

EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN EL LA PRODUCCIÓN DE CLA VEL
ESTANDAR (*Dianthus caryophyllus*) EN LA SABANA DE BOGOTÁ.

WILMER RAUL BAEZ SILVA

UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERIA
INSTITUTO DE POSGRADO
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA AMBIENTAL
BOGOTA, ENERO 2013

EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN EL LA PRODUCCIÓN DE CLAVEL
ESTANDAR (*Dianthus caryophyllus*) EN LA SABANA DE BOGOTÁ.

WILMER RAUL BAEZ SILVA

Monografía para optar el título de ESPECIALISTA EN GERENCIA AMBIENTAL

Director:

ING. JULIO CESAR RAMIREZ

UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSGRADO
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA AMBIENTAL
BOGOTA, ENERO 2013

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, 23 enero 2012

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.	4
2. ANTECEDENTES.....	5
3. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DE PROBLEMA.	8
4. JUSTIFICACIÓN	10
5. OBJETIVOS.	11
5.1 OBJETIVO GENERAL	11
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
6. MARCOS DE REFERENCIA.....	12
6.1 MARCO TEORICO	12
6.2 MARCO CONCEPTUAL.....	15
6.3 MARCO LEGAL	18
8. METODLOGIA UTILIZADA.....	21
8.1 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	21
8.1.1 Diseño metodológico	21
8.1.2 Ubicación	21
8.1.3 Método y materiales.....	24
8.1.4 Desarrollo metodológico.....	25
9. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	31
9.1 Identificación de los componentes de la huella hídrica en el proceso de producción de clavel en la sabana de Bogotá.....	31
9.2 Determinación del el valor de agua azul, agua verde y agua gris que intervienen en la producción de clavel.....	39
9.3 Determinación de la huella hídrica total de la producción de clavel en la sabana de Bogotá.	40
10. CONCLUSIONES.	42
11. RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGR AFÍA.	44

Índice de figuras

Pág.

Figura 1 Representación esquemática de los componentes de la huella hídrica.....	16
Figura 2	16
Figura 3. Ubicación del municipio de Madrid con respecto al territorio Colombiano.	22
Figura 4. Ubicación de la finca Arboles perteneciente a la empresa C.I FALCOM FARMS DE COLOMBIA S.A	23
Figura 5. Ubicación de la finca Arboles perteneciente a la empresa C.I FALCOM FARMS DE COLOMBIA S.A	23
Figura 6. Evapotranspiración del cultivo	32
Figura 7. Etapas del coeficiente de cultivo (kc) clavel.	35
Figura 8. Distribución porcentual de los componentes de la huella hídrica en la producción de clavel.	40

Índice de cuadros

Pág.

Cuadro 1. Normatividad sobre el recurso hídrico aplicable al sector floricultor	19
Cuadro 2. Programación de riego establecido por el técnico de la finca.	24
Cuadro 3. ETo a partir de los datos climáticos de la Estación Bogotá/Eldorado (2546 m - 04 42N - 74 09W)	28
Cuadro 4. ETo a partir de los datos climáticos de la Estación Bogotá/Eldorado (2546 m - 04 42N - 74 09W).	33
Cuadro 5. Precipitación mensual y efectiva tomada de la estación meteorológica del Dorado.....	34
Cuadro 6. Determinación de requerimiento de riego calculado por el programa CROPWAT.	36
Cuadro 7. Estimación de la ET verde y azul para el cultivo de clavel.....	37
Cuadro 8. Volumen de agua utilizada en riego para la producción de un ciclo de clavel. ..	38
Cuadro 9. Cálculo del componente gris de la huella hídrica de la producción de clavel en el componente de aplicación de fertilizantes (L/Tallo).....	38
Cuadro 10. Cálculo del componente gris de la huella hídrica de la producción de clavel en el componente de aplicación de Plaguicidas (L/Tallo).	39
Cuadro 11. Cálculo de los componentes verdes y azul de la huella hídrica.	39
Cuadro 12. Cálculo del componente gris de la huella hídrica de la producción de clavel en el componente de aplicación de fertilizantes (L/Tallo).....	40
Cuadro 13. Análisis de la Huella Hídrica total.	41
Cuadro 14. Componentes de la huella hídrica para la producción de clavel	43

INTRODUCCION.

El 75% de la superficie terrestre está ocupada por agua, pero tan solo un 2,5% de toda el agua existente en el planeta es agua dulce, o sea, apta para consumo. De esta, la mayoría se encuentra inaccesible en glaciares, en los polos, etc, así que tan solo dispone para consumo del 0,5% que es agua subterránea o superficial. Según datos de la UNESCO hoy en día hay aproximadamente 7 000 millones de personas que alimentar en el planeta y se prevé que habrá otros 2 000 millones para el año 2050, de las cuales, cerca del 20% viven en 50 países que carecen de este vital líquido y, siguiendo con el actual ritmo de consumo, en breve esta se convertirá en un problema capaz de generar conflictos armados e incidirá en el futuro de la diversidad biológica de muchas zonas del planeta.

El incremento del uso de agua plantea la necesidad de buscar mecanismos para integrar el uso eficiente en los programas y proyectos, considerando el rol del agua como un bien ambiental, social y económico, y los derechos de los grupos más necesitados y vulnerables. Cada vez, el agua adquiere mayor importancia porque es un recurso limitado y no siempre disponible en el lugar en que se requiere. En el futuro la demanda crecerá a medida que la población aumente y a causa de la expansión económica. Al mismo tiempo los recursos de agua permanecerán estables en términos de la cantidad disponible, pero decrecerá la cantidad que se puede usar debido al deterioro de la calidad causada por la contaminación. Además, en ciertos períodos del año la disponibilidad de agua se reduce debido al deterioro de las cuencas hidrográficas, producto de la erosión.

2. ANTECEDENTES.

El uso del agua en la agricultura se destina básicamente al riego y la ganadería, siendo el primero de ellos la actividad económica que requiere mayor cantidad de agua. El uso del agua para el riego alcanza casi el 70% de la demanda total. Sin embargo, la eficiencia resultante es baja pues se ha estimado que es menor al 30% (GWP, 2000).

En la tendencia actual de utilización del agua de manera sostenible a permitido realizar estudios de cuantificación de los impactos generados de la apropiación del agua para fines humanos , por medio del indicador de huella hídrica, este permite cuantificar el uso de agua dulce de uso directo e indirecto de un consumidor, a su vez es un indicador multidimensional que muestra el consumo de agua en diversas categorías, midiendo la gravedad de los efectos en el medio ambiente y la vulnerabilidad del recurso hídrico respecto a su consumo y contaminación, de esta manera el indicador permite realizar la evaluación local de impactos ambientales, sociales y económicos. (Hoekstra y Chapagain, 2008).

La importancia que tiene el manejo del agua en la vida cotidiana, ha sugerido investigar el volumen de agua que se usa y se consume en las labores tanto domesticas como industriales, para ello se ha venido utilizando el concepto de “huella hídrica” siendo esta el volumen e intensidad de agua extraída de los recursos hídricos de una región para producir bienes y servicios y su variación de consumo directo o indirecto en dicha región. (Moratilla, Molina, 2010).

El uso de este recurso hídrico de manera intensiva a generado externalidades negativas para el ecosistema e impactos negativos para el mismo recurso, haciendo necesario cuantificar el impacto total sobre una determinada región o sector productivo, para diferenciar la utilización del agua se han construido conceptos como agua azul y agua verde, donde la primera es volumen de agua dulce consumida de los recursos hídricos como aguas subterráneas o superficiales, la segunda considera el volumen de agua dulce que se evapora de aguas lluvias que se encuentran en el suelo. En la producción, la utilización del agua en las etapas del proceso productivo son de grandes volúmenes que son contaminados y en este caso los volúmenes de agua que se requiere para diluir los contaminantes son de mayores proporciones para mantener la concentración y calidad natural del agua a esto se le dio el nombre de agua gris (Rodríguez, 2008).

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 citado por Arjen Y. Hoekstra, creador del concepto de la huella hídrica y director científico de la “Red de la Huella Hídrica”.

Los problemas hídricos están a menudo íntimamente relacionados con la estructura de la economía mundial. Muchos países han externalizado significativamente su huella hídrica al importar bienes de otros lugares donde requieren un alto contenido de agua para su producción. Este hecho genera una importante presión en los recursos hídricos en las regiones exportadoras, donde muy a menudo existe una carencia de mecanismos para una buena gobernanza y conservación de los recursos hídricos.

La producción de flores cortadas para exportación en Colombia se hace presente desde mediados de la década de los años sesenta “en las poblaciones de Mosquera, Madrid y Funza, municipios situados entre 23 y 29 kilómetros al occidente de Bogotá, que ofrecían condiciones propicias para la siembra y el ganado. La región era entonces habitada por campesinos que surtían de productos agrícolas y pecuarios a los habitantes de su zona de influencia, incluidos los bogotanos. (Martínez, 2008).

Habría de llegar el año 1964 para que, de nuevo los extranjeros, ya no europeos, sino americanos, luego de evaluar las ventajas comparativas con las que contaba la región establecieron los cultivos de flores en su versión moderna, en la antigua “dehesa de Bogotá”. Obedeciendo a esas ventajas comparativas es que la floricultura se asienta, originalmente, en el municipio de Mosquera, desde donde luego se irradia por toda la Sabana, jalonando las profundas transformaciones espaciales, sociales y económicas de que ha sido objeto la región en el último cuarto de siglo. (Martínez, 2008).

Dentro de las principales ventajas comparativas que ofrece la Sabana de Bogotá se encuentran la disponibilidad de tierras fértiles, la luminosidad solar, la disponibilidad de abundante recurso hídrico, la cercanía a Bogotá con su aeropuerto internacional y la mano de obra abundante y barata.

Cuando a mediados de la década del 60, se establecía la primera plantación en la subregión Occidental, la Sabana de Bogotá, como el país, era eminentemente rural. El hecho de que la población asentada en el agro sabanero ascendiera a más de 150.000 personas, es decir, al 60.7% del total poblacional y que el 47.7% de estas personas fueran mujeres, colocaba a los empresarios de las flores colombianas en una situación de privilegio frente a sus competidores de Kenia, Holanda y de los Estados Unidos, pues la estructura demográfica, y la existencia de mano de obra femenina de ancestro campesino y con dificultades para ingresar a la industria del centro del país, les aseguraba una oferta abundante y barata de este factor de producción, vinculado, por tradición a las labores del campo.” (MADR, 2009).

En las primeras tres décadas de la floricultura se ubican dos fases: De 1964 a 1981 como un periodo de despegue reflejado en la existencia de 149 cultivos en 912 hectáreas y la segunda 1981 a 1994, como un periodo de difusión y expansión, concretado en el surgimiento de más de 300 cultivos, incrementando más del 300% del área registrada a comienzos de la década del 80. (MADR, 2009).

Con la expansión de la floricultura se generaron también importantes movimientos migratorios, dada la expectativa de empleo que generó la actividad agroindustrial en los municipios de la Sabana de Bogotá. “...en 1998, ingresó al negocio la corporación estadounidense de alimentos Dole y “adquirió la firma Splendor Flowers, que se consolida como una de las más grandes empresas en Latinoamérica, con 2.500 empleos, 1.700 directos y 800 por contratos temporales” Los cultivos se ampliaron a los municipios de Tocancipá, Gachancipá, Sopó, Chocontá, Suesca y Chía, situados entre 30 y 68 kilómetros al norte de Bogotá.” (Martínez, 2008).

En 2008 se empieza a hablar de la crisis de la floricultura debido a la revaluación del peso y según algunos, al encarecimiento de la mano de obra. Esto generó y sigue generando la pérdida de muchos empleos (18.000 en ese momento señala el diario El Espectador), con las subsiguientes consecuencias para las familias y las regiones tradicionalmente floricultoras.

En 2010 se presenta un escándalo sin precedentes en la floricultura colombiana relacionado con el préstamo de dineros a floricultores. Así lo describe la corporación Cactus: “El 9 de octubre pasado, el diario El Espectador reportó que el Banco Agrario otorgó a más de 100 empresas floricultoras créditos como parte de un Plan de Salvamento frente a las oscilaciones de la tasa de cambio, equivalentes a 224 mil millones de pesos. La nota referencia que actualmente existe conmoción en el Banco y en entidades de control que están adelantando las investigaciones pertinentes porque hay indicios de que algunos floricultores giraron los capitales de la empresa con los dineros públicos incluidos, a cuentas en el extranjero antes de contactar al Banco Agrario para renegociar sus créditos.

Algunos datos sobre la floricultura colombiana Según datos recientes de la Asociación Colombiana de Exportadores de Flores (2000) la Sabana de Bogotá, representa el 76% del total de las zonas de producción de flores, seguida del departamento de Antioquia con un 19% y del Centro/occidente con 5%. El área estimada en el cultivo de flores en Colombia es de 7.509 hectáreas. (DANE, 2011)

Los principales productos exportados son rosas (32%), claveles (14%) y otros (33%) teniendo como principal mercado a Estados Unidos (78%) seguido de Rusia (5%) y Reino Unido (4%).

Las fincas y comercializadoras afiliadas a la Asociación Colombiana de Exportadores de Flores, Asocolflores, son 361 y representan el 75% de las exportaciones. El gremio colombiano estima que se emplean 219.323 personas en la floricultura, de las cuales 120.640 se consideran como empleos directos y 98.683 como indirectos. El porcentaje de mujeres trabajadoras en empresas afiliadas a Asocolflores es del 60%. (Asocolflores, 2007)

3. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DE PROBLEMA.

La floricultura es uno de los renglones más importantes dentro de la economía colombiana, siendo este país el segundo exportador mundial después de Holanda y ocupando el segundo renglón dentro de las exportaciones no tradicionales.

En la actualidad el sector floricultor cuenta con aproximadamente 7290 hectáreas de las cuales se estima que el 78% de los suelos de la Sabana de Bogotá se han destinados a la producción de flores de corte para exportación, haciendo de esta una producción de uso intensivo que ha venido presentando problemas de diversas índole, como lo es el deterioro físico de los suelos, malos drenajes, erosión y disminución de las fuentes hídricas y contaminación de las mismas, presentándose conflictos entre el uso del agua para los cultivos y el consumo humano. (DANE, 2011)

Dependiendo de la disponibilidad de tierra en cada zona de la sabana se han utilizado diferentes fuentes para abastecer de agua para riego: agua subterránea y/o reservorios de aguas lluvias, donde el consumo total de agua subterránea por parte de la actividad florícola se calcula en 52.4 millones de metros cúbicos cada año. (Arévalo, 2011). Según estudio realizado por la Contraloría General de la República en el año 2010 el consumo promedio persona al día de un habitante urbano en la ciudad de Bogotá es de 126 litros, esta cantidad de agua alcanzaría para abastecer a una población de aproximadamente 600.000 habitantes.

El uso intensivo del agua ha disminuido de manera importante las fuentes hídricas y el nivel freático del agua subterránea, generando conflictos entre el uso del agua para el consumo humano y el uso del agua para los cultivos de flores.

Para el sector empresarial, la óptima gestión del agua es parte estratégica en la operación y rentabilidad sectorial; dado lo anterior, las empresas deberían estar en capacidad de identificar la Huella Hídrica de su cadena de valor y utilizar esta herramienta como insumo para tener un diagnóstico propio de sus impactos, amenazas, vulnerabilidad y probables riesgos asociados a su operación en relación al agua. (Arévalo et al. 2011)

En Colombia el sector floricultor es uno de los mejores ejemplos de integración exitosa al mercado global. El cultivo de clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) es una de las especies florícolas de mayor demanda mundial. Para el país, segundo exportador en el mundo, representa el 15,6 % de las exportaciones totales, alcanzando aproximadamente US \$ 128 millones (Asocolflores, 2007).

En los últimos años la floricultura, así como la olericultura intensiva¹, fundamentalmente de los países desarrollados, ha sufrido grandes cambios, traducidos en la necesidad de

¹Es la rama de la horticultura enfocada al estudio de todos los aspectos relacionados con las hortalizas.

incrementar las producciones para satisfacer la demanda de los mercados y para mantener la rentabilidad de estos sistemas productivos.

En este sentido, la respuesta se ha dado en el control de la nutrición vegetal, mejor uso del recurso hídrico mejorando su eficiencia gracias a los sistemas de cultivo sin suelo, con los que se ha podido eliminar el efecto amortiguador ejercido por el suelo y así someter la plantación a las condiciones deseadas de fertirrigación².

En la Sabana de Bogotá, como alternativa de manejo de problemas fitosanitarios en el cultivo de clavel, se ha venido implementando la utilización de sistemas de cultivo en sustratos. Sin embargo, esta alternativa genera impactos ambientales negativos por la no reutilización de los drenajes, con vertimiento de aguas y sales fertilizantes a los ecosistemas, estimados en 4.200.000 m³/año y 2.000 ton/año, respectivamente.

Uno de los más valiosos instrumentos para dar respuesta a esta problemática es el indicador de huella hídrica que permite cuantificar el uso del agua dulce por parte de un sistema productivo como lo es el sector floricultor de la sabana de Bogotá por ello es importante evaluar los impactos que puede tener el agotamiento del recurso en el ámbito social y ambiental. (Arévalo, 2011).

²Proceso por el cual los fertilizantes son aplicados junto con el agua de riego.

4. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación pretende que sea tomada como base para buscar estrategias alternativas, para así dar una mejor y eficiente asignación de los recursos y del mismo modo, gestionar productividades superiores con el uso de los recursos hídricos encaminados a la sostenibilidad del consumo de agua y al cumplimiento de los objetivos del milenio, por ello es relevante realizar un análisis del sector floricultor en la sabana de Bogotá donde se presente los aspectos sociales y ambientales que se generan en la actividad económica en el proceso productivo relacionada con el consumo de agua de la cuenca del río Bogotá.

5. OBJETIVOS.

5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la huella hídrica en la producción de clavel en la sabana de Bogotá.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los componentes de la huella hídrica en el proceso de producción de clavel en la sabana de Bogotá.
- Determinar el valor de agua azul, agua verde y agua gris que intervienen en la producción de clavel.
- Determinar la huella hídrica total de la producción de clavel en la sabana de Bogotá.

6. MARCOS DE REFERENCIA.

6.1 MARCO TEORICO

La Huella hídrica o Huella de agua se define como el volumen total de agua dulce usado para producir los bienes y servicios producidos por una empresa, o consumidos por un individuo o comunidad. El uso de agua se mide en el volumen de agua consumida, evaporada o contaminada, ya sea por unidad de tiempo para individuos y comunidades, o por unidad de masa para empresas. La huella de agua se puede calcular para cualquier grupo definido de consumidores (por ejemplo, individuos, familias, pueblos, ciudades, provincias, estados o naciones) o productores (por ejemplo, organismos públicos, empresas privadas o el sector económico). La huella de agua es un indicador geográfico explícito, que no solo muestra volúmenes de uso y contaminación de agua, sino también las ubicaciones. Sin embargo, la huella de agua no proporciona información sobre cómo el agua consumida afecta positiva o negativamente a los recursos locales de agua, los ecosistemas y los medios de subsistencia.

La idea de considerar el uso del agua a lo largo de las cadenas de suministro ha cobrado interés después de la introducción del concepto de “huella hídrica” por Hoekstra en 2002. La huella hídrica es un indicador de uso de agua dulce que es palpable no sólo en el uso de agua directo de un consumidor o productor, sino también en su uso indirecto. La huella hídrica puede ser considerada como un indicador global de apropiación de los recursos de agua dulce, por encima de la medida tradicional y restringida de la extracción de agua (Hoekstra, 2003).

La Sabana de Bogotá está ubicada en el Departamento de Cundinamarca, en la zona axial de la Cordillera Oriental y comprende la Cuenca Hidrográfica Alta del río Bogotá; fisiográficamente está conformada por un altiplano o superficie plana con una altura promedio de 2.600 m.s.n.m, la cual es rodeada por montañas con alturas hasta los 3.600 m.s.n.m., comprende veintisiete municipios: Soacha, Sibaté, Bojacá, Mosquera, Madrid, Facatativá, Funza, Tenjo, Tabio, Cota, Subachoque, El Rosal, Cajicá, Chía, Zipaquirá, Nemocón, Cogua, La Calera, Sopó, Tocancipá, Gachancipá, Sesquilé, Guatavita, Chocontá, Suesca, Villapinzón y Bogotá La cobertura superficial es de aproximadamente 4.300 km² y constituye la cuenca alta del río Bogotá.

La Sabana de Bogotá, es una región con gran densidad de población ya que en ella se localiza la ciudad de Bogotá y municipios como Zipaquirá, Soacha y Facatativa, además de otros municipios relacionados de importancia económica.

Fisiográficamente la Sabana de Bogotá, se puede dividir en dos zonas fisiográficas: el altiplano y la zona montañosa de la Cordillera Oriental.

- Altiplano.

Se sitúa en la parte central del área, es una zona aplanada con una altura promedio de 2.600 m.s.n.m, se extiende desde Suesca al norte hasta Sibaté en el sur; presenta una extensión aproximada de 88 km, en la parte central se observa la parte más ancha, aproximado de 44 km (en sentido Facatativa-Usaquén); en esta zona se observan planicies lacustres y terrazas altas y es limitada al oriente y occidente por cordones montañosos de la Cordillera Oriental.

- Zona montañosa de la Cordillera Oriental.

La zona montañosa está ubicada en la parte axial de la Cordillera Oriental con alturas que varían desde 2.600 a 3.600 m; las mayores alturas se presentan en el sur (zona de Sumapaz), en Villapinzón (nacimiento del Río Bogotá) y al occidente del embalse del Neusa en el sinclinal de río Frío. En estos sectores se observan montañas con pendientes escarpadas, cañones profundos, con geoformas de origen fluvio-glaciario, fluvial y montañas con formas redondeadas.

La Sabana de Bogotá, presenta precipitaciones que van desde 600 hasta 1.200 mm, lo que permite la delimitación de zonas con diferentes concentraciones de lluvia, en donde el régimen es bimodal y se caracteriza por la ocurrencia de dos épocas mayores de lluvias, separadas por dos épocas de menores. (IDEAM, 2011).

La producción de clavel se divide en cuatro etapas que permiten el desarrollo de producción de flor:

Propagación ----- Producción ----- Procesos de apoyo----- postcosecha.

- a) Propagación plantas madres y bancos de enraizamiento:

Se parte de esquejes enraizados por propagadores especializados. Esta propagación del clavel requiere condiciones especiales: termoterapia e indexación de plantas para obtener plantas libres de virus. Se pueden almacenar esquejes enraizados y sin enraizar por largos períodos a temperatura apropiada.

La propagación se realiza tomando los esquejes de plantas madres aisladas en invernaderos separados de aquellos en que se producen flores. Los invernaderos de propagación son mantenidos con una gran sanidad, mediante una serie de medidas específicas. El propagador local debe tener condiciones extremas de limpieza y control sanitario. Generalmente se utilizan canteros constituidos por canales elevados separados del suelo y en medios de cultivo hidropónicos.

- b) Producción:

Para comenzar con el cultivo de la flor es necesario que se realice la adecuación del suelo. Para que no se presenten problemas en el suelo de plagas y cualquier tipo de enfermedades es indispensable que el terreno se desinfecte y el cultivo pueda crecer sin ningún tipo de riesgo. La empresa subcontrata la labor de desinfección de suelo.

Una vez preparado el terreno, se hace el levantamiento de las camas, lo cual consiste en hacer una especie de montaña de 80 cm. De ancho y 35 cm. De profundidad; estas camas están separadas entre sí por una zanja de 33 cm y cada una debe tener 31.5 m de largo.

Como último paso del proceso de adecuación y siembra, se procede a sembrar los esquejes en las camas, pero para poder hacerlo se debe realizar lo que se llama un torturado, la cual es una práctica imprescindible para mantener la planta erguida (una de las principales características de una flor tipo exportación) y a su vez poder monitorear su crecimiento.

Después de la siembra se realizan las siguientes labores culturales:

- Deshierbe: quitar todo tipo de maleza o planta que no pertenezca a la flor, ya que esto puede favorecer la presencia de algún tipo de microorganismo que impida la buena formación de la flor.
- Despunte: Después de 28 a 35 días de sembrado el esqueje, se rompe la dominancia al sexto nudo de la planta.
- Subir mallas: subir los durmientes del tutorado a medida que la flor va creciendo. El 33% de la flor debe quedar por encima de la malla.
- Desbotone: 4 semanas antes de la cosecha, se quita el botón principal de la flor para promover el llenado de los otros botones.
- Corte: pasadas 28 a 32 semanas de la siembra, se procede a cortar la flor en el punto requerido por la postcosecha. Las flores que no cumplan con las especificaciones anteriores y/o posean problemas sanitarios, salen al mercado nacional.

c) Procesos de apoyo

Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades. El objetivo de este proceso es hacer un uso racional de agroquímicos sin que la calidad de la flor se vea afectada. Cuando una plaga y/o enfermedad es detectada, el agrónomo debe programar las medidas que deben tomarse y escoger así el manejo que se le dar ya sea biológico, físico. Cultural, mecánico o químico.

Riego y fertilización. Los agrónomos son los encargados de calcular los niveles de agua y fertilizantes que se deben utilizar en cada cama. Semanalmente se elaboran los programas de riego y fertilización que son ejecutados por el supervisor de riego.

Seguidamente de la entrega del plan, se realiza el riego en el cultivo el supervisor de riego debe verificar que el agua consumida sea la misma que el agua programada por el agrónomo.

d) Postcosecha.

Comprende todas las actividades de selección de las flores, el empaque y la conservación de las mismas para exportación. En la poscosecha se realizan la clasificación, el boncheo (armados los ramos, se cubren con un capuchón plástico), tratamiento sanitario, empaque y traslado a cuartos fríos de conservación.

6.2 MARCO CONCEPTUAL

Huella hídrica es el volumen total de agua dulce utilizado directa o indirectamente para producir un producto o servicio, ésta puede ser dentro de un área geográfica, una cuenca hidrográfica o un país ya que define el agua empleada en los procesos productivos que tienen lugar en dicho territorio. Es un indicador multidimensional, que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuentes y volúmenes de contaminación por cada tipo de contaminación, y cuyos componentes de huella hídrica total pueden ser especificados geográfica y temporalmente. (Garrido *et al.* 2010).

La huella hídrica o huella del agua a diferencia del agua virtual, clasifica las fuentes de agua, es decir, distingue entre tres componentes, los cuales son definidos por Arevalo, Lozano y sabogal (2011) así:

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.

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.

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.

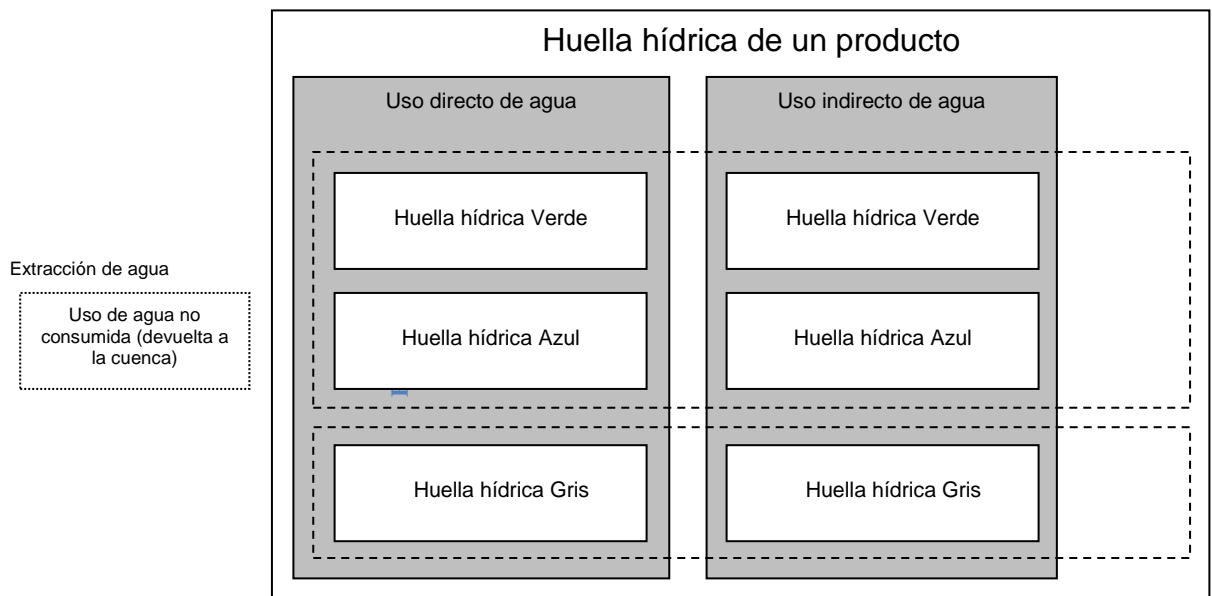
Los recursos de agua azul son generalmente escasos y tienen mayores costos de oportunidad que el agua verde, por lo que puede ser una razón para centrarse en la contabilidad de la huella hídrica azul. Sin embargo, los recursos hídricos verdes también son limitados y por lo tanto escasos, lo que es un importante argumento a la hora de no dejar de lado la huella hídrica verde. Además, el agua verde puede ser sustituida por el agua azul y en el caso de la agricultura a la inversa, así que podremos obtener un cuadro completo sólo por la contabilidad de ambos. La razón para incluir el uso del agua verde es

que el enfoque histórico de ingeniería del agua azul ha dado lugar a la infravaloración de agua verde como un factor importante de producción (Falkenmark, 2003; Rockström, 2001).

La idea de la huella hídrica gris se introdujo con el fin de expresar la contaminación de agua en términos de volumen de contaminación, de modo que pueda ser comparada con el consumo de agua, que también se expresa como un volumen (Chapagain et al, 2006b; Hoekstra y Chapagain, 2008). Hay que tomar en cuenta la huella hídrica gris, además de la huella hídrica azul si uno está interesado en la contaminación del agua y en la comparación de las reclamaciones relativas de la contaminación del agua y el consumo de agua en los recursos hídricos disponibles.

La huella hídrica ofrece una perspectiva mejor y más amplia sobre cómo un consumidor o productor afecta el uso de sistemas de agua dulce. Se trata de una medida volumétrica del consumo de agua y su contaminación. Lo que no mide es la gravedad de los efectos locales en el medio ambiente del consumo de agua y su contaminación.

Figura 1 Representación esquemática de los componentes de la huella hídrica



Fuente: Hoekstra y Chapagain, 2008.

En la figura 1 se realiza una presentación esquemática de los componentes de la huella hídrica. Donde se muestra que la parte no-consumida de la extracción de agua (devuelta a la cuenca) no es parte de la huella hídrica. También muestra que, además de medir la

"extracción de agua", la "huella hídrica" incluye agua verde y gris y un componente indirecto del uso de agua.

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

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada. (FAO, 2006).

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales. (FAO, 2006).

Evapotranspiración (ET). La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. (FAO, 2006).

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o). La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ET_o. (FAO, 2006).

Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c). La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ET_c, y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que

alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes. (FAO, 2006).

Etapas del crecimiento del cultivo. A medida que el cultivo se desarrolla, tanto el área del suelo cubierta por la vegetación como la altura del cultivo y el área foliar variarán progresivamente. Debido a las diferencias en evapotranspiración que se presentan durante las distintas etapas de desarrollo del cultivo, el valor de Kc correspondiente a un cultivo determinado, también variará a lo largo del período de crecimiento del mismo. Este período de crecimiento puede ser dividido en cuatro etapas: inicial, de desarrollo del cultivo, de mediados de temporada y de final de temporada. (FAO, 2006).

6.3 MARCO LEGAL

La Constitución Política de Colombia de 1991 elevó a norma constitucional la consideración, manejo y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente, a través de los siguientes principios fundamentales:

- Derecho a un ambiente sano

En su Artículo 79, la Constitución Nacional (CN) consagra que: " 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 ".

Esta norma constitucional puede interpretarse de manera solidaria con el principio fundamental del derecho a la vida, ya que éste sólo se podría garantizar bajo condiciones en las cuales la vida pueda disfrutarse con calidad.

- El medio ambiente como patrimonio común

La CN incorpora este principio al imponer al Estado y a las personas la obligación de proteger las riquezas culturales y naturales (Art. 8), así como el deber de las personas y del ciudadano de proteger los recursos naturales y de velar por la conservación del ambiente (Art. 95). En desarrollo de este principio, en el Art. 58 consagra que: " la propiedad es una función social que implica obligaciones y, como tal, le es inherente una función ecológica "; continúa su desarrollo al determinar en el Art. 63 que: " Los bienes de uso público, los parques naturales, las tierras comunales de grupos étnicos, las tierras de resguardo, el patrimonio arqueológico de la Nación y los demás bienes que determine la Ley, son inalienables, imprescriptibles e inembargables ".

- Desarrollo Sostenible

Definido por el abogado ambientalista Francisco Parea como el desarrollo que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades, la CN en desarrollo de este principio, consagró en su Art. 80 que: “ El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en zonas fronterizas “. Lo anterior implica asegurar que la satisfacción de las necesidades actuales se realice de una manera tal que no comprometa la capacidad y el derecho de las futuras generaciones para satisfacer las propias.

Algunos de los marcos legales más importantes relacionados a los recursos hídricos, su manejo, y que contienen componentes del derecho de aguas para Colombia aplicable al sector floricultor se indican a continuación:

Cuadro 1. Normatividad sobre el recurso hídrico aplicable al sector floricultor

Normatividad sobre el recurso hídrico	
Decreto 2811 de 1974, libro II parte III	Artículo 99: Establece la obligatoriedad de tramitar el respectivo permiso de explotación de material de arrastre Art. 77 a 78 Clasificación de aguas. Art. 80 a 85: Dominio de las aguas y cauces. Art. 86 a 89: Derecho a uso del agua. Art.134 a 138: Prevención y control de contaminación. Art. 149: aguas subterráneas. Art.155: Administración de aguas y cauces.
Decreto 1449 de 1977	Disposiciones sobre conservación y protección de aguas, bosques, fauna terrestre y acuática
Decreto 1541 de 1978	Aguas continentales: Art. 44 a 53 Características de las concesiones, Art. 54 a 66 Procedimientos para otorgar concesiones de agua superficiales y subterráneas, Art. 87 a 97: Explotación de material de arrastre, Art. 104 a 106: Ocupación de cauces y permiso de ocupación de cauces, Art. 211 a 219: Control de vertimientos, Art. 220 a 224: Vertimiento por uso doméstico y municipal, Art. 225: Vertimiento por uso agrícola, Art. 226 a 230: Vertimiento por uso industrial, Art. 231: Reglamentación de vertimientos.
Decreto 1681 de 1978	Sobre recursos hidrobiológicos

Ley 09 de 1979	Código sanitario nacional Art. 51 a 54: Control y prevención de las aguas para consumo humano. Art. 55 aguas superficiales. Art. 69 a 79: potabilización de agua
Decreto 2857 de 1981	Ordenación y protección de cuencas hidrográficas
Decreto 2858 de 1981	Modifica el Decreto 1541 de 1978
Decreto 2105 de 1983	Reglamenta parcialmente la Ley 09 de a 1979 sobre potabilización y suministro de agua para consumo humano
Decreto 1594 de 1984	Normas de vertimientos de residuos líquidos Art. 1 a 21 Definiciones. Art. 22-23 Ordenamiento del recurso agua. Art. 29 Usos del agua. Art. 37 a 50 Criterios de calidad de agua Art. 60 a 71 Vertimiento de residuoslíquidos. Art. 72 a 97 Normas de vertimientos. Art. 142 Tasas retributivas. Art. 155 procedimiento para toma y análisis de muestras
Decreto 2314 de 1986	Concesión de aguas
Decreto 79 de 1986	Conservación y protección del recurso agua
Decreto 1700 de 1989	Crea Comisión de Agua Potable
Ley 99 de 1993	Art. 10,11,24,29: Prevención y control de contaminación de las aguas. Tasas retributivas.
Documento CONPES 1750 de 1995	Políticas de manejo de las aguas
Decreto 605 de 1996	Reglamenta los procedimientos de potabilización y suministro de agua para consumo humano
Decreto 901 de 1997	Tasas retributivas por vertimientos líquidos puntuales a cuerpos de agua
Ley 373 de 1997	Uso eficiente y ahorro del agua
Decreto 3102 de 1998	Instalación de equipos de bajo consumo de agua
Decreto 1311 de 1998	Reglamenta el literal G del artículo 11 de la ley 373 de 1997

Fuente: Autor, 2012.

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. Arévalo et al, 2011.

8. METODLOGIA UTILIZADA

8.1 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

El presente estudio está basado en una investigación de tipo cuantitativo buscando hacer un registros narrativo de los fenómenos y los métodos utilizados en la producción de clavel mediante técnicas como la observación y las entrevistas no estructuradas y una parte cuantitativa donde se recogen y analizan datos obtenidos en la finca.

8.1.1 Diseño metodológico

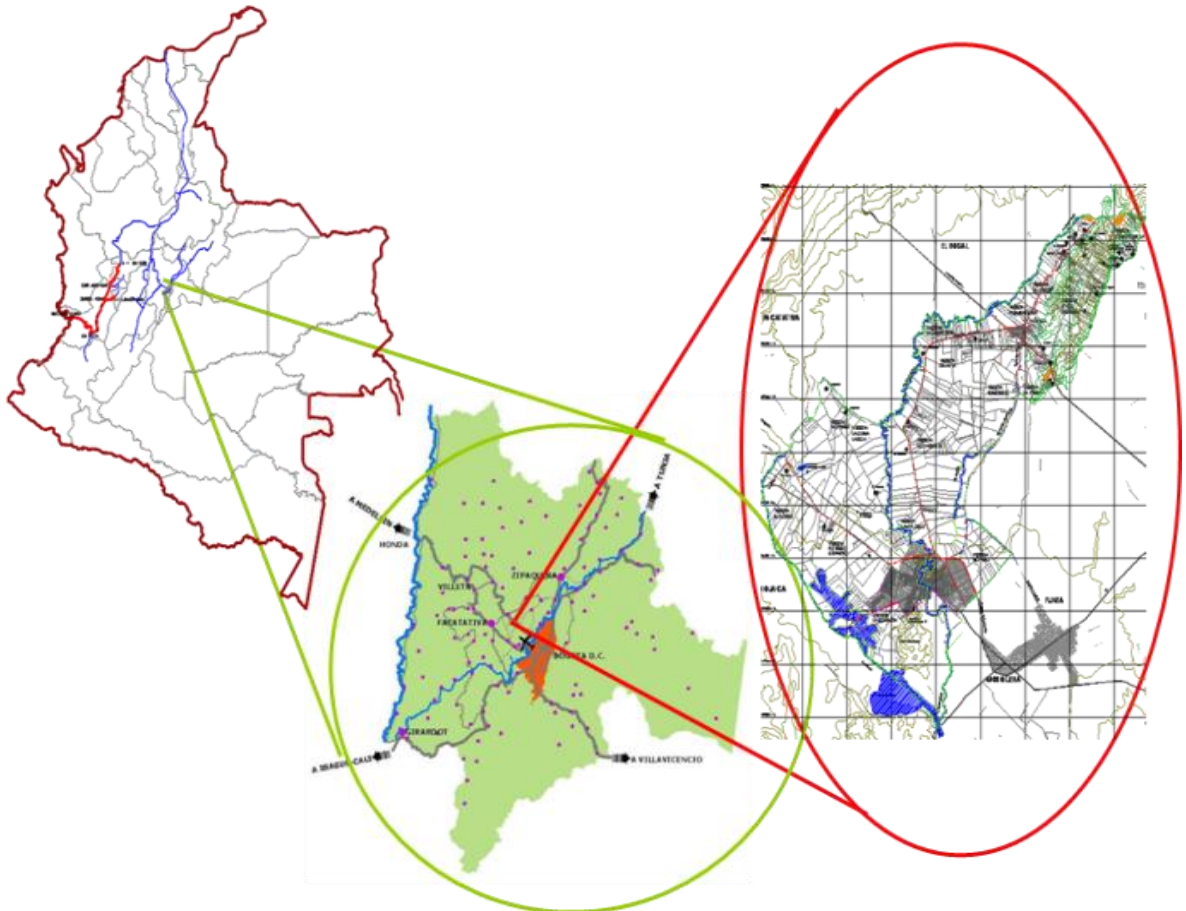
En lo que confiere al desarrollo metodológico el trabajo está enfocado en aspectos cualitativos y cuantitativos, para ello la base de este trabajo es la aplicación de la metodología desarrollada por Hoekstra y Chapagain (2011), en las cuales se define la huella hídrica de cualquier bien o servicio, como el volumen de agua utilizado directa e indirectamente para su producción, sumados los consumos de todas las etapas de la cadena productiva. Ésta metodología ha sido adaptada a los datos disponibles para realizar un análisis más detallado y preciso, a nivel de una finca Arboles en la Sabana de Bogotá.

8.1.2 Ubicación

El estudio se llevó a cabo con los datos suministrados por parte de la empresa C.I FALCOM FARMS DE COLOMBIA S.A en la finca Arboles en el municipio de Madrid (Cundinamarca).

El municipio de Madrid está ubicado al sur de la Sabana de Bogotá a 2,516 m.s.n.m. Se caracteriza por presentar una temperatura promedio de 13.1 °C con mínimos de 6.5°C y máximos de 19.2 °C, una humedad relativa media de 80.75 %, un brillo solar diario medio de 4.6 h, velocidad del viento de 1,7 m/s y una precipitación anual media de 671 mm.

Figura 3. Ubicación del municipio de Madrid con respecto al territorio Colombiano.



Fuente: Mapas cindinamarca, 2011.

La finca Árboles está ubicada en el kilómetro 8 vía Puente Piedra-Madrid, esta finca tiene un área aproximada de 18 hectáreas dedicadas en su totalidad a la producción de Clavel Estándar (*Dianthus caryophyllus*) para exportación.

Figura 4. Ubicación de la finca Arboles perteneciente a la empresa C.I FALCOM FARMS DE COLOMBIA S.A



Fuente. Google mapas, 2011.

Figura 5. Ubicación de la finca Arboles perteneciente a la empresa C.I FALCOM FARMS DE COLOMBIA S.A



Fuente. Google mapas, 2011.

8.1.3 Método y materiales

Los datos suministrados se tomaron de un invernadero tipo tradicional en madera, con “carevacas” metálicas y cimentación en concreto. Este invernadero cuenta con 11 naves, cada nave corresponde a 12 camas en suelo y 1180 plantas por cama, con un área aproximada de 5.000 M2, cubiertas con filme plástico (Agroclear NXF), sembrado en su totalidad con la variedad Delphi en la semana comprendida entre el 13 al 19 de Abril (Semana 7) del 2012, con un periodo vegetativo de 29 semanas, corte realizado en los días del 20 de agosto al 8 de septiembre (Semana 34 a 38) del 2012.

La distribución del sistema de riego correspondió a cuatro líneas de goteo de 17 mm por cama, con goteros tipo hidro P.C. A.D. y caudal de 1,2 L.h-1 incorporados cada 20 cm. El agua cruda se bombeo desde el cabezal, ubicado en el reservorio principal y se encausó hacia la caseta de filtrado, riego y fertilización.

La frecuencia de riego fue diaria incluyendo el plan de fertilización estipulado por el técnico de la finca, con volumen diferencial en el suministro de agua por estadio fenológico del cultivo. Durante las primeras 5 semanas el promedio fue de 200 L/cama/día por medio; a partir de la semana 5 después de la siembra (pinch) a la semana 14 el promedio fue de 160L/cama/día por medio; en la etapa del cultivo de la semana 15 a 26 se incrementó a 160L/cama/día y se finalizó con un promedio de 100L/cama/día por medio.

Cuadro 2. Programación de riego establecido por el técnico de la finca.

BLOQUE	No de camas	desarrollo	No de semanas	Litros/cama	Aforo/minuto /L	tiempo-riego/cama/ Minutos	Riegos semana	Volumen total semanal cama litros	Volumen(L) total por estado fenologico	Volumen total m3/Ha
10	132	Siembra	4	200	80	2,5	3	600	4800	633600
10	132	Desarrollo	20	160	80	2	3	480	19200	2534400
10	132	Produccion	5	104	80	1,3	3	312	3120	411840
Total de agua (Litros) utilizada en un ciclo de produccion de clavel en un area 5000 m2										3579,84

Fuente: Datos suministrados finca Arboles, 2012.

- Datos del clima:

El cálculo se realizo utilizando los datos climáticos del IDEAM de la estación meteorológica del aeropuerto El Dorado (BOGOTA/ELDORADO 2546 m - 04 42N - 74 09W). Por ser la más cercana y más representativa.

- Parámetros de cultivo:

Los coeficientes de los cultivos, el patrón de cultivos (fechas de siembra y cosecha), variedades, periodo de crecimiento, manejo cultural, manejo de riego, manejo de fertilización y manejo integral de plagas y enfermedades se tomaron a partir de datos locales de la finca Arboles.

- Rendimientos de los cultivos, las tasas de aplicación de agua, aplicación de fertilizantes y aplicación de plaguicidas.

Los datos fueron obtenidos a nivel local en la finca Arboles con datos reales y de producción para flor tipo exportación.

- La fracción de lixiviación y escorrentía: No hay bases de datos disponibles. Se tiene que trabajar con datos experimentales de estudios de campo y hacer suposiciones en bruto.

8.1.4 Desarrollo metodológico

Según Hoekstra y Chapagain (2011), la huella hídrica del crecimiento del cultivo de clavel debe ser estimada a partir de la suma de sus tres componentes, diferenciados en colores: verde, azul y gris; estos sirven para distinguir las fases del agua que no son enteramente iguales en cuanto a acceso, posibilidad de uso o calidad. Por lo tanto, la huella hídrica del cultivo se estima de la siguiente manera:

$$WF_{proc} = WF_{proc,green} + WF_{proc,blue} + WF_{proc,grey} \quad [\text{Volumen / masa}] \quad [1]$$

Donde:

WF_{Proc} = Huella hídrica del proceso de la producción de clavel.

$WF_{proc,green}$ = Componente verde de la huella hídrica en la producción de clavel.

$WF_{proc,blue}$ = Componente azul de la huella hídrica en la producción de clavel.

$WF_{proc,grey}$ = Componente gris de la huella hídrica en la producción de clavel.

Expresaremos todas las huellas hídricas de proceso por unidad de producto, a saber, en volumen de agua por unidad de masa., para este caso se considera el rendimiento en tallos producidos por hectárea.

Donde, El componente verde de la huella hídrica del proceso de crecimiento de un cultivo de clavel ($WF_{proc, green}$, m³/Tallos/Hectárea), es el volumen de agua utilizado por las plantas durante el proceso de producción proveniente de la precipitación y almacenada en el suelo. El componente azul ($WF_{proc, blue}$, m³/Tallos/Hectárea), es el volumen de agua dulce consumido por las plantas y luego transpirado, proveniente de fuentes de aguas superficiales y subterráneas (riego). Según Hoekstra *et al.* (2011), ambos componentes se determinan a partir de las siguientes ecuaciones:

$$WF_{proc, green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \text{ [Volumen / masa] [2]}$$

$$WF_{proc, blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \text{ [Volumen / masa] [3]}$$

Dónde:

$WF_{proc, green}$ = Componente verde de la huella hídrica en la producción de clavel.

CWU_{green} = Uso de agua verde en la producción de clavel. Expresado en m³/ha

$WF_{proc, blue}$ = Componente azul de la huella hídrica en la producción de clavel.

CWU_{blue} = Uso de agua azul en la producción de clavel. Expresado en m³/ha

Y = Rendimiento del cultivo, expresado en tallos/ha. Los datos de rendimientos por hectárea fueron suministrados por la empresa de los rendimientos reales obtenidos en el bloque de estudio, estos datos se detallan en el Anexo 1.

Uso del agua del cultivo (CWU). Se refiere al agua “verde” o “azul” que el cultivo requiere para la evapotranspiración bajo condiciones de crecimiento óptimas.

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

$$CWU_{green} = 10 \times \sum_{d=1}^{l_{gp}} ET_{green} \text{ [Volumen / área] [4]}$$

$$CWU_{blue} = 10 \times \sum_{d=1}^{l_{gp}} ET_{blue} \text{ [Volumen / área] [5]}$$

Donde:

ET_{green} : Evapotranspiración del agua verde utilizada en la producción de clavel.

ET_{blue} : Evapotranspiración del agua azul utilizada en la producción de clavel.

La ET (evapotranspiración), es la suma de la transpiración de las plantas y la evaporación del agua del suelo para el ciclo del crecimiento del cultivo.

La ET es verde, cuando el agua proviene de la precipitación y es azul cuando el agua proviene del riego (Allen *et al.* 1998). El factor 10 convierte la profundidad del agua medida en mm a volúmenes de agua de superficie en m³/ha. La suma se realiza sobre el período comprendido entre el día de la siembra (día 1) hasta el día de la cosecha (l_{gp} es igual a la duración del período de crecimiento en días.).

La evapotranspiración de un campo puede ser medida o estimada por medio de un modelo basado en fórmulas empíricas. Medir la evapotranspiración (ET) es costoso y poco común. En general, la evapotranspiración se estima indirectamente por medio de un modelo que utiliza como datos de entrada el clima, las propiedades del suelo y las características del cultivo.

El modelo que utilizaremos para la determinación de la ET verde y azul es el modelo CROPWAT 8.0; desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y Alimentación, éste es un software desarrollado por la FAO (2011) utilizado para el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo y sus requerimientos de riego en base a datos del cultivo y datos climáticos.

Como primer paso se debe determinar la ET_o , la cual se refiere a la evaporación de la atmósfera en una localización específica y época del año; medida directamente a través de los datos climáticos, no considera las características del cultivo y factores del suelo.

El programa CROPWAT calcula la ET_o a través del método de Penman-Monteith y para su cálculo se requieren datos climáticos como: temperatura, humedad, velocidad del viento y horas sol.

Cuadro 3. ETo a partir de los datos climáticos de la Estación Bogotá/Eldorado (2546 m - 04 42N - 74 09W)

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	9.2	20.2	57	406	8.9	21.6	4.71
Febrero	6.7	19.5	54	372	9.2	23.1	4.77
Marzo	9.5	22.6	58	294	8.9	23.3	4.95
Abril	9.5	18.7	60	295	8.1	21.8	4.33
Mayo	9.8	19.0	75	181	7.7	20.4	3.52
Junio	8.9	21.7	80	181	7.1	19.0	3.45
Julio	8.7	18.0	74	251	7.9	20.3	3.53
Agosto	6.2	18.0	83	233	7.6	20.6	3.26
Septiembre	7.7	18.5	89	173	6.8	19.8	3.11
Octubre	7.7	19.7	86	173	7.5	20.6	3.34
Noviembre	7.5	20.0	77	251	8.1	20.6	3.56
Diciembre	8.3	19.7	73	255	8.0	19.9	3.55
Promedio	8.3	19.6	72	255	8.0	20.9	3.84

Fuente: Datos climáticos extraídos del programa CROPWAT 8.0, 2012.

Como segundo paso en el programa, se debe determinar la Peff. Para su cálculo el programa CROPWAT utiliza el método elaborado por la USDA SCS “United States Department of Agriculture Soil Conservation Services”, el cual ha desarrollado un procedimiento para estimar la Peff mediante el procesamiento de largo plazo del clima y datos de humedad del suelo con valores mensuales de precipitación (FAO 1978).

Para estimar los requerimientos de agua del cultivo bajo condiciones ideales de crecimiento, se debe evaluar al cultivo desde su siembra hasta su cosecha; por ello se necesitan introducir al programa datos como: coeficiente de cultivo (Kc), etapas del ciclo del cultivo, fechas de siembra y cosecha. El Kc es un valor dependiente de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de la planta; por lo tanto, varía según el estado vegetativo de la planta y del clima determinado. Depende de la capacidad de la planta para extraer agua del suelo a medida que se va desarrollando desde que se siembra hasta su cosecha, estos se identifican en tres valores: kc inicial, kc, media y kc

final. Por otro lado, las etapas del ciclo del cultivo comprenden: inicial, desarrollo, madurez y senescencia; cada etapa tiene una duración determinada en días y varía de acuerdo a la variedad del cultivo o las condiciones de crecimiento

Una vez determinados e introducidos los datos anteriores, el resultado que se obtiene con el programa CROPWAT, la demanda hídrica del cultivo de clavel se estima a partir de la primera opción del programa “Requerimiento de agua del cultivo” (RAC). Ésta opción indica la cantidad de agua necesaria para compensar la pérdida de evapotranspiración del área del cultivo. A partir de estos se estima la ET verde y azul para el cultivo de clavel.

El cálculo de RAC, se lleva a cabo por periodos de 10 días (dec). Donde, la primera columna indica los meses en los cuales se produjo clavel; la segunda columna indica las décadas, es decir, los meses divididos en valores decadiarios (dec), El kc, varía de acuerdo a las características de los cultivos en su ciclo de vida; por lo tanto cambia desde la siembra hasta la cosecha

La ETc se considera igual al RAC, el cual es el agua necesaria para la evapotranspiración bajo condiciones de crecimiento ideales, tienen que ser calculados desde el periodo de siembra hasta la cosecha. Su cálculo se basa en la siguiente ecuación:

$$ETc \text{ [mm/día]} = Kc \times ETo \quad [6]$$

Donde ET

La ETc mm/dec, quiere decir la cantidad de agua que se evapotranspiró en milímetros cada década, éste se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$ETc \text{ [mm/dec]} = ETc \text{ [mm/día]} \times \text{Días en cada década} \quad [7]$$

Requerimiento de riego (Req. riego), es el volumen de riego que necesita la planta, su cálculo se basa en la diferencia entre la ETc mm/dec y la Peff. Éste valor es cero si la precipitación efectiva es mayor que el requerimiento de agua del cultivo en determinado momento, de otro modo éste es igual a la diferencia entre los requerimientos de agua del cultivo y la lluvia efectiva.

Anteriormente se definió a la ET verde como el agua proveniente de la precipitación evapotranspirada por el cultivo y la ET azul es la evapotranspiración de agua proveniente del riego, por ser un cultivo establecido bajo invernadero para el cálculo de el uso de agua azul de cultivo, se suma la el agua adicionada por riego de acuerdo al programa de riego establecido para la finca.

La evapotranspiración total de un campo de cultivo es la suma de los dos componentes calculados arriba. Una vez obtenidos las ET verde y azul de los cultivos se procede a

calcular el CWU (uso del agua del cultivo) sustituyendo en las ecuaciones 4 y 5, luego con el valor obtenido se remplazan en las ecuaciones 3 y 2 para obtener la Huella hídrica verde y azul del cultivo.

El componente de color gris en la huella hídrica para un cultivo clavel ($WF_{proc,gris}$, m³/ton) se calcula como la cantidad aplicada de productos químicos para el campo por hectárea (AR , kg/ha) multiplicado por la fracción (α) de lixiviación y escorrentía, y dividido por la concentración máxima aceptable (c_{max} , kg/m³), menos la concentración natural para el contaminante considerado (c_{nat} , kg/m³) y finalmente dividido por el rendimiento del cultivo (Y , ton/ha).

$$WF_{proc,gris} = \frac{\alpha \times AR / c_{max} - c_{nat}}{Y} \text{ [Volumen / masa] [8]}$$

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

9.1 Identificación de los componentes de la huella hídrica en el proceso de producción de clavel en la sabana de Bogotá.

La huella hídrica del crecimiento del cultivo de clavel está conformada por tres componentes, diferenciados en colores: verde, azul y gris.

El componente verde de la huella hídrica para el cultivo de clavel ($WF_{proc, green}$, m³/Tallos/), es el volumen de agua utilizado por las plantas durante el proceso de producción proveniente de la precipitación y almacenada en el suelo.

El componente azul ($WF_{proc, blue}$, m³/Tallos/), es el volumen de agua dulce consumido por las plantas y luego transpirado, proveniente de fuentes de aguas superficiales y subterráneas (riego).

Ambos componentes se determinaron a partir de las siguientes ecuaciones:

$$WF_{proc, green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \text{ [Volumen / masa]}$$

$$WF_{proc, blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \text{ [Volumen / masa]}$$

Dónde:

Y = Rendimiento del cultivo, expresado en tallos/ha. Para el caso del estudio el rendimiento fue de 1.330.560 Tallos/ha,

CWU = Se refiere al agua “verde” o “azul” que el cultivo requiere para la evapotranspiración bajo condiciones de crecimiento óptimas. Los componentes verde y azul en el uso de agua de los cultivos (CWU, m³/ha) se calcularon teniendo en cuenta la acumulación de la evapotranspiración diaria (ET, mm/día) durante el período de crecimiento completo:

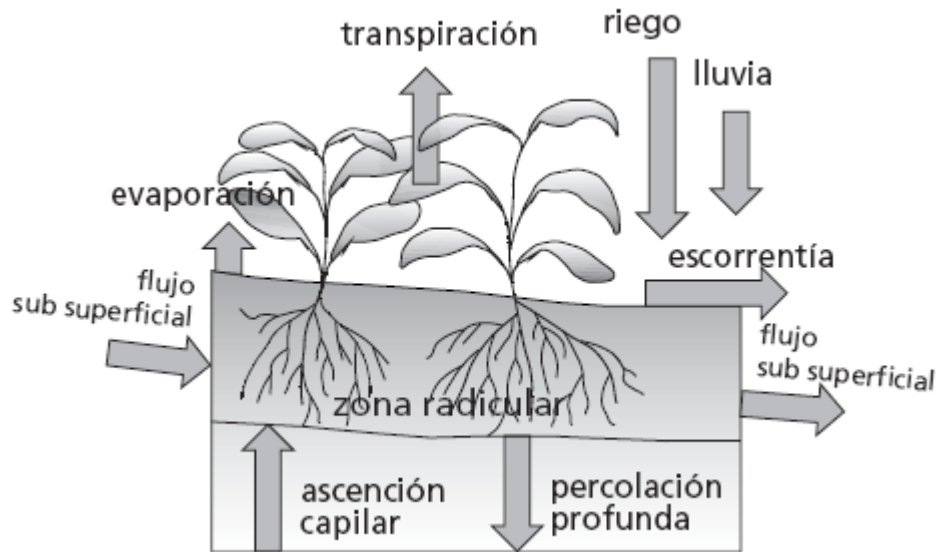
$$CWU_{green} = 10 \times \sum_{d=1}^{l_{gp}} ET_{green} \text{ [Volumen / área]}$$

$$CWU_{blue} = 10 \times \sum_{d=1}^{l_{gp}} ET_{blue} \text{ [Volumen / área]}$$

La ET (evapotranspiración), es la suma de la transpiración de las plantas y la evaporación del agua del suelo para el ciclo del crecimiento del cultivo, tal como se muestra en la Figura

5, el cual puede presentar variaciones dependiendo el clima y cultivo. La ET es verde, cuando el agua proviene de la precipitación y es azul cuando el agua proviene del riego (Allen *et al.* 1998).

Figura 6. Evapotranspiración del cultivo



Fuente: FAO 2006.

Para el cálculo de Cálculo del Uso del agua del cultivo (CWU) Como primer paso se determinó: **La evapotranspiración potencial (ET_o)** promedio, obteniendo un valor de **3.84 mm/día**, la cual se refiere a la evaporación de la atmósfera en una localización específica y época del año; medida directamente a través de los datos climáticos en el modelo CROPWAT 8.

Cuadro 4. ETo a partir de los datos climáticos de la Estación Bogotá/Eldorado (2546 m - 04 42N - 74 09W).

The screenshot shows the CROPWAT software interface. The title bar reads "CROPWAT - Sesión: untitled - [ETo Penman-Monteith Mensual - untitled]". The menu bar includes "Archivo", "Edición", "Cálculos", "Gráficos", "Configuración", "Ventana", "Lenguaje", and "Ayuda". The toolbar contains icons for "Nuevo", "Abrir", "Guardar", "Cerrar", "Imprimir", "Gráfico", and "Opciones".

Configuration fields are set as follows:

- País:** colombia
- Estación:** el dorado
- Altitud:** 2546 m.
- Latitud:** 4.42 °N
- Longitud:** 74.09 °E

The main data table is as follows:

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	9.2	20.2	57	406	8.9	21.6	4.71
Febrero	6.7	19.5	54	372	9.2	23.1	4.77
Marzo	9.5	22.6	58	294	8.9	23.3	4.95
Abril	9.5	18.7	60	295	8.1	21.8	4.33
Mayo	9.8	19.0	75	181	7.7	20.4	3.52
Junio	8.9	21.7	80	181	7.1	19.0	3.45
Julio	8.7	18.0	74	251	7.9	20.3	3.53
Agosto	6.2	18.0	83	233	7.6	20.6	3.26
Septiembre	7.7	18.5	89	173	6.8	19.8	3.11
Octubre	7.7	19.7	86	173	7.5	20.6	3.34
Noviembre	7.5	20.0	77	251	8.1	20.6	3.56
Diciembre	8.3	19.7	73	255	8.0	19.9	3.55
Promedio	8.3	19.6	72	255	8.0	20.9	3.84

Fuente: Datos climáticos extraídos del programa CROPWAT 8.0, 2012.

Como segundo paso, se determino **la Precipitación efectiva (Pe_{ff})** el cual desde el punto de vista agrícola se refiere a la parte de la precipitación retenida en el suelo y que está disponible para el aprovechamiento de la planta. La Pe_{ff} total obtenida fue de 611mm para el cultivo de clavel.

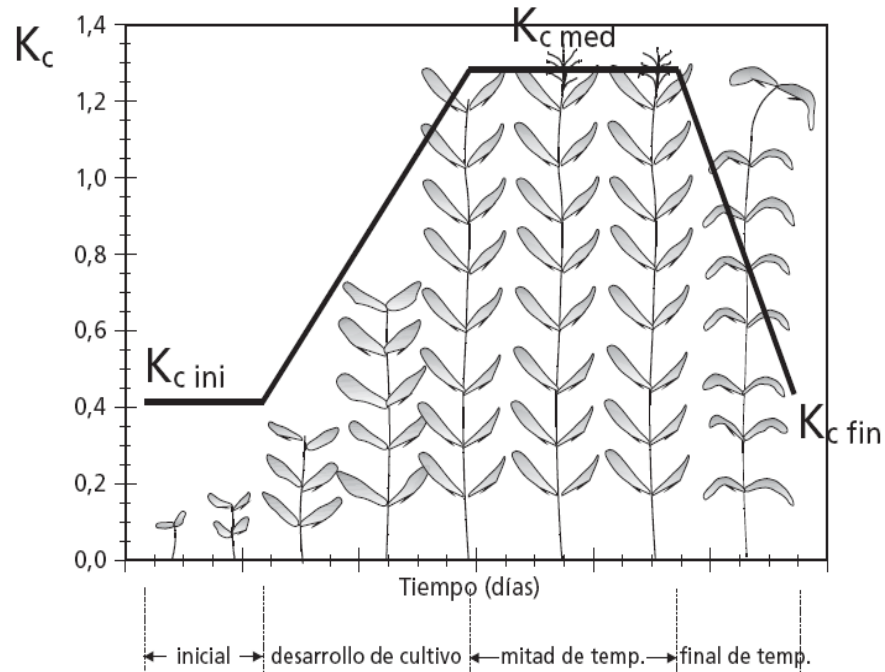
Cuadro 5. Precipitación mensual y efectiva tomada de la estación meteorológica del Dorado.

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	37.7	35.4
Febrero	50.8	46.7
Marzo	120.1	97.0
Abril	219.3	142.4
Mayo	19.4	18.8
Junio	46.1	42.7
Julio	37.7	35.4
Agosto	27.2	26.0
Septiembre	55.5	50.6
Octubre	84.1	72.8
Noviembre	24.9	23.9
Diciembre	20.0	19.4
Total	742.8	611.0

Fuente: Datos climáticos extraídos del programa CROPWAT 8.0, 2012.

Para estimar los requerimientos de agua del cultivo bajo condiciones ideales de crecimiento, se utilizaron datos de coeficiente de cultivo (K_c), etapas del ciclo del cultivo, fechas de siembra y cosecha. El K_c es un valor dependiente de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de la planta. Para el caso del cultivo del clavel se tomo un K_c inicial de 0.3 K_c medio de 0.8 y un K_c final de 0.3, tomando un periodo de 210 días desde la siembra hasta la cosecha, donde la etapa inicial comprende los primeros 30 días, la etapa de desarrollo comprende del día 31 hasta el día 180 y la etapa final comprende desde el día 171 hasta el corte que es aproximadamente 210 días.

Figura 7. Etapas del coeficiente de cultivo (k_c) clavel.



Fuente: FAO 2006.

Resultado de la ET. Una vez determinados e introducidos los datos anteriores, el resultado que se obtuvo con el programa CROPWAT se muestra en el Cuadro 5, donde la demanda hídrica del cultivo de clavel se estima en 189 mm/Ciclo. Éste valor indica la cantidad de agua necesaria para compensar la pérdida de evapotranspiración del área del cultivo. A partir de estos se estima la ET verde y azul para el cultivo de clavel.

Cuadro 6. Determinación de requerimiento de riego calculado por el programa CROPWAT.

Clima/ETo	Estación ETo el dorado							
	Est. de lluvia Bogota el Dorado							
Prec.	Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
				coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Cultivo	Feb	3	Inic	0.30	1.45	11.6	20.0	0.0
	Mar	1	Inic	0.30	1.47	14.7	26.9	0.0
	Mar	2	Des	0.32	1.58	15.8	32.5	0.0
Suelo	Mar	3	Des	0.39	1.83	20.2	37.5	0.0
	Abr	1	Des	0.46	2.07	20.7	47.7	0.0
	Abr	2	Des	0.52	2.26	22.6	55.5	0.0
	Abr	3	Des	0.59	2.39	23.9	39.1	0.0
	May	1	Des	0.66	2.49	24.9	14.6	10.3
	May	2	Des	0.72	2.55	25.5	0.0	25.5
	May	3	Med	0.79	2.75	30.3	4.4	25.9
	Jun	1	Med	0.80	2.78	27.8	12.5	15.3
	Jun	2	Med	0.80	2.76	27.6	15.7	11.9
RAC	Jun	3	Med	0.80	2.78	27.8	14.4	13.4
	Jul	1	Med	0.80	2.80	28.0	12.7	15.4
	Jul	2	Med	0.80	2.82	28.2	11.9	16.4
Programación	Jul	3	Med	0.80	2.75	30.3	10.8	19.5
	Ago	1	Fin	0.78	2.60	26.0	8.7	17.3
	Ago	2	Fin	0.62	2.04	20.4	7.1	13.3
Patrón de Cultivo	Ago	3	Fin	0.45	1.44	15.9	10.3	5.5
	Sep	1	Fin	0.33	1.03	4.1	5.7	0.0
					459.1	400.1	189.8	

Fuente: Datos climáticos extraídos del programa CROPWAT 8.0, 2012.

En los Cuadros 6 y 7 se cálculo de RAC. Donde, la primera columna indica los meses en los cuales se produjo clavel; la segunda columna indica las décadas, es decir, los meses divididos en valores decadiarios (dec), El kc, varía de acuerdo a las características de los cultivos en su ciclo de vida; por lo tanto cambia desde la siembra hasta la cosecha

Cuadro 7. Estimación de la ET verde y azul para el cultivo de clavel.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec	ET Verde mm/periodo	ET Azul mm/periodo
Feb	2	Inic	0.30	1.43	12,90	12.4	0.0	12,90	0.0
Feb	3	Inic	0.30	1.45	11,60	20.0	0.0	11,60	0.0
Mar	1	Inic	0.30	1.47	14,70	26.9	0.0	14,70	0.0
Mar	2	Des	0.32	1.58	15,80	32.5	0.0	15,80	0.0
Mar	3	Des	0.39	1.83	20,20	37.5	0.0	20,20	0.0
Abr	1	Des	0.46	2.07	20,70	47.7	0.0	20,70	0.0
Abr	2	Des	0.52	2.26	22,60	55.5	0.0	22,60	0.0
Abr	3	Des	0.59	2.39	23,90	39.1	0.0	23,90	0.0
May	1	Des	0.66	2.49	24,90	14,6	10,3	14,60	10,3
May	2	Des	0.72	2.55	25,50	0	25,5	25,50	25,5
May	3	Med	0.79	2.75	30,3	4,4	25,9	4,40	25,9
Jun	1	Med	0.80	2.78	27,8	12,5	15,3	12,50	15,3
Jun	2	Med	0.80	2.76	27,6	15,7	11,9	15,70	11,9
Jun	3	Med	0.80	2.78	27,8	14,4	13,4	14,40	13,4
Jul	1	Med	0.80	2.80	28,0	12,7	15,4	12,70	15,4
Jul	2	Med	0.80	2.82	28,2	11,9	16,4	11,90	16,4
Jul	3	Med	0.80	2.75	30,3	10,8	19,5	10,80	19,5
Ago	1	Fin	0.78	2.60	26,0	8,7	17,3	8,70	17,3
Ago	2	Fin	0.62	2.04	20,4	7,1	13,3	7,10	13,3
Ago	3	Fin	0.45	1.44	15,9	10,3	5,5	10,30	5,5
Sep	1	Fin	0.33	1.03	4,1	5,7	0,0	5,70	0,0
total					459.1	400.1	189.8	296,70	189,70

Fuente: Datos climáticos extraídos del programa CROPWAT 8.0, 2012.

La ETc calculada fue de 459.1 mm/Ciclo, el cual es el agua necesaria para la evapotranspiración bajo condiciones de crecimiento ideales, este valor se calculo desde el periodo de siembra hasta la cosecha.

Requerimiento de riego (Req. riego), es el volumen de riego que necesita la planta, su cálculo se basa en la diferencia entre la ETc mm/dec y la Peff. El valor obtenido fue de 189.8 mm/Ciclo, éste es igual a la diferencia entre los requerimientos de agua del cultivo y la lluvia efectiva.

Agua proveniente del riego, por ser un cultivo establecido bajo invernadero para el cálculo de el uso de agua azul de cultivo, se suma la el agua adicionada por riego de acuerdo al programa de riego establecido para la finca, este valor es de 3.579 m3/hectárea/ciclo.

Cuadro 8. Volumen de agua utilizada en riego para la producción de un ciclo de clavel.

BLOQUE	No de camas	desarrollo	No de semanas	Litros/cama	Aforo/minuto /L	tiempo-riego/cama/ Minutos	Riegos semana	Volumen total semanal cama litros	Volumen(L) total por estado fenologico	Volumen total m3/Ha
10	132	Siembra	4	200	80	2,5	3	600	4800	633600
10	132	Desarrollo	20	160	80	2	3	480	19200	2534400
10	132	Produccion	5	104	80	1,3	3	312	3120	411840
Total de agua (Litros) utilizada en un ciclo de produccion de clavel en un area 5000 m2										3579,84

Fuente: programa de riego establecido para la finca arboles.

El valor obtenido de ET verde y azul fue de 296.7mm/Ciclo y 189,7 mm/ciclo respectivamente, valores con los cuales se calculo el CWU (uso del agua del cultivo) sustituyendo en las ecuaciones 4 y 5 dando como resultado para CWU Verde 2.967 m3/Ha y CWU azul 5.476 m3/Ha, para un CWU total de 8.443 m3/Ha

El componente de color gris correspondiente a fertilizantes en la huella hídrica del cultivo de clavel ($WF_{proc,gris}$, m3/ton) se calculo como la cantidad aplicada de productos químicos para el campo por hectárea (AR, kg/ha) en este caso 178 Kg/ha de nitrógeno multiplicado por la fracción (α) de lixiviación y escorrentía el cual se asume como un 10% , y dividido por la concentración máxima aceptable (c_{max} , kg/m3) el cual es 10 mg/l, y finalmente dividido por el rendimiento del cultivo (Y, Tallos/ha) 1.330.560 tallos.

Cuadro 9. Cálculo del componente gris de la huella hídrica de la producción de clavel en el componente de aplicación de fertilizantes (L/Tallo).

Promedio tasa aplicación fertilizante*	Área	Total fertilizante aplicado	Lixiviación de Nitrógeno o escorrentía a vol. de agua 10%	Max. con.	Total $WF_{proc,gris}$	Producción**	$WF_{proc,gris}$
kg/ha	Ha	ton/ciclo	ton/ciclo	mg/l	10 ⁶ m ³ /año	Tallos	L/Tallo
178	1	0.1	0.01	10	0.002	1.330.560	1.3

*Fuente: FertiStat (FAO, 2010c)

Para el componente de la huella gris de plaguicidas como se observa en el cuadro 10, se considero el valor de 97.1m3/ha/Ciclo de agua por hectárea utilizada en la aplicación de plaguicidas y una producción de 1330.560 Tallos.

Cuadro 10. Cálculo del componente gris de la huella hídrica de la producción de clavel en el componente de aplicación de Plaguicidas (L/Tallo).

Promedio de agua utilizada en aplicación de plaguicidas m3/ha	Área ha	Producción** Tallos	Total $WF_{proc, grey}$ 10 ⁶ m ³ /año	$WF_{proc, grey}$ L/Tallo
97.1	1	1.330.560	72,9	0.0729

9.2 Determinación del el valor de agua azul, agua verde y agua gris que intervienen en la producción de clavel.

El valor de huella hídrica verde determinado para el cultivo de clavel para la finca Arboles ubicada en la Sabana de Bogotá fue de 2.23 L/Tallo, valor que fue determinado a partir de la ecuación:

$$WF_{proc, green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \text{ [Volumen / masa]}$$

El valor de huella hídrica azul determinado para el cultivo de clavel para la finca Arboles ubicada en la Sabana de Bogotá fue de 4.12 L/Tallo, valor que fue determinado a partir de la ecuación:

$$WF_{proc, blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \text{ [Volumen / masa]}$$

Cuadro 11. Cálculo de los componentes verdes y azul de la huella hídrica.

ET (mm/periodo de crecimiento)			CWU, m3/ha			y	Huella hídrica (Litros/tallos/ha)		
Verde	Azul	TOTAL	Verde	Azul	TOTAL	Tallos / ha	Verde	Azul	TOTAL
296,7	189,7	486,4	2.967	5.476	8.443	1.330.560	2,23	4,12	6,35

El valor de huella hídrica gris obtenido determinado para el cultivo de clavel para la finca Arboles ubicada en la Sabana de Bogotá fue de 1.37 L/Tallo, valor que fue determinado a partir de la ecuación:

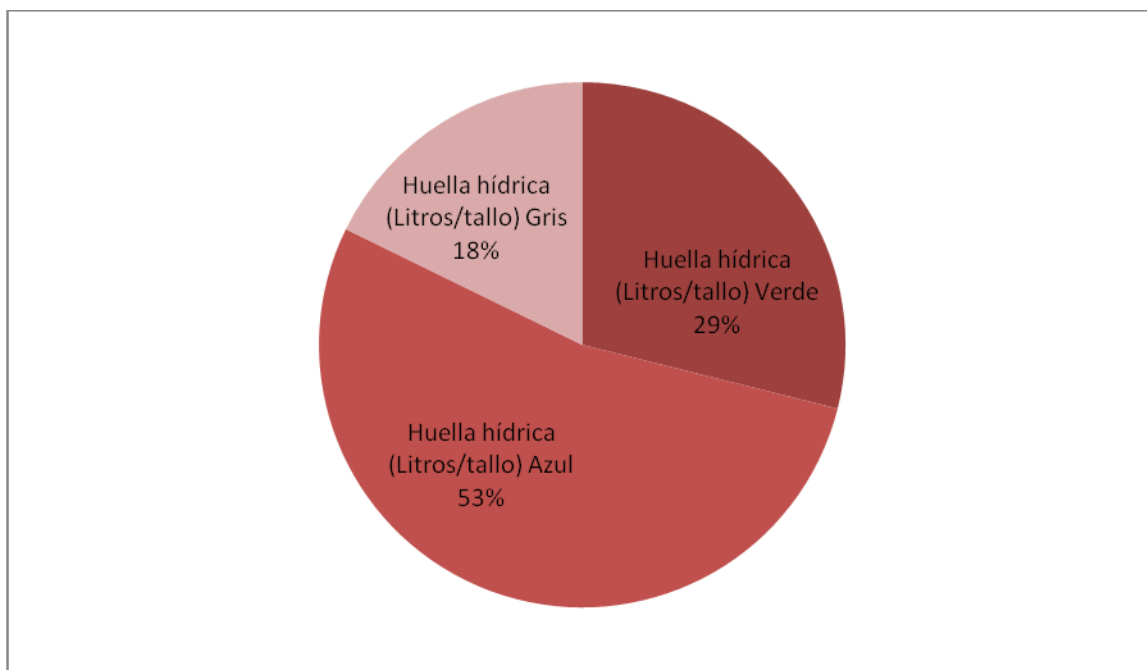
$$WF_{proc, grey} = \frac{\alpha \times AR / c_{max} - c_{nat}}{Y} \text{ [Volumen / masa]}$$

Cuadro 12. Cálculo del componente gris de la huella hídrica de la producción de clavel en el componente de aplicación de fertilizantes (L/Tallo).

Promedio tasa aplicación fertilizante*	Área	Total fertilizante aplicado	Lixiviación de Nitrógeno o escorrentía a vol. de agua 10%	Max. con.	Total $WF_{proc,gray}$	Producción**	$WF_{proc,gray}$
kg/ha	Ha	ton/ciclo	ton/ciclo	mg/l	$10^6 \text{ m}^3/\text{año}$	Tallos	L/Tallo
178	1	0.1	0.01	10	0.002	1.330.560	1.3

En la producción de clavel los componentes de la huella hídrica están distribuidos porcentualmente así: Huella hídrica azul % 53, huella hídrica verde % 29 y huella hídrica gris % 18.

Figura 8. Distribución porcentual de los componentes de la huella hídrica en la producción de clavel.



9.3 Determinación de la huella hídrica total de la producción de clavel en la sabana de Bogotá.

El valor de huella hídrica total determinada para el cultivo de clavel para la finca Arboles ubicada en la Sabana de Bogotá es de 7.72 L/Tallo, valor que fue determinado a partir de la ecuación:

$$WF_{proc} = WF_{proc,green} + WF_{proc,blue} + WF_{proc,gray} \text{ [Volumen / masa]}$$

Cuadro 13. Análisis de la Huella Hídrica total.

CWU, m3/ha				y	Huella hídrica (Litros/tallos/ha)			
Verde	Azul	Gris	TOTAL	Tallos / ha	Verde	Azul	Gris	TOTAL
2.967	5.476	97,10	8.540	1.330.560	2,23	4,12	1,37	7,72

Para la producción de una hectárea de clavel estándar en la Finca Arboles ubicada en la Sabana de Bogotá en un periodo de 6 meses se requieren aproximadamente 10.271 m3/ha/ciclo.

Se estima que en la producción de clavel se utilizan aproximadamente 50.6 m3/ha-día.

10. CONCLUSIONES.

Una vez Realizada la evaluación de la huella hídrica en la producción de clavel estándar (*dianthus caryophyllus*) en la sabana de Bogotá., se extraen las siguientes conclusiones:

- Se identificaron los componentes de la huella hídrica en el proceso de producción de clavel en la sabana de Bogotá siendo los factores más significativos:
 - Uso del agua del cultivo (CWU). Se refiere al agua “verde”, “azul” o “gris” que el cultivo requiere para la evapotranspiración bajo condiciones de crecimiento óptimas. Siendo el valor de CWUverde 2.967 m³/ha, CWUazul 5.476 m³/ha y CWUgris 97.1 m³/ha
 - Evapotranspiración potencial (ET_o) promedio, obteniendo un valor de **3.84 mm/día**, la cual se refiere a la evaporación de la atmósfera en una localización específica y época del año.
 - Precipitación efectiva (Pe_{ff}), se refiere a la parte de la precipitación retenida en el suelo y que está disponible para el aprovechamiento de la planta. La Pe_{ff} total obtenida fue de 611mm.
 - La evapotranspiración (ET), es la suma de la transpiración de las plantas y la evaporación del agua del suelo para el ciclo del crecimiento del cultivo. El valor de ETverde fue de 296,7 mm/ciclo y el valor de ETazul de 189,7 mm/ciclo
 - Volumen de agua de riego. Es la cantidad de agua utilizada en riego, el valor de consumo de agua en riego para el cultivo de clavel es de 3.759,84 m³/ha.
 - La evapotranspiración bajo condiciones de crecimiento ideales (ET_c), calculada fue de 459.1 mm/Ciclo, el cual es el agua necesaria para la evapotranspiración bajo condiciones de crecimiento ideales.
- El volumen de agua verde, azul y gris necesarios para la producción de un tallo de clavel en la finca Arboles ubicada en la Sabana de Bogotá es:

Cuadro 14. Componentes de la huella hídrica para la producción de clavel

CWU, m3/ha				Huella hídrica (Litros/tallo)		
Verde	Azul	Gris	TOTAL	Verde	Azul	Gris
2.967	5.476	97,10	8.540	2,23	4,12	1,37

- El volumen de agua necesario para la producción de un tallo de clavel en la finca Arboles ubicada en la Sabana de Bogotá es de 7.72 L.

Para la producción de una hectárea de clavel estándar en la Finca Arboles ubicada en la Sabana de Bogotá en un periodo de 6 meses se requieren aproximadamente 10.271 m³/ha/ciclo.

Se estima que en la producción de clavel se utilizan aproximadamente 50.6 m³/ha-día.

Si consideramos que el consumo promedio de una familia en Bogotá es de 10,76 metros cúbicos de agua al mes y el consumo por habitante es de 76,32 litros por día según estudio realizado por Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). El volumen de agua utilizada en la producción de una hectárea de clavel en un día, equivale al agua consumida en un mes por 4.6 familias conformadas en promedio por 4.8 individuos, lo que es equivalente al agua utilizada por 22.2 personas durante un mes en la ciudad de Bogotá.

- A pesar de la implementación de sistemas eficientes de aplicación de riego por goteo, construcción de reservorios para almacenar agua principalmente de la concesión de pozos profundos subterránea, se aprecia que el uso de agua en la producción de clavel por unidad de área es muy alta comparada con el agua utilizada por un individuo en la ciudad de Bogotá.

11. RECOMENDACIONES

Estimar la huella hídrica para toda la cadena de producción de flores incluyendo los procesos de poscosecha y distribución.

Estimar la huella hídrica para todos los productos agropecuarios que se producen en la Sabana de Bogotá, para determinar el uso de agua total a nivel de esta región.

Incentivar nacional e internacionalmente estudio de la huella hídrica como indicador de sostenibilidad frente a la anunciada crisis mundial de agua.

Se debe fortalecer la difusión pública de la huella hídrica asociado a las diferentes cadenas productivas del país, buscando crear conciencia y compromiso tanto de las empresas como cada uno de los actores en la cadena, frente a los problemas de sostenibilidad del agua.

Apoyar estudios nacionales que incluyan mayor cobertura de detalle del presente estudio, de modo que el concepto de huella hídrica pueda ser incluido como una nueva herramienta de gestión de futuros lineamientos de políticas públicas

Después de realizar la determinación de la huella hídrica en la producción de clavel y con relación a los principios básicos para mejorar la productividad del agua a nivel de finca, es importante hacer un análisis de los puntos que se ponen a consideración para mejorar la productividad del agua a nivel de la producción de clavel en la Sabana de Bogotá.

- A. Incrementar los rendimientos comercializables de los cultivos por cada unidad de agua transpirada. Es indispensable el incremento de los rendimientos (tallos/m²) de los cultivos, implementando procesos y procedimientos de buenas prácticas agrícolas durante el ciclo de producción.
- B. Reducir todas las pérdidas (p. ej., drenaje, filtrado y percolación) incluyendo las pérdidas por evaporación distintas de la transpiración estomática de las plantas.
- C. Incrementar el uso efectivo del agua de lluvia, del agua almacenada y del agua marginal de menor calidad. Sabiendo que la producción de clavel en la Sabana Bogotá se realiza bajo cubierta y que el agua que se utiliza es suministrada principalmente por las fuentes subterráneas las cuales son almacenadas en reservorios, es indispensable mejorar los sistemas de recolección y transporte de las aguas lluvias a los reservorios e implementar tecnologías que eviten las pérdidas de agua en los reservorios causados por filtración y percolación.

BIBLIOGRAFÍA.

Allen, R.G; Pereira, L.S; Raes, D. y Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.

Arévalo D Lozano J Sabogal J, La huella hídrica en Colombia Sector Agrícola. Revista Internacional de Sostenibilidad y Humanismo n°7 (2011)

Asocolflores. 2007. Cifras 2004-2005. Asociación Colombiana de Exportadores de Flores, disponible en: http://www.asocolflores.org/info/info_cifras_2004-2005.Php. Visitado Mayo 2011.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., and Savenije, H.H.G. (2006a) Water saving through international trade of agricultural products, *Hydrology and Earth System Sciences* 10(3): 455-468.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., and Savenije, H.H.G. (2006a) Water saving through international trade of agricultural products, *Hydrology and Earth System Sciences* 10(3): 455-468.

DANE, Departamento Administrativo Nacional De Estadística, (2011), metodología del Censo en fincas productoras de flores bajo invernadero y a cielo abierto.

Falkenmark, M. and Rockström, J. (2004) *Balancing water for humans and nature: The new approach in ecohydrology*, Earthscan, London, UK.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). 2011b. CROPWAT “decision support system” (en línea). Roma, Italia. Consultado Nov. 2012. Disponible en http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). 2006. *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma, Italia. Estudio FAO de riego y drenaje 56.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). 2011a. CLIMWAT base de datos (en línea). Roma, Italia. Consultado Nov. 2012. Disponible en www.fao.org/ag/AGL/aglw/climwat.stm.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). 2011c. FAOSTAT base de datos (en línea). Roma, Italia. Consultado Nov. 2012. Disponible en Rome <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>

Garrido, A; Llamas, M.R.; Ortega, C.V; Novo, P; Casado, R.R; Aldaya, M.A. 2010. Water footprint and Virtual Water Trade in Spain: Resource Management and Policy. Fundación Marcelino Botín. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. Springer. 153 p.

GWP (Global Water Partnership). (2000). Manejo Integrado de los Recursos Hídricos. <http://www.cepis.org.pe/bvsarg/e/fulltext/mirh4/mirh4.pdf>

Hoekstra, A.Y; Chapagain, A.K. 2008. Globalización del agua: Sharing the planet's freshwater resources. . Oxford, United Kingdom. Blackwell Publishing. 151 p.

Hoekstra, A.Y. (ed.) (2003) Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, The Netherlands, 12-13 December 2002, Value of Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf.

Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM (2011). Estudio Nacional del Agua 2010. Bogotá

Martínez Ariel, J (2008). Conflictos Ecológicos y Justicia Ambiental.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, (2009). Anuario Estadístico Agropecuario 2008.

Moratilla E, Molina M, Fernández M, La Huella Hídrica en España, Revista de obras públicas (2010) n° 3514.

Rodríguez R, Garrido A, La Huella Hidrológica de La Agricultura Española, Papeles del Agua Virtual, Fundación Botín n° 2 (2008)

Rockström, J. (2001) Green water security for the food makers of tomorrow: windows of opportunity in drought-prone savannahs Water Science and Technology 43 (4): 71-78.

Salmoral G, Dumont a, Análisis de la Huella Hídrica Extendida en la Cuenca del Guadalquivir, Fundación Botín Observatorio del Agua n° 3 (2011)