecer el consumo de agua superficial, en la producción de cultivo.

Determinar la huella hídrica gris para establecer el volumen de agua dulce que es necesaria para asimilar la carga contaminante.

#### **1.4 Justificación.**

La ejecución de este trabajo es vital importancia para la Asociación de los Distritos de Riego (ASUDRA), ya que me permite evaluar la utilidad que se le está dando al recurso hídrico, en el cual el municipio de Abrego se ve directamente afectado.

De otra parte el riego de este tipo de cultivo como lo es el del tomate, siendo una hortaliza que ha permitido a las comunidades productoras que se benefician económicamente a lo largo de los años y formando esta así parte de la cultura abreguense, por su rentabilidad, la capacidad productiva de los suelos, la rapidez en cuanto a producción; entre otros, asesorados bajo la compañía de Asohofrucol y otras entidades del municipio; tomando como base se requiere de grandes volúmenes de agua para lo cual es necesario conocer que tanto me puede afectar la no adecuada utilización de este recurso en cuanto al ahorro y uso eficiente que repercute en el abastecimiento de otro tipo de cultivos y su influencia para con el medio ambiente así como en el cumplimiento de la sostenibilidad de dicho recurso, ante las necesidades de los demás.

Dado que no se conoce la huella hídrica del sector agrícola para el caso de ASUDRA, en el municipio de Abrego norte de Santander, con respecto al cultivo de tomate, cuya asociación cuenta con 430 usuarios y debido a que no se han realizado estudios al respecto, y cuyo tipo de riego es por aspersión se hace necesario determinar el volumen total de agua por medio de la huella hídrica azul, gris y verde influyentes en la producción de dicho cultivo, evaluando así el volumen de agua de riego, la evaporada o contaminada a

lo largo del proceso productivo. Teniendo en cuenta el uso responsable que se le debe dar al recurso y las posibles afectaciones que tendrán dichas poblaciones que se abastece de esta asociación.

Con el presente trabajo se logrará la generación de cultura y el incremento en la conciencia por el cuidado y protección del medio ambiente, el reconocimiento de buenas prácticas ambientales en la realización de las diferentes actividades productivas, forjar iniciativas de mejoramiento en cada proceso teniendo en cuenta enfoques ambientales, sociales y financieros.

Teniendo en cuenta lo anterior se realizará la medición y cálculo de la huella hídrica creando una visión del impacto que está tiene en el cultivo de la zona de Asudra, generado sobre el recurso agua por la utilización y disposición en los procesos, llegando incluso al análisis desde el origen. Esta huella hídrica será utilizada como una herramienta que brindará bases para la evaluación de los consumos y gastos generados en los diferentes procesos productivos, dando pie a la optimización y potencialización de estos, enfocándose en menos consumos, mayor productividad y eficiencia.

Uno de los indicadores utilizados para medir el impacto en el uso del agua es la huella hídrica (HH), que es el volumen total de agua usada directa o indirectamente por una persona, producto, cultivo, proceso o nación (Hoekstra et al., 2009), este concepto está íntimamente relacionado con el agua virtual (AV), que representa el volumen de agua

utilizado en la producción de un commodity, bien o servicio (Allan, 1997, 1999; Hoekstra, 2003). (Cardona, 2013)

La FAO calcula, tomando en cuenta el agua necesaria para producir los alimentos que consumimos, que se necesitarían 4.3 m<sup>3</sup> diarios de agua o 1570. m<sup>3</sup> de aguas anuales por persona para garantizarle a cada ser humano la dieta requerida de 2700 calorías diarias. Esta cifra ya está por encima de la disponibilidad de agua de más de 40 países. Es en estos casos que un país con limitados recursos hídricos puede preferir importar productos agrícolas que sean intensivos en el consumo de agua requerida para su producción. Así pues, un país con escasez física o económica de agua depende de sus importaciones de agua virtual para satisfacer la demanda. Entendiéndose la escasez física como el acercamiento o la superación de los límites de sostenibilidad en el aprovechamiento de los recursos hídricos, y la escasez económica como la limitación al acceso de agua debido al limitado capital financiero, institucional y/o humano del país. (Parada, 2012)

## **1.5 Delimitaciones.**

**1.5.1 Conceptual.** La temática del proyecto se enmarcó en los siguientes conceptos: Huella hídrica, cultivos, huella hídrica azul, huella hídrica verde, huella hídrica gris, la huella hídrica en la producción agrícola en Colombia, evapotranspiración de referencia, precipitación, pérdida de Nitrógeno en el suelo, entre otros.

**1.5.2 Operativa.** Entre las principales dificultades que se enfrentaron fue la búsqueda de información y la dificultad para acceder a ella.

**1.5.3 Temporal.** En la elaboración del presente proyecto se emplearon cuatro (4) meses, los cuales fueron detallados en el cronograma de actividades.

**1.5.4 Geográfica.** La determinación de la huella hídrica se dio en la zona de Asudra, en Abrego, Norte de Santander.

## 2 Marco referencial

### 2.1 Marco histórico.

**2.1.1 Antecedentes históricos de la huella hídrica a nivel internacional.** “El interés por la huella hídrica se origina en el reconocimiento de que los impactos humanos en los sistemas hídricos pueden estar relacionados, en última instancia, al consumo humano y que temas como la escasez o contaminación del agua pueden ser mejor entendidos y gestionados considerando la producción y cadenas de distribución en su totalidad” señala el Catedrático Arjen Y. Hoekstra, creador del concepto de la huella hídrica. “Los problemas hídricos están a menudo íntimamente relacionados con la estructura de la economía mundial.

**Algunos hechos y cifras.** La producción de un kilo de ternera requiere 16.000 litros de agua.

Para producir una taza de café se necesitan 140 litros de agua.

La huella hídrica de China es alrededor de 700 metros cúbicos por año per capita. Solo cerca del 7% de la huella hídrica de China proviene de fuera de China.

Japón tiene una huella hídrica total de 1150 metros cúbicos por año per capita, alrededor del 65% de esta huella proviene de exterior del país.

La huella hídrica de EEUU es 2.500 metros cúbicos por año per capita.

La huella hídrica de la población española es 2.325 metros cúbicos por año per capita.

Alrededor del 36% de esta huella hídrica se origina fuera de España. (Water, 2015)

De otra parte la huella hídrica de consumo en México, es la octava mayor en el mundo, principalmente debido al tamaño de la población (11° país más poblado). Del total del consumo, únicamente 2.7% es industrial y 5.3% es doméstico. A nivel nacional, México tiene una Huella Hídrica de 197 mil Hm<sup>3</sup>, El 58% de la Huella Hídrica de consumo es interna, México importa casi la mitad de su comida, lo que se refleja en la huella hídrica externa de productos agropecuarios.

Actualmente cuenta con 119 hoteles (40% de ellos de 5 estrellas y Gran Turismo) que representan 3,600 habitaciones (se tienen planeados 5 mil para 2012). De otra parte el 24% de los hogares carecen de agua entubada; en Oaxaca esta proporción es de 21%; y en todo el país de 13%. La HH azul del sector turístico es prácticamente igual a la del consumo doméstico de los habitantes locales, pero con una gran diferencia:

Esto significa que este sector tendrá un mayor consumo de agua que la población local (crecerá en 22% para 2025). Tener en cuenta la HH al planear el crecimiento de la oferta turística permitirá garantizar el acceso al recurso, y con ello la sostenibilidad del sector. (Water, 2015)

**2.1.2 Antecedentes históricos de la huella hídrica a nivel nacional.** Colombia tiene una superficie total de 1'141.748 km<sup>2</sup>; siendo el tercer país más grande de América del Sur. En cuanto a su posición mundial frente al recurso hídrico, ocupa el séptimo puesto en el ranking de los países con mayor disponibilidad de recursos hídricos renovables tras Brasil, Rusia, USA, Canadá, Indonesia y China. Según el Estudio Nacional de Agua 2010

(ENA 2010)<sup>2</sup>, la oferta Hídrica de Colombia en año medio asciende a 2.300 km<sup>3</sup>/año, la cual está distribuida según la zonificación hidrográfica en Colombia en tres niveles.

Primer nivel: 5 Áreas Hidrográficas; Segundo nivel: 41 Zonas Hidrográficas y en tercer nivel: 309 Subzonas Hidrográficas. La demanda asociada a la distribución geográfica de la población en Colombia, no coincide con la disponibilidad de recursos hídricos, por lo anterior, se puede ver como existe una mayor demanda en el área hidrográfica de Magdalena – Cauca, donde se encuentran asentados la mayor parte de los colombianos, la cual no cuenta con la mayor disponibilidad de agua; mientras las zonas de la Amazonia y Orinoquia, donde se concentra la mayor disponibilidad de agua del país, cuenta con una población de apenas cerca del 10% de la población nacional. (Aguado, 2011)

**Tabla 1.**

*Disponibilidad Hídrica y población por Área Hidrográfica en Colombia.*

| Área Hidrográfica | Población<br>Colombia 2011<br>(x 1000 hab) | Disponibilidad Hídrica<br>Colombia<br>(Km <sup>3</sup> /año) |
|-------------------|--|--|
| Amazonas          | 1.153                                      | 893  |
| Orinoquia         | 4.848                                      | 616  |
| Magdalena-Cauca   | 30.464                                     | 303  |
| Pacifico          | 5.941                                      | 297  |
| Caribe            | 3.564                                      | 190  |
| <b>TOTAL</b>      | <b>45.971</b>                              | <b>2.299</b>   |

**Nota.** Fuente: Elaboración del autor con base en datos de DANE y ENA 2010.

\* Población 2011 según proyecciones DANE / \*\* Disponibilidad Hídrica según ENA 2010

En cuanto a los diferentes sectores y su implicación asociada al consumo de agua, se ha tomado como base la información contenida en el ENA 2010, la cual permite tener una primera aproximación a los sectores de la economía en términos del análisis del consumo del recurso hídrico; resultados que ratifican al sector agrícola como principal consumidor de agua en Colombia. Por lo anterior se centró este primer Estudio Nacional de Huella Hídrica en este sector exclusivamente. (Arévalo, 2011)

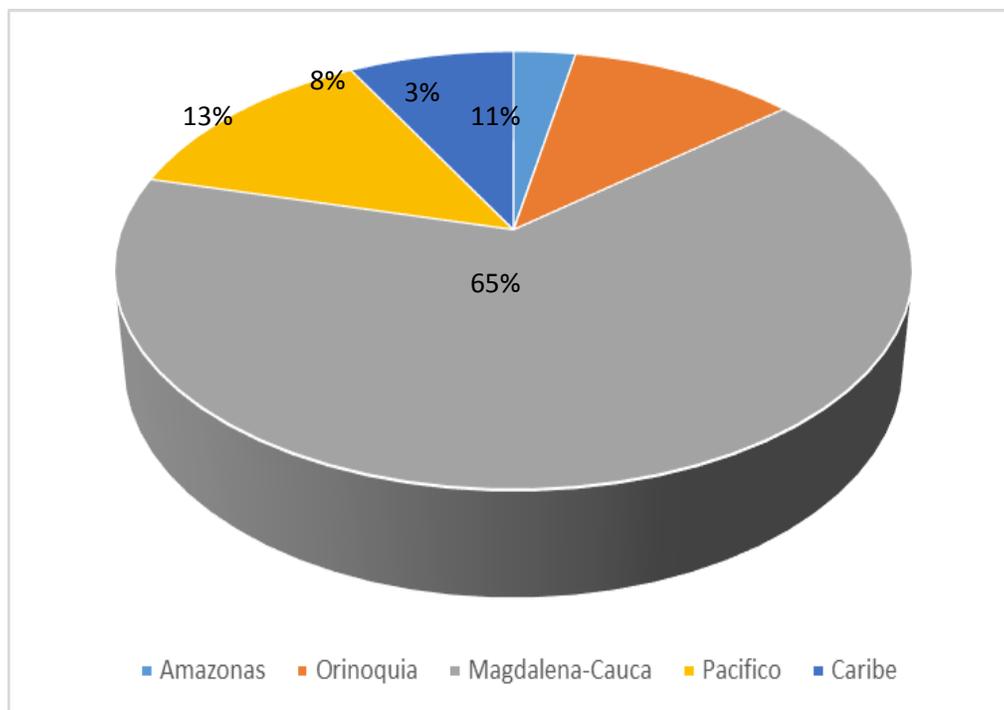


Figura 1. Distribución poblacional de Colombia por Área Hidrográfica

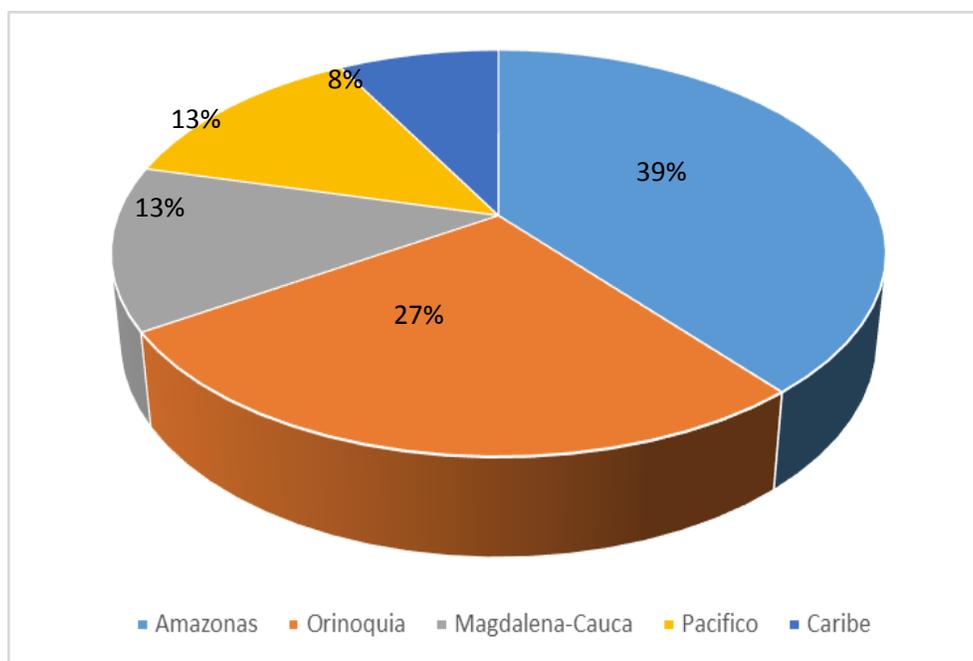


Figura 2. Disponibilidad Hídrica en Colombia por Área Hidrográfica.

En lo referente al marco jurídico de la gestión del agua en Colombia, se pueden citar los siguientes documentos: Código de Recursos Naturales Renovables (Dec. 2811/74), Estrategia Nacional del Agua (1996), Lineamientos de Política para el Manejo Integral del Agua (1996), Políticas Ambientales: Biodiversidad, Humedales, Páramos, Espacios Oceánicos y Zonas Costeras, Producción Más Limpia, Residuos Sólidos, Gestión Ambiental Urbana, Salud Ambiental, Políticas Sectoriales: Agua Potable y Saneamiento, Agropecuario, Energía, Transporte, Industrial, entre otros.

La Política Nacional de Gestión Integral de Recursos Hídricos tiene un horizonte a 12 años y se implementará a través del Plan Hídrico Nacional, en el que se desarrollarán sus líneas de acción estratégicas, con programas y proyectos específicos a implementar en el corto plazo (2014), medio plazo (2018) y largo plazo (2022). La estructuración del Plan

Hídrico Nacional se plantea como resultado de un proceso concertado multisectorial regionales, con resultados orientados a contribuir al logro de las metas nacionales.

Actualmente el concepto de Huella Hídrica no ha sido incluido en documentos de política a nivel nacional en Colombia, no obstante, se ha manifestado interés en conocer los resultados de los primeros estudios nacionales por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, IDEAM, Corporaciones Autónomas Regionales, entre otros; de forma que el concepto pueda ser incorporado como herramienta de política en el futuro próximo. (IDEAM., 2016)

**La Huella Hídrica de producción agrícola en Colombia.** La estimación de la Huella Hídrica nacional comienza por la definición de la escala temporal a estudiar, ante lo cual se concluyó que lo más conveniente sería analizar la producción agrícola nacional a nivel anual, tomando como año de estudio el 2008, por los siguientes motivos:

Coincidiendo con lo anterior, el Estudio Nacional de Agua 2010, utiliza los datos de series de producción del año 2008; y con la intención de utilizar este documento como medio de contraste local, se consideró conveniente que el año de estudio fuera coincidente<sup>5</sup>.

Los años 2010 y 2011 se descartan por considerarse climáticamente atípicos, a causa del fenómeno de la Niña que asoló al país, dejando eventos de precipitación fuera de las series históricas registradas.

El año 2009 fue descartado pues en este año comenzó la crisis política entre Colombia y Venezuela, lo que hizo que a partir de 2009 y hasta 2010, el comercio internacional de Colombia presentara un comportamiento atípico que afecta el análisis del flujo de agua virtual.

La Información de Producción agrícola, fue obtenida de los anuarios estadísticos de la producción agropecuaria y de producción de Frutas y Hortalizas, publicados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural para 2008. Adicionalmente se emplearon las bases de datos del Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial, publicado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. La agregación mínima obtenida es a nivel municipal, cerca de 1.100 municipios. También fueron incluidos datos de los más de 500 distritos de riego existentes en Colombia.

La fuente de Información Geográfica ha sido la información oficial de división geopolítica de Colombia (Departamentos y Municipios) generada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. En cuanto a la información de división hidrológica de Colombia se contó con los planos oficiales de división en Área Hidrográficas, Zonas Hidrográficas y Subzonas Hidrográficas de Colombia, suministrado por IDEAM.

La Información necesaria para la caracterización agroclimática de Colombia fue obtenida del modelo distribuido generado por la Escuela de Geociencias y Medio Ambiente de la sede Medellín de la Universidad Nacional de Colombia y que está incorporado al HidroSIG, sistema de información geográfica que permite realizar estimaciones y análisis

de variables hidrológicas, climáticas y geomorfológico. Adicionalmente la información se comprobó con los datos publicados por la FAO en su aplicación Aquastat, con datos de 35 estaciones meteorológicas dispersas en diferentes puntos de Colombia. (Rural., 2009)

**2.1.3 Antecedentes históricos de la huella hídrica a nivel local.** Corponor, realizo un plan de acción ajustado para el año 2007-2011; el cual realizo un estudio en cuanto a la demanda y oferta hídrica para los municipios de Abrego, la playa y Ocaña; quienes establecieron que; el municipio de Abrego se identifica como el mayor a portante de agua en la cuenca a razón de la concentración de altos niveles de precipitación sobre dicha superficie; por otro lado la Playa al poseer una menor área de escurrimiento y las menores precipitaciones, arroja los valores más bajos equivalentes al 10% de la cantidad referida para el municipio de Abrego; en cuanto al municipio de Ocaña, el nivel de agua ofertada está restringido más por los niveles de precipitación que por su área.

Junto con la oferta se estimó la demanda hídrica a nivel municipal para los diferentes sectores mencionados anteriormente, obteniendo el consumo más alto en el municipio de Abrego, debido a una enorme utilización de agua para actividades de orden agrícola, dado que estas ocupan un gran porcentaje de área dentro del municipio y emplean excesivas cantidades de dicho recurso; sumado a lo anterior no se halla una demanda considerable en los demás sectores, por lo tanto se identifica el componente agrícola como el mayor consumidor. (Nororiental, 2014)

Para el municipio de la Playa, aunque posee un sector agrícola representativo dentro de sus actividades económicas, debido a que cubre una menor superficie, no demanda gran cantidad de agua; otros sectores como el industrial y el de servicios presentan un desarrollo mínimo o nulo dentro del municipio; el sector doméstico a pesar de que no representa en la cuenca un consumo cuantioso, se resalta por los valores de consumo per cápita, a razón de que el aumento de su población podría llegar a tener una gran influencia sobre el abastecimiento de agua.

Ocaña por su parte, al tener una concentración poblacional urbana mayor en relación con los demás municipios, alcanza niveles de demanda hídrica equivalentes para el sector doméstico y el agrícola, siendo estos los de mayor representatividad y a su vez los que requieren mayor intervención. (Nororiental, 2014)

| AÑO MODAL |           |        |                   |                 |                    |           |
|-----------|-----------|--------|-------------------|-----------------|--------------------|-----------|
| MUNICIPIO | AREA(Km2) | Y_MOD  | OFERTA MODAL (m³) | DEMANDA TOT(m³) | INDICE ESCASEZ (%) | CATEGORÍA |
| ABREGO    | 425,01    | 268,79 | 114238485,9       | 49.940.371,29   | 43,72              | ALTO      |
| LA PLAYA  | 45,44     | 231,99 | 10540809,81       | 2.513.541,44    | 23,85              | MEDIO     |
| OCAÑA     | 275,95    | 115,68 | 31922171,44       | 15.029.717,57   | 47,08              | ALTO      |
| CUENCA    | 746,40    | 215,10 | 160548931,3       | 67483630,3      | 42,03              | ALTO      |

Figura 3. Índice de escasez para año modal.

Después de haber establecido las condiciones de la oferta y demanda a nivel municipal se puede concretar para la cuenca la existencia de un índice de escasez ubicado en la categoría de alto, dado que la demanda alcanza el 40% del agua ofrecida potencialmente por la fuente abastecedora. En esta categoría de acuerdo a la escala valorativa propuesta por la UNESCO, se presenta una fuerte presión sobre el recurso hídrico, denotándose una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y la demanda. En estos casos la baja disponibilidad de agua es un factor limitador del desarrollo económico. (Nororiental, 2014)

Realmente la valoración de alto que toma el índice de escasez no significa que la oferta no alcance a cubrir la demanda como es claro, sino que es necesario tomar medidas preventivas urgentes al considerarse que una variación de los diferentes consumos necesitaría de un tiempo considerable para su modificación dado que son características de tipo estructural en los diferentes sectores las que están afectando al cubrimiento del recurso por la oferta. (Nororiental, 2014)

A nivel municipal se reconoce la existencia de índices de escasez alto a para los municipios de Abrego y Ocaña en un año modal, que son consecuencia de los altos consumos generados en el sector domestico y el sector agrícola, dado para toda la cuenca sin excluirse al municipio de la playa donde a pesar de que el índice de escasez es medio, implica tomar las mismas consideraciones de ordenación de oferta y demanda del recurso.

Necesitando inversiones para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos hídricos; además el municipio de la playa a pesar de poseer la población más baja en la cuenca así como la menor área cultivada ya demuestra deficiencias. Debido a que se han encontrado reducciones en el volumen de la oferta del 50% con respecto a la oferta estimada para un año modal mientras que los niveles de demanda continuaran siendo relativamente constantes dado que su aumento es potencial. Reflejo de esta considerable reducción se visualiza en los valores del índice de escasez expuestos a continuación, que alcanzan a llegar a niveles donde la oferta no alcanza a suplir la demanda y es necesario un abastecimiento adicional de otras fuentes. (Nororiental, 2014)

Dentro del anterior contexto se puede llegar a presentar una situación de emergencia que amenace la estabilidad económica,(que sería la primera en sufrir las consecuencias de un desabastecimiento en los periodos de exigencia de riego), las consecuencias sanitarias y los requerimientos básicos de agua para la población , además en este punto estaría afectando la estabilidad de los ecosistemas al tener un índice de escasez que circundan y sobrepasan el 100%, tanto para la cuenca como para los diferentes municipios como lo son Abrego, la playa y Ocaña, llegándose a utilizar los volúmenes excluidos en la oferta para la conservación de los ecosistemas sin tenerse una medida de los daños que se puedan generar por este hecho. (Nororiental, 2014)

## **2.2 Marco conceptual.**

**2.2.1 Huella hídrica.** La huella hídrica es un indicador que define el volumen total de agua dulce usado para producir los bienes y servicios producidos por una empresa, o consumidos por un individuo o comunidad. Mide en el volumen de agua consumida, evaporada o contaminada a lo largo de la cadena de suministro, ya sea por unidad de tiempo para individuos y comunidades, o por unidad producida para una empresa. Se puede calcular para cualquier grupo definido de consumidores (por ejemplo, individuos, familias, pueblos, ciudades, departamentos o naciones) o productores (por ejemplo, organismos públicos, empresas privadas o el sector económico). (Colombia, 2015)

**2.2.2 Cultivos.** Es un producto agrícola, y a la vez es el conjunto de los productos agrícolas (cultivos) y su entorno.

Un cultivo se produce a partir de materias primas tradicionales y por sistemas tradicionales o no, empleando en mayor o menor medida la tecnología y sus derivados.

Los sistemas de producción se basan en cultivos de diferentes maneras, algunos utilizan un cultivo por años, generando tiempos de barbecho muy largos, que erosionan el suelo y aumentan su riesgo de pérdida. Otros sistemas emplean cultivos de cobertura, con lo cual, durante el período improductivo se mantiene cubierto el suelo, reciclando nutrientes. Hay una gran variedad de cultivos de cobertura, entre ellos las leguminosas. También hay sistemas que rotan sus cultivos anualmente, lo cual permite el ingreso de nitrógeno. (digital, 2008)

**2.2.3 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. (Agua, 2015)

**2.2.4 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. (Arévalo, 2011)

**2.2.5 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.

**2.2.6 La huella hídrica en la producción agrícola en Colombia.** La evaluación de la Huella Hídrica nacional tomó como año de estudio el 2008 y, después del análisis de la información, el tratamiento de los datos para incluirlos en la formulación de Huella Hídrica y el posterior análisis de sensibilidad y comprobación de resultados.

A nivel específico, los resultados se presentan en dos grandes bloques:

1. Producto cultivado. Para lo cual se ha hecho una categorización de los productos agrícolas más relevantes cultivados en Colombia durante el año de referencia, obteniendo para cada uno de ellos la estimación de cada uno de los componentes de la Huella Hídrica durante su producción.
2. Escala geográfica. Para lo cual se han utilizado tres escalas diferentes dentro de Colombia.

Para simplificar el análisis de los resultados, se presentan los gráficos de distribución porcentual de cada uno de los principales productos para las componentes de la Huella Hídrica, y por último se presenta el gráfico de la estimación de la Huella Hídrica total por producto agrícola. (E, 2008)

**2.2.7 Evapotranspiración de referencia.** Dentro del intercambio constante de agua entre los océanos, los continentes y la atmósfera, la evaporación es el mecanismo por el cual el agua es devuelta a la atmósfera en forma de vapor; en su sentido más amplio, involucra también la evaporación de carácter biológico que es realizada por los vegetales, conocida como transpiración y que constituye, según algunos la principal fracción de la evaporación total. Sin embargo, aunque los dos mecanismos son diferentes y se realizan independientemente no resulta fácil separarlos, pues ocurren por lo general de manera simultánea; de este hecho deriva la utilización del concepto más amplio de evapotranspiración que los engloba. (Sánchez T., 1992)

**2.2.8 Precipitación.** En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo, pero no virga, neblina ni rocío, que son formas de condensación y no de precipitación. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad, o monto pluviométrico.

La precipitación se genera en las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua aumentan de tamaño hasta alcanzar una masa en que se precipitan por la fuerza de gravedad. Es posible inseminar nubes para inducir la precipitación rociando un polvo fino o un químico apropiado (como el nitrato de plata) dentro de la nube, acelerando la formación de gotas de agua e incrementando la probabilidad de precipitación, aunque estas pruebas no han sido satisfactorias.

**2.2.9 Pérdida de Nitrógeno en el suelo.** Las plantas absorben la mayor parte del nitrógeno que necesitan en forma de ión amonio  $\text{NH}_4^+$  y de ion nitrato  $\text{NO}_3^-$ . El contenido de nitrógeno en el suelo depende de las aportaciones en el abonado y del nitrógeno liberado de la materia orgánica del suelo. Los nitratos son muy solubles en el agua y no son retenidos por el suelo, por lo que un exceso de agua puede arrastrarlo hacia el subsuelo contaminando acuíferos. Los suelos ricos en arcilla presentan una menor lixiviación, al tener mayor capacidad de retención que los suelos arenosos. En función del tipo de cultivo, su rendimiento podemos encontrar extracciones de 50 kg/ha a 150 kg/ha en una campaña. Para ello es necesario conocer el coeficiente de extracción de cada cultivo.

Tomado como un indicador que pretende dar una medida de la cantidad de agua consumida, tanto directa como indirectamente en la producción de los bienes y servicios de una empresa, o consumidos por un individuo, organización o comunidad. Básicamente, consiste en calcular el volumen total de agua usada (consumida y/o contaminada), desde el inicio del proceso de producción de un bien o servicio hasta su consumo por parte de una persona, comunidad o negocio según el nivel que se desee analizar. (Juan Andrés & Ricardo, 2013)

**2.2.10 Calculo de la huella hídrica Agrícola:** en cuanto al requerimiento de agua del cultivo (RAC m<sup>3</sup>/Ha), se necesita conocer cuáles son los parámetros climáticos de evapotranspiración, el factor de ajuste del RAC, los parámetros del cultivo con respecto al coeficiente de absorción Kc, el rendimiento del cultivo (Ton/Ha) para conocer el agua virtual contenida en el cultivo y así por medio de la población total del cultivo (Ton /año), se sabrá cuál es el agua total usada por el cultivo AUC(m<sup>3</sup>/Ton). La huella hídrica agrícola HHA cuantifica el volumen total de agua usado para la producción de un producto agrícola.

Dada por la siguiente ecuación:  $HHA = AUA = \sum_{c=1}$

**Requerimiento de agua del cultivo (RAC):** es el total de agua necesaria para la evapotranspiración del cultivo durante todo el proceso (siembra-cosecha). Los RAC equivalen a la cantidad de agua necesaria para el crecimiento y desarrollo de la planta, y se calcula por la acumulación de datos de evapotranspiración diaria del cultivo ETc (mm/día)

a lo largo del periodo de crecimiento. Cuya fórmula es la siguiente: (Allen, Pereira, & Raes, 1998)

$$RAC = 10 * \sum_{D=1}^{lp} ETc$$

**Agua virtual contenida en un cultivo AVC:** es un indicador de eficiencia en el uso del agua por tonelada de un bien agrícola producido y se calcula así:

$$AVC = \frac{AUC}{\text{Producción}}$$

**Contenido de agua contaminada:** se calcula como la tasa de aplicación de agroquímicos (AR) por hectárea por la fracción de lixiviación ( $\alpha$ ), dividido por la máxima concentración aceptable menos la concentración natural de sustancias químicas, todo esto dividido por el rendimiento del cultivo:

$$HHA_{\text{Cont}} = \frac{(\alpha * AR) / (C_{\text{max}} - C_{\text{nat}})}{\text{Rendimiento}}$$

**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. Para el caso agrícola se expresa como el volumen de agua natural (lluvia, superficial o subterránea) usada por el cultivo con relación a la producción total del cultivo. Cuya fórmula es:  
(Revista internacional de sostenibilidad, 2011)

$$\text{HHA}_{\text{verde}} = \frac{\text{AUC}_{\text{Verde}}}{\text{P}}$$

**Huella hídrica azul:** 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. (Revista internacional de sostenibilidad, 2011)

$$\text{HHA}_{\text{Azul}} = \frac{\text{AUC}_{\text{Azul}}}{\text{P}}$$

**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. Para este caso se expresa como la tasa de aplicación química por hectárea con relación a los parámetros

máximos permitidos de sustancias químicas en el agua. (Revista internacional de sostenibilidad, 2011)

$$\text{HHA}_{\text{gris}} = \frac{(\alpha * \text{AQ}) / (\text{C}_{\text{max}} - \text{C}_{\text{nat}})}{p}$$

### 2.3 Marco teórico.

La huella hídrica es un indicador de uso de agua dulce que tiene en cuenta el consumo de agua, tanto directo como indirecto, de un consumidor o productor. La huella hídrica de un individuo, una comunidad o una empresa se define como el volumen total de agua dulce empleada para producir los bienes y servicios consumidos por el individuo o la comunidad, o bien, producidos. Es de aquí que se toma la huella hídrica de un bien o servicio como el volumen de agua utilizado directa e indirectamente para su producción, teniendo en cuenta el consumo del agua en cada una de las etapas productivas que se requirieron para la realización del bien o servicio. (Arévalo D. , 2012)

La huella hídrica se puede calcular para un producto, para un grupo de consumidores (por ejemplo, un individuo, familia, pueblo, ciudad, provincia, estado o nación) o de productores (por ejemplo, una organización pública, la empresa privada o sector económico. La definición de estos tipos de huella hídrica utilizados para su contabilidad se explica claramente por (Sotelo, Olcina, Tolón, García, Bolívar, & García, 2011) de la siguiente manera:

La huella hídrica de un proceso es el elemento básico para calcular la huella hídrica. La huella hídrica de un producto equivale a sumar las etapas necesarias para producirlo, teniendo en cuenta toda la producción y toda la cadena de suministro. La huella hídrica de un consumidor es igual a la suma de la huella hídrica de todos los productos consumidos por él.

La huella hídrica de un conjunto de consumidores o de una comunidad se halla sumando la huella hídrica de todos los miembros. La huella hídrica de una empresa equivale a la suma de huella hídrica de los productos finales o transformados que produce la empresa.

La huella hídrica de un área geográfica determinada (cuena hidrográfica, municipio, provincia o país) es igual a la suma de la huella hídrica de todos los procesos que tienen lugar en dicha área geográfica.

La huella hídrica total de la humanidad es la suma de la huella hídrica de todos los habitantes del mundo (consumidores) o, lo que es igual, la suma de la huella hídrica de todos los bienes y servicios consumidos anualmente.

La huella hídrica es un indicador multidimensional puesto que muestra los volúmenes de agua consumidos en cada fuente, así como los volúmenes de agua contaminados según el tipo de contaminación, de lo que se infiere que los componentes de la huella hídrica total se especifican geográfica y temporalmente (en un tiempo y una localidad específica). Las investigaciones de Hoekstra et al., las cuales fueron finalmente

plasmadas en el Manual de Evaluación de Huella Hídrica publicado en el año 2011.

(Hoekstra & Chapagain, 2011)

### **2.3 Marco contextual.**

Se encuentra ubicado en el occidente de Norte de Santander y su área total es de 141.341 km<sup>2</sup>. Tiene pisos cálidos, templados, fríos así como páramo. Su precipitación media anual es de 1100 mm. Su cabecera municipal se encuentra ubicada en las coordenadas 08°0'00" norte y 73°14'00" oeste. Su altura es de 1398 m sobre el nivel del mar. Un gran parte del municipio (casi 3 mil hectáreas) forma parte del Páramo de Santurbán, fuente hídrica para Santander y Norte de Santander. Su temperatura promedio es de 21 °C y dista 26 km de Ocaña.

La zona más poblada de Ábrego se localiza sobre un valle prácticamente plano. La temperatura promedio de día es de unos 21°C. Se podría decir que Ábrego tiene un clima mediterráneo seco, cálido de día, fresco de noche.

Ábrego es también un territorio donde abundan las tormentas eléctricas. De hecho, el municipio es mencionado frecuentemente en las noticias regionales y nacionales por los constantes accidentes que los rayos producen, incluyendo numerosas muertes durante los últimos años.

La economía en la población está enmarcada por el sector agrícola con renglones como la cebolla, fríjol, hortalizas y frutales.

Sector pecuario con explotaciones de bovinos, porcinos y aves de corral.

De otra parte se debe mencionar que en el municipio la agricultura es la principal fuente de su economía, destacándose a nivel nacional por ser el primer productor de cebolla cabezona roja. Igualmente es productor de fríjol, tomate, tabaco, maíz, café, cacao y caña. La producción agrícola está basada en una economía campesina tradicional con una mediana incorporación de tecnologías, un uso intensivo e irracional de agroquímicos y un marcado arraigo por la reproducción de prácticas de cultivo tradicional. Posee una ganadería expansiva en las partes altas de la montaña de poca importancia comercial y económica, compuesta por pequeños hatos que surten el mercado local de carne y productos lácteos. (CONSORNOC, 2010)

La construcción del distrito de riego en 1964 sobre los ríos Frío y Oroque han hecho del bello valle de Abrego un municipio de demarcada vocación agrícola, es el principal productor de cebolla cabezona roja del departamento.

El distrito de riego Asudra es la principal fuente de abastecimiento de agua para riego agrícola y uso pecuario en el municipio de Abrego y es considerado el más importante de la cuenca, lleva funcionando a proxímadamente 40 años y cubre una extensión de 1740 hectáreas proxímadamente, tiene una capacidad de captación total de

2500 litros por segundo, historicamente solo se riega 210 hectareas con un consumo real de 200 a 300 litros por segundo, este consumo corresponde a un 20% de la capacidad instalada.

El manejo y operación del distrito estuvo a cargo de Incora hasta 1976, fecha a partir del cual empezó a depender directamente del Himat. Posteriormente fue entregado en administración a la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego de Abrego (Asudra). (Incoder, 2013)

## **2.4 Marco legal**

**2.4.1 Constitución política de Colombia de 1991.** Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Artículo 8. Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación. (Colombia R. d., 2001)

**2.4.2 Decreto 1541 de 1978. Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974.** "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973. Artículo 2°.- La preservación y manejo de las aguas son de utilidad pública e interés social, el tenor de lo dispuesto por el artículo 1 del Decreto-Ley 2811 de 1974:

En el manejo y uso del recurso de agua, tanto la administración como los usuarios, sean éstos de agua o privadas, cumplirán los principios generales y las reglas establecidas por el Código Nacional de recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, especialmente los consagrados en los artículos 9 y 45 a 49 del citado Código.

Artículo 3°.- Al tenor de lo dispuesto por los artículos 37 y 38 del Decreto-Ley 133 de 1976, al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, corresponde asesorar al Gobierno en la formulación de la política ambiental y colaborar en la coordinación de su ejecución cuando ésta corresponda a otras entidades.

La administración y manejo del recurso hídrico corresponde al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, salvo cuando esta función haya sido adscrita por la ley y otras entidades, en cuyo caso estas entidades deberán cumplir y hacer cumplir las disposiciones de este Decreto, en conformidad con la política nacional y las normas de coordinación que establezca el Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Ambiente, Inderena. (Colombia R. d., Decreto 1541 de 1978. Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974. , 2000)

**2.4.3 Decreto 2857 de 1981.** Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto- Ley 2811 de 1974 sobre Cuencas Hidrográficas y se dictan otras disposiciones. Artículo 3. Condiciones del aprovechamiento de los recursos naturales y demás elementos ambientales se realizarán con sujeción a los principios generales establecidos por el Decreto-ley 2811 de 1974 y, de manera especial, a los criterios y

previsiones de la actividad que por sus características pueda producir un deterioro grave a los recursos naturales renovables de la cuenca, disponga o no ésta de un plan de ordenación, deberá autorizarse por la Entidad Administradora de los Recursos Naturales Renovables, previa elaboración y presentación del respectivo estudio de efecto ambiental. (Colombia C. d., 2000)

**2.4.4 Decreto 1640 de 2012.** Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones. Artículo 54. Del objeto y la responsabilidad. Planificación y administración de los recursos naturales renovables de la microcuenca, mediante la ejecución de proyectos y actividades de preservación, restauración y uso sostenible de la microcuenca.

Artículo 55. Objeto de Plan de Manejo Ambiental. En aquellas microcuencas que no hagan parte de un Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica, se formulará en las cuencas de nivel inferior al del nivel subsiguiente, según corresponda.

Artículo 56. De la escala cartográfica. Los Planes de Manejo Ambiental de Microcuenca se elaborarán en escalas mayor o igual a 1: 1 0.000.

Artículo 57. De la selección y priorización. La Autoridad Ambiental competente, elaborará

El Plan de Manejo Ambiental de la microcuenca, previa selección y priorización de la misma, cuando se presenten o se prevean como mínimo una de las siguientes condiciones, en relación con oferta, demanda y calidad hídrica, riesgo y gobernabilidad:

Desequilibrios físicos, químicos o ecológicos del medio natural derivados del aprovechamiento de sus recursos naturales renovables.

Degradación de las aguas o de los suelos y en general de los recursos naturales renovables, en su calidad y cantidad, que pueda hacerlos inadecuados para satisfacer los requerimientos del desarrollo sostenible de la comunidad asentada en la microcuenca.

Amenazas, vulnerabilidad y riesgos ambientales que puedan afectar los servicios ecosistémicos de la microcuenca, y la calidad de vida de sus habitantes.

Cuando la microcuenca sea fuente abastecedora de acueductos y se prevea afectación de la fuente por fenómenos antrópicos o naturales. (Colombia C. d., Decreto 1640 de 2012. Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones. , 2014)

**2.4.5 Decreto 0953 de 2013.** Por el cual se reglamenta el artículo 111 de la Ley 99 de 1993 modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011. Artículo 4°. Identificación, delimitación y priorización de las áreas de importancia estratégica. Para efectos de la adquisición de predios o la implementación de esquemas de pago por servicios ambientales por parte de las entidades territoriales, las autoridades ambientales deberán previamente

identificar, delimitar y priorizar las áreas de importancia estratégica, con base en la información contenida en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, planes de manejo ambiental de microcuencas. (Colombia R. d., Decreto 0953 de 2013. Por el cual se reglamenta el artículo 111 de la Ley 99 de 1993 modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011, 2014)

### 3 Diseño metodológico

El diseño metodológico de la investigación es de carácter no experimental desarrollado en campo en lo que se denominó para este proyecto área de estudio la cual está ubicada dentro del límite geográfico del municipio de Abrego Norte de Santander ; la gestión de la información primaria y secundaria presenta un enfoque participativo, la cual se evaluó mediante un análisis geostadístico de ponderación de datos , procesando esta información en un entorno de trabajo SIG ArcGIS (licencia académica ) Y sus diferentes componentes, para la elaboración de las temáticas correspondientes a este estudio se procesaron archivos vectoriales de geometrías (líneas, puntos y polígonos) para el caso de límites oficiales , cuencas hidrográficas y redes hídricas gestionadas a partir de los GEOPORTALES DEL SIGOT , ANLA Y MIN AMBIENTE

#### 3.1 Tipo de investigación.

La investigación es de carácter empírico analítico, el cual se basa en el análisis de tipo exploratorio tomando como eje principal la observación directa in situ en el área de estudio “zona de influencia del distrito de riego de Abrego Norte de Santander” para realizar el cálculo de la huella hídrica en la producción de tomate a campo abierto en el municipio de Abrego Norte de Santander

La investigación está basada en la aplicación de la “metodología general de evaluación de huella hídrica” la cual fue publicada internacionalmente en el año 2011 y

ha sido aplicada para cinco (5) sectores económicos , este estudio se realizara apoyado en un sistema de información geográfica de código libre para realizar el procesamiento de la información geográfica base y temática procedentes de geoportales estatales y de la información levantada de forma directa en campo mediante el uso de GPS y a partir de la cual se realizaran los Shapefiles temáticos y las bases de datos para la construcción de consultas .

La investigación fue desarrollada por un tiempo de 4 meses en el municipio de Abrego en el departamento de Norte de Santander; específicamente dentro del denominado valle de Abrego , la zona de estudio también está ubicada dentro de la cuenca hidrografica del rio algodonal mediante la adopción de la siguiente metodología :

**Delimitación de la zona de estudio :** por medio del uso de un SIG , se realizara la delimitación geográfica del área de estudio la cual será elegida de forma arbitraria basados en la división política veredal del municipio de Abrego, se escogieron las veredas que históricamente presentan una vocación de producción de tomate a campo abierto y las cuales se encuentren bajo la influencia directa de del distrito de riego administrado por ASUDRA.

Una vez se delimito el área geográfica de estudio se procedió a realizar un perfil biofísico del municipio de Abrego donde se incluyeron sus tipos de suelos, unidades geológicas , paisaje, relieve , hidrográfica, cuencas hidrográficas, pendientes medias coberturas de la tierra ; este perfil biofísico fue construido mediante información geográfica del POMCRA , la cual fue procesada y analizada en software SIG

La gestión de la información geográfica oficial sobre la división veredal del municipio de Abrego se realizó a través del SIGOT y Plan Básico de ordenamiento Territorial del municipio, también se usaron las temáticas vectoriales de red hídrica del municipio, vías, sitios de interés, manzaneos cascos urbanos del municipio.

Para el cálculo de la huella hídrica (HH) del crecimiento del cultivo, se realizara según lo establecido por Hoekstra y Chapagain (2008), dado que la HH del crecimiento del cultivo debe ser evaluado a partir de la suma de sus tres componentes principales como lo son: verde, azul y gris. Cuyo método es el siguiente:

$$\mathbf{HHA = HHA\ verde + HHA\ azul + HHA\ Gris\ (m^3/Ton)}$$

Donde;

HHA: huella hídrica agrícola

HHA verde: Huella hídrica agrícola verde

HHA azul: huella hídrica agrícola azul

HHA gris: huella hídrica agrícola gris

$$\text{HHA verde} = \text{AUC Verde} \text{ (m}^3\text{/Ton)}$$

P

$$\text{HHA Azul} = \text{AUC Azul} \text{ (m}^3\text{/Ton)}$$

P

Dónde;

P = Rendimiento del cultivo, expresado en ton/ha. El cual se obtendrá del rendimiento actual del cultivo de tomate de USUDRA en el municipio de Abrego.

AUA= es agua de uso agrícola.

$$AUC = \frac{RAC * \text{producción}}{\text{Rendimiento}}$$

Donde, *RAC* (m<sup>3</sup>/ha) son los requerimientos de agua de un cultivo medidos en campo.

AUC= es uso de agua para el cultivo

La evapotranspiración ( $ET_c$ ) del cultivo por día resulta de multiplicar: la evapotranspiración de referencia  $ET_0$  por el coeficiente del cultivo  $K_c$ . De la siguiente manera:

$$ETC = K_c * ET_0$$

El componente de agua verde se expresa como el volumen de agua de riego usada por el cultivo, con relación a la producción del cultivo; Para lo cual se halla la huella hídrica azul.

### 3.2 Población.

El distrito de riego ASUDRA de Abrego, Norte de Santander, abastece a 430 usuarios de 25 veredas, de las cuales se trabajaron con 13 de ellas.

### 3.3 Muestra

Teniendo en cuenta el tamaño de la muestra se aplica la siguiente formula estadística.

$$n = \frac{N(Z_c)^2 * p * q}{(N-1)*(E)^2 + (Z_c)^2 * p * q}$$

Dónde:

n= Muestra

N= Población dada en el estudio = 430

Z<sub>c</sub>= Indicador de Confianza = 95% = 1,96

p= Proporción de aceptación = 50% = 0.5

q= Proporción de rechazo = 50% = 0.5

E= Error poblacional dispuesto a asumir 6% = 0.06

$$n = \frac{(430)(1,96)^2 * (0.5)(0.5)}{(430-1)(0.06)^2 + (1,96)^2 * (0.5)(0.5)}$$

$$n = \frac{413}{2,4}$$

$$n = 262 \text{ usuarios}$$

De acuerdo a la formula estadística aplicada a la totalidad de la población, arrojó una muestra de 262.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de la información.**

Para efectos de la caracterización del proceso productivo de tomate se realizara en base a la información técnica existente en instituciones del orden nacional como FINAGRO y CORPOICA , del orden regional como ASOMUNICIPIOS y del orden local se obtendrá información primaria a través de encuestas a los productores de plántulas asentados en el municipio de Abrego y a diferentes productores tradicionales de esta hortaliza (ver apéndice), para la actualización de la información climatológica del municipio se solicitara la información de las estaciones climatológicas del ideam según el catalogo del año 2013.

la información de las estaciones metereologicas del IDEAM dentro del límite geográfico de Abrego se extrae su base de datos y se le solicitara mediante correo electrónico al IDEAM solicitando los datos metereologicas de las series de tiempo de los últimos 10 años.

### **3.5 Procesamiento y análisis de la información**

La información obtenida del IDEAM será digitalizada en la base de datos de las estaciones meteorológicas, para luego realizar el Raster de precipitación y la extracción de las Isoyetas para el caso de precipitación y de las Isotermas para el caso de temperaturas.

Basados en la información geográfica gestionada ya antes mencionada se crearán las temáticas que serán el insumo para la construcción del perfil biofísico del municipio.

## 4 Presentación de resultados

### 4.1 Caracterización del proceso productivo del tomate desde el vivero, hasta la obtención de su cosecha.

El área seleccionada para este proyecto de investigación se localiza en Colombia el departamento de norte de Santander, Municipio de Abrego según el PBOT del municipio este se encuentra ubicado en el occidente de Norte de Santander y su área total es de 141.341 km<sup>2</sup>. Tiene pisos cálidos, templados, fríos así como páramo. Su precipitación media anual es de 1100 mm. Su cabecera municipal se encuentra ubicada en las coordenadas 08°0'00" norte y 73°14'00" oeste. Su altura es de 1398 m sobre el nivel del mar. Un gran parte del municipio (casi 3 mil hectáreas) forma parte del Páramo de Santurban, fuente hídrica para Santander y Norte de Santander

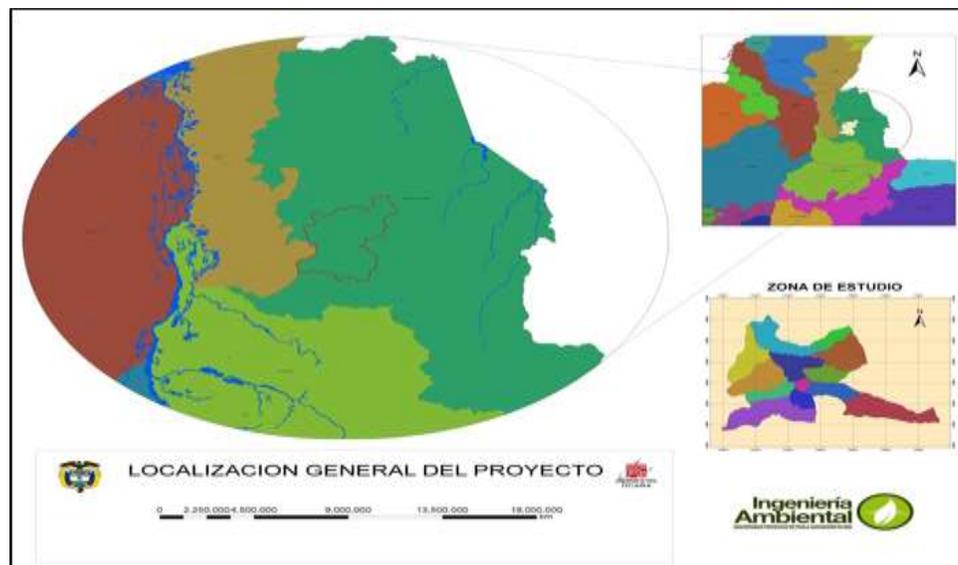


Figura 4. Ubicación del Municipio de Abrego y la zona de estudio

El área de estudio está compuesta por un total de 13 veredas las cuales se localizan alrededor del casco urbano del municipio, el área de estudio presenta una extensión total de 6574.32 Ha, a continuación se relacionan las veredas que componen el área de estudio

| INFORMACION BASICA DE LA ZONA DE TRABAJO |           |                   |                    |
|--|-----------|-------------------|--------------------|
| No VEREDA                                | MUNICIPIO | NOM_VER           | AREA_HA            |
| 1  | ABREGO    | EL MOLINO         | 666.218732         |
| 2  | ABREGO    | LOS PINITOS       | 611.460564         |
| 3  | ABREGO    | SAN MIGUEL        | 239.863656         |
| 4  | ABREGO    | EL HOYO           | 694.23057          |
| 5  | ABREGO    | Zona urbana       | 514.979513         |
| 6  | ABREGO    | LLANO SUAREZ      | 675.894427         |
| 7  | ABREGO    | LLANO ALTO        | 333.905479         |
| 8  | ABREGO    | CASA DE TEJA      | 314.016298         |
| 9  | ABREGO    | LA CURVA          | 97.340828          |
| 10                                       | ABREGO    | RIO FRIO          | 390.240622         |
| 11                                       | ABREGO    | EL TIROL          | 218.681742         |
| 12                                       | ABREGO    | OROQUE PARTE ALTA | 886.533206         |
| 13                                       | ABREGO    | LA SOLEDAD        | 930.954574         |
| <b>TOTAL</b>                             |           |                   | <b>6574.320211</b> |

Figura 5. Relación de las veredas que componen el área de estudio

De las veredas que componen el área de estudio la de mayor área superficial es la vereda “LA SOLEDAD” con un total de 930.95 Ha y la vereda más pequeña en área es “LA CURVA “ con un total de 97.34 Ha.

El área de estudio se localiza sobre el denominado valle de Abrego y dentro de la influencia del límite geográfico del límite de la cuenca hidrográfica del río algodonal parte alta y de la microcuenca río tarra parte alta ( ver mapa “localización Regional del área de estudio” ).

Para el caso específico de la zona de estudio esta se localiza sobre la subzona hidrográfica del río algodonal ( alto Catatumbo ) y la sub zona del río tarra como lo indica la salida grafica “subzonas hidrografica”.



Figura 6. Mapa de las subzonas hidrográficas presentes en el municipio de Abrego

La información de las estaciones metereologicas fue entregada por el IDEAM después de realizar su solicitud formal, el formato de archivo es de texto para visualizar como un block de notas.

| TIPO EST | CP   | DEPTO | MUNICIPIO | ABREGO | FECHA-SUSPENSIÓN | ELEVACION 1430 m.s.n.m | REGIONAL | OB   | SANTANDERES | CORRIENTE | ALGODONAL | AMO EST | ENT  | ENERO | FEBRE |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|-------|-----------|--------|------------------|------------------------|----------|------|-------------|-----------|-----------|---------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 20.7     | 20.0 | 20.2  | 19.8      | 19.8   | 20.8             | 1971                   | 2        | 01   | 19.1        | 18.7      | 19.8      | 20.0    | 20.3 | 20.7  | 21.2  | 20.1 | 19.7 | 19.8 | 19.5 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 18.8     | 19.8 | 1972  | 2         | 01     | 18.9             | 19.2                   | 20.0     | 20.1 | 20.8        | 20.8      | 22.0      | 21.2    | 21.2 | 20.6  | 20.5  | 20.6 | 20.5 | 1973 | 1    | 01   | 21.0 | 20.8 | 21.7 | 21.0 | 21.6 | 20.9 | 20.9 | 20.4 | 19.8 | 20.2 | 20.1 |
| 20.6     | 20.9 | 20.5  | 19.4      | 19.9   | 19.9             | 18.6                   | 19.7     | 1975 | 2           | 01        | 18.8      | 19.3    | 20.2 | 20.3  | 20.3  | 20.4 | 19.7 | 20.4 | 19.6 | 19.6 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 19.6     | 19.5 | 18.1  | 19.7      | 1976   | 2                | 01                     | 18.3     | 18.1 | 19.4        | 20.1      | 20.7      | 20.5    | 21.2 | 20.8  | 21.2  | 19.9 | 19.9 | 19.4 | 20.0 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1977     | 2    | 01    | 19.6      | 20.1   | 20.5             | 20.6                   | 20.4     | 20.7 | 21.1        | 20.8      | 21.0      | 20.7    | 20.4 | 20.1  | 20.5  | 1978 | 2    | 01   | 19.7 | 21.0 | 20.3 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 20.2     | 20.5 | 20.0  | 19.8      | 19.8   | 19.8             | 19.7                   | 20.0     | 19.2 | 20.0        | 1979      | 2         | 01      | 19.0 | 19.8  | 20.7  | 21.0 | 20.9 | 20.6 | 20.5 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 21.0     | 20.3 | 20.6  | 20.4      | 19.8   | 20.4             | 1980                   | 2        | 01   | 20.1        | 20.1      | 21.2      | 21.9    | 21.2 | 21.5  | 21.4  | 20.3 | 20.7 | 20.5 | 19.8 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 19.6     | 20.7 | 1981  | 2         | 01     | 19.0             | 20.0                   | 20.5     | 20.3 | 20.6        | 20.3      | 20.5      | 20.5    | 20.0 | 20.2  | 20.6  | 19.6 | 20.2 | 1982 | 2    | 01   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 19.4     | 20.1 | 20.2  | 20.5      | 20.4   | 20.5             | 20.7                   | 21.7     | 21.0 | 20.2        | 20.1      | 20.0      | 20.4    | 1983 | 2     | 01    | 20.9 | 21.3 | 21.9 | 21.2 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 21.4     | 21.0 | 21.0  | 21.0      | 20.1   | 20.2             | 20.2                   | 19.3     | 20.8 | 1984        | 2         | 01        | 18.6    | 19.7 | 20.7  | 21.0  | 20.6 | 20.8 | 19.6 | 20.4 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 19.4     | 19.8 | 19.6  | 19.3      | 20.0   | 1985             | 2                      | 01       | 18.3 | 19.1        | 19.6      | 20.3      | 20.6    | 20.8 | 20.4  | 19.9  | 20.1 | 19.3 | 19.2 | 18.7 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 19.7     | 1986 | 1     | 01        | 19.3   | 19.5             | 20.0                   | 20.4     | 20.7 | 21.0        | 21.6      | 20.5      | 20.0    | 20.0 | 19.8  | 20.2  | 1987 | 2    | 01   | 20.0 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 21.8     | 21.4 | 21.4  | 21.8      | 21.9   | 21.4             | 21.0                   | 20.6     | 21.1 | 20.9        | 21.3      | 1988      | 2       | 01   | 20.0  | 21.0  | 21.0 | 21.0 | 21.0 | 21.0 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

Figura 7. Información entregada por el IDEAM, la cual contiene los registros de la precipitación por estaciones metereologicas dentro de la cuenca del algodonal parte alta, serie de tiempo de los últimos 20 años

Constricción del mapa de Isoyetas para cálculo de precipitación promedio en la zona de estudio.

Las estaciones metereologicas del IDEAM en formato SHAPEFILE de puntos y con la base de datos climática depurada por series de tiempo se traslaparon sobre el limite oficial del municipio de Abrego para calcular la precipitación predio anual por medio del uso de una herramienta SIG de interpolación geostatistica denominada Kriging como resultado se obtuvo el raster de precipitación media de la zona para los últimos 10 años

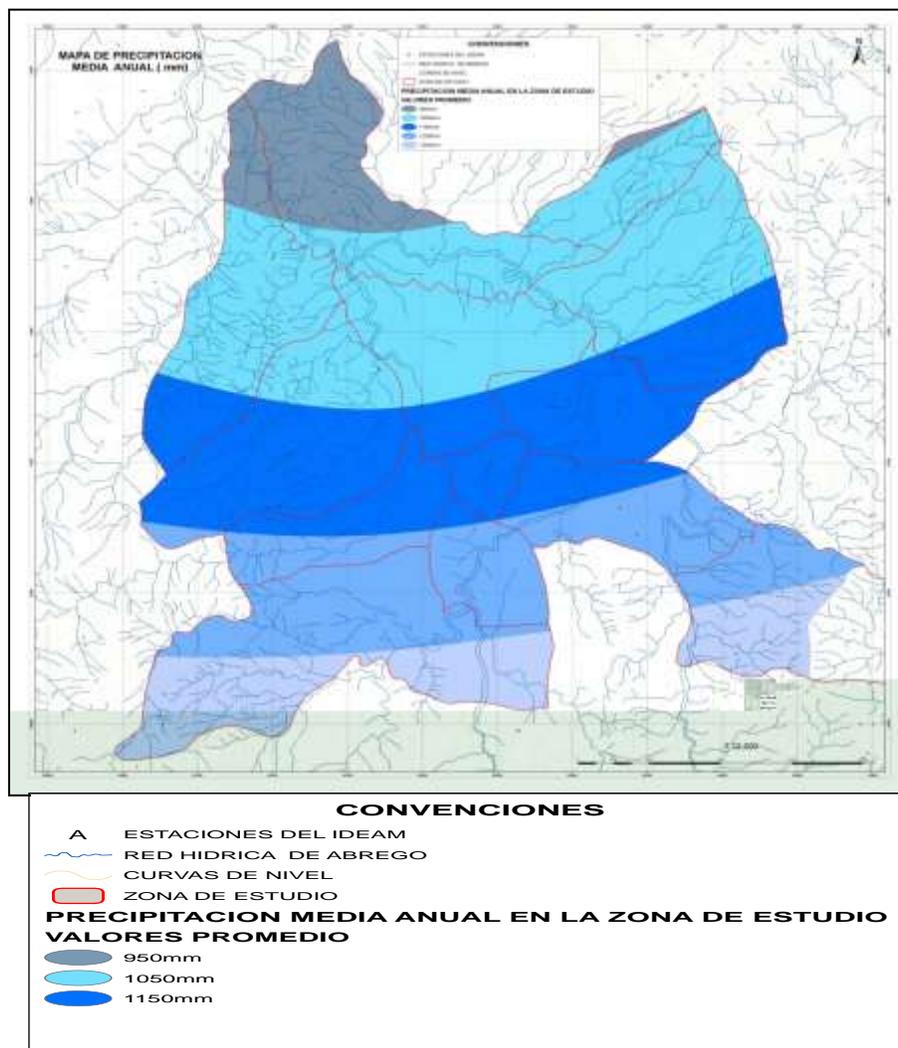


Figura 8. Mapa de Isoyetas para cálculo de la precipitación sobre la zona de estudio , método de interpolación (SPLINING )

Según los datos de precipitación y la salida grafica generada a partir de esta información la zona sur del área de estudio es la que presenta mayor precipitación llegando a los 1350 mmm/año y la de menor precipitación es la zona norte con 950 mm promedio

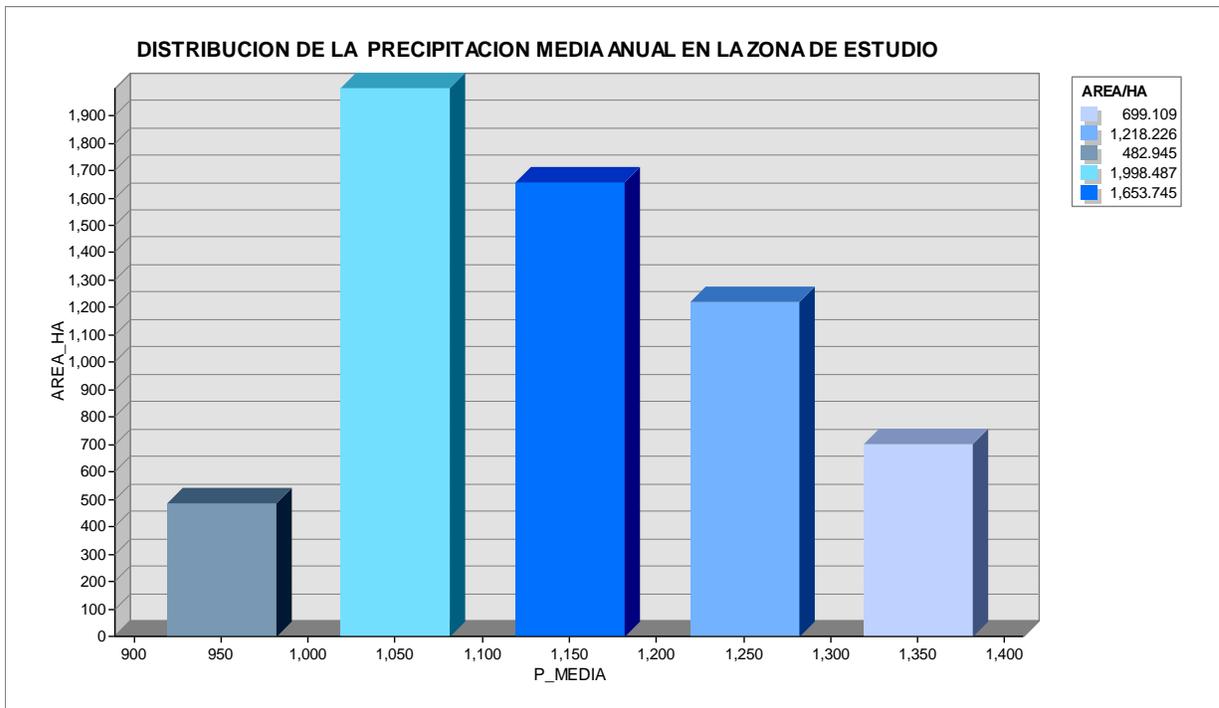


Figura 9. Diagrama de barras distribución de la precipitación vs áreas en Ha

**Temperaturas Máximas, mínimas y medias en la zona de estudio.** Luego de procesar la información climática de las estaciones del IDEAM se establece mediante el método de Isoyetas, e interpolación spinning se estableció que el área donde se realiza el presente estudio la temperatura máxima promedio anual vería de 22 – 24°C, la zona norte del área estudio es la que presenta mayores temperaturas

máximas en promedio , el raster de temperaturas muestra que la mínima máxima en la zona de estudio es de  $22.14^{\circ}\text{C}$  y la máxima temperatura es de  $23.4^{\circ}\text{C}$  esta temperatura máxima se presenta al costado Nor occidental y hacia el sur se presentan las menores temperaturas.

En cuanto a las temperaturas mínimas promedio en la zona de estudio el rango varía entre los  $15,5^{\circ}\text{C}$  -  $14,7^{\circ}\text{C}$  ; siendo las veredas de menor temperatura la (Soledad, llano Suarez, casa de Teja , el Tirol ) localizadas al occidente de la zona de estudio , parte de la vereda (San Miguel , El Hoyo, El Molino , la parte Nor oriental de los piñitos.

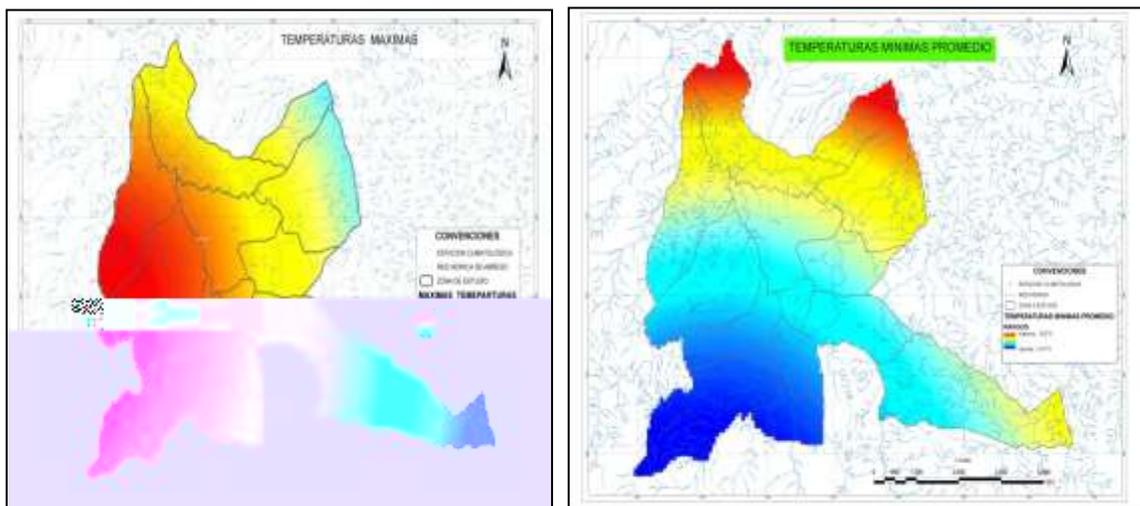


Figura 10. Mapas de la distribución de las temperaturas máximas y mínimas en la zona de estudio.

**Caracterización del cultivo del tomate en el municipio de Abrego.** Antes de realizar la caracterización del cultivo del tomate de mesa a campo abierto el cual se realiza en el municipio de Abrego Norte de Santander , se presenta a continuación una descripción técnica de las semillas híbridas de los materiales que se siembran con mayor frecuencia en el municipio

En Abrego el tipo de tomate que se siembra es el que se denomina tomate tipo rio grande de crecimiento determinado y en algunos híbridos F1 su c crecimiento es semideterminado, son materiales de porte arbustivos con crecimiento desde 1mtr hasta 1,70mtrs en casos excepcionales, no requiere prácticas de poda, ni de formación, ni productivas dado que su productiva radica en el número de “chupones “ con los que logre cuajar la flor” los tomates que se siembran en la zona de estudio corresponden a semillas sexuales casi en todos los caso de carácter F1 ( PRIMER CRUCE) , el cual cuenta con una serie de características agronómicas en su productividad y tolerancia a enfermedades de carácter fungoso y/o viral.

**Los plantuladeros o invernaderos.** Estos lugares son las empresas que se dedican a plántular las semillas de tomate u otras especies vegetales, hace una década el negocio inicio con una o dos empresas pequeñas, en la actualidad en la zona no solo se producen las plántulas en los invernaderos o plantuladeros de Abrego si no que participan en el mercado, plantuladeros de Ocaña, Gonzales , Bucaramanga y Bogotá a continuación se relacionan los nombres de las empresas que hacen presencia en el mercado de plántulas en el municipio de Abrego

Plantuladora Nazi

Plántulas Bucaramanga

Plantuladora Abrego

Farminiz

Impulse semillas

Plantuladora bujuriama

En el municipio de Abrego se localizan 3 plantuladeros los cuales son los tres (3) primeros relacionados anteriormente



Figura 11. Plantulas Bucaramanga



Figura 12. Plantuladora nazi



Figura 13. Plantuladora Abrego

Sobre la imagen de google earth pro 2016 se pueden visualizar los tres plantuladeros o invernaderos que se dedican a la producción de plántulas de tomate y otras especies vegetales en el municipio de Abrego

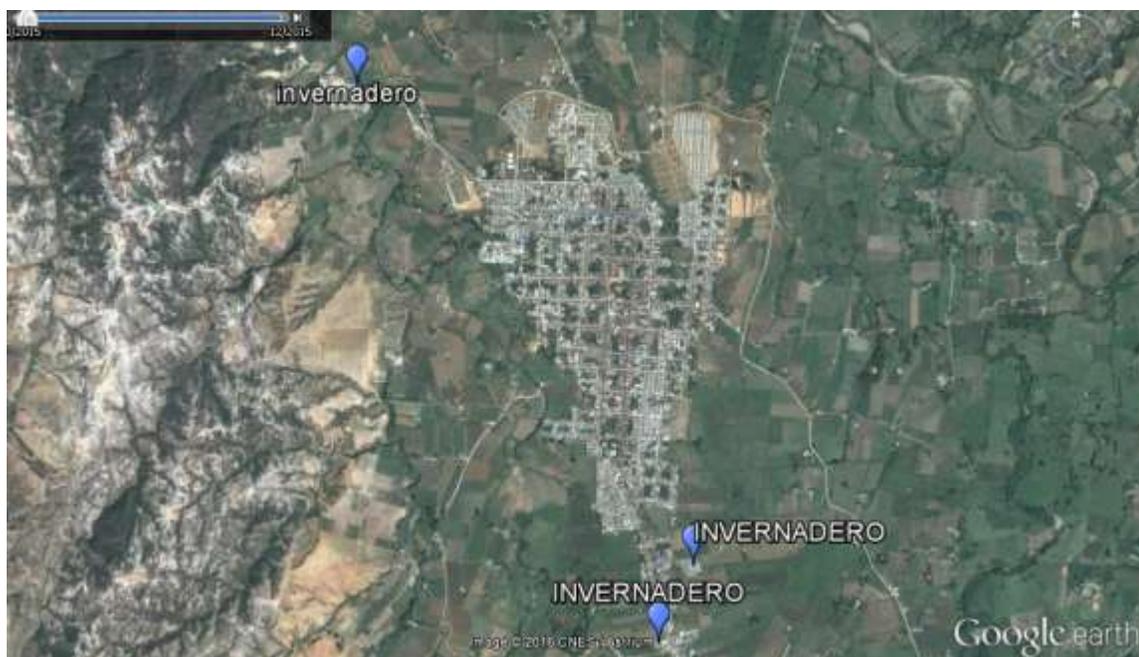


Figura 14. Invernadero

Los invernaderos o plantuladeros tienen tres áreas básicas en las cuales se divide su planta física:

La cámara de germinación o cuarto oscuro

El invernadero

La administrativa

**Proceso de plantulacion.** En términos generales el proceso de plantulacion está sistematizado de la siguiente manera:

Se toma el pedido del cliente el cual deja claro que tipo de semilla quiere, en qué tipo de bandeja y la cantidad. porque de estas variables varia el costo de la inversión en plántulas, se procede a la siembra de la semilla por parte de las mujeres encargadas de este proceso 1 semilla por alveolo (hueco) de la bandeja de germinación , luego de depositada en la bandeja la semilla se confina en un cuarto oscuro por un total de 3 días, hasta la aparición de las primeras hojas falsas , luego de estos tres días se pasan a sitio definitivo (invernadero ) y ahí permanecerán por el resto de sus 22 días durante este proceso las plántulas reciben jornadas de riego y de fertilización inicial al igual que algo que ellos denominan “vacunas”, la cantidad de agua que se usa en este proceso de plantulacion no se pudo determinar dado que estas empresas o mejor microempresas presentan un hermetismo total a entregar información a personas ajenas al proceso . cada Plantuladora presenta una capacidad de plantulacion distinta unas con una capacidad de 1000.000 de plántulas y la más pequeña de unos 400.000 pero como todas estas plántulas se reparten entre tomate, pimentón, pepino, ají dulce (topito) Lulo, etc. No se puede determinar cuánta agua en m<sup>3</sup> /día se gastan la producción de tomate.

Luego de 25 días aproximadamente en el invernadero o plantuladero el cliente o propietario de las plántulas las trasladas a campo empacadas en cajas de cartón con una capacidad de 1000und, el productor ha realizado un riego al suelo la tarde- noche anterior por una jornada aproximada de 2 horas a 4 horas esto dependerá de cómo vea el productor el estado de humedad del suelo, sobre este proceso no existe un criterio

técnico este se basa en la experiencia empírica del productor, tampoco existe un control del volumen de agua usado dado que se carece de medidores en las fincas.

**El proceso de siembra.** Una vez se tiene la semilla (plántulas) el productor procede a sembrar bajo unas distancias de siembras las cuales no son constantes y son calculadas con los pasos del trabajador el cual abrió los huecos de forma anticipada las distancias de siembra varían entre los siguientes rangos según lo indagado en campo.

**Tabla 2.**

*Proceso de siembra*

| <b>Distancia entre plantas</b> | <b>Distancia entre surcos</b> |
|--------------------------------|-------------------------------|
| <b>70cm</b>                    | 1mtr                          |
| <b>90cm</b>                    | 1mtr                          |
| <b>60cm</b>                    | 120mtr                        |
| <b>Total de plantas / Ha</b>   | 11000-12000- 14000            |

**Nota:** Fuente. Autores del proyecto

Entre 4 – 5 personas realizan la siembra de las plántulas a las cuales se les aplica una pequeña dosis de insecticida mezclado en algunos casos con fungicidas, los insecticidas usados en esta primera aplicación tiene como objetivo prevenir el

ataque de insectos tierreros de comportamiento nocturno los cuales trozan el tallo en su cuello y causan grandes pérdidas económicas a cada productor.

Durante la primera semana de cultivo la mayoría de los productores solo realizan labores culturales de riego sistemático al cultivar y de control de insectos plaga, las jornadas de riego son resalidas de acuerdo a la experiencia del productos no se realizan diseños agronómico ni hidráulicos los cuales permitan establecer con precisión la lámina de agua del suelo.

Los productores de la zona desconocen el concepto de necesidades hídricas de un cultivo, es más los profesionales del sector los cuales son los llamados a cubrir esas falencia técnicas tampoco saben cómo determinarlas, no se puede decir si es una falla desde su formación académica pregrado o si por el contrario es falta de interés de estos profesiones por desarrollar estos conceptos en su trabajo de asistencia técnica.

Según (FINAGRO2012), el cultivo de tomate requiere una precipitación promedio de 1000 – 1500mm/año y el exceso o déficit hídrico pueden causar desordenes fisiológicos.

Los productores de la zona desconocen el concepto de “evapotranspiración potencial”, evapotranspiración de referencia, coeficiente de cultivo, este coeficiente de cultivo varía según el híbrido cultivado. Como se desconoce los términos

anteriormente referidos y la forma técnica de realizar su cálculo , pues por ende se desconocen las necesidades netas hídricas del cultivo.

Lo anterior causa que el productor riegue desconociendo cuánta agua requiere el cultivo en cada etapa y cuál es el tipo de emisor que este cultivo requiere y si debe ser un sistema de riego por goteo, micro goteo, aspersión generalmente usan el sistema de aspersión , este sistema de riego por aspersión el cual es el más popular entre los productores de la zona se instala como ya se mencionó de una forma empírica sin tener en cuenta la presión , el tamaño de la gota , la frecuencia de riego según la capacidad de infiltración del agua en el suelo.

Los procesos de fertilización se realizan de forma empírica en las visitas que se realizaron en campo se pudo establecer que ninguno de los productores implementa un análisis de suelo para sus siembras el proceso de fertilización lo realizan basados en su propia experiencia y/o en experiencia de sus vecinos unas semanas antes de la siembra realizan una incorporación de gallinaza las cantidades de este producto varían según el gusto o la “sospecha” de cada productor

Luego realizan aplicaciones periódicas de fertilizantes con una concentración alta de Nitrógeno que para algunos casos es urea, Nitron, NITRAX , en pocos casos fertilizantes compuestos como el 15-15-15 , pero para todos los productores su columna vertebral en el plan de fertilización es el Nitrógeno, cuando el cultivo inicia su proceso de llenado de fruta realizan aplicaciones foliares de elementos menores y a nivel

edáfico fertilizantes como abotek, agrocafe y otros compuestos con elementos menores, las cantidades varían dado que no realizan medición de estas dosis, todo es calculado con sus manos y su vista basados en la experiencia, sin tener en cuenta las necesidades de fertilización del cultivar, sin realizar un plan de fertilización, sin tener en cuenta las características fisicoquímicas del suelo, estas malas practicas.

Para el control de insectos plaga y enfermedades de carácter bacterial y fungoso los productores aún se encuentran en la denominada revolución verde usan productos a base de organofosforados y organoclorados , los cuales son altamente residuales y no selectivos lo cual afecta fuertemente a los miembros del ecosistema natural y los del agro ecosistema



Figura 15. Fotografía del interior de un plantuladero en el municipio de Abrego Norte de Santander.

Las aplicaciones que se realizan generalmente son de choque nada de forma preventiva en la zona los productores no implementan el denominado **MIRFPE** (manejo integrado de riego, fertilización , plagas y enfermedades) , lo cual causa un uso inadecuado de productos fitosanitarios , agroquímicos y fertilizantes de síntesis de laboratorio.

Las aplicaciones de fitosanitarios generalmente las realizan apoyados con una bomba de espalda la cual es mecánica con una capacidad de agua de 20 – 22 ltrs de agua , la mezcla es preparada en una caneca de 200ltrs de agua y el consumo de agua varía según el estado de desarrollo del cultivo, es de aclarar que ningún tipo de calibración de la máquina de espalda ni de la boquilla usada para tal fin.



Figura 16. Cultivo de tomate de mesa tipo rio grande a campo abierto en el municipio de Abrego Norte de Santander.



Figura 17. Productor de tomate del municipio de Abrego Norte de Santander.

Más o menos a los 45 días de trasplante se inicia el proceso de cosecha de la fruta de tomate la cosecha se realiza de forma manual donde se cortan los tomates que ya tienen el punto de madurez solicitado por el mercado esta primera cosecha no arroja una gran cantidad de tomate pero si generalmente son los tomates más grandes, los que pertenecen al primer racimo, esta primera cosecha o corte no presenta una gran calidad, se encuentran frutas con machas de alternaría, y de peca bacterial al igual que en algunos casos daños por perforadores de fruta y cogolleros del tomate (tuta Absoluta).

El ciclo del cultivo de tomate en promedio en el municipio de Abrego tiene una duración de 3 meses desde su trasplante hasta la última cosecha, durante la época de la cosecha la única labor de pos cosecha que se realiza es la selección de la fruta y el empaque de esta en cajas de cartón de 25 kilos de capacidad para luego ser llevada al centro de comercialización más próximo.

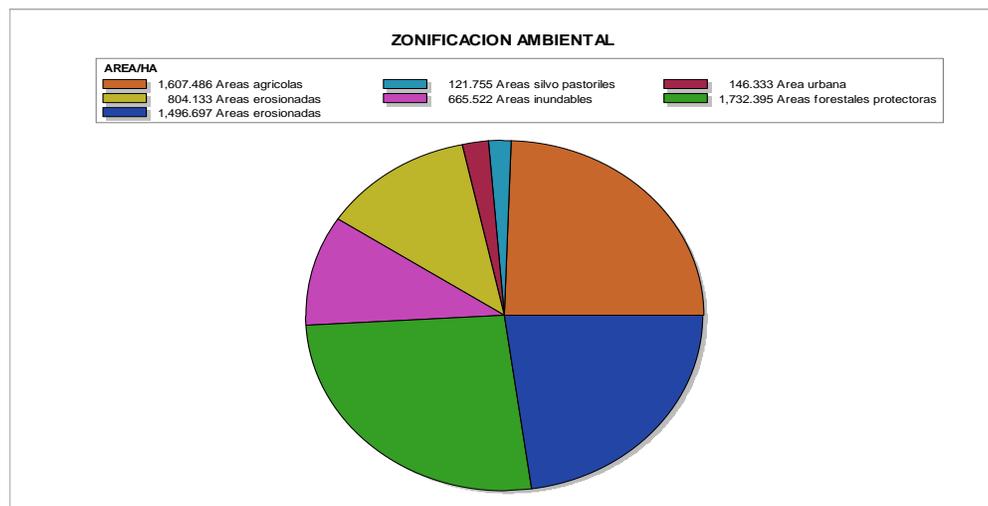
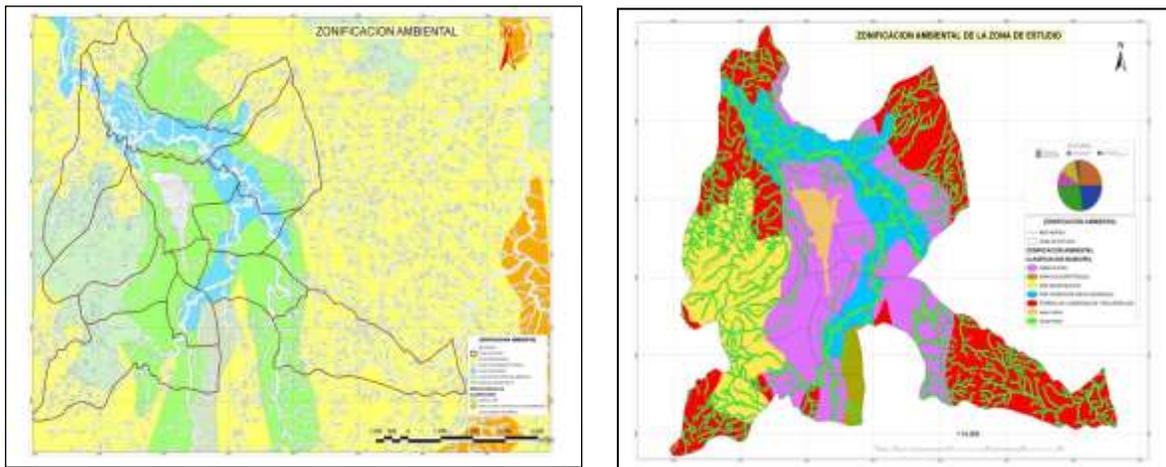


Figura 18. Zonificación Ambiental de la zona de estudio según el PBOT del municipio de Abrego

A nivel ambiental según el PBOT del municipio de Abrego Norte de Santander la zona donde se centralizó este estudio presentan 7 zonas ambientalmente definidas y las cuales pueden ser claramente observadas en los mapas y el diagrama de torta construidos a partir de la información geográfica oficial del municipio estas 7 zonas y sus características se resume en la siguiente tabla

| ZONIFICACION AMBIENTAL SEGÚN EL OBOT DEL MUNICIPIO DE ABREGO |             |
|--|-------------|
| DEFINICION DE LA ZONA SEGÚN PBOT                             | AREA EN HA  |
| AGRICULTURA  | 1607.486221 |
| AREAS SILVOPASTORILES  | 121.755278  |
| CASCO UEBANO DE ABREGO                                       | 146.332694  |
| POR DESERTIZACION  | 804.132637  |
| POR INUNDACION AREAS INUNDABLES                              | 665.521935  |
| RONDA HIDRICA  | 1732.394507 |
| TERRENO DE CONSERVACION Y RECUPERA                           | 1496.696941 |

Figura 19. Zonificación ambiental

Según los datos anteriores del total de la zona de estudio que cuenta con un área de 6574.320Ha únicamente 1607.48Ha pueden dedicarse a la agricultura y un total 804.13Ha se encuentran degradadas a nivel de desertización debido a la mala gestión de los suelos y la tala inadecuada de bosque natural y la expansión agrícola descontrolado en esta área se hace insostenible la producción



Para el primer semestre del año 2016 se localizaron dentro de la zona de estudio un total de 262 predios con siembras de tomate de mesa a campo abierto, los cuales en promedio siembran 1 Ha dejado por lo cual el cálculo de consumo de agua para los procesos de aplicación de fitosanitarios, fertilización foliar y riego se realizó para esta dimensión de área productiva. Esto significa que para el primer semestre de 2016 en la zona de estudio escogida para este proyecto contamos un con un total aproximado de 262 Ha de tomate de mesa.

**Cantidades de agua usada en la producción de tomate de mesa en la zona de estudio.** Mediante encuestas a los productores se pudo establecer que el tomate localizados en la zona de estudio gastan en promedio los siguientes volúmenes de agua, distribuidos en las etapas de desarrollo del mismo y las cuales se relacionan en la siguiente figura:

| CALCULO DEL VOLUMEN DE AGUA USADO EN LAS APLICACIONES DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS PARA EL CULTIVO DE TOMATE A CAMPO ABIERTO |                                       |  |                   |  |                    |
|---|---------------------------------------|--|-------------------|--|--------------------|
| ETAPA DEL CULTIVAR  | VOLUMEN DE AGUA LTRS /12000PLANTAS/HA | FRECUENCIA DE APLICACIÓN (veces por semana ) | TOTAL DE JORNADAS | CONDICIONES CLIMATICAS                                       | VOLUMEN TOTAL LTRS |
| TRANSPLANTE - ESTABLECIMIENTO (1MES)  | 120                                   | 2  | 8                 | Temperaturas suaves, inferiores a 22°C, y un verano moderado | 960                |
| DESARROLLO VEGETATIVO   | 450                                   | 2  | 8                 | Temperaturas suaves, inferiores a 22°C, y un verano moderado | 3600               |
| FLORACION Y LLENADO DE FRUTA  | 450                                   | 2  | 6                 | Temperaturas suaves, inferiores a 22°C, y un verano moderado | 2700               |
| PRODUCCION  | 450                                   | 2  | 4.5               | Temperaturas suaves, inferiores a 22°C, y un verano moderado | 2025               |
| TOTAL DE AGUA LTRS/HA   |                                       |  |                   |  | 9285               |
| TOTAL DE AGUA M3/HA   |                                       |  |                   |  | 9.285              |

Figura 21. Cantidad de agua utilizada

El total de agua invertido solo en la aplicación de insecticidas, fungicidas, bactericidas, fertilizantes foliares es de  $9.295\text{m}^3$  de agua en 2.5 meses de ciclo de vida en condiciones normales de clima según los productores, esto significaría que las 262 Ha sembradas consumen  $2435.29\text{m}^3$  de agua.

### **Características agrologicas de los suelos presentes en la zona de estudio.**

Según el estudio de suelos de norte de Santander elaborado por el IGAC en el año 2010 para CORPONOR a escala 1:100000 los suelos que se presentan en la zona de estudio presentan las siguientes características las cuales se presentan en la siguiente tabla:

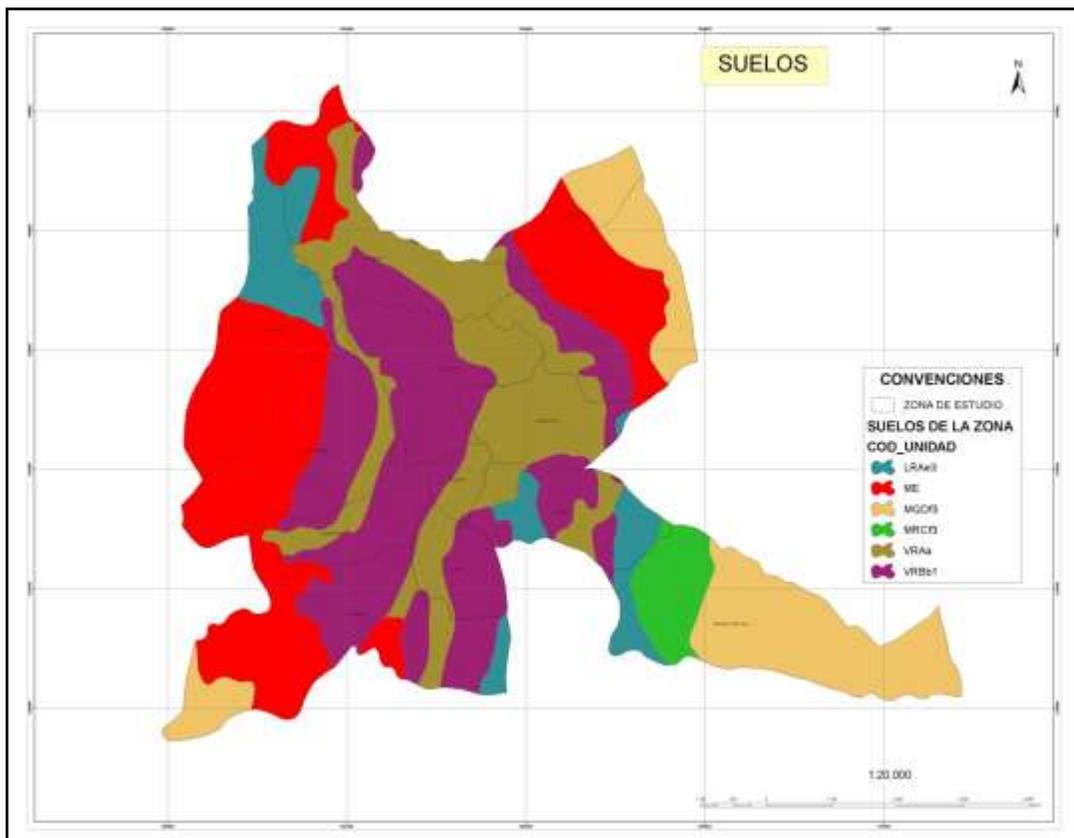


Figura 22. Zonas de estudio

Como se puede apreciar en la temática anterior la zona de estudio está compuesta por un total de seis unidades de suelo las cuales presentan unas características específicas y las cuales deben ser tenidas en cuenta en el aumento de la terminación de necesidades hídricas del cultivo.

| CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO SEGÚN EL ESTUDIO DE SUELOS Y ZONIFICACION DE TIERRAS DEL DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER |         |              |  |   |                       |                     |                   |   |   |          |                     |               |            |                          |            |               |                |                       |              |      |           |           |         |            |            |                        |          |        |           |                        |                       |                    |                     |          |
|--|---------|--------------|--|---|-----------------------|---------------------|-------------------|---|---|----------|---------------------|---------------|------------|--------------------------|------------|---------------|----------------|-----------------------|--------------|------|-----------|-----------|---------|------------|------------|------------------------|----------|--------|-----------|------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|----------|
| CODIGO DE LA UNIDAD  | FAISAE  | CUMA         | TIPO DE RELIEVE                              | UTOLOGIA  | PROCESO GEOMORFOLOGIA | UNIDAD CARTOGRAFICA | UNIDAD TAXONOMICA | PENDIENTE FASE  | CARACTERISTICA GENERALES  | SMB      | GRADO DE EVALUACION | PROFUNDIDA    | DRENAJE    | GRADO DE BROSION         | TOPOGRAFIA | PIEDREGOSIDAD | CLASE TEXTURAL | INDICE DE PLASTICIDAD | CONSISTENCIA | PH   | SAT_BASES | CONT_ALUM | MAT_ORG | FERTILIDAD | HOR_ENDURE | CLASIFICACION AGRICOLA | NUNDAB   | PENDEN | AFIDR_BOC | RANGOS DE LA PENDIENTE | LIMITADO PORROCA      | REACCION DEL SUELO | SATURACION DE BASES | AREA_HAS |
| ME   | Montaña | Cálido Seco  | Lamas y Crestones Homoclinales               | arcillositas, limolitas y areniscas                               | centrado en grado e   | Consociación        | misceláneo        | erosionado  | muy superficiales, limitados por material parental impermeable debido a la alta concentración de materia feráltica. | ME       | Moderada            | Bien drenados | May severo | Fle quebrada - Ondulada  | Si         | FG-Ar         | Medio          | Firme                 | 6,4          | 200% | 0,0%      | -1,0%     | Medio   | Si         | VIII       | No                     | Moderada | No     | 25 - 50%  | Si                     | Ligeramente ácido     | Alta               | 153.34561           |          |
| VR4a   | Valle   | Medio Seco   | Plano de inundación activo de tipo meándrico | Depósitos superficiales clásticos, hidrogénicos, mixtos aluviales | sedimento aluvial     | Consociación        | Acuic Ustifluvent | Fase: Pendiente 3% moderadamente profundos, limitados por fluctuaciones del nivel freático, textura franca neutra. Fertilidad alta.   | VR4a  | May bajo | Moderada            | Moderado      | No         | Ligeramente plana        | No         | F             | Bajo           | Fríasble              | 6,2          | >50% | 0,0%      | 0,5%      | Alta    | No         | III        | Si                     | Baja     | No     | 1 - 3%    | No                     | Ligeramente ácido     | Alta               | 1271.3578           |          |
| UR4a3  | Llanero | Medio Seco   | Lamas grano y conglomerados                  | grano y conglomerados   | concentrado en grado  | Asociación          | Litúic Ustorthent | Fase: Pendiente 25-50% y erosión severa superficiales y moderadamente profundos, limitados por roca, bien drenados. Fertilidad natural alta y baja.                                   | UR4a3   | May bajo | Superficial         | Bien drenados | Severo     | Fuertemente quebrada     | Si         | FA            | Bajo           | Fríasble              | 5,2          | 18%  | 1,4%      | -1,0%     | Baja    | No         | VII        | No                     | Moderada | No     | 25 - 50%  | Si                     | Fuertemente ácido     | Baja               | 257.321349          |          |
| VRB1   | Valle   | Medio Seco   | Terraza Agradación al                        | Depósitos superficiales clásticos, hidrogénicos, mixtos aluviales | entación aluvial y co | Consociación        | Typic Dystrustep  | Fase: Pendiente 3 7% y erosión ligera profundos, textura franco arcillo arenosa a arcillosa. Fuertemente ácidos. Fertilidad baja  | VRB1  | Bajo     | Profundos           | Bien drenados | Ligero     | Lite ondulada - Ondulada | No         | FA-Ar         | Medio          | May friab             | 5,0          | 5%   | 3,0%      | 0,0%      | Baja    | No         | III        | No                     | Baja     | No     | 3 - 7%    | No                     | May fuertemente ácido | May baja           | 167.964738          |          |
| UR4a3  | Llanero | Medio Seco   | Lamas grano y conglomerados                  | grano y conglomerados   | concentrado en grado  | Asociación          | Litúic Ustorthent | Fase: Pendiente 25-50% y erosión severa superficiales y moderadamente profundos, limitados por roca, bien drenados. Fertilidad natural alta y baja.                                   | UR4a3   | May bajo | Superficial         | Bien drenados | Severo     | Fuertemente quebrada     | Si         | FA            | Bajo           | Fríasble              | 5,2          | 18%  | 1,4%      | -1,0%     | Baja    | No         | VII        | No                     | Moderada | No     | 25 - 50%  | Si                     | Fuertemente ácido     | Baja               | 341.242076          |          |
| MRC3   | Montaña | Medio Seco   | Filas y Vigas                                | grano   | no concentrado en g   | Consociación        | Typic Ustorthent  | Fase: Pendiente 50-75% y erosión severa moderadamente profundos, bien drenados, textura franco arcillo gravilosa a arcillo gravilosa. Fertilidad natural baja.                        | MRC3  | May bajo | Superficial         | Excesivo      | Severo     | Fuertemente quebrada     | No         | FA-Gr         | Medio          | Fríasble              | 5,2          | 40%  | <2,0%     | -1,0%     | Baja    | Si         | VII        | No                     | Alta     | No     | 50 - 75%  | Si                     | Fuertemente ácido     | Medio              | 225.178549          |          |
| MQDF3  | Montaña | Medio Húmedo | Filas y Vigas                                | granitos, cuarcamononita y neises                                 | en grado moderado     | Complejo            | Typic Ustorthent  | Fase: Pendiente 50-75% y erosión severa superficiales limitados por roca, excesivamente drenados, de textura franco arenosa a franco arcillosa, abundante gravilla. Fertilidad media. | MQDF3   | May bajo | Superficial         | Excesivo      | Severo     | Fle quebrada - Escarpada | No         | FA-G          | Bajo           | Suelto                | 5,6          | 83%  | 0,0%      | 1,1%      | Medio   | No         | VII        | No                     | Alta     | No     | 50 - 75%  | Si                     | Medianamente ácido    | Alta               | 308.438814          |          |
| MQDF3  | Montaña | Medio Húmedo | Filas y Vigas                                | granitos, cuarcamononita y neises                                 | en grado moderado     | Complejo            | Typic Ustorthent  | Fase: Pendiente 50-75% y erosión severa superficiales limitados por roca, excesivamente drenados, de textura franco arenosa a franco arcillosa, abundante gravilla. Fertilidad media. | MQDF3   | May bajo | Superficial         | Excesivo      | Severo     | Fle quebrada - Escarpada | No         | FA-G          | Bajo           | Suelto                | 5,6          | 83%  | 0,0%      | 1,1%      | Medio   | No         | VII        | No                     | Alta     | No     | 50 - 75%  | Si                     | Medianamente ácido    | Alta               | 800.128897          |          |
| VRB1   | Valle   | Medio Seco   | Terraza Agradación al                        | Depósitos superficiales clásticos, hidrogénicos, mixtos aluviales | entación aluvial y co | Consociación        | Typic Dystrustep  | Fase: Pendiente 3 7% y erosión ligera profundos, textura franco arcillo arenosa a arcillosa. Fuertemente ácidos. Fertilidad baja  | VRB1  | Bajo     | Profundos           | Bien drenados | Ligero     | Lite ondulada - Ondulada | No         | FA-Ar         | Medio          | May friab             | 5,0          | 5%   | 3,0%      | 0,0%      | Baja    | No         | III        | No                     | Baja     | No     | 3 - 7%    | No                     | May fuertemente ácido | May baja           | 137.425811          |          |
| VRB1   | Valle   | Medio Seco   | Terraza Agradación al                        | Depósitos superficiales clásticos, hidrogénicos, mixtos aluviales | entación aluvial y co | Consociación        | Typic Dystrustep  | Fase: Pendiente 3 7% y erosión ligera profundos, textura franco arcillo arenosa a arcillosa. Fuertemente ácidos. Fertilidad baja  | VRB1  | Bajo     | Profundos           | Bien drenados | Ligero     | Lite ondulada - Ondulada | No         | FA-Ar         | Medio          | May friab             | 5,0          | 5%   | 3,0%      | 0,0%      | Baja    | No         | III        | No                     | Baja     | No     | 3 - 7%    | No                     | May fuertemente ácido | May baja           | 268.344961          |          |
| ME   | Montaña | Cálido Seco  | Lamas y Crestones Homoclinales               | arcillositas, limolitas y areniscas                               | centrado en grado e   | Consociación        | misceláneo        | erosionado  | muy superficiales, limitados por material parental impermeable debido a la alta concentración de materia feráltica. | ME       | Moderada            | Bien drenados | May severo | Fle quebrada - Ondulada  | Si         | FG-Ar         | Medio          | Firme                 | 6,4          | 200% | 0,0%      | -1,0%     | Medio   | Si         | VIII       | No                     | Moderada | No     | 25 - 50%  | Si                     | Ligeramente ácido     | Alta               | 569.870739          |          |
| UR4a3  | Llanero | Medio Seco   | Lamas grano y conglomerados                  | grano y conglomerados   | concentrado en grado  | Asociación          | Litúic Ustorthent | Fase: Pendiente 25-50% y erosión severa superficiales y moderadamente profundos, limitados por roca, bien drenados. Fertilidad natural alta y baja.                                   | UR4a3   | May bajo | Superficial         | Bien drenados | Severo     | Fuertemente quebrada     | Si         | FA            | Bajo           | Fríasble              | 5,2          | 18%  | 1,4%      | -1,0%     | Baja    | No         | VII        | No                     | Moderada | No     | 25 - 50%  | Si                     | Fuertemente ácido     | Baja               | 95.99006            |          |
| VRB1   | Valle   | Medio Seco   | Terraza Agradación al                        | Depósitos superficiales clásticos, hidrogénicos, mixtos aluviales | entación aluvial y co | Consociación        | Typic Dystrustep  | Fase: Pendiente 3 7% y erosión ligera profundos, textura franco arcillo arenosa a arcillosa. Fuertemente ácidos. Fertilidad baja  | VRB1  | Bajo     | Profundos           | Bien drenados | Ligero     | Lite ondulada - Ondulada | No         | FA-Ar         | Medio          | May friab             | 5,0          | 5%   | 3,0%      | 0,0%      | Baja    | No         | III        | No                     | Baja     | No     | 3 - 7%    | No                     | May fuertemente ácido | May baja           | 288.424242          |          |
| VRB1   | Valle   | Medio Seco   | Terraza Agradación al                        | Depósitos superficiales clásticos, hidrogénicos, mixtos aluviales | entación aluvial y co | Consociación        | Typic Dystrustep  | Fase: Pendiente 3 7% y erosión ligera profundos, textura franco arcillo arenosa a arcillosa. Fuertemente ácidos. Fertilidad baja  | VRB1  | Bajo     | Profundos           | Bien drenados | Ligero     | Lite ondulada - Ondulada | No         | FA-Ar         | Medio          | May friab             | 5,0          | 5%   | 3,0%      | 0,0%      | Baja    | No         | III        | No                     | Baja     | No     | 3 - 7%    | No                     | May fuertemente ácido | May baja           | 309.288194          |          |

Figura 23. ESTUDIO GENERAL DE SUELOS Y ZONIFICACION DE TIERRAS DE NORTE DE SANTANDER, 2010 BASE DE DATOS ARCHIVO GEOGRAFICO

**USO DEL SOFTWARE CROWAPT 8.0.** Calculo de las necesidades hídricas (Diseño Agronómico) Este software creado por la FAO se usa a nivel mundial para la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos basándose en la información climatológica de la zona y del tipo de suelo y cultivo , para iniciar con el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo de tomate de mesa se parte de la información metereologica procesada de las estaciones climatológicas del IDEAM y con las cuales se realizó el mapa de Isoyetas.

A continuación se presentan los datos de precipitación mensual arrojado por las estaciones meteorológicas

| VALORES DE PRECIPITACION MENSUAL PROMEDIO PARA LA ZONA DE ESTUDIO AÑO 2016 DATOS TOMADOS PARA EL AÑO 2015 CATALOGO DEL IDEAM |         |      |        |         |         |       |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |       |
|--|---------|------|--------|---------|---------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-------|
| ESTACION METEOROLOGICA   | CODIGO  | TIPO | ALTURA | COORD_X | COORD_Y | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | ANUAL |
| ABREGO CENTRO AD   | 1604504 | CP   | 1430   | 1385422 | 1093428 | 50    | 88      | 70    | 241   | 224  | 246   | 193   | 385    | 336        | 250     | 196       | 59        | 385   |
| ALTO EL VENADO   | 1604001 | PM   | 1920   | 1387307 | 1111796 | 80    | 167     | 126   | 587   | 477  | 210   | 95    | 494    | 605        | 583     | 420       | 197       | 605   |
| LA MARIA   | 1604005 | PM   | 1800   | 1366991 | 1095304 | 84    | 176     | 227   | 531   | 428  | 279   | 227   | 541    | 773        | 522     | 450       | 160       | 773   |
| BOCATOMA RIO FRIO  | 1605012 | PM   | 1700   | 1379895 | 1095277 | 105   | 241     | 184   | 399   | 502  | 266   | 195   | 694    | 626        | 491     | 509       | 168       | 694   |
| TOTAL  |         |      |        |         |         | 319   | 672     | 607   | 1758  | 1631 | 1001  | 710   | 2114   | 2340       | 1846    | 1575      | 584       | 2457  |

Figura 24. Valores de precipitación mensual

| DATOS DE TEMPERATURAS PROMEDIO PARA LA ZONA SEGÚN LA INFORMACION DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DEL IDEAM PARA EL AÑO 2015 |         |      |        |         |         |       |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |       |
|--|---------|------|--------|---------|---------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-------|
| ESTACION METEOROLOGICA   | CODIGO  | TIPO | ALTURA | COORD_X | COORD_Y | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | ANUAL |
| ABREGO CENTRO AD   | 1604504 | CO   | 1430   | 1385422 | 1093428 | 20    | 20.3    | 20.9  | 21.3  | 20.6 | 20.6  | 21.2  | 21.2   | 20.8       | 20.3    | 20.4      | 19.4      | 20.6  |
| TEORAMA  | 1604502 | CO   | 1160   | 1424120 | 1086003 | 20.5  | 20.9    | 21.5  | 21.9  | 22.3 | 22.4  | 22.2  | 22.6   | 22.3       | 22      | 21.4      | 20.8      | 21.7  |
| APTO AGUA CLARA  | 1604501 | CO   | 1435   | 1411202 | 1078684 | 20.1  | 20.7    | 21.4  | 21.6  | 22   | 21.4  | 21.5  | 21.5   | 21.4       | 21.2    | 20.8      | 20.3      | 21.2  |
| LA PLAYA   | 1604506 | CO   | 1500   | 1402013 | 1093393 | 18.5  | 19.1    | 19.7  | 20.2  | 20.6 | 20.5  | 20.8  | 20.7   | 20         | 19.7    | 19.4      | 18.9      | 19.8  |
| AGUAS CLARAS   | 2321503 | CO   | 208    | 1400407 | 1052952 | 29.2  | 29.8    | 29.7  | 28.9  | 28.3 | 28.2  | 28.3  | 28.4   | 27.9       | 27.6    | 27.8      | 28.2      | 28.5  |
| ESC AGR CACHIRA  | 2319518 | CO   | 1882   | 1346754 | 1113734 | 16.1  | 16.5    | 16.9  | 17.1  | 17.4 | 17.3  | 17.1  | 17.1   | 16.8       | 16.8    | 16.7      | 16.3      | 16.8  |

Figura 25. Datos de temperatura

Se procedió a la descarga del software oficial de la página de la FAO y se configura su idioma en español

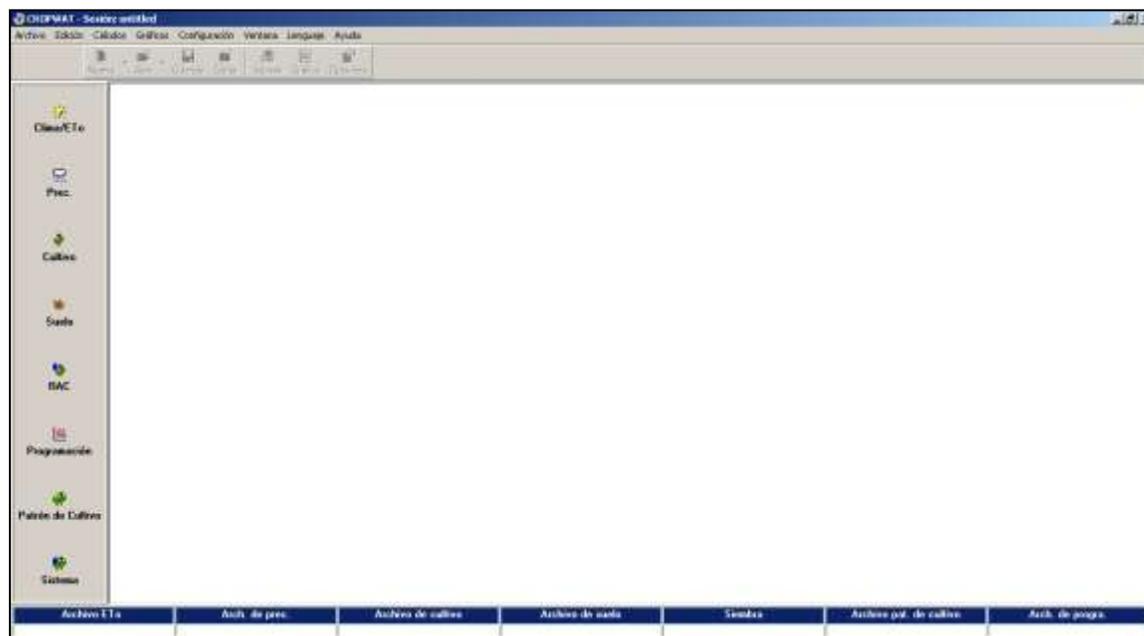


Figura 26. Interfaz de trabajo

Una vez se introducen los datos de clima y precipitación se pudo generar la gráfica de análisis estadístico, la gráfica incluye los datos de temperaturas mínimas, máximas, humedad relativa, velocidad del viento, insolación, radiación, evapotranspiración, precipitación y precipitación efectiva.

Esta información será parte de los insumos para la construcción del diseño agronómico de las exigencias de riego del cultivo de tomate, en el software se pueden generar los gráficos estadísticos por separado para realizar un análisis más complejo del comportamiento de cada variable

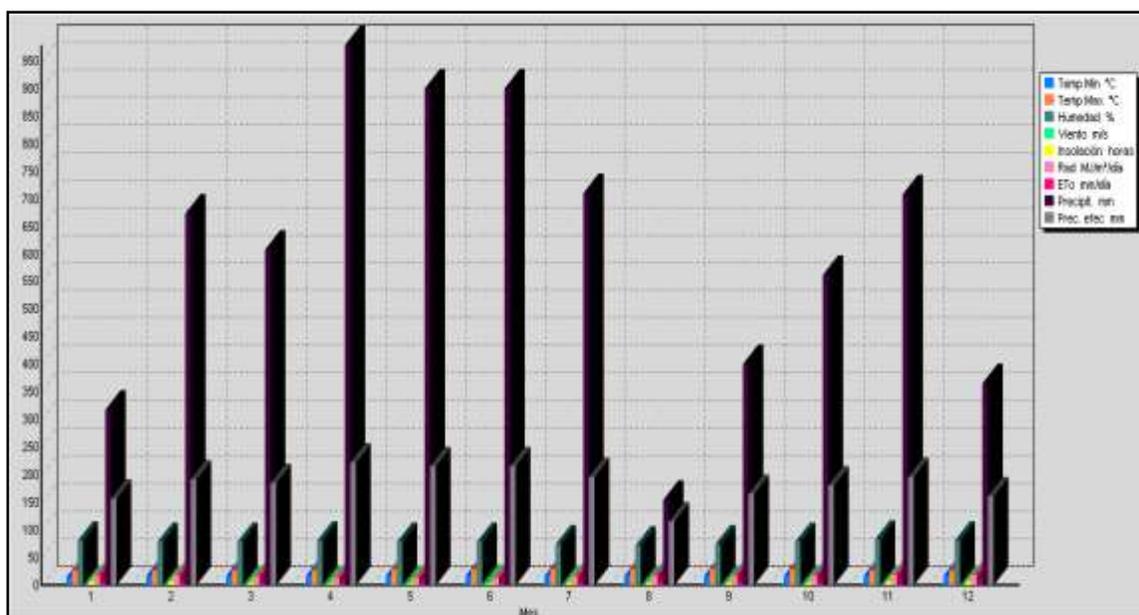


Figura 27. Figura de barras completa con todos los parámetros climatológicos de análisis construidos con las series de tiempo de 20 años

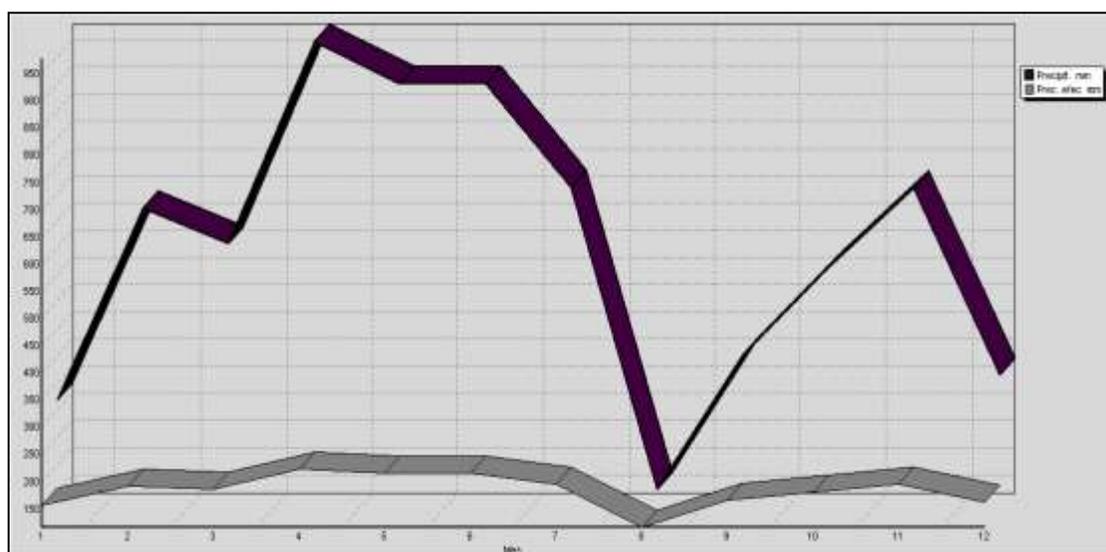


Figura 28. Precipitación efectiva vs precipitación promedio grafico generado a partir de la información climática oficial del IDEAM con series de tiempo de 20 años

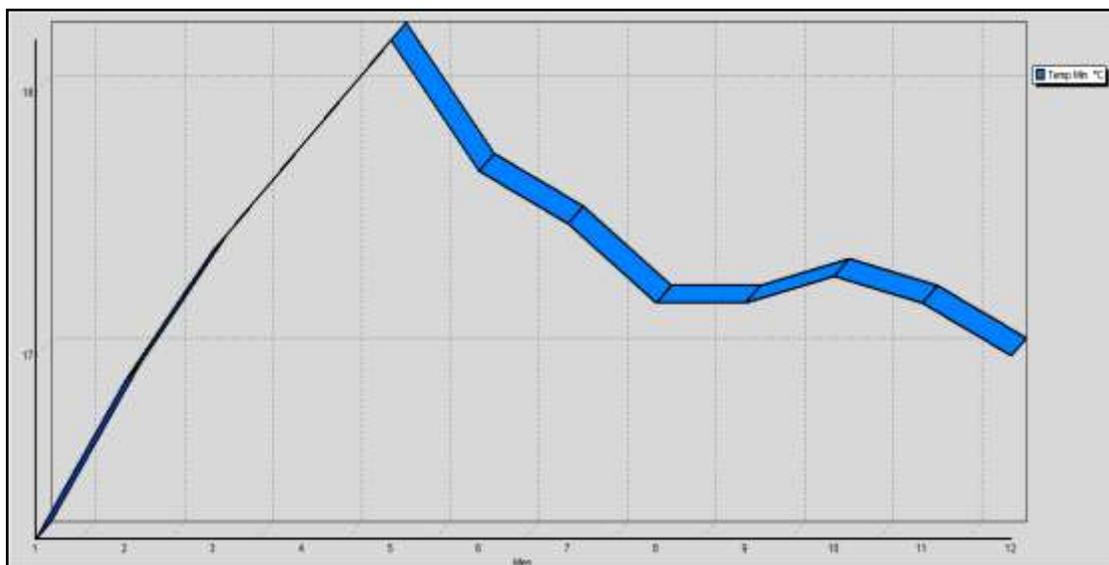


Figura 29. Temperatura máxima generada a partir de datos climáticos de las estaciones del IDEAM con series de tiempo de 20 años

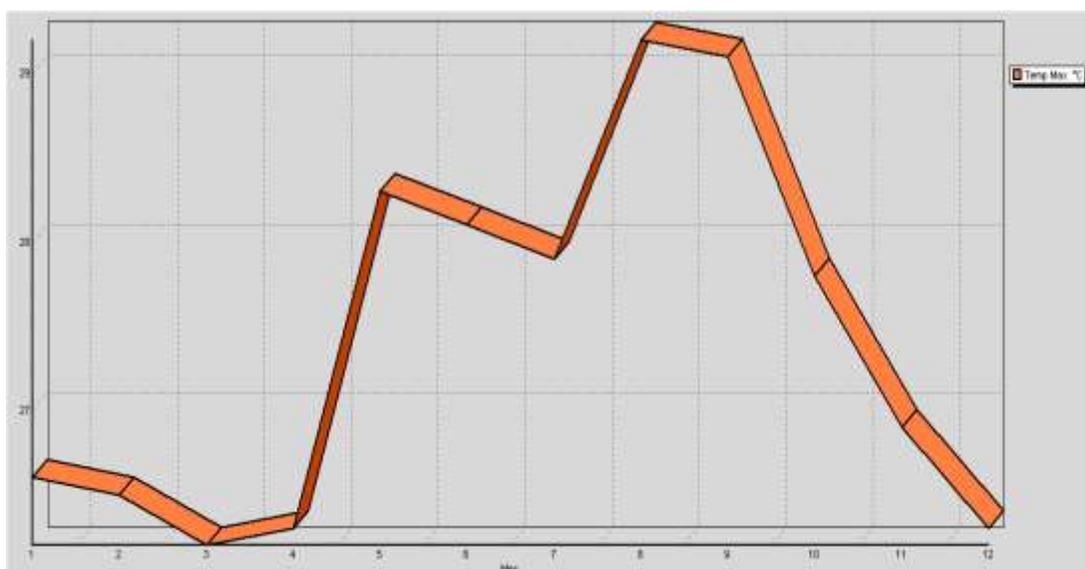


Figura 30. Humedad relativa en la zona de estudio construida a partir de los datos de las estaciones climatológicas del IDEAM con series de tiempo de 20 años

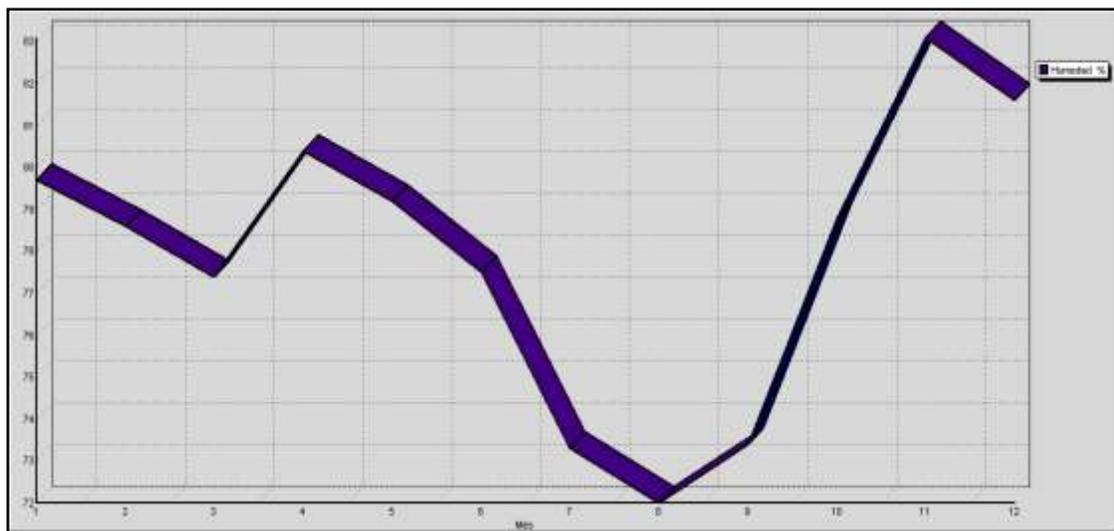


Figura 31. Horas luz día en la zona de estudio

Calculo de los requerimientos de agua del cultivo de tomate. Una vez procesados los datos climatológicos, edáficos y de cultivo (coeficientes del cultivo) se estimó la necesidad hídrica del cultivo con ayuda del software cropwarp 8.0 el cual nos entrega la gráfica de requerimiento hídrico del cultivo

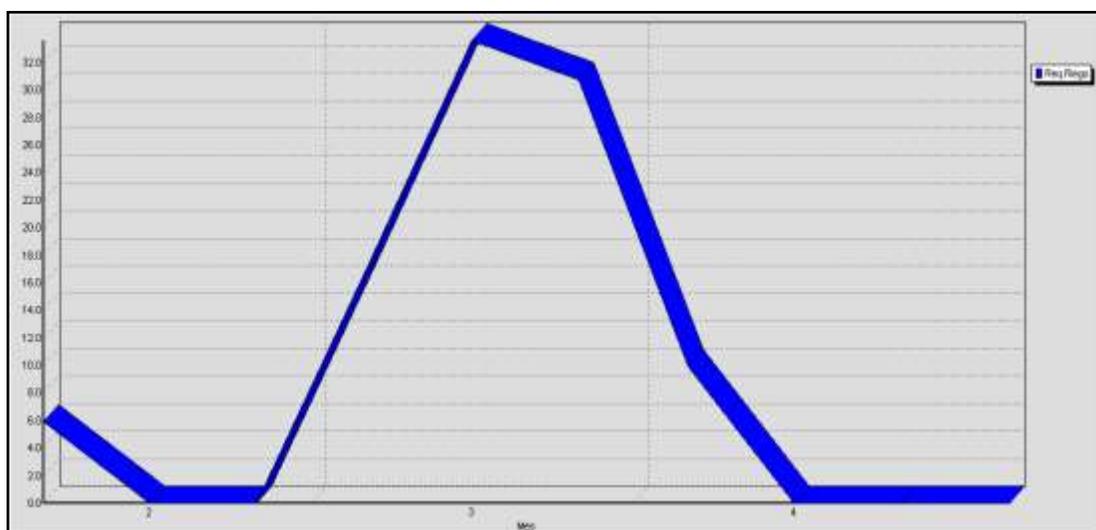


Figura 32. Requerimiento hídrico del cultivo de tomate para el primer ciclo del año 2015

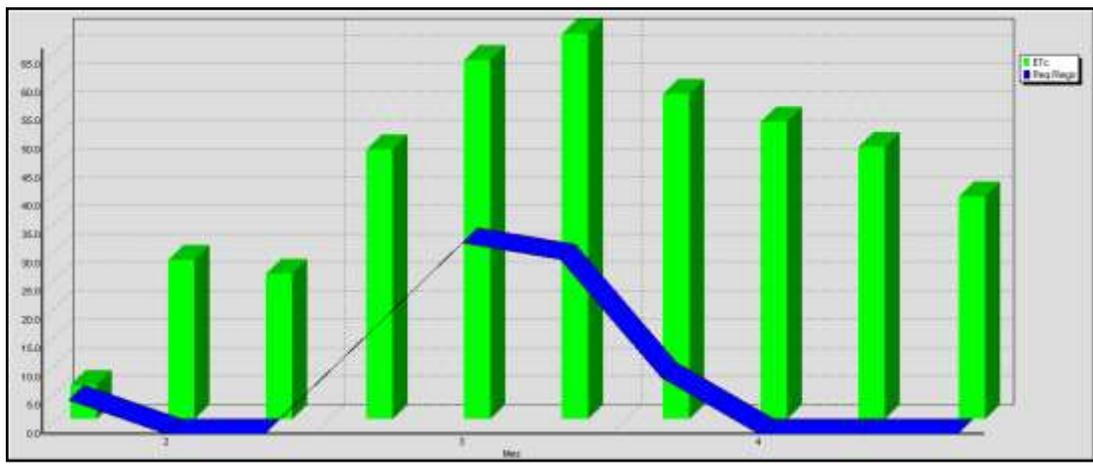


Figura 33. Requerimiento hídrico del tomate vs evapotranspiración

Según estos datos la etapa de inicio y la etapa de desarrollo vegetativo del cultivo son las épocas donde este mas requiere de suministro de agua y en su etapa final ya no presenta requerimientos hídricos ya que la precipitación efectiva cubre estas necesidades hídricas , los datos completos de requerimiento hídrico se pueden apreciar en el reporte entregado por el software.

| Mes | Detalle | Etapa | Ea (mm) | Eta (mm/día) | Eta (mm/mes) | Prec. efec. (mm/mes) | Req. Riego (mm/día) |
|-----|---------|-------|---------|--------------|--------------|----------------------|---------------------|
| Feb | 1       | Inc   | 0.60    | 2.94         | 5.3          | 8.3                  | 5.3                 |
| Feb | 2       | Inc   | 0.60    | 2.79         | 27.8         | 22.9                 | 8.0                 |
| Feb | 3       | Inc   | 0.60    | 3.20         | 26.8         | 22.7                 | 8.0                 |
| Mar | 1       | Des   | 0.82    | 4.75         | 47.5         | 30.5                 | 16.9                |
| Mar | 2       | Des   | 1.17    | 5.32         | 42.2         | 29.6                 | 20.6                |
| Mar | 3       | Des   | 1.20    | 6.16         | 57.7         | 47.0                 | 26.8                |
| Abr | 1       | Mad   | 1.20    | 6.71         | 67.1         | 47.2                 | 24.4                |
| Abr | 2       | Pa    | 1.17    | 6.23         | 52.3         | 54.6                 | 0.0                 |
| Abr | 3       | Pa    | 1.82    | 4.74         | 47.4         | 52.1                 | 0.0                 |
| May | 1       | Pa    | 0.86    | 6.38         | 30.7         | 49.9                 | 0.0                 |
|     |         |       |         |              | <b>242.1</b> | <b>283.4</b>         | <b>97.1</b>         |

Figura 34. Software

Los requerimientos de riego para el cultivo de tomate mesa tipo rio grande en el municipio de Abrego se calculan a partir de restarle las precipitaciones efectivas (entradas) a la evapotranspiración del cultivo ETC (salidas) las cuales se obtuvieron de multiplicar la evapotranspiración del cultivo de referencia ETo por el coeficiente específico del cultivo Kc, bajo estos calculo obtuvimos que la ETC = 434.1mm lo que equivale a 434.1litr/m<sup>2</sup> la precipitación efectiva en la zona de estudio es de 369.4 mm y los requerimientos son de 97.1mm los cuales equivalen a 97.1litr/m<sup>2</sup> o 971m<sup>3</sup>/Ha.

### Programación del riego

|                |        |         |        |         |       |            |       |
|----------------|--------|---------|--------|---------|-------|------------|-------|
| ETo estación   | ABREGO | Cultivo | TOMATE | Siembra | 09/02 | Red. Rend. |       |
| Est. de lluvia | ABREGO | Suelo   | LR Ae3 | Cosecha | 09/05 |            | 0.0 % |

Formato de Tabla

Program. de riego

Bal. diario de agua de suelo

Momento: Regar a agotamiento crítico

Aplicación: Reponer a capacidad de campo

Ef. campo 70 %

| Fecha  | Día | Etap | Precipit. | Ks     | ETa | Agot. | Lám.Neta | Déficit | Pérdida | Lam.Br. | Caudal |
|--------|-----|------|-----------|--------|-----|-------|----------|---------|---------|---------|--------|
|        |     |      | mm        | fracc. | %   | %     | mm       | mm      | mm      | mm      | l/s/ha |
| 9 Feb  | 1   | Ini  | 0.0       | 1.00   | 100 | 42    | 52.9     | 0.0     | 0.0     | 75.6    | 8.75   |
| 22 Mar | 42  | Med  | 0.0       | 1.00   | 100 | 52    | 64.9     | 0.0     | 0.0     | 92.7    | 0.26   |
| 9 May  | Fin | Fin  | 0.0       | 1.00   | 0   | 7     |          |         |         |         |        |

Entonces el software nos permite establecer las siguientes condiciones para realizar los riegos del cultivar.

| Totales                              |       |    |                         |       |    |
|--------------------------------------|-------|----|-------------------------|-------|----|
| Lámina bruta total                   | 168.3 | mm | Precipitación total     | 589.4 | mm |
| Lámina neta total                    | 117.8 | mm | Precipitación Efectiva  | 426.8 | mm |
| Pérdida total de riego               | 0.0   | mm | Pérdida tot.prec.       | 162.6 | mm |
| Uso real de agua del cultivo         | 429.8 | mm | Def. de hum. en cosecha | 8.7   | mm |
| Uso pot. de agua del cultivo         | 429.8 | mm | Requer. reales de riego | 2.9   | mm |
| Efic. de programación de riego       | 100.0 | %  | Efic. de precipitación  | 72.4  | %  |
| Deficiencia de programación de riego | 0.0   | %  |                         |       |    |

- Regar una vez se alcance el agotamiento crítico
- Cuando se riegue sea hasta alcanzar capacidad de campo
- La eficiencia en la programación del riego es del 100
- La eficiencia de la precipitación en la zona es del 72.4%
- La deficiencia de humedad en época de cosecha es de 8.7mm

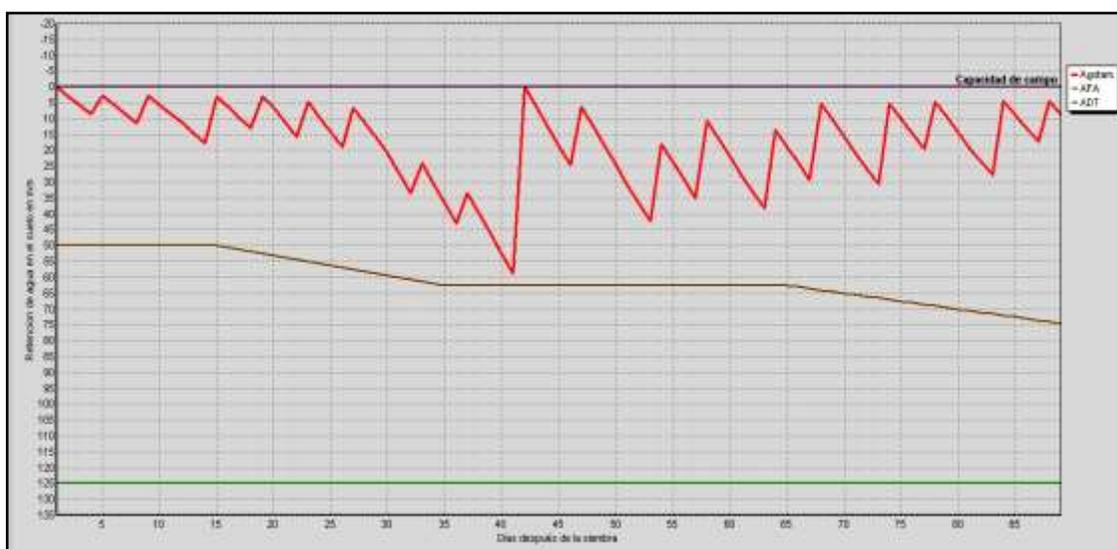
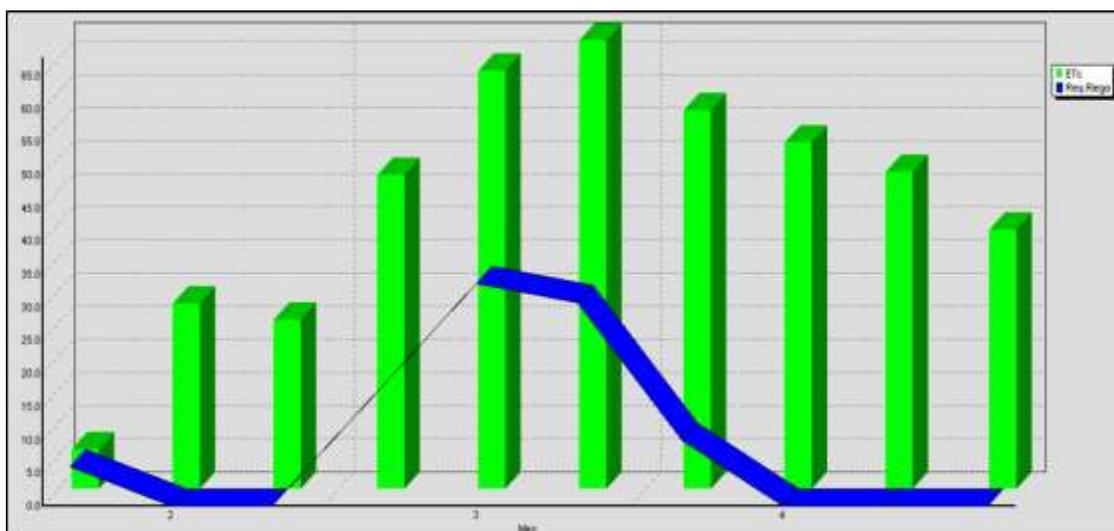


Figura 35. Evolución de la EVTo vs los requerimientos del cultivo a los largo del ciclo

La parte superior de la gráfica muestra la relación de la evapotranspiración con las necesidades hídricas del cultivo y la parte inferior muestra el efecto del riego sobre que se presentan cuando agotamos al 100% la capacidad de almacenamiento y se repone su capacidad de campo.

Calculo del volumen de agua usado en el cultivo de tomate (proceso empírico de los productores)



Figura 36. Caudal

Una vez se visitaron los diferentes predios donde se realizó la medición del caudal y se pudieron establecer los siguientes consumos de recurso hídrico de forma aproximada por Ha de tierra sembrada

En promedio un productor consume un aproximado de  $432\text{m}^3$  de agua / mes lo que significa que el todo el ciclo realizan un consumo de  $1296/\text{m}^3/\text{Ha}$  ahora bien bajo estos parámetros es imposible determinar cuánto es la efectividad del riego ya que ellos realizan estas jornadas de forma sistemática y de acuerdo a su conocimiento tradicional lo anterior significa que si el cultivo requiere en todo su periodo un suministro hídrico de  $971\text{m}^3/\text{A}$  los productores localizados en la zona de estudio están regando en exceso aplicando una sobre tasa de  $325\text{m}^3/\text{Ha}$  sembrada de tomate de mesa lo que significa que en 262 Ha sembradas en el primer semestre del año 2016 se usaron de forma errónea un total estimado de **85150** $\text{m}^3$  de agua solo en el area de estudio elegida para el presente estudio.

#### **4.2 Determinar la huella hídrica verde para establecer cuánta agua lluvia se necesita en la producción del cultivo de tomate.**

Una ha de tomate de mesa en la zona de estudio tiene una producción promedio de 48000kg si tomamos como referencia que cada tomate pesa unos 150gr una Ha de tomate a campo abierto está produciendo un aproximado de 320tomates según los datos estimados por la FAO para producir un tomate de mesa se usa unos 13 ltrs de agua eso multiplicado por 320 tomates es un total de 4160ltrs de agua/Ha lo que significa una

huella hídrica verde de **1089.92m<sup>3</sup>** de agua para la producción de tomate en el área de estudio

#### **4.3 Determinar la huella hídrica azul para establecer el consumo de agua superficial, en la producción de cultivo.**

Para estimar la huella hídrica azul se hizo uso de las estimaciones de la FAO y el ministerio de agricultura de Colombia los cuales estiman que del total del agua usada en el proceso de producción agrícola en este caso tomate el 15% equivale a la huella hídrica azul la cual corresponde a la evapotranspiración del agua de riego y del agua en los canales de riego que para el caso de la zona de estudio del presente trabajo correspondería a **12772.5m<sup>3</sup>** de agua.

#### **4.4 Determinar la huella hídrica gris para establecer el volumen de agua dulce que es necesaria para asimilar la carga contaminante.**

La huella hídrica gris se calculó a partir de las estimaciones de la FAO y los estudios del ministerio de agricultura del total de agua usado para la producción de tomate el 16% corresponde a la huella hídrica lo cual permite aseverar que de un total de 85150m<sup>3</sup> de agua usada para la producción de tomate a campo abierto en la zona de estudio **13624m<sup>3</sup>** es agua de huella gris o aquella agua que se requiere para lograr la

dilución de los contaminantes generados por el uso excesivos de agroquímicos en la producción de tomate de mesa a campo abierto

## 5 Conclusiones y recomendaciones

Las siguientes son las conclusiones y recomendaciones que presentan los autores del presente estudio basados en los datos recopilados en campo y los procesados mediante los diversos software que fueron implementados en el proceso investigativo

El municipio de Abrego y en especial el área seleccionada para este estudio realiza desde hace unos años producciones agrícolas basados en los conceptos empíricos de sus habitantes o de técnicos mal capacitados en algunos casos por no decir todos, los técnicos que prestan asistencia técnica lo hacen como representantes comerciales por lo cual cumplen con una función de venta de productos agroquímicos, dejando de un lado la producción sustentable y sostenible; en otros casos los técnicos que prestan asistencia técnica por parte del estado ya sea de orden nacional o municipal no cuentan con los conocimientos técnicos suficientes para capacitar a los productores en temas como los de conservación de recursos naturales y sus visitas se limitan a la recolección de firmas en talonarios para justificar las jornadas de trabajo.

La producción de tomate de mesa a campo abierto se realiza de forma muy artesanal en cada una de sus etapas, los productores aun no realizan inversiones en estudios de suelos, análisis foliares, etc. las aplicaciones de fertilizantes de síntesis las realizan basados en su parecer y en experiencias pasadas, al igual que las aplicaciones de fitosanitarios las cuales realizan aplicando dosis a su antojo, mezclando productos sin ningún sustento técnico científico lo cual en el mejor de los casos genera una inhibición del alguno de los

ingredientes activos y en los casos más neurálgicos pueden producir resistencia de las próximas generaciones.

Los productores de la zona no calibran de forma frecuente sus equipos de fumigación ( bombas de espalda, estacionarias, boquillas, etc.) esto causa un uso excesivo de recursos hídrico al igual que malas aplicaciones de fitosanitarios y fertilizantes foliares, es recomendable que sean realizadas jornadas de capacitación por parte de las entidades encargadas de la asistencia técnica las cuales estén dirigidas a la enseñanza de la calibración de los equipos de fumigación y el modo correcto de aplicación de agroquímicos, esto con el fin de no causar más daño a recursos como el suelo y el agua.

Es urgente que los productores agrícolas conozcan y entiendan la necesidad de realizar un diseño agronómico para determinar las necesidades hídricas del cultivo y poder programar sus jornadas de riego al igual que un diseño hidráulico el cual les permita establecer las cantidades de obras y el tipo de riego más idóneo para su cultivo, de esta manera se estaría reduciendo el uso inadecuado del recurso agua , lo cual se ha visto claramente evidenciado en el desarrollo de este estudio.

## Referencias

- Agua, G. N. (2 de Agosto de 2015). <http://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/la-comunicacion-en-temas-de-agua/la-huella-hidrica-aplicaciones-y-utilidad-de-este-nuevo-indicador-ambiental> . Obtenido de La huella hídrica, aplicaciones y utilidades de este nuevo indicador ambiental: <http://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/la-comunicacion-en-temas-de-agua/la-huella-hidrica-aplicaciones-y-utilidad-de-este-nuevo-indicador-ambiental>
- Aguado, J. C. (20 de Septiembre de 2011). [En línea] (2011), Disponible en <<http://www.huellahidrica.org/Reports/Articulo%20Huella%20Hidrica%20Colombia%20publicado.pdf>>. Obtenido de Sostenibilidad, tecnología y humanismo.: <http://www.huellahidrica.org/Reports/Articulo%20Huella%20Hidrica%20Colombia%20publicado.pdf>
- Allen, R., Pereira, L., & Raes, D. S. (1998). Directrices para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo necesidades de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje 56. Alimentación y la Agricultura, . Roma.
- ARÉVALO, D. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola. Colombia: Edición WWF.
- Arévalo, D. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola. . Colombia: Edición WWF.
- Arévalo, D. (2012). Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica.
- Cardona, M. C. (17 de Marzo de 2013). <file:///C:/Users/albacecilia/Downloads/5730-38824-1-PB.pdf> . Obtenido de La huella hídrica, un indicador de impacto en el uso del agua: <file:///C:/Users/albacecilia/Downloads/5730-38824-1-PB.pdf>
- Collado, B. (11 de Enero de 2010). [http://www.aquaknow.net/system/files/AGUA\\_VIRTUAL\\_EN\\_LOS\\_PAISES\\_EN\\_DESARROLLO.pdf](http://www.aquaknow.net/system/files/AGUA_VIRTUAL_EN_LOS_PAISES_EN_DESARROLLO.pdf). Obtenido de Agua virtual en los países en desarrollo:

[http://www.aquaknow.net/system/files/AGUA\\_VIRTUAL\\_EN\\_LOS\\_PAISES\\_EN\\_DESARROLLO.pdf](http://www.aquaknow.net/system/files/AGUA_VIRTUAL_EN_LOS_PAISES_EN_DESARROLLO.pdf)

Colombia, C. d. (2000). Decreto 2857 de 1981. Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto- Ley 2811 de 1974 sobre Cuencas Hidrográficas y se dictan otras disposiciones. Bogotá: Editorial Littio.

Colombia, C. d. (2014). Decreto 1640 de 2012. Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones. . Bogotá. .

Colombia, C. y. (7 de Noviembre de 2015). <http://www.aclimatecolombia.org/huella-hidrica/> . Obtenido de Huella hídrica.

Colombia, R. d. (2000). Decreto 1541 de 1978. Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974. . Bogotá.

Colombia, R. d. (2001). Constitución Política de Colombia. Colombia: Edición actualizada.

Colombia, R. d. (2014). Decreto 0953 de 2013. Por el cual se reglamenta el artículo 111 de la Ley 99 de 1993 modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011. . Bogotá.

CONSORNOC. (26 de Julio de 2010). <http://consornoc.org.co/wp-content/uploads/2014/11/cartilla-abrego-1.pdf>. Obtenido de Contribuyendo al desarrollo regional: <http://consornoc.org.co/wp-content/uploads/2014/11/cartilla-abrego-1.pdf>

CORPOICA. (14 de Febrero de 2016). (<http://www.corpoica.org.co/NetCorpoicaMVC/SEMapa/Regional/Departamento?codigoDane=54#mas-subzonas>). Obtenido de Subzonas: (<http://www.corpoica.org.co/NetCorpoicaMVC/SEMapa/Regional/Departamento?codigoDane=54#mas-subzonas>)

digital, J. (8 de Octubre de 2008). <http://www.jardinerialdigital.com/capacitacion/que-es-un-cultivo.php>. Obtenido de Cultivo. : <http://www.jardinerialdigital.com/capacitacion/que-es-un-cultivo.php>

E, V. C. (2008). El metabolismo hídrico y los flujos de agua virtual. Una aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía . España.

Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2011). The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard (1st ed.). . London - Washington DC: : Earthscan.

IDEAM. (2016). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Bogotá.

Incoder. (2013). Nuevo Minagricultura entregó a 500 campesinos distrito de riego en Norte de Santander. Bogotá.

Juan Andrés, S., & Ricardo, Á. M. (2013). curso presencial cálculo de la huella hídrica profesorado.

Nororiental, C. A. (23 de Marzo de 2014). Plan de acción ajustado para el año 2007-2011. Obtenido de <http://www.corponor.gov.co/gel32/index.php>: <http://www.corponor.gov.co/gel32/index.php>

Parada, G. (2012). El agua virtual: conceptos e implicaciones. Artículo de revisión/review article.

Revista internacional de sostenibilidad, t. y. (2011). Cátedra UNESCO de sostenibilidad. España: Universidad Politécnica de Cataluña.

Rural., M. d. (2009). Anuario Estadístico Agropecuario.

Sánchez T., M. (1992). Métodos para el Estudio de la Evaporación y Evapotranspiración, Cuadernos Técnicos de la Sociedad Española de Geomorfología. España: Geofoma Ediciones.

Sotelo, J., Olcina, J., Tolón, A., García, J. M., Bolívar, X., & García, F. (2011). Huella hídrica, desarrollo y sostenibilidad en España. Madrid: Fundación MAPFRE.

Water, F. (1 de Diciembre de 2015). <http://www.huellahidrica.org/?page=files/home>. Obtenido de Huella hídrica: <http://www.huellahidrica.org/?page=files/home>

WWF. (21 de Diciembre de 2013). <http://www.wwf.org.co/?205138/Huella-Hidrica-Colombia>. Obtenido de Colombia en 2013: 12 meses de trabajo, 12 logros para compartir: <http://www.wwf.org.co/?205138/Huella-Hidrica-Colombia>

## **Apéndices**

Apéndice 1. Encuesta dirigida a los usuarios de ASUDRA Abrego, Norte de Santander.

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
INGENIERIA AMBIENTAL

FECHA: \_\_\_\_\_  
 NOMBRE DEL PREDIO: \_\_\_\_\_ Vereda \_\_\_\_\_ Municipio \_\_\_\_\_  
 ÁREA POR ESCRITURA \_\_\_\_\_ (Ha) \_\_\_\_\_ M<sup>2</sup> \_\_\_\_\_  
 ENCUESTADO: \_\_\_\_\_ No. PERSONAS \_\_\_\_\_  
 COORDENADAS GEOGRAFICAS \_\_\_\_\_

TENENCIA DE LA TIERRA: Propietario ( ) Arrendatario ( ) Administrador ( )  
 Amediero ( )

PROPIETARIO: \_\_\_\_\_

ÁREA DEL PREDIO: \_\_\_\_\_ Has ALTITUD: \_\_\_\_\_ m.s.n.m.

TEMPERATURA: \_\_\_\_\_

PRODUCCIÓN AGROPECUARIA:

1. CULTIVOS (Has) : \_\_\_\_\_ ( ) \_\_\_\_\_ ( ) \_\_\_\_\_ ( )  
 \_\_\_\_\_ ( ) \_\_\_\_\_ ( ) \_\_\_\_\_ ( )

2. PRODUCCIÓN PECUARIA: Bovinos \_\_\_\_\_ Equinos \_\_\_\_\_ Porcinos \_\_\_\_\_ Aves \_\_\_\_\_

RECURSO AGUA:

No NACIMIENTOS: \_\_\_\_\_ Nombres \_\_\_\_\_

SISTEMA DE CONDUCCIÓN: Manguera ( ) \_\_\_\_\_ pulg \_\_\_\_\_ mts \_\_\_\_\_  
 Tubería \_\_\_\_\_ pulg \_\_\_\_\_ mts \_\_\_\_\_

SISTEMA DE RIEGO: Mateo ( ) Gateo ( ) Aspersión ( ) Otros: \_\_\_\_\_

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO (Dimensiones):

Tanque ( ) \_\_\_\_\_, Reservorio ( ) \_\_\_\_\_, Otro: \_\_\_\_\_

Ninguno ( )

DISPOSICIÓN FINAL DE AGUAS RESIDUALES:

A Campo Abierto ( ) Quebrada ( ) pozo séptico ( )

OBSERVACIONES

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

ENCUESTADOR \_\_\_\_\_

ENCUESTADO \_\_\_\_\_

Apéndice 2. Recuento fotográfico.











Fuente. Autoras del proyecto