

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**La Huella Hídrica y el Agua Virtual de las Rosas: como el uso,
consumo y aprovechamiento del agua tiene impacto dentro de la
cadena de suministro de la industria florícola.**

Elisa Vernaza Espinoza

Pablo Dávila, PhD. Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniera Industrial

Quito, diciembre de 2014

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

La Huella Hídrica y el Agua Virtual de las Rosas: como el uso, consumo y aprovechamiento del agua tiene impacto dentro de la cadena de suministro de la industria florícola.

Elisa Gabriela Vernaza Espinoza

Pablo Dávila, Ph.D.
Director de Tesis

Diego Guilcapi
Miembro del Comité de Tesis

Ximena Córdova, Ph.D.
Directora de Ingeniería Industrial
Decana de la Escuela de Ingeniería
Colegio de Ciencias e Ingeniería

Quito, diciembre de 2014

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma: _____

Elisa Vernaza Espinoza

C.I. 1714724588

Quito, diciembre de 2014

DEDICATORIA

A mi hija, Emma, mi inspiración, mi alegría, la razón por la que lucho día a día. Por mis padres, Anita y Hermans, y a mi esposo, José, por extenderme los brazos para poder hacer realidad este sueño. No pudiera estar aquí sin el apoyo incondicional de mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A mis hermanos, en especial a Cristina Vernaza, quienes me han motivado a que culmine mis sueños y que continúe en la lucha hasta el final.

A mi director de tesis, Pablo Dávila, y a Santiago Veintimilla por ser grandes amigos y ayudarme durante la elaboración de mi proyecto.

A los integrantes de la empresa *Floralstar*, en especial a Roberto Jaramillo, ya que sin la ayuda de ellos no hubiera podido desarrollar mi proyecto de titulación.

RESUMEN

El presente proyecto de titulación evalúa el impacto de la Huella Hídrica (HH) y el Agua Virtual (AV) dentro del ciclo de cultivo de las rosas. La Huella Hídrica es un indicador multidimensional que cuantifica el volumen de agua utilizado para la producción un bien. El Agua Virtual es el agua contenida dentro de un bien destinado a las exportaciones e importaciones de un país. El objetivo del presente estudio es cuantificar el consumo de los recursos hídricos, para hacer concientizar a las personas sobre la importancia de la administración adecuada y eficiente de este bien limitado que a penas existe en un 2.5% para el consumo de agua total en el mundo.

El presente estudio se realizó en la empresa *Floralstar*, localiza en Cayambe, Ecuador, durante el año 2013. Para evaluar la HH y el AV se utilizó la metodología de Hoekstra et al. (2011) junto con el programa CROPWAT 8.0 de la FAO, con el fin de determinar los requerimientos de agua de las rosas. La HH total de la producción de las rosas en la empresa es de 910.75 m³/ton, y el AV de las exportaciones de la empresa es de 7.97 Mm³. La AV del país es de 157 Mm³. Adicionalmente, se calculó la productividad aparente del agua para cuantificar el valor económico del agua para el cultivo que fue de 2.53 \$/m³.

Mediante este análisis se busca medidas para mitigar el exceso consumo del agua, mediante diversas soluciones como: optimizar los procedimientos de riego de la empresa, estudiar la calidad del agua, cobrar un monto adicional a las exportaciones para así darle un valor monetario al agua, invertir en equipos para cálculo los requerimientos de cultivo de forma certera.

ABSTRACT

The present project assesses the impact of Water Footprint (WF) and Virtual Water (VW) in the cycle of growing roses. The WF is a multidimensional indicator that quantifies the volume of water used to produce a good. The VW is the amount of water embedded in goods destined for exports and imports of a country. The aim of this study is to quantify the consumption of water resources and to raise the awareness about the importance of proper and efficient administration of this limited resource, which makes up to about 2.5% for the total water consumption in the world.

This study was conducted at a company called Floralstar, located in Cayambe, Ecuador, during the year 2013. In order to assess the WF and VW required in the growth cycle, the methodology developed by Hoekstra et al. (2011) alongside with the program CROPWAT 8.0 of the FAO were used. The WF of the production of roses in the company was estimated to be 910.75 m³ / ton and the VW of the exports of the company to be 7.97 Mm³. The VW of the country is about 157 Mm³. Additionally, the apparent productivity of water was calculated to quantify the economic value of water for the cultivation, and it was \$ 2.53 / m³.

The purpose of the study was to find measurements in order to mitigate the excess water consumption through various solutions such as optimizing irrigation procedures of the company, charging an additional amount to the exports by giving a monetary value to the water consumed and investing in equipment's for a precise calculation of water requirements for the cultivation of roses.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
ACRÓNIMOS	20
CAPÍTULO 1	21
1.1 Antecedentes.....	21
1.2 Problemática	22
1.3 Justificación e importancia del proyecto.....	22
1.3 Objetivos del estudio.....	23
1.3.1 Objetivo general.....	23
1.3.2 Objetivos específicos.....	23
1.4 Lugar de estudio: Empresa Florícola <i>Floralstar</i>	24
CAPÍTULO 2	25
2.1 Marco Teórico.....	25
2.2 Marco Conceptual.....	25
2.2.1 Huella Hídrica (HH).....	25
2.2.1.1 Definición de la Huella Hídrica	25
2.2.1.2 Historia de la Huella Hídrica.....	26
2.2.1.3 Componentes de la Huella Hídrica.....	26
2.2.1.3.1 Agua Verde.....	27
2.2.1.3.2 Agua Azul.....	28
2.2.1.3.3 Agua Gris.....	28
2.2.2 Water Footprint Network (WFN).....	28
2.2.3 Agua Virtual.....	29
2.2.3.1 Definición Agua Virtual (AV)	29
2.2.3.2 Historia del Agua Virtual	29

2.2.3.3 Componentes del Agua Virtual	30
2.2.4 CROPWAT 8.0	30
2.2.4.1 Humedad del Suelo	31
2.2.4.2 Punto de Marchitez Permanente (PMP)	32
2.2.4.3 Profundidad Radicular	32
2.2.4.4 Capacidad de Campo (CC)	32
2.2.4.5 Tasa máxima de infiltración de la precipitación	32
2.2.4.6 Agotamiento inicial de humedad de suelo (% ADT)	32
2.2.4.7 Requerimientos de Riego de un Cultivo.....	33
2.2.4.8 Precipitación Efectiva (Peff)	33
2.2.4.8.1 Precipitación Efectiva en Climas Secos.....	33
2.2.4.8.2 Precipitación Efectiva en Climas Húmedos	33
2.2.4.8.3 Factores que influyen la Precipitación Efectiva.....	33
2.2.4.9 Escorrentía superficial	34
2.2.4.10 Evapotranspiración (ET)	34
2.2.4.11 Evapotranspiración de Referencia (ET ₀)	35
2.2.4.12 Evapotranspiración de un cultivo bajo condición estándar (ET _c).....	35
2.2.4.13 Coeficiente de Cultivo (K _c)	35
2.2.4.14 Fracción de agotamiento crítico	36
2.2.4.15 Respuesta de rendimiento	36
2.2.4.16 Insolación	36
2.2.5 Cadenas de suministro.....	36
2.2.5.1 Definición de la Cadena de Suministro.....	36
2.2.5.3 Gestión de los involucrados en la CS y abastecimiento.....	37
2.2.5.4 Gestión de los Materiales	37
2.2.5.5 Distribución y Logística	37
2.2.5.6 Operaciones dentro de la Cadena de Suministro.....	37
2.2.5.6 Integración de la Cadena de Suministro.....	38
2.2.5.6 Ciclos de la Cadena de Suministro.....	38

2.2.6 Ingeniería Económica.....	39
2.2.6.1 Análisis Costo – Beneficio	39
2.2.6.2 Análisis incremental.....	39
2.2.6.3 Tasa de rendimiento (TR).....	40
2.2.6.4 Tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR)	40
2.3 Revisión Literaria.....	40
2.3.1 Historia de la Huella Hídrica y el Agua Virtual	40
2.3.2 El Agua Virtual y la Huella Hídrica.....	41
2.3.3 Organización: <i>Water Footprint Network</i>	42
2.3.4 Estudios enfocados en la HH y el AV.....	45
2.3.5 Estudios enfocados en las plantas	48
2.4 Resumen	50
CAPÍTULO 3	51
3.1 Introducción.....	51
3.2 Justificación de la empresa	51
3.3 El producto.....	52
3.5 Filosofía de la empresa	52
3.5.1 Visión.....	52
3.5.2 Misión.....	52
3.5.3 Valores	53
3.5 Estructura organizacional	53
3.6 Levantamiento de Procesos de <i>Floralstar</i>.....	54
3.6.1 Cadena de Valor	54
3.6.2 Diagrama SIPOC.....	54
3.6.3 Procesos productivos	54
3.7 Cadena de Suministro de <i>Floralstar</i>	56

3.7.1 Actores de la Cadena de Suministro.....	56
3.7.2 Procesos en la Cadena de Suministro.....	57
3.8 La empresa <i>Floralstar</i>	57
3.8.1 Facilidades.....	57
3.8.1.1 Infraestructura.....	57
3.8.1.2 Capacidad productiva	58
3.8.2 Planificación de la producción.....	58
3.8.2.1 Producción.....	58
3.8.2.2 Nutrientes y aplicación de plagas	59
3.8.3 Selección y clasificación del producto final	59
3.8.4 Distribución	60
3.8.4.1 Mercados	60
3.8.4.2 Transporte.....	61
3.10 Discusión.....	61
CAPÍTULO 4	63
4.1 Metodología de la investigación	63
4.1.1 Descripción de la metodología	63
4.1.1.1 Establecer un objetivo y alcance.....	64
4.1.1.2 Cuantificación de la HH	64
4.1.1.2.1 AV.....	66
4.1.1.3 Resultados de la formulación de la HH	67
4.2 Resultados.....	68
4.2.1 Gestión del agua en <i>Florastar</i>	68
4.2.1.1 Sistema de Riego en <i>Floralstar</i>	68
4.2.1.2 Control de Calidad del Suelo.....	69
4.2.1.3 Procesos operativos de la empresa relacionados con el agua	69
4.2.2 Estimación de los recursos hídricos usados por <i>Floralstar</i>	70

4.2.3 Cálculo de los Recursos Hídricos.....	71
4.2.3.1 Determinación del alcance	72
4.2.3.2 Ubicación Geográfica.....	72
4.2.3.3 Recolección de Datos	73
4.2.3.3.1 Datos proporcionados por el INAHMI.....	74
4.4.3.3.2 Datos base para cálculo (<i>Floralstar</i>)	74
4.2.3.4 Cálculo con el software CROPWAT 8.0.....	77
4.2.3.5 Cálculo de la Huella Hídrica	81
4.2.3.6 Cálculo del Agua Virtual.....	82
4.2.4 Productividad aparente del agua (PAA).....	83
4.2.5 Análisis Costo – Beneficio.....	84
4.3 Discusión	89
CAPÍTULO 5	91
5.1 Conclusiones	91
5.2 Recomendaciones.....	93
REFERENCIAS	95
ANEXOS	102
ANEXO 1 – Estructura organizacional de <i>Floralstar</i>	102
ANEXO 2 – Cadena de Valor de <i>Floralstar</i>.....	103
ANEXO 3 – Diagrama SIPOC de <i>Floralstar</i>.....	104
ANEXO 4 – Diagrama de flujo funcional de <i>Floralstar</i>	105
ANEXO 5 – Diagrama de la Cadena de Suministros de <i>Floralstar</i>	108
ANEXO 6 – Procesos Cíclicos de la Cadena de Suministros de <i>Floralstar</i>.....	109
ANEXO 7 – Diagrama de flujo funcional de agua en <i>Floralstar</i>	110
ANEXO 8 – Consumo de Agua en el 2013	111
ANEXO 9 – Recolección de Datos INAHMI	111

ANEXO 10 – Cálculo de la Evapotranspiración por medio del CROPWAT 8.0 114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Componentes de la Huella Hídrica (Dourte et al., 2012).....	27
Figura 2 Proceso Cíclico de la Cadena de Suministro. Chopra et al., (2013),	39
Figura 3 Huella Hídrica de 16 países del Mundo. (Water Footprint Network, 2014)....	43
Figura 4 Huella Hídrica en el Ecuador 2010.	44
Figura 5 Tamaño botón rosa.....	60
Figura 6 Distribución del Mercado de Floralstar.....	61
Figura 7 Fases de la Metodología de Water Footprint.	63
Figura 8 Consumo de agua en 2013.	71
Figura 9 Ubicación de la empresa.	73
Figura 10 Porcentaje de Huella Hídrica en Floralstar en el 2013.....	82
Figura 11 Diagrama de la Cadena de Suministro de Floralstar.....	108
Figura 12 Procesos de la empresa.....	109

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Volumen de Agua por producto.	44
Tabla 2 Huella Hídrica de productos en el Ecuador. (Water Footprint Network, 2014).	44
Tabla 3 Promedio del consumo de Huella Hídrica en el Ecuador 2010. (Pérez, 2012).	47
Tabla 4 Productividad Aparente de 12 cultivos en el 2009. (Pérez, 2012).	47
Tabla 5 Diferencias entre la Huella Hídrica y el Agua Virtual	50
Tabla 6 Rol de los operarios de Floralstar.	53
Tabla 7 Tabla de roles y funciones de los actores de la Cadena de Suministro de Floralstar.	56
Tabla 8 Datos Generales Floralstar	70
Tabla 9 Cálculo de la ETo en Floralstar, año 2013	77
Tabla 10 Precipitación mensual y efectiva en Cayambe, año 2013,	78
Tabla 11 Balance hídrico del suelo de Floralstar en el año 2013.	79
Tabla 12 Resultados: Requerimiento de Agua de Cultivo en el periodo de Abril a Julio del 2013	79
Tabla 13 Resultados: Requerimiento de Agua de Cultivo en el periodo de Abril a Julio del 2013	80
Tabla 14 Huella Hídrica de las rosas del 2013	81
Tabla 15 Exportación de Agua Virtual de las Rosas para el 2013	83
Tabla 16 Cálculo de la PAA	84
Tabla 17 Herramientas para Inversión.	85
Tabla 18 Reducción del costo del agua	86
Tabla 19 Análisis Costo Beneficio con Software	87
Tabla 20 Análisis Costo Beneficio con CROPWAT 8.0	87

Tabla 21 Cálculo del VAN, TIR, PRI	87
Tabla 22 Análisis incremental de las dos propuestas en estudio	88
Tabla 23 Comparación HH Floralstar y propuesto.....	89
Tabla 24 Comparación Ecuador vs Colombia (Arévalo, 2012).	90
Tabla 25 Consumo de los Recursos Hídricos en Floralstar.....	111
Tabla 26 Temperatura expresada en porcentaje. Fuente: INAHMI (2014).....	111
Tabla 27 Humedad Relativa expresada en porcentaje. Fuente: INAHMI (2014).	112
Tabla 28 Viento-Dirección expresado en m/s. Fuente: (INAHMI,2014).....	112
Tabla 29 Hilofanía Efectiva Mensual expresado en hora. Fuente: (INAHMI, 2014). .	113
Tabla 30 Precipitación total mensual (mm). Fuente: (INAHMI, 2014).	113

ACRÓNIMOS

<i>AV</i>	Agua Virtual
<i>AV_{exp}</i>	Agua Virtual de Exportación
<i>CC</i>	Capacidad de Campo
<i>CS</i>	Cadena de Suministro
<i>K_c</i>	Coefficiente de Cultivo de cultivo
<i>ET_o</i>	Evapotranspiración de referencia
<i>ET_c</i>	Evapotranspiración de cultivo
<i>ET_{verde}</i>	Evapotranspiración verde
<i>ET_{azul}</i>	Evapotranspiración azul
<i>HH</i>	Huella Hídrica
<i>HH_{azul}</i>	Huella Hídrica Azul
<i>HH_{verde}</i>	Huella Hídrica Verde
<i>PAA</i>	Productividad Aparente del Agua
<i>P_{eff}</i>	Precipitación efectiva
<i>PMP</i>	Punto de Marchitez Permanente
<i>RAC</i>	Requerimiento de Agua de Cultivo
<i>Y</i>	Rendimiento del Cultivo
<i>TR</i>	Tasa de Mínima Atractiva de Rendimiento
<i>UAC</i>	Uso de Agua del Cultivo
<i>VF</i>	Valor Futuro

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El concepto del Agua Virtual fue originado en 1993 por Allan, el cual fue adecuado en el 2002 por Hoekstra hacia un tema más generalizado que es la Huella Hídrica (Collado y Saavedra, 2010). La Huella Hídrica (HH) es un indicador del volumen de agua utilizada para el proceso de fabricación de un bien considerando factores geográficos, y climáticos. El Agua Virtual (AV) es similar a la HH pero añade el intercambio de agua entre naciones por medio de las exportaciones e importaciones de bienes. Ambos conceptos están relacionados entre sí, ya que estos tienen como objetivo el concientizar a las personas sobre el verdadero uso del agua dentro de todo ámbito (Collado y Saavedra, 2010).

El agua es un recurso vital para los seres vivos en el planeta, por lo cual debe ser manejado y administrado adecuadamente, es decir, evitando su desperdicio (Chapagain et al., 2009). En las empresas de manufactura, no se tiene una idea clara de cuánta agua se maneja para producir un bien, ya que en el producto final elaborado, no es tangible, no se puede ver o cuantificar, en otras palabras es ‘virtual’, el agua usada en la elaboración no está presente físicamente. Al cuantificar el agua dentro de los procesos se puede hacer concientizar a las personas sobre la realidad del gasto del agua que se está generando al producir un bien y así optimizar el uso de tan preciado recurso para este tipo de actividades.

En el presente trabajo de titulación se cuantifican los dos indicadores (HH y AV) en una empresa florícola para cuantificar el consumo de agua para la obtener y cosechar

rosas de exportación. Al medir el agua utilizada en todo el proceso de producción de las rosas como un bien de consumo, se puede entender con mayor claridad el uso de este recurso para dicha actividad, mismo que muchas veces puede ser innecesario o en demasía.

Para el desarrollo del proyecto, se recolectó información por parte del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAHMI) y por parte de la empresa para tener información relacionada al cultivo.

1.2 Problemática

El agua es un recurso elemental para los seres vivos, debido a su mal manejo, se está convirtiendo en un recurso limitado (Pérez, 2010). En el Ecuador, el agua no está distribuida correctamente en el sector agrícola (Pérez, 2010); debido a esto, es importante realizar un análisis sobre el consumo de agua en las industrias. En la industria, florícola, el agua empleada para los procesos no es cuantificada debido a su bajo costo, ya que la mayor parte de las fincas están situadas en áreas rurales. Esto quiere decir, que se debe promover el uso adecuado y eficiente del agua al hacer concientizar a las personas sobre el verdadero valor del agua.

1.3 Justificación e importancia del proyecto

En el mundo, el 2.5% de agua en el mundo es dulce y menos de 1% es apta para el consumo humano (Consejo Consultivo del Agua, 2014). Esta pequeña porción no es distribuida de forma equitativa y consciente por las personas. De acuerdo al Banco Mundial (2014), el agua no es distribuida equitativamente, debido al incremento de la población humana de 200,000 personas por día y del acceso que se tiene al agua. Esto ha hecho que este elemento vital sea transformado en un recurso no renovable que no tiene ningún tipo de sustituto debido al exceso consumo del agua (Mazari, 2014).

En 1993, John Anthony Allan acuñó el concepto del Agua virtual, debido a la disminución y limitación de este recurso (Collado y Saavedra, 2010). El Banco Mundial estableció que se espera que se desencadenen fenómenos ambientales (por ejemplo sequías) lo cual conllevará a los países a tener estragos respecto a sus economías (AIF, 2009). Una conciencia frente a la problemática del agua, puede apoyar esfuerzos de mejora de la situación.

El propósito del presente estudio es analizar los indicadores de la HH y AV para cuantificar el uso del agua en la cadena de suministro de una florícola de rosas. El objetivo es concientizar a las personas sobre la forma de uso de este recurso que es limitado, irremplazable, vital y escaso.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Aplicar el concepto de la HH y el AV dentro de la Cadena de Suministro de la industria florícola *Floralstar*, mediante la aplicación de una metodología, con el propósito de estimar la cantidad de agua que se requiere para producir rosas, buscando identificar puntos de consumo innecesario y así determinar mejoras al proceso, proponiendo un uso eficiente del recurso.

1.3.2 Objetivos específicos

- Aplicar y analizar los conceptos de la HH y el AV.
- Evaluar los procesos productivos de la industria florícola de las rosas, con el fin de estimar el uso actual del agua en la cadena productiva.

- Estimar en base a la perspectiva de la empresa, la cantidad de agua empleada para la producción de rosas y contrastar con la metodología propuesta por Hoekstra et al. (2011).
- Proponer aspectos de mejora para la reducción del uso del recurso hídrico en la producción de rosas.

1.4 Lugar de estudio: Empresa Florícola *Floralstar*

La empresa florícola *Floralstar: Shining Roses*, se encuentra situada en Cayambe, Ecuador, en las coordenadas: 0G 1' 41"N latitud y 78G 7' 55"W de longitud con una altura de 2990 m. Desde 1998, la empresa se dedica a la producción de rosas en una gama extensa de variedades. El compromiso de la empresa es brindar a sus clientes productos de calidad. Una rosa de calidad quiere decir que cumple con las especificaciones dadas por el cliente como el color, tamaño del botón y largo del tallo. La empresa exporta el 95% de sus productos a países como: Estados Unidos, Rusia, Chile y España, entre otros. En el capítulo 3, se presentan mayores detalles sobre la empresa y sus procesos.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN LITERARIA

2.1 Marco Teórico

Para la elaboración del trabajo de investigación se usaron libros relacionados a la gestión de la cadena de suministro, tesis de pregrado de la Universidad Zamorano (Honduras), artículos publicados en revistas académicas y *peer review papers*. De manera especial, se hace referencia al “*The Water Footprint Network*” (Water Footprint Network, 2014). Adicionalmente, se realizaron entrevistas a los operarios y Gerente General de la Empresa, con el fin de obtener la información relevante para el presente trabajo.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Huella Hídrica (HH)

2.2.1.1 Definición de la Huella Hídrica

Es un indicador multidimensional del agua sobre el consumo directo e indirecto dado por los consumidores y los productores (Hoekstra et al., 2011). No solo estudia el volumen de agua a ser utilizado, sino que también analiza la ubicación del estudio, las fuentes de agua y la fecha de utilización del agua y aspectos que son cruciales para la evaluación del impacto de la Huella Hídrica en un producto o bien (*Water Footprint Network*, 2014).

La HH puede ser medida a lo largo de la cadena de suministro (Hoekstra et al., 2011), donde también se puede estimar el contenido del Agua Virtual (ver sección 2.3),

ya que considerará un escenario más global como se mencionó anteriormente. Este indicador permite determinar cuánto y cómo las personas u organizaciones deberían utilizar este recurso importante para el ser humano. La Huella Hídrica también se la denomina *Water Footprint*.

2.2.1.2 Historia de la Huella Hídrica

El concepto de la HH o *Water Footprint* fue creado por Arjen Hoekstra (2002) como un indicador del uso del agua para la producción de bienes. Para esto se efectuaron diversos estudios por parte de la UNESCO-IHE, Instituto de la Educación del Agua y la Universidad *Twente* en Holanda, dando como resultado la organización “*Water Footprint Network*”. Dentro de estos estudios, se efectuó un Manual para la evaluación de la HH: “*The Waterfootprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*” cuyos autores son Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen (2012). Hoy en día, instituciones a nivel mundial como el Banco de Desarrollo de América Latina, consideran importante el cálculo de este indicador (CITA).

2.2.1.3 Componentes de la Huella Hídrica

La Figura 1, muestra los 3 componentes elementales que conforman la Huella Hídrica y su respectivo rol dentro de los cultivos.

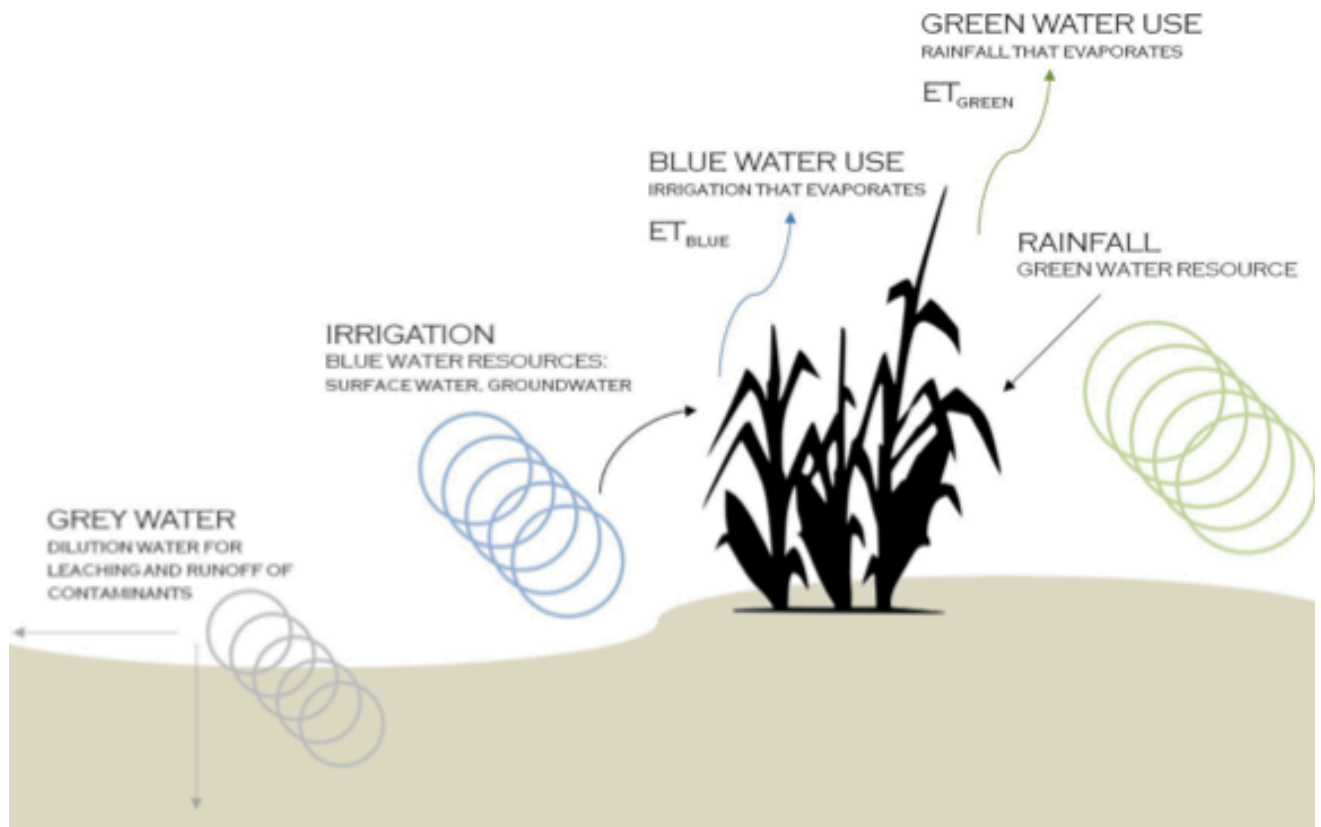


Figura 1 Componentes de la Huella Hídrica (Dourte et al., 2012).

2.2.1.3.1 Agua Verde

El Agua Verde, es también llamada Agua de Suelo, la cual se evapora debido a la transpiración de las plantas (Ramón, 2005). Este tipo de agua se ha consumido de forma eficiente cuando ha sido transpirada por los cultivos y la vegetación, y es no productiva si se evapora directamente del suelo (Orr & Chapagain, 2006). El Agua Verde se caracteriza porque “permite la existencia de la vegetación natural como de bosques, praderas y matorral, así como cultivos de secano” (Ramón, 2005).

2.2.1.3.2 Agua Azul

El Agua Azul es el agua de riego que se extrae ya sea de cuerpos de agua superficiales como lagos, ríos, reservorios o de agua subterránea (Orr & Chapagain, 2006). Este tipo de agua no es aprovechada por la planta cuando es evaporada y transpirada.

2.2.1.3.3 Agua Gris

Hoekstra et al. (2011) definen el Agua Gris como el volumen de agua fresca que se requiere para asimilar la carga de contaminantes en base a las concentraciones naturales y estándares de calidad, es decir la contaminación del agua afectada por contaminación.

2.2.2 Water Footprint Network (WFN)

Water Footprint Network se estableció en Octubre de 2008 impulsada por diferentes organizaciones y universidades luego de exhaustivos estudios sobre el tema de la HH y AV (*Water Footprint Network*, 2014). Esta organización promueve el uso y la gestión del agua sostenible de forma equitativa a nivel mundial. La misión de *Water Footprint Network* es “promover el uso justo y eficiente del agua de forma global, al difundir este concepto como un indicador para consumidores y productores. Se busca concientizar a las comunidades, organismos gubernamentales y empresas sobre el impacto del agua en sus actividades” (*Water Footprint Network*, 2014). WFN pretenden desarrollar estándares y herramientas para la contabilidad del agua, evalúa el impacto que tiene la Huella Hídrica para el mundo. La WFN da la facilidad de acceder a datos, métodos y herramientas de forma abierta, para que las personas y organizaciones se

informen sobre la temática del agua y tomen medidas correctivas sobre el consumo innecesario del agua (*Water Footprint Networ*, 2014).

La misión del WFN, es promover la utilización del agua de forma sostenible, equitativa y eficiente de forma global al fomentar y difundir el concepto e importancia de la HH, concientizar a las comunidades, gobiernos o negocios, para apoyar los impactos ecológicos negativos que tiene el manejo inadecuado del agua.

2.2.3 Agua Virtual

2.2.3.1 Definición Agua Virtual (AV)

El Agua Virtual analiza en primera instancia la cantidad de agua que se requiere para producir un bien, como por ejemplo, un kg carne, un carro, una computadora o una flor, es decir un producto en específico (*Water Footprint Network*, 2014). Adicionalmente, y en contraste con la HH, incorpora el estudio del intercambio de agua entre naciones al considerar las importaciones y exportaciones de agua contenida ‘virtualmente’ en bienes de las naciones. En un inicio, el Agua Virtual sólo fue estudiada en alimentos, posteriormente fue extendido a la producción de bienes dentro de todo contexto (Ramón, 2005).

2.2.3.2 Historia del Agua Virtual

El término ‘Agua Virtual’ fue propuesto por Allan (1990), definiendola como el volumen de agua requerida para producir un bien o servicio considerando la problemática de escasez del agua en Medio Oriente y el Norte de África (Dourte et al., 2012). El término ‘virtual’ fue empleado ya que el total de agua real utilizada en la producción es elevada en comparación al contenido visible para las personas (Dourte et al., 2012).

2.2.3.3 Componentes del Agua Virtual

El AV está dividida en los mismos tres componentes de la HH: verde, azul y gris. Los tres componentes del HH y el AV tienen significados similares, la única diferencia es que el AV se refiere al agua comprendida dentro del producto (ver sección 2.2.1.3).

2.2.4 CROPWAT 8.0

CROPWAT 8.0 es un software desarrollado por *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO-ONU), cuya finalidad es el cálculo de los requerimientos de agua para los cultivos, considerando requerimientos del tipo de suelo, la humedad, el clima o información del producto a ser cultivado (FAO Water, 2000). En el caso de no tener datos completos sobre el clima del sector en donde se quiere estudiar el cultivo, entonces se puede emplear una herramienta complementaria que es el CLIMWAT (FAO Water, 2000).

Para el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo, se requiere del valor de la evapotranspiración (ET_0). En caso de no disponer de este valor, se puede ingresar al programa datos de temperatura ambiental, radiación solar, humedad del suelo y velocidad del viento y el programa genera el resultado de la evapotranspiración (CROPWAT 8.0, 2010).

El CROPWAT 8.0 utiliza el método de la FEP Penman-Monteith para el cálculo de la evapotranspiración de referencia ET_0 , este método es aplicable para diversos cultivos, como: hortalizas, frutas, plantas ornamentales, entre otros. La siguiente expresión es utilizada (Allen et al. 2006) en el CROPWAT 8.0:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_3 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad [1]$$

Donde:

ET_o Evapotranspiración de referencia

R_n Radiación neta de la superficie del cultivo

G Flujo del calor de suelo

T Temperatura media del aire

u_2 Velocidad del viento

e_s Presión real de vapor

$e_s - e_a$ Déficit de presión de vapor (humedad)

Δ Pendiente de la curva de presión de vapor

γ Constante psicométrica.

Sirve para comparar la ET_o en diferentes periodo en el año, se puede comparar con diferentes cultivos y en diferentes partes del mundo (Allen et al., 2006). Cabe recalcar que el valor obtenido es una referencia del valor de la evapotranspiración del cultivo.

Este valor de la evapotranspiración será posteriormente utilizado para estimar los requerimientos de agua de los cultivos, esto lo hace mediante la ecuación 2:

$$RAC = ET_c = ET_o \times K_c \quad [2]$$

Donde:

RAC Requerimientos de agua del cultivo

ET_c Evapotranspiración de cultivo (estimada por medio de la evapotranspiración de referencia y el coeficiente del cultivo para cada período (Pérez, 2010)).

Dentro del CROPWAT 8.0 se requiere del conocimiento de ciertos términos importantes que se describen en las secciones 2.2.4.1 a la 2.2.4.13.

2.2.4.1 Humedad del Suelo

Se refiere a la cantidad de agua que es almacenada en el suelo en el inicio de la siembra, expresado en milímetros por metro (mm/m) de profundidad del suelo (Pérez,

2012). La humedad del suelo varia en base a la ubicación geográfica del área de estudio, tipo de suelo, la evapotranspiración y precipitación (Ministerio de Agricultura, 2008).

2.2.4.2 Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Es el punto de saturación de agua en la planta en donde esta tiende a marchitarse (Silva et al., 2000).

2.2.4.3 Profundidad Radicular

De acuerdo a Pérez (2012), es “ la capacidad que tienen los cultivos para extraer el agua disponible del suelo”, usualmente en CROPWAT 8.0 este valor se encuentra expresado en centímetros (cm) y dependerá del tipo de producto que va a ser cultivado.

2.2.4.4 Capacidad de Campo (CC)

Es la capacidad máxima del suelo para retener agua, después de haber sido drenado entre 24 a 48 horas (Silva et al., 2000). Todo exceso de agua será expulsada por la capa superior del suelo o por las capas profundas (FAO, 2006).

2.2.4.5 Tasa máxima de infiltración de la precipitación

Cantidad máxima de agua que el suelo puede infiltrar por 24 horas. Esta cantidad varía en base al tipo de suelo, la precipitación, tipo de riego y ubicación de la siembra (Pérez, 2012).

2.2.4.6 Agotamiento inicial de humedad de suelo (% ADT)

Suele también nombrarse como el porcentaje de agua disponible total (% ADT), el cual muestra el porcentaje de qué tan árido es el suelo en el momento del cultivo (Pérez, 2012). Árido quiere decir que tan seco se encuentra el suelo.

2.2.4.7 Requerimientos de Riego de un Cultivo

Cantidad de agua que se necesita para sembrar y cosechar un cultivo (Dastane, 1978). Por ejemplo, el agua a ser utilizada incluirá el uso para la preparación del terreno, riego del cultivo (Dastane, 1978).

2.2.4.8 Precipitación Efectiva (Pe_{eff})

La Pe_{eff} es la fracción de la precipitación que va a ser usada de forma efectiva por el cultivo (Dastane, 1978). Mismo que va a depender de factores tales como: clima, características del suelo (porosidad, conductividad) y del terreno, humedad del suelo (Dastane, 1978). La absorción del agua del suelo va a ser diferente en climas secos que en climas húmedos (ver sección 2.2.4.8.1 y 2.2.4.8.2).

2.2.4.8.1 Precipitación Efectiva en Climas Secos

Para el caso de Climas Secos, en donde la lluvia es inferior a 5 milímetros, se considera una precipitación efectiva nula, ya que no existe reserva de humedad en el suelo (Dastane, 1978). En el caso de que se tenga lluvia un poco mayor a 5 mm entonces el 75% de la lluvia se considera efectiva.

2.2.4.8.2 Precipitación Efectiva en Climas Húmedos

Se refiere a cuando existen varios periodos en el año en áreas donde llueve de forma continua. Para obtener la precipitación efectiva se “debe sumar todos los volúmenes de precipitación, salvo cuando en un día llueve menos de 3 mm” (Dastane, 1978).

2.2.4.8.3 Factores que influyen la Precipitación Efectiva

- Características de la Lluvia: los suelos tienen una tasa limitada de consumo de agua y con una capacidad de terminada de humedad (Dastane, 1978). Al tener

cantidades elevadas de lluvia se tendrá una reducción en la fracción efectiva, aumento de la escorrentía y disminución de la infiltración (Dastane, 1978). Al tener una distribución desigual de estos tres factores (fracción efectiva, escorrentía e infiltración), se disminuirá la proporción de la Peff. Los factores de la lluvia que afectan a la precipitación efectiva están: cantidad, intensidad y frecuencia (Dastane, 1978).

- Características del Terreno: va a depender de la ubicación del terreno (longitud y latitud) y la pendiente.
- Característica del Suelo: El suelo tiene las propiedades de absorber, retener, liberar y mover el agua. La Peff se incrementa cuando el suelo tiene una capacidad elevada de retención de agua.
- Características del Cultivo: la Peff va a ser directamente proporcional a la tasa de absorción del cultivo. Esto quiere decir que algunas características que van a influir son el tipo de cultivo, tamaño de la raíz, cobertura del suelo del cultivo y la etapa de crecimiento.

2.2.4.9 Escorrentía superficial

Agua originada por la precipitación que solo corre por las superficies, mas no es absorbida por el suelo debido a dos factores: exceso de agua y por la pendiente del terreno (Allen et al., 2006).

2.2.4.10 Evapotranspiración (ET)

La ET tiene dos conceptos: la evaporación y la transpiración. La evaporación “es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua debido a la influencia de la radiación solar (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor)” (Allen et al., 2006). La transpiración se da cuando el agua líquida,

contenida en los tejidos de una planta, es transportada hacia el follaje de la planta, después ocurre la evaporación. La evapotranspiración es entonces el transporte de agua absorbida por las plantas, que circula por sus tejitos y pasa a través de los estomas y de la cutícula hacia la atmósfera. Tan solo una fracción mínima del agua permanece en la planta para aportar nutrientes a la misma.

2.2.4.11 Evapotranspiración de Referencia (ET_0)

Se utiliza para cultivos hipotéticos, en donde se asumen que se tiene las condiciones ideales y es independiente del crecimiento del cultivo y de su manejo (Allen et al., 2006).

2.2.4.12 Evapotranspiración de un cultivo bajo condición estándar (ET_c)

“Se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización, bajo óptimas condiciones de suelo y agua” (Allen et al., 2006).

2.2.4.13 Coeficiente de Cultivo (K_c)

Muestra la relación entre el coeficiente evapotranspiración del cultivo en condiciones estándares y la evapotranspiración de referencia matemáticamente está relación se expresa como,

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad [3]$$

Este coeficiente muestra una curva durante el ciclo de vida del cultivo durante su crecimiento y maduración. El objetivo de aplicar el coeficiente de cultivo junto con la evapotranspiración es determinar la frecuencia y cantidad de agua que se requiere aplicar a un cultivo, para así tener un cultivo en óptimas condiciones. El resultado de K_c varía en base al tipo de cultivo y estado de desarrollo del cultivo. La K_c es

independiente de la ubicación geográfica en donde se realiza la siembra (Contreras, 2006).

2.2.4.14 Fracción de agotamiento crítico

Es la “fracción promedio del agua total disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de que el cultivo presente estrés hídrico” (Ovalle, 2012). El estrés hídrico se refiere a que la demanda es más alta a la cantidad de ADT en el suelo.

2.2.4.15 Respuesta de rendimiento

El rendimiento del cultivo se refiere a la cantidad de cultivo obtenido (ton) en relación al espacio (ha) de producción.

2.2.4.16 Insolación

Es “la duración de la recepción de radiación solar sin la interferencia de nubes” medido en horas (Ovalle, 2012).

2.2.5 Cadenas de suministro

2.2.5.1 Definición de la Cadena de Suministro

Es una serie de pasos dinámicos que consisten en todas las partes que interactúan directa o indirectamente en una organización, con la finalidad de satisfacer los requerimientos y necesidades de una demanda dada (Chopra et al., 2013). En la Cadena de Suministro se incluye los flujos de información, de producto y de capital (Slone et al., 2011). También se incluye a todos los actores que ayudan a la transformación de los bienes o servicio (Ej. Área de manufacturas, proveedores, transportistas, bodegas, vendedores y clientes) (Chopra et al., 2013).

2.2.5.3 Gestión de los involucrados en la CS y abastecimiento.

Incluye el manejo del flujo de caja, las ventas que producen ganancias a las organizaciones y las relaciones entre ventas y producción. Así mismo, se analiza conceptos tales como “abastecimiento, la gestión de la oferta, logística y gestión de relaciones con proveedores, junto con los materiales, la información y los flujos de efectivo relacionados con los mismos” (Chopra et al., 2013).

2.2.5.4 Gestión de los Materiales

Se incluye los pronósticos, manejo de inventarios, manejo de tiendas, bodegas, almacenamiento, la programación y control de producción. Los materiales consisten en el 60% del costo de la manufactura, es por esto que su manejo se debe hacer de forma programada para no evitar pérdidas (Slone et al., 2011).

2.2.5.5 Distribución y Logística

La distribución es el pilar principal de la logística, el cual contiene más del 50% del costo de toda la cadena de suministro (Ballou, 2014)

2.2.5.6 Operaciones dentro de la Cadena de Suministro

En esta fase, el horizonte de tiempo para las planeación se realiza al corto plazo. Se toman decisiones sobre órdenes individuales de los clientes, considerando que la configuración de la CS sea conocida y las políticas de planeación se encuentren definidas (Chopra et al., 2013). El objetivo es manejar las órdenes de los clientes de forma óptima y optimizando el desempeño (Capó-Vicedo et al., 2007). Se consideran aspectos como fecha de entrega del pedido, asignar las órdenes al modo de transporte adecuado, análisis del abastecimiento.

2.2.5.6 Integración de la Cadena de Suministro

Para integrar una CS se requiere de trazabilidad y visibilidad ya sea de producto o actividades que se efectúen dentro de una empresa. La trazabilidad es la recolección y rastro de información sobre un producto específico para proporcionar al consumidor o actores información específica como la ubicación del producto, historial de producción y distribución, entre otros. La Visibilidad permite identificar datos de forma efectiva sobre las operaciones dentro de una organización y a lo largo de la CS. Para alcanzar esto se requiere de colaboración e integración de todas los clientes internos de la empresa y de la aplicación de tecnologías de información (ERP, RFID, MRP) (Mula et al., 2006).

2.2.5.6 Ciclos de la Cadena de Suministro

Se puede operar de dos formas: perspectiva cíclica y perspectiva *push/pull*. La perspectiva cíclica incluye 4 sub-procesos: ciclo de pedidos de clientes, ciclo de reposición, ciclo de manufactura y ciclo de abastecimiento, como se puede ver en la Figura 2.

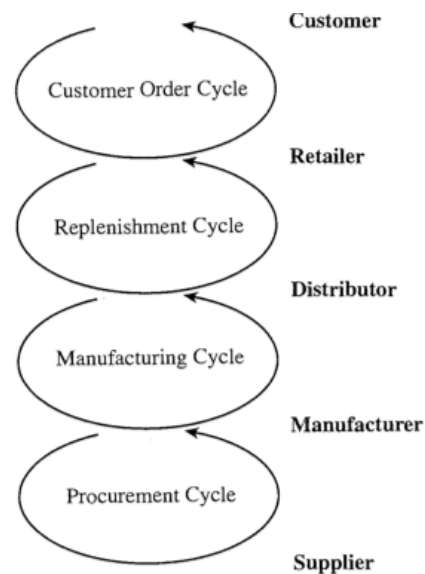


Figura 2 Proceso Cíclico de la Cadena de Suministro. Chopra et al., (2013),

La Figura 2, también se utiliza para la perspectiva *push/pull*. Un proceso *push* se inicia con anticipación al cliente considerando pronósticos o experiencia previa, mientras que un proceso *pull* se origina a partir de una orden dada por cliente (Ramírez et a., 2011).

2.2.6 Ingeniería Económica

2.2.6.1 Análisis Costo – Beneficio

Este análisis introduce técnicas de gerencia y finanzas con el fin de establecer el impacto económico al que se quiere llegar al evaluar la viabilidad de una serie de alternativas y determinar los beneficios de estas (Martínez, 2014).

2.2.6.2 Análisis incremental

Análisis de “dos o mas alternativas mutuamente excluyentes para identificar la alternativa que se considera mejor económicamente” (Blank et al., 2006). Dentro de este

análisis se considera el flujo incremental de las propuestas y en base a la comparación del TR y el TMAR se determina la alternativa más viable.

2.2.6.3 Tasa de rendimiento (TR)

El TIR “mide la rentabilidad como porcentaje” (Sapag, 2011). Una limitación de este indicador es que solo se puede tener la máxima TIR cuando el VAN es igual a cero.

2.2.6.4 Tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR)

La TMAR o tasa basa es un indicador para determinar la rentabilidad de una inversión al analizar la cantidad de dinero que se obtendrá por medio de esta. El valor porcentual del TMAR va estar dado por una organización con el fin de comparar este valor con la TR (Blank et al., 2006).

2.3 Revisión Literaria

2.3.1 Historia de la Huella Hídrica y el Agua Virtual

En 1998, Allan menciona por primera vez el concepto del AV para promover la concientización de la escasez del agua. La finalidad de este estudio fue analizar los bienes que requieren de mayor cantidad de agua y estudiar en que países consumirían una menor cantidad de agua para determinar si es o no más conveniente realizar *outsourcing* (Velázquez et al., 2010). *Outsourcina* es una transferencia de actividades a entidades terceras, que no representan el pilar de la empresa (Mora, 2009). El propósito de plantear el concepto del AV fue tomar conciencia sobre la sostenibilidad y el consumo del agua dentro de un país (Chapagain & Tickner, 2012). En el 2008, Allan fue premiado con el *Stockholm Water Award*, debido a su investigación única y pionera de la gestión de los recursos hídricos bajo la producción agrícola (Velázquez et al., 2010).

Este estudio hizo que varios investigadores se adentraran en el tema de los recursos hídrico de donde surgió Arjen Hoekstra, profesor de Gestión del Agua en *University of Twente*, en Holanda. Hoekstra efectuó estudios con el motivo de desarrollar una metodología para cuantificar el concepto dado por Allan (Velázquez et al., 2010). En el 2002, Hoekstra (2012) incorpora un nuevo término similar a la AV cuyo concepto es la HH.

2.3.2 El Agua Virtual y la Huella Hídrica

El AV se definió como un indicador del volumen de agua que se requiere para producir un bien de forma virtual (Ercin et al., 2014). Por ejemplo, para producir una rosa (unidad), el AV consistirá en la cantidad de agua que utilizada desde que se prepara el suelo hasta que se cosecha la flor (corte) (Velázquez et al., 2010). Este indicador también evalúa el intercambio de agua entre naciones, por medio de las importaciones y las exportaciones, se realiza para evaluar y determinar si es mejor para el medio ambiente la producción de un bien en un lugar geográfico comparado con otro al cuantificar y comparar la cantidad empleada de agua en cada sitio.

Por otro lado, la HH es un indicador más global que la AV, ya que cuantifica el consumo de agua para la producción al analizar la CS, una nación, análisis geográfico, estación del año, ubicación de fuentes de agua, temperatura del lugar, tipo de producto (Hoekstra et al., 2012). La HH del cultivo de rosas incluirá el consumo del agua de: proceso productivo, operarios, transporte y materia prima. Hoekstra et al., (2011) muestra que la HH de un producto puede ser analizada en base a dos componentes: a) Huella Hídrica Directa: volumen de agua consumida dentro de las operaciones de una empresa, b) la Huella Hídrica Externa: consumo de agua en de la cadena de suministro.

2.3.3 Organización: *Water Footprint Network*

Es una comunidad dinámica que pretende difundir información en temas como la sostenibilidad, la equidad y la eficiencia del uso del agua (*Water Footprint Network*, 2014). Esta organización fue iniciada en el 2008 en la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura por Hoekstra y Chapagain en la; Hoy en día esta comunidad es dirigida por la *University of Twente* en Holanda (*Water Footprint Network*, 2014).

Water Footprint Network ha efectuado estudios sobre la HH en el mundo y tiene una extensa recopilación de estos en su página oficial (www.waterfootprint.org). La Figura 3 muestra el consumo de agua (HH) de 16 países, en donde el color de cada barra representa cada uno de los tres colores de agua expresados en km³ por año.

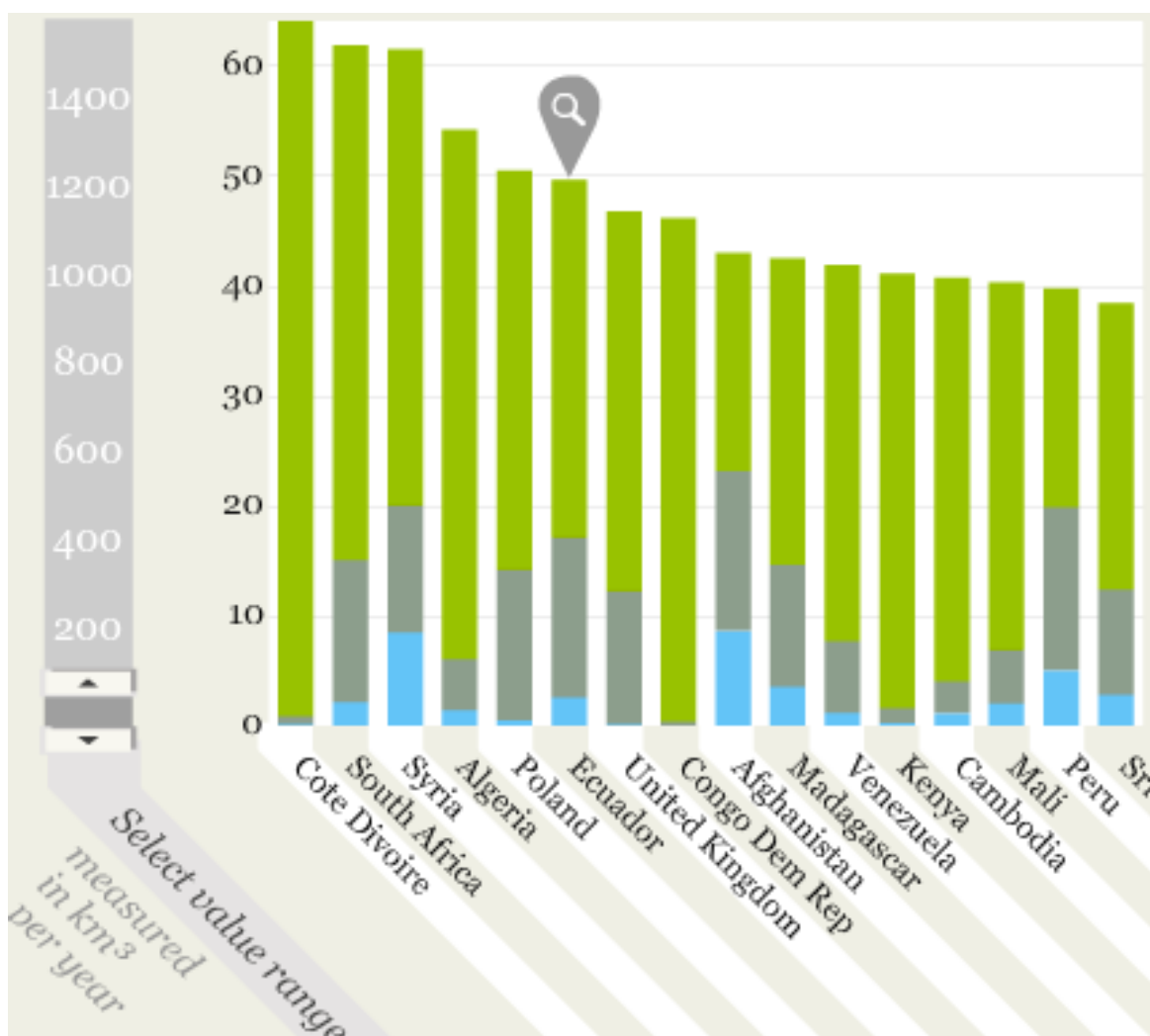


Figura 3 Huella Hídrica de 16 países del Mundo. (Water Footprint Network, 2014).

Esta organización, también ha realizado varios tipos de estudios para promover el uso y la gestión del agua, y así desarrollar herramientas para disminuir el volumen de desperdicio de este recurso. Dentro de estos estudios, se ha encontrado que una persona consume y gasta en un día alrededor de 2.000 a 5.000 litros (2 a 5 m³) de agua (Water Footprint Network, 2014). En la Tabla 1, se muestran algunos ejemplos de estudios de esta institución.

Tabla 1 Volumen de Agua por producto.

Producto	Cantidad de producto	Volumen de agua (L)
Carne	1 kilo	16000
Zapatos de piel	1 par	8000
Camiseta	1	4100
Hamburguesa	1	2400
Huevo	1	135
Hoja de papel	1 papel A4	10

En la figura 4, se muestra el volumen de total agua utilizada dentro del Ecuador en el 2010, dada por la *Water Footprint Network*. Las unidades de los tres componentes se encuentra expresados en km^3 de agua por año.

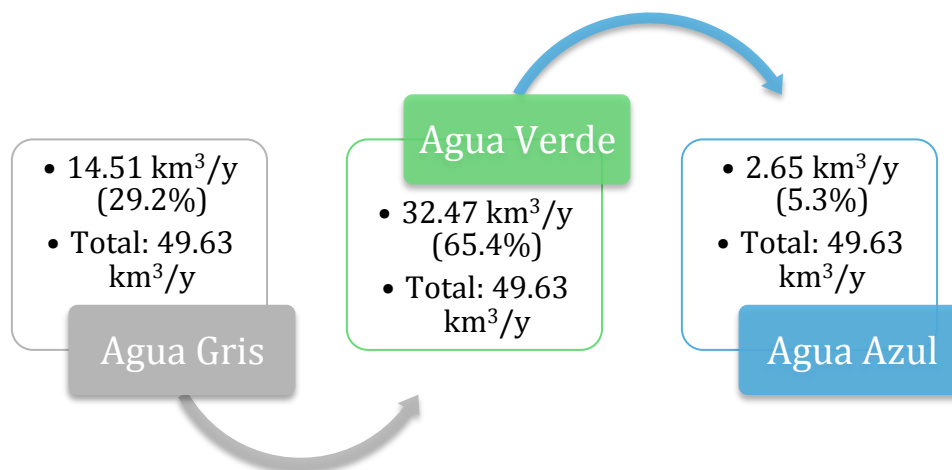


Figura 4 Huella Hídrica en el Ecuador 2010.

En la Tabla 2, se muestran 7 productos agrícolas cultivados en el Ecuador, como referencial para lo que es el trabajo realizado en el presente documento.

Tabla 2 Huella Hídrica de productos en el Ecuador. (*Water Footprint Network, 2014*).

Producto	Huella Hídrica Verde	Huella Hídrica Azul	Huella Hídrica Gris	Huella Hídrica Total
Coliflor	27 $\text{Mm}^3/\text{año}$	15 $\text{Mm}^3/\text{año}$	4800 $\text{m}^3/\text{año}$	42 $\text{Mm}^3/\text{año}$
Tomate	21 $\text{Mm}^3/\text{año}$	1.1 $\text{Mm}^3/\text{año}$	6800 $\text{m}^3/\text{año}$	22 $\text{Mm}^3/\text{año}$
Espinaca	1100 $\text{m}^3/\text{año}$	74 $\text{m}^3/\text{año}$	260 $\text{m}^3/\text{año}$	1400 $\text{m}^3/\text{año}$

Algodón	30 Mm ³ /año	160000 m ³ /año	9.3 Mm ³ /año	39 Mm ³ /año
Avena	6.7 Mm ³ /año	210000 m ³ /año	2300 m ³ /año	6.9 Mm ³ /año
Maíz	1300 Mm ³ /año	340 Mm ³ /año	210 Mm ³ /año	1900 Mm³/año
Arroz	1800 Mm ³ /año	490 Mm ³ /año	200 Mm ³ /año	2500 Mm³/año

2.3.4 Estudios enfocados en la HH y el AV

El uso del agua para la fabricación de productos varía de nación en nación, ya que su consumo dependerá de la materia prima, herramientas, maquinaria, situación geográfica, el clima, tipo de irrigación, tecnología, entre otros factores (Zygmunt, 2007).

Rep (2011) establece que el 99% de la HH en la cadena de suministro es originada por la materia prima, mientras que el 1% restante corresponde a los procesos productivos. Las empresas deben mantener un nivel de agua neutral o baja en el manejo o producción de materia prima, reduciendo al máximo el consumo del agua dentro de la cadena de suministro y compensar los daños ocasionados al medio ambiente mediante inversiones tecnológicas con la finalidad de gestionar el agua de forma sostenida y equitativa (Hoekstra, 2008). Las organizaciones deben mostrar transparencia sobre el contenido de agua de sus productos para analizar y encontrar aspectos de mejora dentro de estos y que los consumidores estén al tanto de esta información (Hoekstra, 2011).

Chapagain, Hoekstra y Mekonnen (2011) proponen una Metodología mediante el ‘Manual para el cálculo de la Huella Hídrica’, (ver sección 4.1), en donde se establece que se requiere de cuatro fases para el desarrollo de un estudio del agua:

1. Establecimiento de objetivos y el alcance de la evaluación de la HH.
2. Cuantificar la HH.
3. Alcance de la evaluación de la sustentabilidad de la HH.
4. Formular estrategias de respuesta (soluciones)

La mayor parte de los estudios efectuados por *Water Footprint Network* y sus integrantes han sido desarrollados en base a esta metodología. Vincent (2011) muestra diversos ejemplos de productos en donde se ha realizado el estudio de la HH y el AV, como es el caso de las empresas Nestlé, Coca-Cola, Alpro Soya (Bélgica) y SAP Miller.

Mekonnen y Hoekstra (2011) determinaron que en general, los porcentajes de uso de los tres ‘colores’ de agua en la agricultura, se distribuyen de la siguiente manera: 75% Agua Verde, 12% de Agua Azul y 10% de Agua Gris. Para la producción de granos, vegetales, flores u otros cultivos, la utilización del agua va a depender de los cambios climáticos, características del suelo, radiación solar (Fader et al., 2010). Estos factores deben ser analizados por los agricultores para así sembrar en determinadas fechas en donde habrá un equilibrio entre el calor y las lluvias, considerando el tipo de cultivo (Fader et al., 2010). Por ejemplo, el trigo requiere de mayor consumo de agua durante su ciclo de crecimiento por lo que debe ser cultivado en época de lluvias para así obtener un buen producto. La producción agrícola es la actividad que más agua consume (Mekonnen y Hoekstra, 2011).

En el Ecuador, se ha realizado un estudio del 2008 al 2010 relacionado a la HH y AV de la producción agrícola del banano, naranja, plátano, cacao, caña de azúcar, palmas, café, maíz, arroz, yuca, tomate y papa (Pérez, 2012). El cálculo de estos dos componentes se basó en la metodología de Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen, y utilizando el software informático CROPWAT 8.0, el cual es un programa para calcular los requerimientos de riego de los cultivos en base al cálculo de la evapotranspiración a partir de la ecuación de FAO Penman-Montheith (Ver secciones 2.2.4 y 4.2.3 en referencia al software en mención). Los resultados obtenidos en este proyecto comprendían un periodo de tiempo del 2008 al 2010. En la

Tabla 3, se muestra los resultados del 2010 de estos 12 cultivos.

Tabla 3 Promedio del consumo de Huella Hídrica en el Ecuador 2010. (Pérez, 2012).

Año 2010 Cultivos	HH (m/ton)			
	Verde	Azul	Gris	Total
Banano	566	1,009	0	1,574
Cacao	5,533	13,042	119	18,694
Caña de Azúcar	36	38	20	94
Naranja	3,890	2,515	0.1	6,406
Palma	205	153	59	417
Plátano	3,643	1,647	0	5,289
Arroz - cáscara	402	551	86	1,039
Maíz	1,250	964	359	2,572
Papa	192	620	96	908
Yuca	866	567	1	1,434
Tomate	74	59	0	133
Café	11,01	7,147	107	18,273

En el 2009, el Ecuador exportó 15.5 km³ de AV. En la

Tabla 4, Pérez (2012) calcula la productividad aparente de los 12 cultivos, con el fin de mostrar la retribución económica que se obtiene al producir el bien.

Tabla 4 Productividad Aparente de 12 cultivos en el 2009. (Pérez, 2012).

Cultivos	\$/ton	HH cultivo (m3/ton)	PAA (\$/m3)
Banano	149.8	2,129	0.07
Cacao	1,803.10	19,028	0.09
Caña de Azúcar	13.4	88	0.15
Naranja	200.7	5,324	0.04
Palma	112.3	554	0.20
Plátano	91.6	2,062	0.04
Arroz - cáscara	262.5	993	0.26
Maíz	855	2,718	0.31
Papa	263.1	917	0.29
Yuca	151.9	1,373	0.11
Tomate	359.1	326	1.10
Café	1,070.60	18,809	0.06

2.3.5 Estudios enfocados en las plantas

En la literatura se ha encontrado estudios sobre la HH y el AV de los cultivos como en flores, algodón, tomate, aceitunas. Cada cultivo requiere de diferentes cantidades de agua, por ejemplo, el algodón, arroz y el café requieren de mayores cantidades de agua (Zygmunt, 2007). Por ejemplo, el arroz requiere de una mayor cantidad de agua por tres factores: altos niveles de evapotranspiración, infiltración de agua y drenaje del terreno, y manejo del agua en el cultivo (FAO, 2004). Al aplicar el concepto de la HH en un área agrícola, ésta puede ser calculada mediante la relación entre el volumen de agua usada durante el periodo de crecimiento del cultivo para el rendimiento de la cosecha correspondiente en la región de estudio (Martinez & Ramon, 2009).

Mekonnen et al. (2010) realizaron un estudio a lo largo de la cadena de suministro de una floricultora, localizada en el segundo lago más grande de agua dulce en Kenia (*Lake Naivasha*). El objetivo del estudio fue tomar medidas para reducir la cantidad de agua utilizada del *Lake Naivasha*, ya que el lago se encontraba contaminado y el volumen del agua se estaba reduciendo. Para esto, se calculó la HH y el AV, para cuantificar el agua utilizada por las floricultoras. En este estudio se calculó la HH como la relación del volumen de agua (consumida y/o contaminada) dividido para el rendimiento del cultivo (ton/ha). Se encontró que el valor promedio de flores cortadas tienen una HH de $367 \text{ m}^3/\text{ton}$. Para la fabricación de una rosa (unidad) se estima que se requiere de 7 a 13 litros de agua dependiendo del peso en unidades de la planta. Por ejemplo, si se considera una rosa con 25 gramos de peso, la utilización de agua será: 2L/tallo de Agua Verde (22%), 4L/tallo de Agua Azul (45%) y 3L/tallo de Agua Gris (33%). La metodología aplicada a este estudio se basó en el Manual de la HH (ver

sección 4.1). Se estimó que el AV de las exportaciones de Kenia para el 2010 fue de 16 Mm³.

Otro estudio, como el de Lillywhite et al., (2012), realizado en España, encontró que la cantidad de AV requerida para cultivar una flor es $94 \times 10^6 \text{ m}^3$ por año, el volumen de agua para flores es de $4052 \text{ m}^3/\text{ha}$. El cultivo de flores en este país se realiza de dos maneras: a) mediante invernadero y b) al aire libre. Las rosas que han sido sembradas dentro de un invernadero, son provistas de agua mediante un sistema de riego, mientras que las rosas cultivadas en campo abierto poseen un sistema de riego artificial, además de la lluvia (Agua Verde dentro de la terminología de la HH).

Vincent (2011) demostró que el 73% de los cultivos, en general, requieren de la irrigación, donde apenas el 40% es aprovechado por la planta, mientras que el 60% se evapora o no llega a la raíz de la planta (Mekonnen et al., 2012). Existen varios métodos para gestionar el agua de forma más eficiente a través de la aplicación de los conceptos de HH y AV, por ejemplo, un método es usar el Agua Azul de forma más responsable por medio de riego por goteo, donde se puede reducir el uso de agua de un 30 a 70% (Zygmunt, 2007). Sin embargo, otros autores critican esta metodología, ya que consideran que no se da una buena distribución del agua en las camas. Debido a que las llaves para el riego suelen estar ubicadas en los extremos de las camas, el agua va a estar distribuida más en forma vertical que en forma horizontal, entonces las últimas plantas de la cama no serán abastecidas de agua completamente (Amézquita, 1999).

Las empresas juegan un rol muy importante en la gestión del agua, ya que deben efectivizar su consumo y así disminuir el impacto ambiental. Estas deben garantizar que el agua se utilice de forma adecuada, procurando a toda costa que sea sostenible. La HH y el AV son un elemento clave que ayudan a la gestión del agua dentro la cadena de suministro de las empresas (Vincent, 2011).

2.4 Resumen

La diferencia entre el concepto de la HH y el AV se describen en la Tabla 5.

Tabla 5 Diferencias entre la Huella Hídrica y el Agua Virtual

Huella Hídrica	Agua Virtual
1. Considera un estudio más amplio para cuantificar el volumen del agua	1. Estudio enfocado en el contenido de agua de un producto
2. Multidimensional	2. Indicador del flujo de agua entre naciones
3. Considera ubicación geográfica, factores de donde proviene el agua.	3. Solo considera el volumen de agua para la producción de un bien.

CAPÍTULO 3

LEVANTAMIENTO DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LA INDUSTRIA FLORÍCOLA

3.1 Introducción

El levantamiento de información de la cadena de suministro, permite cuantificar de una manera adecuada el proceso productivo de la producción de las rosas, lo cual apoya el presente trabajo que estima la cantidad de agua utilizada en cada parte del mismo, facilitando así la aplicación de las metodologías de la HH y la AV

3.2 Justificación de la empresa

La selección de la empresa para el estudio se dio de acuerdo a los siguientes criterios:

- Enfoque en el área agrícola debido al tipo de consumo de agua a lo largo de sus procesos productivos.
- Posibilidad de obtener datos reales y actuales que permitan un estudio realista.
- Análisis de una nueva área en donde no se han realizado estudios exhaustivos de la HH y la AV.

Se seleccionó una florícola, ya que en la literatura no existe una profunda investigación efectuada en el área de las rosas, lo cual en vista de que el Ecuador es un gran exportador de éste tipo de flor, resulta innovador y atractivo el realizar un estudio de este tipo. La empresa florícola de rosas en donde se realizará el análisis es en *Floralstar* (Cayambe, Ecuador).

3.3 El producto

El INEC (2012) establece que la rosa es una especie de flor que durante el 2012 ha presentado una mayor superficie de plantación respecto a las flores transitorias (ejemplo) y permanentes (ejemplo), debido a la demanda del mercado nacional como internacional. Dentro de la producción de flores Ecuatorianas, el 65% está destinada a rosas, el 25% a flores de verano (ejemplos) y 10% a flores tropicales (ejemplos) (Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones, 2013).

La florícola donde se realiza el presente estudio se dedica a la producción de rosas en una extensa gama de variedades y colores (rojo, amarillo, blanca y rosa, entre otros). El color no afecta sobre el proceso productivo o en la gestión del agua, por lo que el desarrollo del presente trabajo se da con enfoque en la rosa como tal sin considerar su variedad o color.

3.5 Filosofía de la empresa

3.5.1 Visión

“La visión de *Floralstar* es crecer como empresa tanto a nivel nacional como internacional al incrementar su participación en el mercado por medio de la industrialización del cultivo de flores y por estrictos procesos de calidad, considerando que nuestro producto sirva para la necesidad de toda la gente relacionada con el negocio y para el bienestar de los clientes” (Jaramillo, 2014).

3.5.2 Misión

“Somos una empresa florícola destinada al cultivo y comercialización de rosas a nivel internacional con mano de obra ecuatoriana; nuestro objetivo es satisfacer y

superar las expectativas de los clientes por medio de la alta calidad de nuestro producto dada por las especificaciones del mismo cliente” (Jaramillo, 2014).

3.5.3 Valores

- *Calidad*: “Operar bajo las especificaciones y necesidades que el cliente solicita, con la finalidad de retener y mantener satisfechos a los clientes” (Jaramillo, 2014).
- *Comunicación*: “Mantener la comunicación tanto interna como externa de la empresa, con el propósito de entablar relaciones transparentes y eficaces” (Jaramillo, 2014).
- *Responsabilidad*: “Aplicar la responsabilidad dentro y fuera de la empresa; dentro de la empresa al ofrecer al trabajador un ambiente laboral con buenas condiciones y fuera de la empresa al proveer productos de calidad solicitados por los clientes” (Jaramillo, 2014).

3.5 Estructura organizacional

El organigrama presenta la estructura de la empresa (Ver Anexo 1). La empresa opera de forma vertical mediante departamentos, ya que hay un área administrativa, área de cultivo, área de post-cosecha, área Médica y área de mantenimiento. La Tabla 6, presenta el número de personal colaborando en cada área y el rol de la misma.

Tabla 6 Rol de los operarios de Floralstar.

Área	Personal	Rol
Administrativa	10 personas	Manejo de ventas y entablan relaciones con los clientes
Cultivo	50 personas	Sembrar, regar, inspeccionar (control de calidad), aplicar

		fertilizantes (control de plagas y enfermedades),
Post-cosecha	18 personas	Control de calidad final y manutención del producto
Área Médica	1 persona	Atención médica al personal
Área de Mantenimiento	3 personas	Personal de limpieza y guardias de seguridad

3.6 Levantamiento de Procesos de *Floralstar*

3.6.1 Cadena de Valor

La Cadena de Valor de la empresa sirve para entender de forma global los procesos de forma macro y micro (ver Anexo 2).

3.6.2 Diagrama SIPOC

El diagrama de Proveedores, Ingresos, el Proceso, las Salidas y los Clientes (SIPOC) de la empresa muestra el enfoque de la empresa, el manejo de los procesos y las relaciones estrechas que tiene (ver al Anexo 3).

3.6.3 Procesos productivos

El proceso productivo de la empresa consiste en la preparación del suelo, siembra, cosecha, hidratación, clasificación y despacho del producto (ver Anexo 4). A continuación, se explica brevemente cada uno de los procesos,

- Preparación del suelo: se realiza antes de la siembra, en donde se riega el suelo y se incorporan materiales naturales como el cascajo, cascarilla de arroz y cascarilla de café, con la finalidad de abonar la tierra.

- Se forman camas y caminos, en donde cada cama aproximadamente contiene 360 semillas. Durante todo el periodo de crecimiento de la planta la planta es irrigadas.
- Cosecha: al finalizar el periodo de crecimiento de la planta esta es cortada.
- Hidratación: después de la cosecha las plantas son enviadas al área de hidratación, en donde el tallo de la rosa es sumergido en tinas de agua bajo un pH determinado.
- Clasificación: bajo los requerimientos de los clientes se clasifican las plantas de acuerdo al color, tamaño de tallo y tamaño de botón (ver sección 3.9.3). Además, se realizan empaques de 12 flores y se coloca su respectivo código de barra.
- Cuarto fríos: se almacenan los bunchs de flores en jabas, los cuales luego son empaquetados en tabacos Los tabacos son cajas de cartón cilíndricas cuya forma reduce daños posibles a la flor. Finalmente, el producto es despachado en camiones refrigerados.

Para esto se adquiere la materia prima para el empaque como: papel corrugado, papel periódico, ligas, cajas de cartón; para la planta: semillas, abonos y químicos. La cosecha es planificada en base al comportamiento de la demanda (ver sección 3.8.2.1). Para esto, se debe considerar el tiempo justo para la cosecha, ya que la flor se puede marchitar y esto incurrirá en costos adicionales a la empresa.

Posteriormente, los bonches de flores son almacenados en cuarto fríos para conservar el producto y son empaquetados nuevamente en tabacos.

3.7 Cadena de Suministro de *Floralstar*

Mediante entrevistas con los diferentes operarios de los departamentos de la empresa se ha realizado el Diagrama de la Cadena de Suministro de las Rosas presentado en el Anexo 5.

3.7.1 Actores de la Cadena de Suministro

Se debe conocer con mayor detalle la función y el rol que cada uno de estos actores tienen dentro de la empresa, con el fin de analizar el consumo del agua en cada una de las partes. La Tabla 7, detalla el rol y las funciones de los actores de la cadena de suministro.

Tabla 7 Tabla de roles y funciones de los actores de la Cadena de Suministro de Floralstar.

Actor	Rol	Función
Proveedores de materia prima	<ol style="list-style-type: none"> 1. Relación directa y estrecha con <i>Floralstar</i>. 2. Fabricantes en diversas partes del mundo (como por ejemplo: Brasil, Europa, USA, Holanda, Ecuador, entre otros) 	Proveen con materia prima para el cultivo de las rosas como: semillas, fertilizantes y materiales de empaque.
Empresa Aduanera	Gestionar la entrada y salida de la mercadería del país.	Tramitar el ingreso y salida del producto en el Ecuador.
Agencias de viaje en flores	<ol style="list-style-type: none"> 1. No producen 2. Son mediadores entre los productores y los clientes 3. Están ubicadas normalmente cerca de los aeropuertos. 4. Relación directa con los clientes 5. Se responsabilizan del envío de las flores desde la recepción del producto terminado hasta que el cliente tiene el producto 	Intermediarios entre <i>Floralstar</i> y los clientes, para el envío de los paquetes de flores.

	final	
Mercado Local (Ecuador)	Corresponden al 10% de la producción de la empresa.	Compra local de las rosas
Mercado Internacional	<ol style="list-style-type: none"> 1. En ciertos casos los clientes contactan a la empresa para realizar las negociaciones. 2. En otros casos los clientes realizan el contrato por medio de las agencias. 3. Están ubicados en distintas partes del mundo. 4. Mercado potencial en Estados Unidos. 5. Los pedidos se realizan en base a los requerimiento del cliente. 	Compra de rosas para el exterior

3.7.2 Procesos en la Cadena de Suministro

Mediante entrevistas con el área de Ventas y con la Gerencia General, se ha identificado que la empresa incorpora en la producción los dos tipos de procesos mencionados (ver Sección 2.2.5.6): 40% con procesos tipo *push* y 60% con procesos tipo *pull* para las exportaciones. El mercado nacional corresponde aproximadamente al 10% de la producción total, se considera producto nacional a aquella rosa que no ha pasado las especificaciones de calidad de los clientes internacionales y que será comercializada en el Ecuador. (Ver Anexo 6).

3.8 La empresa *Floralstar*

3.8.1 Facilidades

3.8.1.1 Infraestructura

La empresa cuenta con una extensión de 14 hectáreas para sembrío, adicionalmente tienen áreas de oficinas, bodegas, postcosecha, cuartos fríos y viviendas con una superficie total aproximada de 1.200 m². La empresa posee 14 invernaderos con

una superficie total de 75.000 m² (un invernadero por cada hectárea que posee la empresa). Los invernaderos están compuestos por una estructura de hierro cubierta con plástico y con cortinas laterales. El propósito de poner plástico es proteger las semillas y las rosas de los rayos ultra violetas, evitando así un cambio en la tonalidad de color de la rosa.

Estos invernaderos disponen aplica el sistema de riego por goteo. Para abastecer el sistema de riego se dispone de dos reservorios: uno con capacidad de 15.000 m³ de agua, y otro con capacidad de 2.000 m³. El reservorio es alimentado por un canal abierto de aproximadamente 25 km de extensión desde los deshielos del nevado

3.8.1.2 Capacidad productiva

La empresa actualmente tiene sembrado 600,000 plantas y produce aproximadamente 380,000 unidades de rosas (promedio) al año.

3.8.2 Planificación de la producción

3.8.2.1 Producción

Floralstar pronostica la demanda en base a la experiencia que han tenido en base a la demanda del mercado. Por ejemplo, cuando se opera bajo una perspectiva *pull*, el Gerente de la Empresa estableció que en San Valentín (14 de febrero) la producción es programada con los clientes 4 meses antes de la fecha de entrega del producto para determinar la cantidad, el color (usualmente rojo) y las especificaciones de la rosa. Por otro lado, al operar bajo una perspectiva *push*, la producción se estima en base al promedio de las ventas de San Valentín de los años anteriores. Es de gran importancia considerar los tiempos a lo largo de las negociaciones y en la planificación del producto,

ya que si se va a plantar una nueva semilla recién se obtendrá una flor a los 6 meses y si se trata de una planta ya sembrada, se requerirá 90 a 120 días para realizar la cosecha.

3.8.2.2 Nutrientes y aplicación de plagas

Los abonos son utilizados con el fin de nutrir a la planta por medio del agua. Algunos abonos que la empresa aplica es el Fertilizante y Manto Orgánico.

Debido a la aparición de hongos u otras enfermedades en las rosas durante su periodo de crecimiento, se aplican productos químicos con el motivo de contrarrestar estos síntomas. Para esto se mezclan químicos con una cierta cantidad de agua y con la bomba de riego de agua se va pulverizando en las plantas el producto. Es importante estudiar la aplicación de los pesticidas, ya que se puede desencadenar un foco de contaminación de agua si es que hay un consumo alto de este recurso. Esto se debe a que los contaminantes se pueden ir al agua de exceso y luego contaminar los sitios cercanos. Este concepto también es usado dentro del agua gris.

3.8.3 Selección y clasificación del producto final

Las especificaciones más comunes dadas por los clientes son:

- Botón: 5 a 8 centímetros de largo, como se puede ver en la Figura 5.



Figura 5 Tamaño botón rosa

- Tallo: 40 centímetros a 1 metro de largo

Las rosas que no pasan estas especificaciones se consideran como desperdicio, en algunos casos son desechadas (aquella que tienen enfermedades) y en otros casos se venden en el mercado nacional a un costo menor (aquellas que no pasan las especificaciones del mercado internacional). De la producción total, a penas el 5% representa la flores desechadas y las vendidas en el mercado nacional.

3.8.4 Distribución

3.8.4.1 Mercados

Dentro de los mercados que la empresa atiende se encuentran ubicados en: Estados Unidos, Europa, Holanda, Alemania, Rusia, Croacia, China, Brasil y Chile. La Figura 6 presenta la distribución de los mercados que atiende la empresa con sus productos.

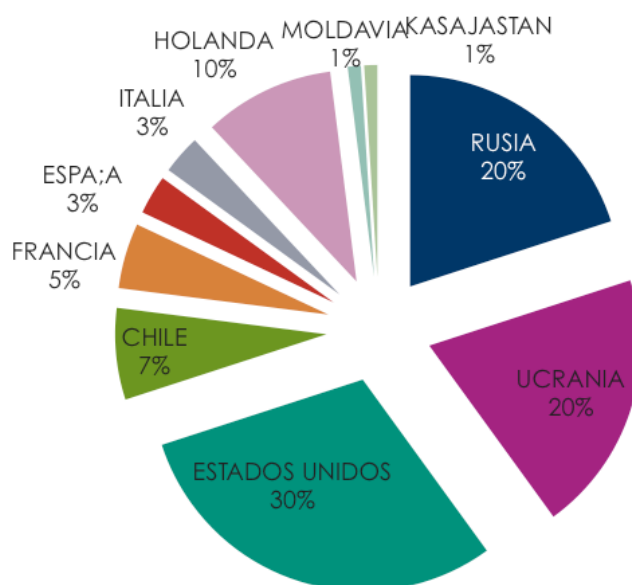


Figura 6 Distribución del Mercado de Floralstar

3.8.4.2 Transporte

La empresa contrata empresas de camiones con vehículos refrigerados para transportar las rosas hasta el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre. Posteriormente, las agencias respectivas (más información en la sección 3.8.1) se encargan de transportar vía aérea a los diferentes clientes alrededor del mundo.

3.10 Discusión

Dentro de la empresa, no existe ningún sistema para contabilizar la cantidad de agua utilizada dentro de los procesos operativos. Esto se debe a que el precio del agua, en el sector en donde se encuentra la florícola, es bajo lo cual no permite que las empresas tengan la necesidad de buscar formas de reducir el uso del agua.

La mayor parte de la producción es comercializada en el exterior, lo cual quiere decir que hay un elevado nivel de exportación de agua hacia otras naciones. Es importante analizar la HH y la AV dentro de este contexto, ya que dará a la empresa un valor cuantitativo del consumo real del agua, ya que muchas veces este volumen no es

percibido en el producto final. El propósito de aplicar estos dos indicadores en la florícola es crear una cultura respecto al tema de la escasez del agua y su uso adecuado, para hacer concientizar a los operarios y la empresa sobre la importancia de este recurso vital para los seres humanos.

CAPÍTULO 4

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y RESULTADOS

4.1 Metodología de la investigación

4.1.1 Descripción de la metodología

Se realizó una revisión literaria sobre el tema de investigación para determinar un método para el cálculo de la HH y el AV y la forma de aplicar a la industria florícola. Se realizaron visitas a la empresa para levantar toda la información de la cadena de suministro y el consumo de agua en los puntos requeridos. Se delimitó el alcance del estudio enfocándose en el área en donde se encuentra el mayor uso de agua.

Se calculó la HH y el AV mediante la metodología propuesta por Hoekstra et al. (2011), cuyo formato está documentado en “*The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*”. El cálculo de la HH se desarrollará en 3 como se puede ver en la Figura 7.

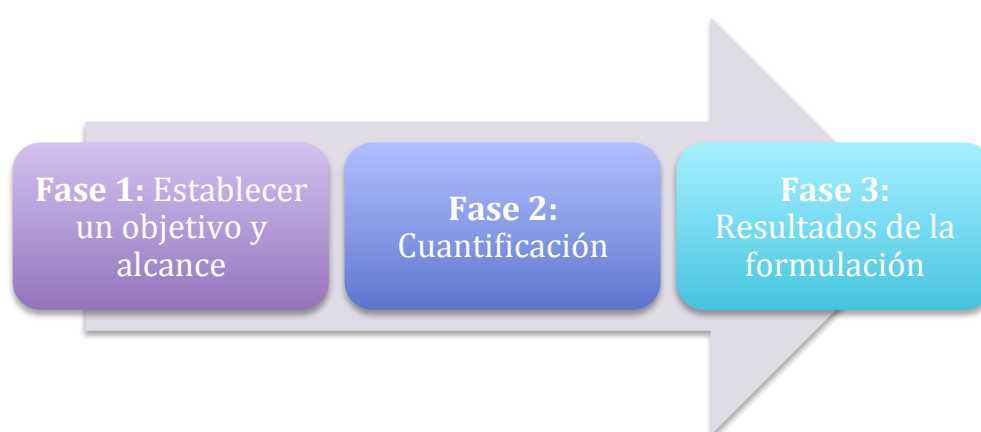


Figura 7 Fases de la Metodología de Water Footprint.

4.1.1.1 Establecer un objetivo y alcance

En el alcance se pretende delimitar el trabajo enfocándose en un área de estudio al cual se quiere analizar (Hoekstra et al., 2011). Para el presente caso de estudio, la delimitación del proyecto puede verse afectada por ciertos criterios tales como:

- Análisis de toda la cadena de suministro
- Análisis del agua verde, azul y/o gris.
- Análisis del proceso productivo
- Dentro de un periodo de tiempo

4.1.1.2 Cuantificación de la HH

Para el cálculo de la HH de un cultivo y de sus tres componentes se utilizó la metodología de Hoekstra et al., (2001). Para determinar la HH, se utilizó la Ecuación 4:

$$HH_{total} = HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris} \quad [volumen/masa] \quad [4]$$

- HH Azul:

$$HH_{azul} = \frac{UAC_{azul}}{Y} \quad [5]$$

Donde:

HH_{azul} es la Huella Hídrica azul expresada en m^3/ton

UAC_{azul} es el volumen de agua azul usada para el cultivo (m^3/ha)

Y es el rendimiento del cultivo (ton/ha)

La cantidad de agua azul usada para el cultivo se calcula mediante la acumulación diaria de evapotranspiración sobre el periodo de tiempo de crecimiento como se muestra en la Ecuación 6:

$$UAC_{azul} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{azul} \quad \left[\frac{volumen}{\acute{a}rea} \right] \quad [6]$$

Donde:

UAC_{azul} es el uso de agua de cultivo azul (volumen/área)

lgp por sus siglas en ingles se refiere a *length of growing period in days*

El factor de 10 sirve para transformar 1 mm de precipitación a m^3/ha . La sumatoria representa el periodo de tiempo de plantación y cosecha del cultivo.

- HH verde:

Se calcula a partir del consumo de agua del cultivo dividido para su rendimiento, como se presenta en la Ecuación 7.

$$HH_{verde} = \frac{UAC_{verde}}{Y} \quad [7]$$

Donde:

HH_{verde} es la Huella Hídrica verde expresada en m^3/ton

UAC_{verde} es el volumen de agua verde usada para el cultivo (m^3/ha)

Y es el rendimiento del cultivo (ton/ha)

La cantidad de agua verde usada para el cultivo se calcula mediante la acumulación diaria de evapotranspiración sobre el periodo de tiempo de crecimiento como se muestra en la Ecuación 8:

$$UAC_{verde} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{verde} \quad [volumen/área] \quad [8]$$

- HH gris:

Se calcula a partir de la Ecuación 9:

$$HH_{proc,gris} = \frac{(\alpha \times AR) / (c_{max} - c_{nat})}{Y} \quad [9]$$

Donde:

AR es la tasa de aplicación de productos químicos por hectárea (kg/ha).

Los químicos usados en el proceso productivo de la rosa son fertilizantes, pesticidas e insecticidas.

La c_{max} representa la concentración máxima aceptable de un contaminante (kg/m^3)

La c_{nat} es la concentración natural del contaminante (kg/m^3)

Y representa el rendimiento del cultivo.

AR es la tasa de aplicación de productos químicos por hectárea (kg/ha).

Los químicos usados en el proceso productivo de la rosa son fertilizantes, pesticidas e insecticidas.

La c_{max} representa la concentración máxima aceptable de un contaminante (kg/m^3)

La c_{nat} es la concentración natural del contaminante (kg/m^3)

Y representa el rendimiento del cultivo.

4.1.1.2.1 AV

Para poder contabilizar y analizar la factibilidad del consumo del agua, es importante analizar la exportación e importación. Es por esto que se puede calcular el Balance del AV en un periodo de tiempo, por medio de la Ecuación 13:

$$V_{i,neto} = V_i - V_e \left[\frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} \right] \quad [13]$$

En donde:

$V_{i,neto}$ es el volumen neto de agua importada en el periodo de tiempo

V_i volumen de importación bruta de AV

V_e es el volumen bruto de AV exportada.

Si el balance del Agua Virtual es positivo quiere decir que hay un mayor ingreso de agua proveniente de otras áreas. Si el balance es negativo entonces quiere decir que hay exceso flujo de agua para la exportación.

El AV de importación se calcula con la Ecuación 14:

$$V_i = \sum_{n_e} \sum_p (T_i[n_e, p] \times HH_{prod}[n_e, p]) \quad [volumen/tiempo] \quad [14]$$

En donde

$T_i[n_e, p]$ es la cantidad de producto p importando de una nación n_e con dimensión: unidad de producto/tiempo.

$HH_{prod}[n_e, p]$ es la HH del producto p de la nación exportadora n_e (volumen/unidad de producto).

Para el Agua Virtual para productos de exportación, se calcula en base a la Ecuación 15,

$$V_e = \sum_p T_e[p] \times HH_{prod}^*[p] \quad [volumen/tiempo] \quad [15]$$

En donde,

$T_e[p]$ cantidad de producto p exportado (unidad de producto/tiempo)

$HH_{prod}^*[p]$ es la HH promedio del producto exportado p (volumen/unidad de producto).

El AV de importación se calcula con la Ecuación 14:

$$V_i = \sum_{n_e} \sum_p (T_i[n_e, p] \times HH_{prod}[n_e, p]) \quad [volumen/tiempo] \quad [14]$$

4.1.1.3 Resultados de la formulación de la HH

Dentro de la última fase se debe incluir soluciones para que las personas y organizaciones empiecen a concientizar el uso del agua (Hoekstra et al., 2011). Por ejemplo: el agua azul y verde se pueden reducir al máximo mediante el reciclaje de agua, en la agricultura el agua gris se puede reducir al usar un mínimo de productos químicos y cambiando a técnicas de manejo de agua a otras más eficientes.

4.2 Resultados

4.2.1 Gestión del agua en *Florastar*

4.2.1.1 Sistema de Riego en *Floralstar*

Para el riego de toda la extensión de la finca la empresa cuenta con dos reservorios con capacidad de $2000 m^3$ y $15000 m^3$. Ambos reservorios son alimentados mediante un canal de agua abierta de $25 km$ de extensión desde los deshielos del nevado Cayambe.

El agua de los reservorios es distribuida hacia dos áreas: A y B, las cuales son abastecidas con agua por medio de dos casetas. Ambas casetas de riego disponen de tres tanques con capacidad volúmetrica de 1000L, 250L y 500L. El tanque de 250 L es usado para mezclar los fertilizantes con el agua previo al riego. El agua que pasa por los tres tanques, es filtrada con función de acumular los sedimentos. Posteriormente, las bombas succionan el agua con fertilizante necesario para el cultivo. La caseta del área A atiende el riego de 5 invernaderos, mientras que la caseta del área B administra agua a 9 invernaderos.

Cada uno de los 14 invernaderos disponen de sistemas con tres válvulas para efectuar el riego por goteo. La cantidad de agua utilizada para el riego se mide en base al tiempo de 15 minutos. Este tiempo varía de acuerdo a la humedad física del suelo, en la sección 4.2.1.2 se detalla el procedimiento de control de humedad del sueño. Para la supervisión de la humedad se debe considerar que en cada cama hay 360 semillas cosechadas y de cada tallo se tienen de 4 a 7 cortes al año. Los distintos invernaderos son irrigados en diferentes intervalos de tiempo.

4.2.1.2 Control de Calidad del Suelo

Para el cultivo de rosas es de gran importancia establecer la cantidad de agua que estas requieren durante su crecimiento y cosecha. El Ingeniero Agrónomo es el encargado de controlar la calidad del suelo mediante un sistema de tacto y apariencia al inspeccionar por medio del tacto y de forma ocular el suelo.

Para medir la humedad el suelo se introduce un barreno hasta 40 cm de profundidad y se extrae una muestra del mismo. La muestra es inspeccionada por medio de tacto y visualmente para determinar la humedad. Si la textura del suelo es similar a una pasta (sin saturación de agua), se concluye que el suelo posee un estado adecuado de humedad que corresponde a la capacidad de campo. La capacidad de campo es la cantidad de agua que tiene un suelo luego de haberse saturado y drenado por 24 horas. En el caso de que la tierra requiera de un mayor grado de humedad, se prolonga el tiempo de riego y se vuelve a efectuar otra prueba de toma física por tacto.

Mediante las entrevistas con el Ingeniero Agrónomo, se estableció que el sistema de riego se realiza de manera empírica, no existe un procedimiento estandarizado o técnico para determinar el porcentaje de humedad en la tierra.

4.2.1.3 Procesos operativos de la empresa relacionados con el agua

El uso del agua dentro de la empresa se da desde la preparación de la tierra hasta que la rosa es empacada para su distribución (ver Anexo 7). El proceso operativo consta de las siguientes etapas:

- Preparación del agua con fertilizantes, en donde el agua es transportada a los canales de riego por medio de bombas.
- Preparación del suelo antes de realizar el cultivo: retirar piedras, irrigar el suelo y drenarlo.

- Corte: una vez cortadas las rosas, éstas son trasladadas a tinas de hidratación por aproximadamente 30 minutos. El agua utilizada debe tener un pH ~5 y contiene aditivos para poder mantener la rosa fresca el mayor tiempo posible.
- Cuarto frío: una vez clasificadas, cortadas, empaquetadas y etiquetadas las rosas, éstas son instaladas en tinas de agua en el cuarto frío hasta que se realice el empaquetamiento respectivo en tabacos de acuerdo a cada pedido.

Es importante mantener un control de la cantidad de agua para el manejo de las rosas. Posteriormente, los siguientes procesos involucran uso de agua: Transporte para abastecimiento de materia prima (semillas, materiales y químicos) y transporte para distribución de producto terminado (realizado por la empresa de transporte contratada).

4.2.2 Estimación de los recursos hídricos usados por *Floralstar*

Los datos presentados en la Tabla 8 y Tabla 25 (ver Anexo 8), fueron provistos por la Gerencia General, Administrador e Ingeniero Agrónomo de la empresa.

Tabla 8 Datos Generales Floralstar

Datos Generales de la Empresa		
Ganancia	\$240,000.00	
Producción anual	4,680,000	tallos
Exportación anual	4,150,000	tallos
Peso por rosa (aproximado)	26.67	gramos
1 tonelada	75,000	rosas
Costo anual en agua	\$4,493.75	
Ciclo de Crecimiento	100	días

Floralstar no emplea ningún software o programa para el cálculo de los requerimientos de riego de los cultivos, este se efectúa en base a la experiencia de los operarios. Existe una gran diferencia entre el riego efectuado en el periodo de invierno y

en el verano principalmente por factores como la temperatura y la humedad. Esta diferencia puede ser percibida en la Figura 8, en donde se tiene picos consumo durante el verano en especial en el mes de Agosto.

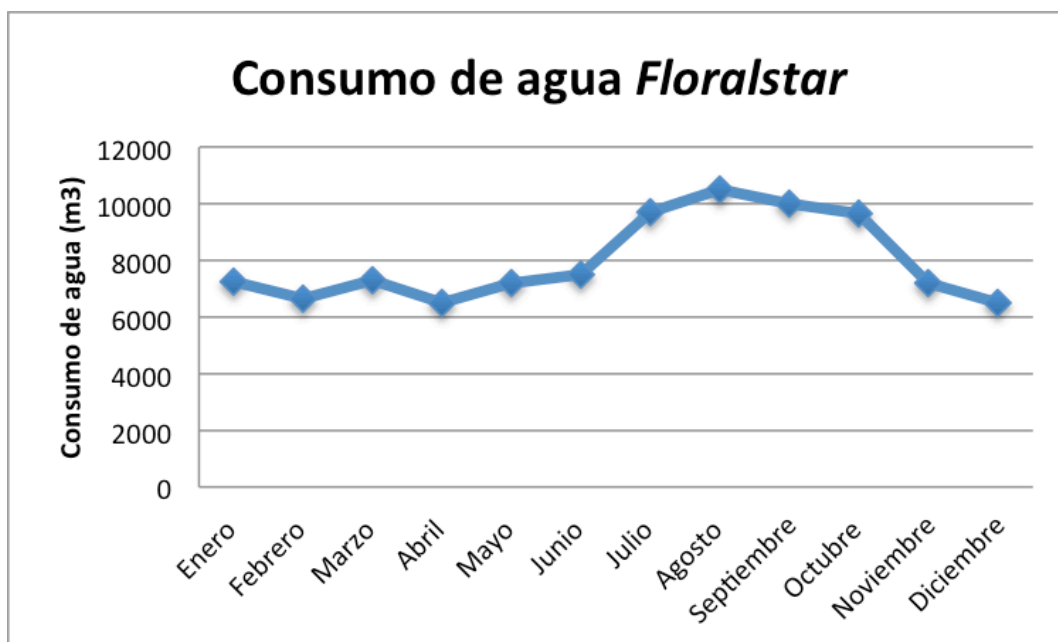


Figura 8 Consumo de agua en 2013.

A partir de los datos de la Tabla 8 y Tabla 23 (ver Anexo 8), se estimó la HH de la empresa por medio de la relación entre el consumo de agua en metros cúbicos por hectárea (m^3/ha) y la producción anual de rosas (ton/ha). Obteniendo así un valor de $1190.10 \text{ m}^3/\text{ton}$ de HH. Se calculó de la misma manera el AV de las exportaciones al multiplicar la HH con la exportaciones de la empresa, en base a lo indicado en la sección 4.1.1.2.2, se obtuvo un AV de 0.0734 Mm^3 .

4.2.3 Cálculo de los Recursos Hídricos

Para calcular de forma más certera la HH y AV, se utilizó el software CROPWAT 8.0 dado por la FAO (ver sección 2.2.4) y posteriormente se desarrolló la metodología de Hoekstra et al., (2011) (ver sección 4.1.1). Por medio del software se

calcula la evapotranspiración de forma directa y esta es aplicada dentro de la metodología de estudio.

4.2.3.1 Determinación del alcance

La extensión de la Cadena de Suministros de *Floralstar* se limitó debido a la disponibilidad de datos de empresas externas. Es decir, el proyecto estuvo enfocado en los procesos operativo de la empresa, ya que estos representan un consumo de agua significativo. El levantamiento del proceso se realizó durante el Julio a y Septiembre del 2014.

Los datos de precipitación para poder realizar el estudio fueron obtenidos del el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAHMI) y los datos de uso de agua fueron obtenidos directamente de la florícola. Debido a que la rosa es cultivada dentro de invernaderos, únicamente se dispone de dos colores de agua de acuerdo a la notación usada para la HH: azul y gris. El objetivo es calcular la cantidad de agua necesaria para la producción anual de rosas (HH) y la cantidad de agua exportada a otras naciones (AV).

4.2.3.2 Ubicación Geográfica

La Florícola está ubicada en las coordenadas geográficas de 0G 1' 41"N latitud y 78G 7' 55"W de longitud con una altura de 2990 msnm, como se muestra en la Figura 9. Se realiza la conversión de las coordenadas para aplicar en el CROPWAT 8.0 y se tiene en grados decimales: latitud de 0.02806 y longitud de -78.13194.

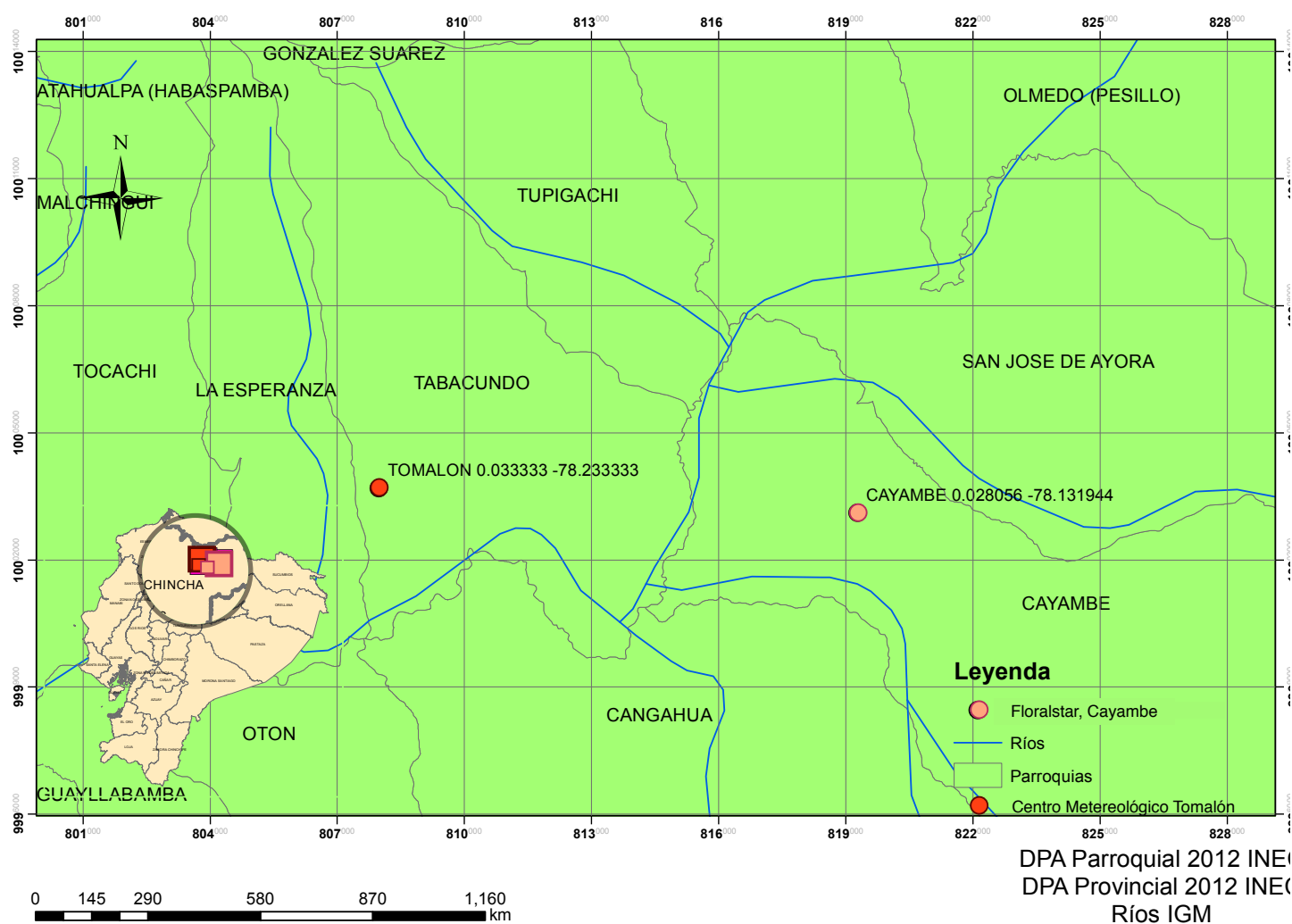


Figura 9 Ubicación de la empresa.

4.2.3.3 Recolección de Datos

Para contabilizar la cantidad de agua usada por la florícola, se empleó el software CROPWAT 8.0. El software está dividido en 4 módulos: Clima/ETo, Precipitación mensual, Cultivo, Suelo. Las variables requeridas para cada uno de los cuatros módulos son:

- Clima/ETo: Temperatura mínima (°C), Temperatura máxima (°C), Humedad (%), Viento (m/s)
- Precipitación mensual (mm)

- Cultivo: Coeficiente de cultivo (Kc), Etapas de crecimiento (días), Profundidad radicular (m), Fracción de agotamiento crítico, Respuesta de rendimiento, Altura del cultivo (m)
- Suelo: Tipo de suelo, Humedad de suelo disponible total (mm/metro), Tasa máxima de infiltración de la precipitación (mm/día), Profundidad radicular máxima (cm), Agotamiento inicial de humedad de suelo (%).

El CROPWAT 8.0 utiliza los datos mencionados para proporcionar datos de salida: Insolación (h), Evapotranspiración (mm/día), Precipitación Efectiva (mm), Humedad de suelo inicialmente disponible (mm/metro) y los requerimientos de agua de cultivo (RAC). (Ver secciones 4.2.3.3.1 y 4.4.3.3.2).

4.2.3.3.1 Datos proporcionados por el INAHMI

En Cayambe, el INHAMI únicamente dispone de una estación de medición pluvial, de donde se extrayeron datos de precipitación. Por este motivo, los datos de temperatura, humedad y viento fueron tomados de la estación de Tomalón – Tabacundo ubicado igualmente en la provincia de Pichincha con latitud 0G 2' 0" N y longitud 78G 14' 0"W (latitud: 0.033°, longitud: -78.233° y elevación: 2271 msnm) (ver Figura 9) (INAHMI, 2014). En base a información proporcionada por personal del INHAMI, los datos meteorológicos de Tomalón y Cayambe son similares y válidos para el presente trabajo. (Ver Anexo 9 donde se presentan los datos).

4.4.3.3.2 Datos base para cálculo (*Floralstar*)

- **Ciclo de crecimiento de la rosa**

Las plantas de la rosa forman diversos tallos de donde brotan flores con diferentes características (Rodríguez y Flórez, 2006). Se van a “tener diversos estadios de desarrollo que van, desde una yema axilar que brota siendo la base estructural de la

planta y de la producción de flores, hasta un tallo listo para cosechar” (Rodríguez y Flórez, 2006).

En la empresa, las rosas tienen un ciclo de cultivo aproximado de 90 a 113 días. La velocidad a la que se desarrolla el botón se ve afectado por la temperatura ambiental. Dentro de este tiempo se van a tener dos periodos: el vegetativo y el reproductivo. En el vegetativo se va a dar el brote de la flor y el desarrollo del tallo (con color rojizo). En el reproductivo “se inicia con la inducción del primordio floral” al presentar un cambio de color en el tallo de rosa (Rodríguez & Flórez, 2006), en donde se genera una variación de los colores tanto del tallo como de las hojas. En el periodo reproductivo, se tienen 4 etapas: arroz (diámetro: 0.4 cm), arveja (0.6 cm), garbanzo (1 cm) y muestra de color (separación de los sépalos de la rosa para observar el color del botón) y corte (dado en base a las especificaciones del cliente en tamaño y forma). El nombre de estas 4 etapas se debe a la similitud entre el tamaño del botón floral con el nombre de la etapa (Rodríguez & Flórez, 2006). *Floralstar* contabiliza las fases de crecimiento de la rosa en las siguientes etapas:

- Etapa del “Arroz” → 42 días
- Etapa de “Garbanzo” → 24 días
- Etapa de “Rayar Color” → 20 días
- Etapa de “Cosecha” → 14 días

- **Coefficiente de Cultivo (K_c)**

El coeficiente de cultivo (ver sección 2.2.4.13) “describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando” (Valverde, 2011), está ligado a las etapas de crecimiento de la planta. El K_c tiene tres etapas: inicial, media y final.

La rosa es un cultivo perenne que durante su etapa inicial requerirá de una menor cantidad de agua pero mientras se desarrolla hasta su etapa de maduración se requiere de una mayor cantidad de agua para obtener una planta con características adecuadas para atender la demanda del mercado. En base a estudios efectuados por Katsoulas et al. (2005), Arévalo et al. (2014) y Valverde (2011), se ha determinado que el valor de K_c varía de 0.8 a 1.26 durante la etapa de crecimiento de la rosa.

Este coeficiente fue determinado en base a la literatura, ya que la empresa no cuenta con este valor y como se explicó en la sección 2.2.4.13, el valor del coeficiente del cultivo es estándar y es independiente de la ubicación geográfica. Por tanto, los valores usados fueron: para la etapa inicial de 0.8, etapa media de 1.26 y etapa final de 1.10.

- **Profundidad radicular**

La empresa ha determinado que la profundidad radicular o el tamaño de la raíz de la rosa es de 50 a 80 cm. El valor más típico dentro de la producción de plantas para la profundidad radicular es de 80 cm con una probabilidad del 85%.

- **Altura del cultivo**

Dependiendo del crecimiento y desarrollo de la rosa, la altura del tallo único de la rosa y la flor, puede variar entre 50 a 90 cm. En vista que el modelo requiere de esta variable, se considera un valor medio de 70cm, por ser el valor más típico dentro de la producción de la planta con una probabilidad del 91%.

- **Tipo de Suelo**

El terreno de la florícola tiene una mezcla de 95% de suelo 'franco' y 5% de suelo 'franco arenoso'. El suelo 'franco' contiene una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla y el suelo 'franco arenoso' contiene un 70% de arena (Casanova, 2005).

- **Humedad de Suelo**

Se aplica mediante la diferencia entre la capacidad de campo (ver sección 2.2.4.4) y el punto de marchitez permanente del cultivo (ver sección 2.2.4.2) que en este caso es de 140 mm/metro.

- **Tasa máxima de infiltración de la precipitación en el suelo**

Depende de las características del suelo, como en este caso se trata de un tipo de suelo ‘franco arenoso’, la tasa será de 8 mm/día Valverde (2011).

- **Agotamiento inicial del suelo**

Se refiere al porcentaje de agua disponible total, de acuerdo a Allen et al. (2006), cuando el suelo está a capacidad de campo, después de una lluvia significativa o riego, el valor del agotamiento es de cero.

4.2.3.4 Cálculo con el software CROPWAT 8.0

Se requiere el valor de la ET_o , para el presente estudio se utilizaron datos del año 2013, presentados en la Tabla 9. Las horas de insolación fueron estimadas por el CROPWAT 8.0 en base a la ubicación geográfica y a datos como la temperatura, la humedad y viento del área de estudio.

Tabla 9 Cálculo de la ET_o en Floralstar, año 2013

Mes	Temp. Min (°C)	Temp. Max (°C)	Humeda d (%)	Viento (m/s)	Insolación (h)	Eto (mm/día)
Enero	13.3	15.9	74	4.7	1.6	2.71
Febrero	13.9	14.3	77	2.2	1	2.17
Marzo	15.2	15.3	70	4.2	1.6	2.96
Abril	14.2	15.3	75	2.5	1.4	2.38
Mayo	14.1	14.6	75	4.9	1.4	2.53
Junio	15.5	15.6	63	7.3	2.1	3.8
Julio	14.8	16.1	57	9.3	2.4	4.61
Agosto	14.9	15.6	60	8.2	2.3	4.21
Septiembre	15.6	16.1	56	8.9	2.2	4.8
Octubre	14.5	15.2	71	2.5	1.7	2.6
Noviembre	14.9	15.3	76	3.4	1.7	2.49
Diciembre	15.1	15.2	72	5.5	1.9	2.96

Promedio	14.7	15.4	69	5.3	1.8	3.19
-----------------	------	------	----	-----	-----	------

La precipitación efectiva total en Cayambe en el 2013 se obtuvo en base a los datos de precipitación mensual proporcionados por el INAHMI y la precipitación efectiva es estimada por medio del CROPWAT 8.0, mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10 Precipitación mensual y efectiva en Cayambe, año 2013,

	Precipitación (mm)	Peff (mm)
Enero	85.4	44.3
Febrero	92.8	50.2
Marzo	71.7	33.4
Abril	73.7	35
Mayo	100	56
Junio	45.4	17.2
Julio	11.1	0
Agosto	12.7	0
Septiembre	42.6	15.6
Octubre	102	57.6
Noviembre	51.3	20.8
Diciembre	41.9	15.1
Total	730.6	345.2

La Tabla 11 se puede observar que no toda la precipitación es totalmente aprovechada por el cultivo; por ejemplo, en el mes de mayo llovió 100 mm y a penas la mitad fue usada por las flores. “Cuando la precipitación es baja, no es aprovechada al máximo ya que se pierde por medio de la evaporación” (Pérez, 2012).

Los datos del suelo de *input* para el programa de la florícola son: humedad de suelo disponible total, tasa máxima de infiltración de la precipitación, profundidad radicular máxima, agotamiento inicial de humedad de suelo y humedad del suelo inicialmente; como se puede observar en la Tabla 11.

Tabla 11 Balance hídrico del suelo de Floralstar en el año 2013.

Tipo de Suelo: Franco Arenoso

Datos Generales del Suelo	Cantidad
Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	140 mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	8 mm/día
Profundidad radicular máxima	80 cm
Agotamiento inicial de humedad de suelo (% de ADT)	0 %
Humedad del suelo inicialmente disponible	140 mm/metro

A partir de los datos de la Tabla 10, 11 y 12 del 2013, se obtiene los datos de requerimiento de agua del cultivo (ver Tabla 12) para el periodo de crecimiento de la planta de Abril a Julio generado por el CROPWAT 8.0. Este mismo procedimiento se aplicó para el resto de meses del año (ver Anexo 10). En la Tabla 12, en la primera columna se tiene los meses en los cuales se tendrá el ciclo de crecimiento de la rosa, en la segunda columna se presentan los meses divididos en tres décadas ya que se considera que cada mes tiene 30 días. En la cuarta columna, se tienen el K_c el cual varía dependiente de la etapa de desarrollo en la que se se encuentra el cultivo desde su inicio hasta el corte.

Tabla 12 Resultados: Requerimiento de Agua de Cultivo en el periodo de Abril a Julio del 2013

Mes	Década	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Peff mm/dec	Req.Riego mm/dec
Abr	2	Inic	1.1	2.62	5.2	2.2	5.2
Abr	3	Inic	1.1	2.67	26.7	13.4	13.3
May	1	Inic	1.1	2.66	26.6	18.2	8.4
May	2	Inic	1.1	2.67	26.7	21.5	5.3
May	3	Des	1.1	3.18	35	16.2	18.7
Jun	1	Des	1.15	3.9	39	9.4	29.6
Jun	2	Des	1.24	4.71	47.1	4.7	42.4
Jun	3	Med	1.3	5.29	52.9	3.2	49.8
Jul	1	Med	1.3	5.74	57.4	0.1	57.3
Jul	2	Fin	1.28	6.02	60.2	0	60.2

Jul	3	Fin	1.21	5.5	38.5	0	38.5
				Total	415.5	88.8	328.8

El software CROPWAT 8.0 aplica el análisis del RAC para cultivos sólo a campo abierto, debido a esto, es necesario adaptar las condiciones y variables al presente estudio. Para esto, Mekonnen y Hoekstra (2010) determinan que se debe considerar que la ET_c en condiciones de invernadero es el 65% de las condiciones a campo abierto. La ET bajo condiciones de irrigación es igual a RAC en el periodo de crecimiento del cultivo (Salmoral et al., 2011). Los resultados obtenidos al considerar el 64% de la ET_c se presentan en la Tabla 13, en el Anexo 10 se presentan los resultados para otros períodos.

Tabla 13 Resultados: Requerimiento de Agua de Cultivo en el periodo de Abril a Julio del 2013

Mes	Década	Días	Kc coef	ETc (65%) mm/día	Etc (65%) mm/dec	Peff mm/dec	Req.Riego mm/dec	ET azul mm/per
Abr	2	2	1.1	1.70	3.38	0.88	2.50	3.38
Abr	3	10	1.1	1.74	17.36	5.36	12.00	17.36
May	1	10	1.1	1.73	17.29	7.28	10.01	17.29
May	2	10	1.1	1.74	17.36	8.60	8.76	17.36
May	3	11	1.1	2.07	22.75	6.48	16.27	22.75
Jun	1	10	1.15	2.54	25.35	3.76	21.59	25.35
Jun	2	10	1.24	3.06	30.62	1.88	28.74	30.62
Jun	3	10	1.3	3.44	34.39	1.28	33.11	34.39
Jul	1	10	1.3	3.73	37.31	0.04	37.27	37.31
Jul	2	10	1.28	3.91	39.13	0	39.13	39.13
Jul	3	7	1.21	3.58	25.03	0	25.03	25.03
				Total	269.95	35.56	234.39	269.95

En la Tabla 14 se presentan los datos de ET_c (mm/dec) en base a la ecuación 16,

$$ET_c(\text{mm/dec}) = ET_c(\text{mm/día}) \times \text{Días dentro de 1 década} \quad [16]$$

Como por ejemplo en la Tabla 13, el cultivo se inicia en la segunda década de Abril, al aplicar la Ecuación 16 se obtiene la siguiente solución,

$$ET_c(mm/dec) = 1.70 \times 2días = 3.38 mm/dec$$

La tercera columna de la Tabla 13, muestra el número de días que va a estar dado por los días que hay en cada mes y la ubicación de la década en la que se encuentre. El cálculo del RAC es realizado por el software usando la siguiente expresión:

$$RAC = ET_c(mm/dec) - P_{eff}(mm/dec) \quad [17]$$

La ET azul es igual a la evapotranspiración total ya que no se tiene el componente verde dentro del análisis.

4.2.3.5 Cálculo de la Huella Hídrica

En base a la metodología detallada en la Sección 4.1.1.2.1 sobre el crecimiento del cultivo, se calcula la HH de los componentes azul y gris y los resultados se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14 Huella Hídrica de las rosas del 2013

	Verde	Azul	Gris
ET (mm/año)	-	868.86	-
UAC (m3/ton)	-	8688.6	-
Y (ton/ha)	-	9.54	-
HH (m3/ton)	0	910.75	98

En la Tabla 14 se puede observar que el componente verde no está presente debido a que el cultivo está siendo sembrado bajo invernadero, el cual es abastecido por los dos reservorios. La HH Gris fue basada en estudios previos de rosas en invernadero de Mekonnen y Hoekstra (2010), debido a la falta de datos por parte de la florícola.

La Figura 10 presenta los datos de la Tabla 14.

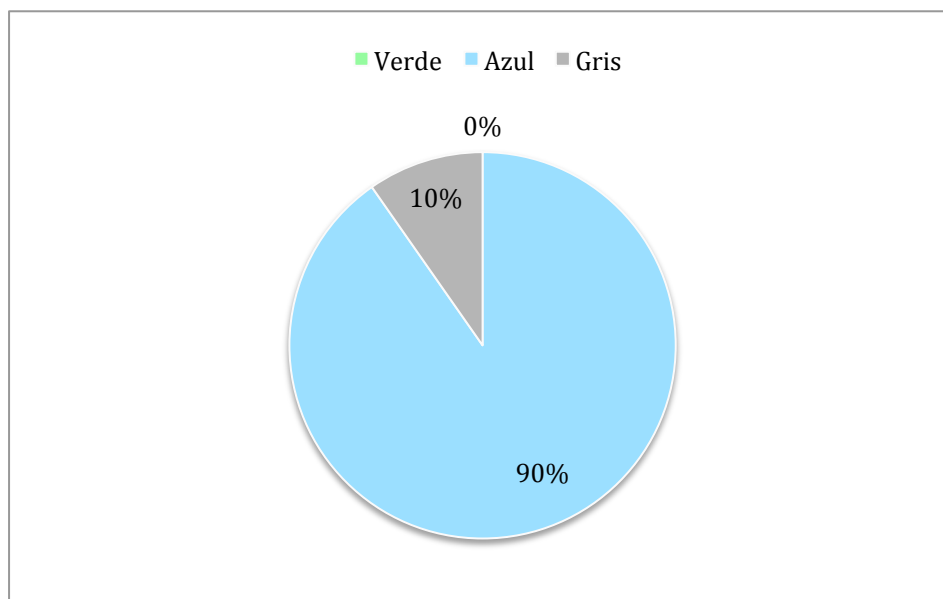


Figura 10 Porcentaje de Huella Hidrica en Floralstar en el 2013

La HH total de la producción calculada de la rosa en la florícola es de 910.75 m³/ton.

4.2.3.6 Cálculo del Agua Virtual

El AV es calculada por medio del método descrito en la Sección 4.1.1.2.2 y Salmoral et al. (2010) de acuerdo a la expresión:

$$AV_{exp} = HH \times E \quad [18]$$

En donde,

E = Total de productos exportados.

El AV de exportación se refiere al flujo del agua intercambiada de una nación a otra. Para el presente proyecto se calculó el AV para las exportaciones de rosas de la empresa y del país. La empresa en el 2013 exportó 62.4 toneladas de rosas y el Ecuador exportó 156,523 toneladas de rosas (INEC, 2014).

Los datos necesarios para el cálculo de la HH se presentaron previamente en la Tabla 14.

Tabla 15 Exportación de Agua Virtual de las Rosas para el 2013

	Verde	Azul	Gris	Total
AV (<i>Floralstar</i>)	0	56,830.8 m ³	6,115.2 m ³	0.0629Mm ³
AV Ecuador	0	142,553,240.2 m ³	15,339,254 m ³	157 Mm ³

Por lo tanto, el AV de la empresa es de 0.063 Mm³ y del país es de 157 Mm³.

Para este caso no se realiza el cálculo del Agua Virtual de las importaciones, ya que al Ecuador no se importan rosas (INEC, 2014).

4.2.4 Productividad aparente del agua (PAA)

La productividad aparente es un término económico que relaciona la cantidad de producto elaborado en relación con la mano de obra. Salmoral et al. (2010) transfirió este concepto dentro del ámbito del agua al analizar la PAA para determinar el beneficio económico al evaluar la ganancia obtenida (precio de las rosas) por unidad de agua y se calcula usando la Ecuación 19:

$$PAA = \frac{\sum(Pr \times T_i)}{HH} \quad [19]$$

En donde la PAA es medida en dólares por metro cúbico en el año

$\sum(Pr \times T_i)$ es precio del mercado expresado en dólares por tonelada de las rosas.

La empresa exporta flores a diferentes destinos (ver Sección 3.9.5.1), ganando alrededor de \$7.70 por bonche en el mercado internacional y \$3.00 el bonche a nivel nacional.

Tabla 16 Cálculo de la PAA

Cultivo	\$/ton	HH cultivo (m ³ /ton)	PAA (\$/m ³)
Rosa	2,310	910.75	2.54

La En donde la PAA es medida en dólares por metro cúbico en el año

$\sum(Pr \times T_i)$ es precio del mercado expresado en dólares por tonelada de las rosas.

La empresa exporta flores a diferentes destinos (ver Sección 3.9.5.1), ganando alrededor de \$7.70 por bonche en el mercado internacional y \$3.00 el bonche a nivel nacional.

Tabla 16, presenta datos de la PAA en la producción de las rosas, esto quiere decir que si es rentable producir rosas en Cayambe al considerar el agua como el factor primordial.

4.2.5 Análisis Costo – Beneficio

Para obtener datos más exactos de los requerimientos de riego de los cultivos la empresa debería invertir en materiales y equipos que midan temperatura, radiación, humedad del suelo y evapotranspiración de forma directa. El fin de esto es reducir y optimizar el consumo de agua al analizar tanto el comportamiento del suelo como el estado del cultivo en el que se encuentra. Al mejorar el consumo de agua, se puede llegar a tener una mejor constitución de la planta ya que el hecho de regar agua en exceso no quiere decir que la calidad de esta será mejor (Katsoulas et al., 2005). La calidad va a estar dada por diversos factores tales como la semilla, la temperatura, radiación, manejo del riego.

Por tanto, se propone que la empresa invierta en herramientas para optimizar y reducir el consumo del agua en la florícola. Para esto, se plantea un análisis Costo - Beneficio al realizar un análisis incremental de la Tasa de Rendimiento (TR), con el fin de determinar la factibilidad de esta propuesta y los beneficios que la empresa tendrá. El análisis de Costo – Beneficio ayuda a tomar decisiones respecto a la inversión de un proyecto, al valorar y analizar los costos, y las ganancias que se obtendrán por medio de la elaboración del proyecto (Díaz et al., 1999).

Para la implementación de esta propuesta se debería invertir en las siguientes herramientas detalladas en la Tabla 17.

Tabla 17 Herramientas para Inversión

Herramienta	Descripción
Válvulas volumétrica	Cuantificar el volumen de agua y regulan la presión.
Software para el manejo del riego	Software que controle el estado de la planta junto con los requerimientos de riego. Por ejemplo, el programa emitirá mensajes cuando el riego se ha finalizado, cuando no se llegue a la capacidad de campo, cuando se ha detenido el riego inesperadamente, esto se hace por medio de control de sensores que están sincronizados con el programa.
CROPWAT 8.0	Programa que ayuda a calcular los requerimientos de riego de un cultivo. Además, se puede comparar entre diferentes cultivos el consumo de agua y se puede programar el riego.
Controlador autónomo de riego	Se maneja mediante un programa de forma autónoma para controlar la cantidad de agua necesaria para el riego. Puede controlar un número determinado de válvulas y ser apto para configurar diferentes programas de riego. Es decir es un sistema automatizado que mide la humedad del suelo y revisa el estado de la planta. Este aparato también controla la humedad, radiación y temperatura dentro de un invernadero
Lisímetro	Es un aparato de 50 por 8 centímetros que mide la evaporación y transpiración del sistema (evapotranspiración de cultivo). Para esto se requiere de un tubo de lisímetro de 90 cm junto con un equipo de vacío para el lisímetro.

Por medio de la Tabla 17, se estiman los costos de las herramientas junto con el costo de su implementación y la mano de obra requerida mostrados en la Tabla 19 y Tabla 20. Para este análisis se consideró información de una empresa latinoamericana enfocada en brindar servicios de irrigación con tecnología y datos pertinentes para el desarrollo de este análisis,

- Ingeniero en sistemas para la instalación del equipo, con un costo de \$4 por hora.
- Periodo de instalación dura 5 días (por 8 horas) incluyendo la capacitación de los operarios.
- Actualización de software cuenta el 10% del costo inicial
- Costo por hora del mantenimiento de la maquinaria es de \$2.87
- Tasa de interés empresarial es de 9.52% anual (Banco Central del Ecuador, 2014)

El análisis se basó en dos casos, en el primer caso se incluyó el costo de comprar un software para controlar el riego y en el segundo utilizar el CROPWAT 8.0 que es de uso libre.

En primer lugar se calculó la reducción del costo del agua que se tendría al aplicar un nuevo sistema tecnológico para el control del riego para los dos casos, presentado en la Tabla 18.

Tabla 18 Reducción del costo del agua

Costo del agua anual	
Actual	\$4,493.75
Propuesto	\$3,338.94
Reducción	\$1,154.81

Para el primer caso, se calcularon los costos por herramientas y los costos operativos mensuales incurridos en la inversión, presentados en la Tabla 19.

Tabla 19 Análisis Costo Beneficio con Software

	Herramienta	Unidad	Costo	Total	SUM
Costos Herramientas	Válvulas volumétrica	6	\$44.40	\$266.40	
	Software	1	\$5,000.00	\$5,000.00	
	Controlador autónomo de riego	1	\$2,366.92	\$2,366.92	\$8,890.44
	Lisímetro con pesa	4	\$274.28	\$1,097.12	
	Instalación equipo	1	\$160.00	\$160.00	
Costo operativo	Mantenimiento Software	-	-	\$41.67	\$ 76.17
	Mantenimiento equipo	-	-	\$34.50	

Para el segundo caso, se realizó el mismo procedimiento anterior y se obtiene como resultado la Tabla 20.

Tabla 20 Análisis Costo Beneficio con CROPWAT 8.0

	Herramienta	Unidad	Costo	Total	SUM
Costos Herramientas	Válvulas volumétrica	6	\$44.40	\$266.40	
	Controlador autónomo de riego	1	\$2,366.92	\$2,366.92	\$ 3,890.44
	Lisímetro con pesa	4	\$274.28	\$1,097.12	
	Instalación equipo	1	\$160.00	\$160.00	
Costo operativo mensual		-	-	\$34.50	\$34.50

Se obtuvo la ganancia mensual para los dos casos como la diferencia entre el costo de reducción del agua y los costos operativos mensuales, como se muestra en la siguiente Tabla 21.

Tabla 21 Cálculo del VAN, TIR, PRI

	Caso 1	Caso 2
Reducción de agua (mensual)	\$96.23	\$96.23
Costos operativos (mensual)	\$76.17	\$34.50
Ganancia (mensual)	\$20.07	\$61.73
Ganancia (anual)	\$249.76	\$768.34

Para los dos casos, la ganancia mensual fue convertida a ganancia anual por medio del Valor Futuro y se prosiguió a calcular el flujo de efectivo incremental y el TR incremental con el fin de contrastar este valor con el TMAR. Se consideró que las herramientas pueden tener un periodo de vida de 20 años debido al software y al dispositivo autónomo que se pretende implementar. En la Tabla 22 se puede observar el cálculo.

Tabla 22 Análisis incremental de las dos propuestas en estudio

Año	Flujo Caso 2	Flujo Caso 1	Flujo de efectivo incremental
0	\$3,890.44	\$8,890.44	\$3,890.44
1	\$768.34	\$249.76	\$518.58
2	\$768.34	\$249.76	\$518.58
3	\$768.34	\$249.76	\$518.58
4	\$768.34	\$249.76	\$518.58
5	\$768.34	\$249.76	\$518.58
6	\$768.34	\$249.76	\$518.58
7	\$768.34	\$249.76	\$518.58
8	\$768.34	\$249.76	\$518.58
9	\$768.34	\$249.76	\$518.58
10	\$768.34	\$249.76	\$518.58
11	\$768.34	\$249.76	\$518.58
12	\$768.34	\$249.76	\$518.58
13	\$768.34	\$249.76	\$518.58
14	\$768.34	\$249.76	\$518.58
15	\$768.34	\$249.76	\$518.58
16	\$768.34	\$249.76	\$518.58
17	\$768.34	\$249.76	\$518.58
18	\$768.34	\$249.76	\$518.58
19	\$768.34	\$249.76	\$518.58
20	\$1,750.70	\$4,711.93	\$2,961.24
	i* incremental (TR)		-15%
	TMAR		17.5

Para seleccionar la mejor alternativa se utilizó el siguiente criterio de aceptación extraído de Blank et al. (2006),

- Si $TR < TMAR$ entonces se debe seleccionar el Caso 2

- Si $TR \geq TMAR$, se justifica la inversión adicional y se debe seleccionar el Caso 1.

En base a los resultados de la Tabla 22 y al criterio de selección, se establece que se debe seleccionar la alternativa del Caso 2, es decir, en las herramientas y el CROPWAT 8.0 para el cálculo de los requerimientos de los cultivos.

4.3 Discusión

En el presente trabajo se realiza una comparación entre la HH calculada por medio de la empresa (Sección 4.2.2) y por medio del CROPWAT (Sección 4.2.3) junto con la metodología desarrollada por Hoekstra et al. (2011). Los resultados se presentan en la Tabla 23. Se puede ver que al aplicar un software o programa alternativo para cuantificar el agua necesaria para el cultivo, es posible tener una reducción del 23.47% de la HH en la producción y una reducción del AV del 15.24%.

Tabla 23 Comparación HH Floralstar y propuesto

País	HH (m³/ton)	AV (Mm³)
<i>Floralstar</i>	1190.10	0.13
CROPWAT	910.75	0.11

Usando datos de la Tabla 8 se puede estimar el costo de agua al disminuir la HH. La empresa gasta actualmente \$4,493.75 anualmente por el consumo de 1190.10 m³/ton, al disminuir el HH a 910 m³/ton, el costo estimado se reduce \$3,338.94 por consumo de agua, una disminución del 25.7%.

Para el análisis del intercambio de agua entre el Ecuador y otra nación, se puede comparar el dato obtenido con respecto a otro país latinoamericano. El objetivo de esto es determinar si es factible producir rosas en Ecuador en términos de agua. Esta comparación se realiza con el segundo exportador de flores a nivel mundial que es Colombia (Arévalo, 2012). Los resultados se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24 Comparación Ecuador vs Colombia (Arévalo, 2012).

País	HH (m³/ton)	AV (Mm³)
Ecuador	910.75	157.89
Colombia	900	190

La Tabla 24 muestra que se requiere 1.19% menos agua para la producción de flores en Colombia que en Ecuador. Se puede ver que el intercambio de agua en el Ecuador (AV) es 18.4% menor que en Colombia.

CAPÍTULO 5

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

- La HH es un indicador que tiene como propósito medir el uso del agua a lo largo de la elaboración de un producto. Esto quiere decir que este es un indicador cuantitativo, pero no muestra cómo se debería usar el agua de forma eficiente. Por otro lado, el AV se refiere al agua contenida dentro de un producto de manera “virtual”, es decir la cantidad de agua utilizada durante la elaboración de dicho producto, y analiza el flujo de las importaciones y exportaciones entre naciones. El estudio de ambos conceptos es importante para poder reducir la huella hídrica, consecuencia de las actividades humanas para producir bienes.
- Al analizar la Cadena de Suministro de la empresa *Floraltar*, se delimitó el estudio en base a los datos disponibles. El enfoque estuvo dado en los procesos productivos, en donde se determinó un elevado consumo de agua, la cual no es cuantificada de forma adecuada. El periodo de estudio fue en el 2013 y se vio delimitado por la obtención de datos de precipitación del área de estudio, dados por el INAHMI y datos locales disponibles de la empresa
- El programa CROPWAT 8.0 es un programa que estima los requerimientos de riego de cultivos a campo abierto. Para acoplar a la situación actual de la empresa, se consideró que la evapotranspiración en condiciones de invernadero representaba el 65% de las condiciones de cultivos sembrados en campo abierto. Posteriormente, se cuantificaron los indicadores de la HH y el AV por medio de la metodología de Hoekstra et al. (2011) y de diversos estudios previos.

- La HH fue estimada para el agua azul y gris, ya que debido a la infraestructura de la florícola de invernaderos no se tiene agua verde (precipitación).
- Para el cálculo de la HH y la AV, primero se estimó estos dos conceptos en base a datos de consumo de agua obtenidos por la empresa y posteriormente se contrastó este valor con el cálculo del CROPWAT y la metodología de Hoekstra et al (2011). La finalidad de esta comparación fue mostrar a la empresa el porcentaje posible de disminución del agua.
- La HH de la empresa se calculó en 1190 m³/ton y el AV en 62,946 m³ para el 2013. Los resultados obtenidos de HH y AV a través del software CROPWAT fueron de 910.75 m³/ton y 74,262.24 m³ para el 2013, respectivamente. Al aplicar el software se puede llegar a tener una disminución del consumo del agua del 19%, es decir una reducción de \$1,154.81 para toda la florícola.
- El AV de exportaciones del Ecuador dentro del sector florícola estimado por medio de los requerimientos de riego de la florícola y el valor de las exportaciones de 156,523 toneladas fue de 157.89 Mm³. Al comparar este valor con Colombia se puede ver que el Ecuador exporta 18.49% menos agua que Colombia en el área de la floricultura de rosas.
- La productividad aparente es un medio para estimar el valor del agua de un cultivo. Para las rosas se obtuvo que el agua tiene un valor de 2.54 \$/m³. Al contrastar con otros cultivos del Ecuador, presentados en la Tabla 4 se puede ver que para la producción de rosas el agua tiene efectivamente un valor más alto.
- Al calcular el Costo Beneficio de implementar nuevas herramientas, así como el CROPWAT 8.0 en la empresa, se obtuvo que el proyecto si es viable por medio del uso del VAN, TIR y PRI. La finalidad de éste cálculo es reducir el consumo

de agua en un 23.5% y consecuentemente aumentar las ganancias económicas en la empresa al reducir la cantidad de agua de \$4,493.75 a \$3,338.94 en la florícola.

5.2 Recomendaciones

- Dentro de los invernaderos, cada cama está compuesta por 360 semillas, sin embargo su capacidad es para 400 semillas. Esto quiere decir que por cama se tiene un desperdicio de 40 semillas las cuales pueden generar hasta 7 tallos que al año representa una pérdida de 280 rosas por cama. Se recomienda aprovechar de mejor manera los espacios disponibles, ya que esto representa un desperdicio de consumo de agua y pérdidas para la empresa.
- Realizar estudios sobre el control de calidad del agua es una actividad adecuada, ya que si ésta contiene minerales en exceso, se pueden reducir el movimiento del agua que circula por los tallos, requiriendo así un mayor consumo de agua. Para reducir este problema, se puede usar un sistema de deionización, con el fin de disminuir la carga mineral y que exista un flujo del agua eficiente.
- La inversión en equipos de medición y monitoreo (humedad, temperatura y radiación), ayudaría a obtener datos más exactos en relación al consumo de agua en Cayambe, para así poder realizar cálculos más precisos de la HH y el AV, que permitan una optimización de los mismos.
- La empresa está ubicada en una zona rural, el costo por consumo de agua para la empresa es relativamente bajo (aproximadamente \$4500 anuales). Si la empresa utiliza un software como el CROPWAT se podría lograr una disminución del costo por consumo del agua del 25% debido a un mejor cálculo de las necesidades hídricas de la florícola.

- El nivel de temperatura dentro del invernadero es un factor importante para lograr un adecuado aprovechamiento del agua por parte de las plantas, y evitar una pérdida innecesaria de humedad por evaporación (Katsoulas y Kittas, 2011).
- La Ingeniería Industria puede ser aplicable a una gama extensa de áreas, ya que por medio de su conocimiento se puede utilizar desde servicios como en manufacturas. Es por esto que se aplicó directamente hacia la ingeniería ambiental, con el fin de ver el vínculo existente entre estas dos escuelas, en donde en ambas se requiere del estudio de procesos. Dentro de esta área se tiene un elemento muy importante y vital para el mundo que es el agua, la cual debería ser considerada como un producto que debe ser gestionado de forma adecuada y eficiente a lo largo de los procesos productivos.
- Se puede llegar a estudiar con mayor profundidad la gestión del agua dentro de la Cadena de Suministro de *Floralstar*, ya que en el presente estudio se delimitó el estudio debido a la disponibilidad de datos de las diferentes partes que conforman la cadena.

REFERENCIAS

- Allen, E. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (2006). *Evapotranspiración de cultivo*. Roma: FAO.
- Araya, F. (2009). *Water Footprint; la huella que todos tenemos*. Chile: Water Footprint.
- Arévalo, D. (2012). Una Mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica. *Huella Hídrica Colombia*, 35. Recuperado de http://awsassets.panda.org/downloads/hh_colombia_12c_isbn.pdf.
- Arévalo, J. J., Vélez, J. E., Intrigliolo, D. S. (2014). Determinación de una programación de riego eficiente para el cultivo de la rosa cv. Freedom bajo condiciones de invernadero en Colombia. *Agronomía Colombiana*, 32(1), 95-102.
- Asociación Internacional de Fomento (AIF). (2009). *Agua: Gestión de un recurso escaso y compartido*. Recuperado de http://siteresources.worldbank.org/EXTIDASPANISH/Resources/IDA-Water_resources-ES.pdf
- Banco Central del Ecuador. (2014). *Tasas de Interés Noviembre 2014*. Recuperado de <http://contenido.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorMonF/in/TasasInteres/Indice.htm>
- Ballou, R. (2004). *Logística: administración de la cadena de suministro*. Recuperado de <http://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=ii5xqLQ5VLgC&oi=fnd&pg=PA1&dq=log%C3%ADstica+cadena+de+suministro&ots=u2-FilKpcd&sig=IzTo4xSzlFDASjxI2OWCtPSm3GQ#v=onepage&q=log%C3%A0stica%20cadena%20de%20suministro&f=false>
- Blank, L. y Tarquin, A. (2006). *Ingeniería Económica*. México: McGraw-Hill Companies.

- Casanova, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. Recuperado de http://books.google.com.ec/books?id=k4FXuHW1ozQC&pg=PA81&dq=suelo+franco&hl=es-419&sa=X&ei=oGpYVPiXKoWjgwSknoK4DQ&redir_esc=y#v=onepage&q=suelo%20franco&f=false
- Capó-Vicedo, J., Tomás-Miquel, J. V. y Expósito-Langa, M. (2007). La Gestión del Conocimiento en la Cadena de Suministro. Análisis de la Influencia del Contexto Organizativo. *Scielo*, 18(1), 718-764. doi: 10.4067/S0718-07642007000100017.
- Collado, B., Saavedra, I. P. (2010). *Agua Virtual en los Países en Desarrollo*. (Tesis de maestría, Universidad de Zaragoza). Recuperado de http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:gXsbvI_KR4kJ:www.aquaknow.net/es/system/files/AGUA_VIRTUAL_EN_LOS_PAISES_EN_DESARROLLO.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&client=safari
- Contreras, F. (2006). Clasificación de Especies de Jardín según sus Necesidades Hídricas para la Región de Murcia. *Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario IMIDA*. Recuperado de <http://www.imida.es/docs/equipos/OTRI/WUCO>
- Dastane, N. G. (1978). *Effective rainfall in irrigated agriculture*. Recuperado de <http://www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja1.pdf>
- Díaz, F., y Martínez, Y. S. (1999). Costo-beneficio del tratamiento de la litiasis vesical por el método endoscópico versus cistolitotomía. *MEDISAN*, 3(3), 37-40. Recuperado de http://www.bvs.sld.cu/revistas/san/vol3_3_99/san08399.pdf
- Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones. (2003). *Análisis Sectorial de Flores*. Recuperado de <http://www.proecuador.gob.ec/pubs/analisis-sector-flores-2013/>.

- Dourte, D. R., Fraisse, C. W. (2012). What is a Water Footprint?: An Overview and Applications in Agriculture. *Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida*. Recuperado de <http://edis.ifas.ufl.edu/ae484>
- Ercin, E., Aldaya, M. M., Hoekstra, A. Y. (2012). The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products. *Ecological Indicators*, 18, 392-402. Recuperado de <http://www.waterfootprint.org/Reports/Ercin-et-al-2012-WaterFootprintSoy.pdf>
- Fader, M., Gerten, D., Thammer, M., Heinke, J., Lotze-Campen, H., Lucht, W., y Cramer, W. (2011). Internal and external green-blue agricultural water footprints of nations, and related water and land savings through trade. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 1641-1660. doi: 10.5194/hess-15-1641-2011
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2004). *El Arroz y el Agua: Una larga historia matizada*. Recuperado de <http://www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja1.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (s.f.). *Cosecha y manejo de postcosecha*. Recuperado de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1374s/a1374s07.pdf>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. y Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Londres: Earthscan.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2012). *Producción de flores en Ecuador*. Recuperado de http://www.inec.gob.ec/estadisticas/index.php?option=com_remository&Itemid=&func=startdown&id=1929&lang=es&TB_iframe=true&height=250&width=800

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2014). *Red de estaciones Meteorológicas*. Recuperado de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/red-de-estaciones-meteorologicas/>
- Katsoulas, N., Kittas, C. (2011). *Greenhouse Crop Transpiration Modelling*. Recuperado de http://cdn.intechopen.com/pdfs/22702/InTech-Greenhouse_crop_transpiration_modelling.pdf
- Katsoulas, N., Kittas, C., Dimokas, G., Lykas, Ch. (2005). Effect of Irrigation Frequency on Rose Flower Production and Quality. *Biosystems Engineering*, 93(2), 237-244. doi:10.1016/j.biosystemseng.2005.11.006.
- Lullywhite, R. D., Allan, A. J., Chapagain, A., Garnett, T. (2012). *Water Footprinting – A review in support of the Defra project WU0120*. Recuperado de http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/lifesci/wcc/research/impact/waterfootprint/wu0120_water_footprint_review.pdf
- Ma, J., Hoekstra, A. Y., Wang, H., Chapagain, A. K., Wangs, D. (2006). Virtual versus real water transfers within China. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 351, 835-842.
- Martínez, J. A. (2014). *Análisis de Costo Beneficio ejemplos de análisis sector privado*. Recuperado de http://gis.jp.pr.gov/Externo_Econ/Talleres/PresentationCB_JP_ETI.pdf
- Mazari, M., (2014). El agua como recurso. Recuperado de <http://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/54/el-agua-como-recurso>.
- Mekonnen, M. M., Hoekstra, A. Y. (2010). Mitigating the Water Footprint of Export Cut Flowers from the Lake Naivasha Basin, Kenya. *UNESCO-IHE*. Recuperado de <http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>

- Mekonnen, M. M., Hoekstra, A. Y. y Becht, R. (2012). Mitigating the Water Footprint of Export Cut Flowers from the Lake Naivasha Basin, Kenya. *Water Resource Manage*, 26, 3725-3742. doi: 10.1007/s11269-012-0099-9
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2014). *Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR)*. Recuperado de http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-sostenible-de-regadios/Coeficientes_de_cultivo_tcm7-188677.pdf
- Mora, F. (2009). *Outsourcing & Benchmarking*. Recuperado de <http://www.mercadeo.com/archivos/Outsour%26Benchm.pdf>
- Mpusia, P. (2006). *Comparison of Water Consumption between Greenhouse and Outdoor Cultivation*. (Tesis de posgrado, Geo-information Science and Earth Observation). Recuperado de http://www.itc.nl/library/papers_2006/msc/wrem/mpusia.pdf
- Mula, J., Poler, R. y García, J. P. (2005). Evaluación de Sistemas para la Planificación y Control de la Producción. *Scielo*, 17(1), 19-34. doi: 10.4067/S0718-07642006000100004
- Orr, S., Chapagain, A. (2006). Virtual water: a case study of green beans and flowers exported to the UK from Africa. *Department for international development*, 1(3), 1-20. Recuperado de http://r4d.dfid.gov.uk/PDF/Outputs/EcoDev/60506fresh_insights_3.pdf
- Ovalle, A. J. (2012). *Estimación de la Huella Hídrica de cultivos con potencial energético en la provincia de Limarí, región de Coquimbo, Chile* (Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Chile). Recuperado de <http://www.tesis.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114948/cybertesis.pdf?sequence=1>

- Pérez, S. I. (2012). *Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador* (Tesis de pregrado, Universidad Zamorano, Honduras). Recuperado de <http://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/911>
- Ramírez , S. A., Peña , G. E. (2011). Análisis de comportamiento caótico en variables de la cadena de suministro. *Scielo*, 16(31). Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-18862011000200006
- Rodríguez, W. E., Flórez, V. J. (2006). Comportamiento fenológico de tres variedades de rosas rojas en función de la acumulación de la temperature. *Agronomía Colombiana*, 24(2). Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-99652006000200006&script=sci_arttext
- Ross, S. A., Westerfield, R. W., y Jordan, B. D. (Ed. 9). (2010). *Fundamentos de finanzas corporativas*. México: The McGraw-Hill.
- Salmoral, G., Aldaya, M. M., Chico, D., Garrido, A., Llamas, M. R. (2011). The water footprint of olives and olive oil in Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(4), 1089-1104. doi: <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/20110904-035-11>
- Sapag, N. (Ed. 2). (2011). *Proyectos de Inversión formulación y evaluación*. Santiago de Chile: Pearson.
- Schubert, H. (2011). *The Virtual Water and the Water Frootprint Concepts*. München: acatech Materialien.
- Silva, P., Acevedo, E., Silva, H. (2000). Laboratorio relación Suelo-Agua-Planta. Universidad de Chile, *Facultad de CS. Agronómicas*, Recuperado de http://www.sap.uchile.cl/descargas/libros/Manual_de_estudio_y_ejercicios.pdf

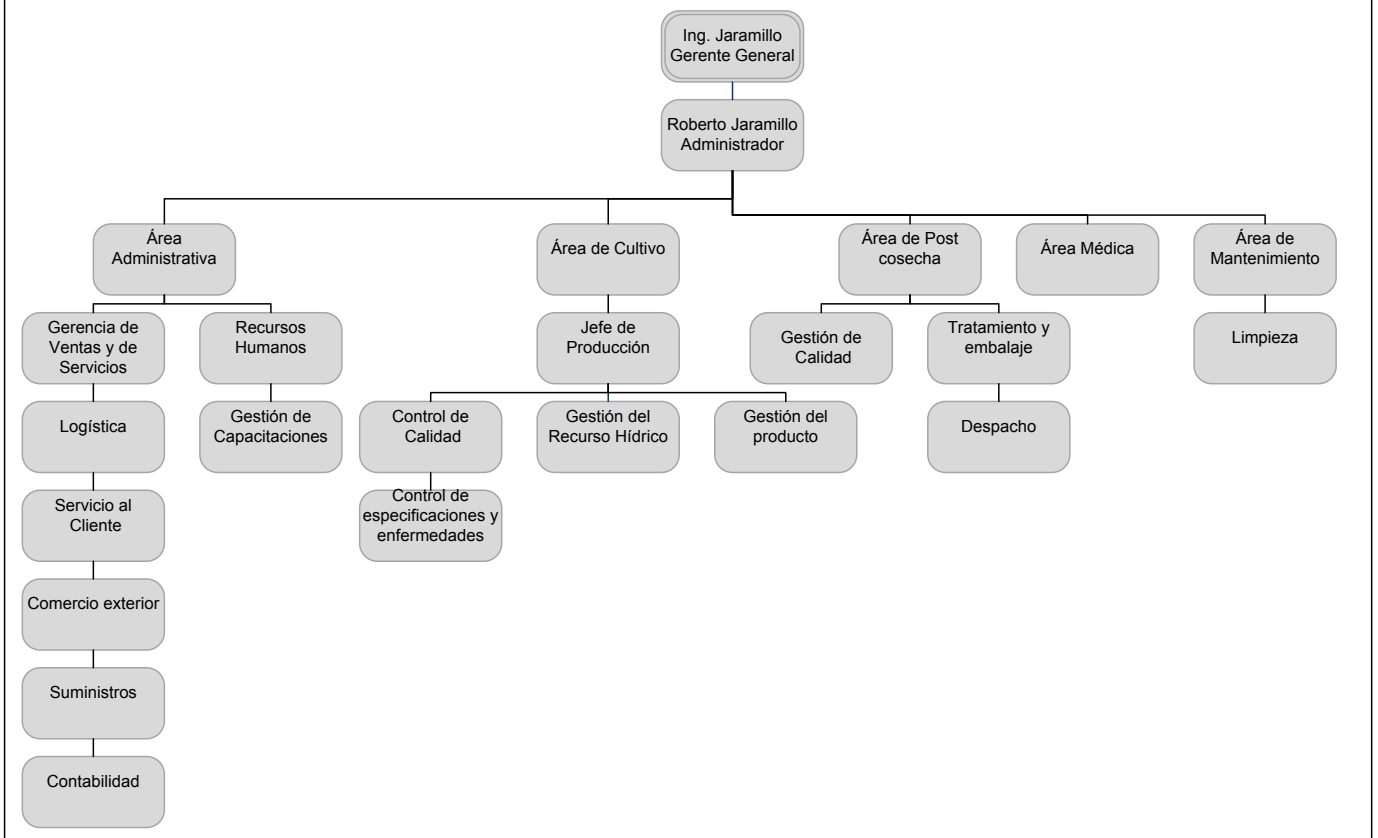
- Slone, R., Dittman, P., Mentzer., J. (2012). *Transformando la cadena de suministro: innovando para la creación de valor en todos los procesos críticos*. España: PROFIT.
- Trezza, R. (n.f.). *CROPWAT para Windows*. Recuperado de http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf
- Universidad de Puerto Rico. (s.f.). *Programa de manejo de aguas de esorrentía*. Recuperado de <http://www.uprm.edu/manejodeaguas/>
- Valverde, J. C. (2011). Estudio de requerimientos hídricos en el cultivo de rosas en invernadero en Llano Grande de Catargo, Costa Rica. *Boletín ProNAP* 5(30), 6-10. Recuperado de [http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP5\(30\).pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP5(30).pdf)
- Velázquez, E., Madrid, C. y Beltrán, M. J. (2010). Rethinking the Concepts of Virtual Water and Water Footprint in Relation to the Production–Consumption Binomial and the Water–Energy Nexus. *Water Resour Manage*, 25, 743-761. doi: 10.1007/s11269-010-9724-7
- Vincent, D. (2011). Belgium and its Water Footprint. *Water Footprint Organization*. Recuperado de <http://www.waterfootprint.org/Reports/Vincent-et-al-2011-WaterFootprint-Belgium.pdf>
- Zhang, C., McBean, E. A., Huang, J. (2012). A Virtual Water Assessment Methodology for Cropping Pattern Investigation. *Water Resour Manage*, 28, 2331-2349. doi: 10.1007/s11269-014-0618-y
- Zygmunt, J. (2007). *Hidden Waters*. Recuperado de www.waterwise.org.uk

ANEXOS

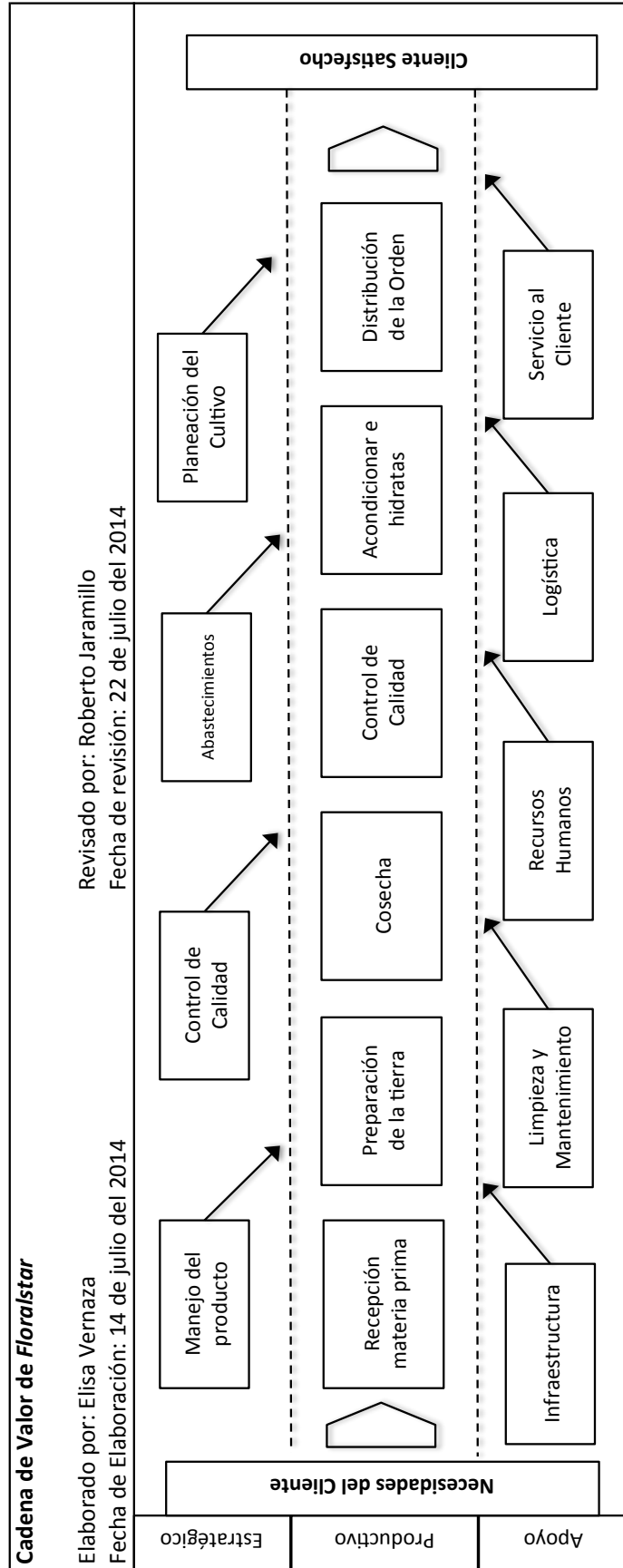
ANEXO 1 – Estructura organizacional de *Floralstar***Organigrama Floralstar**

Elaborador por: Elisa Vernaza
 Fecha de elaboración: 22 de julio del 2014

Revisado por: Roberto Jaramillo
 Fecha de revisión: 4 de agosto del 2014



ANEXO 2 – Cadena de Valor de *Floralstar*

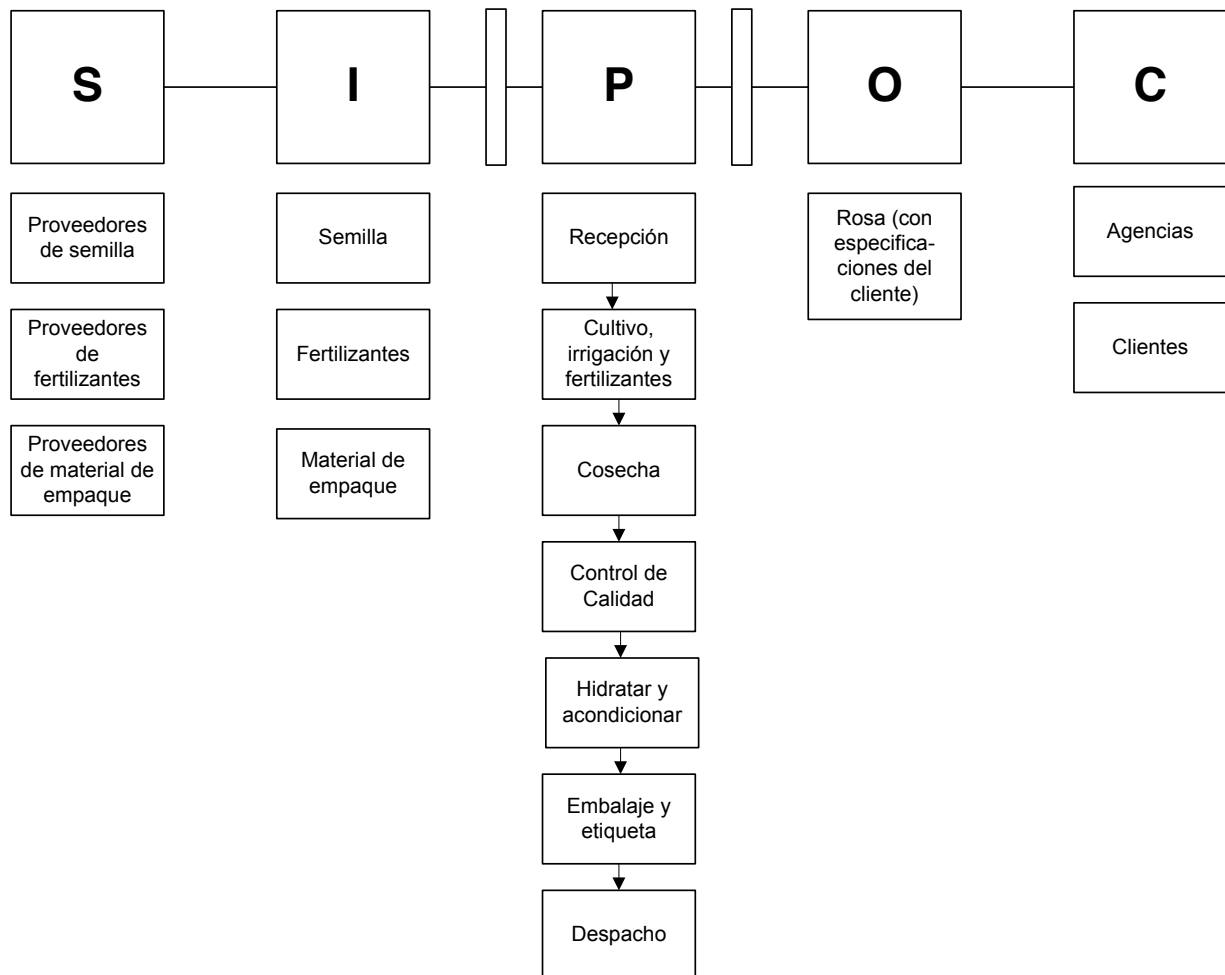


ANEXO 3 – Diagrama SIPOC de *Floralstar*

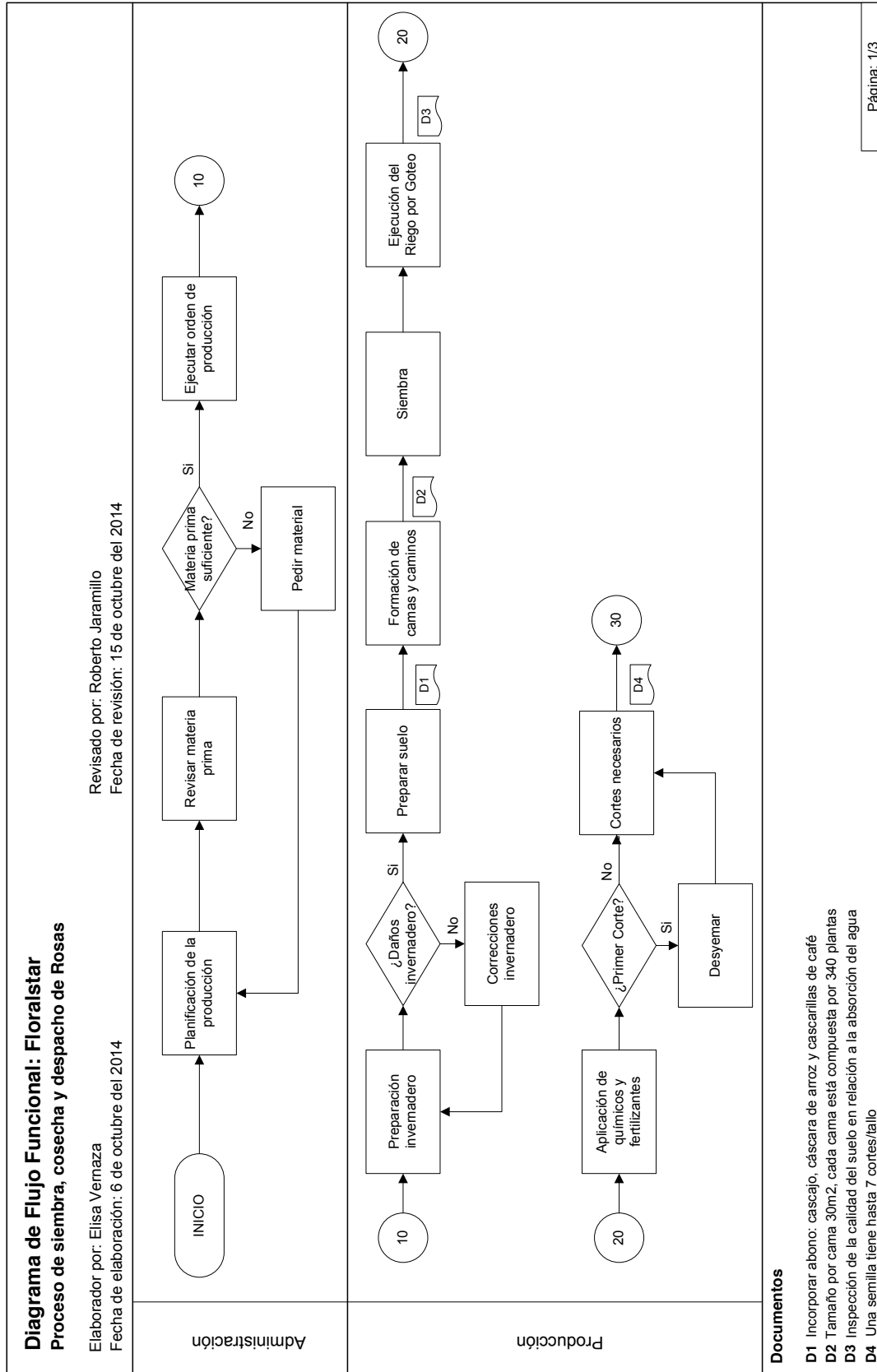
Diagrama SIPOC del Proceso de Rosas

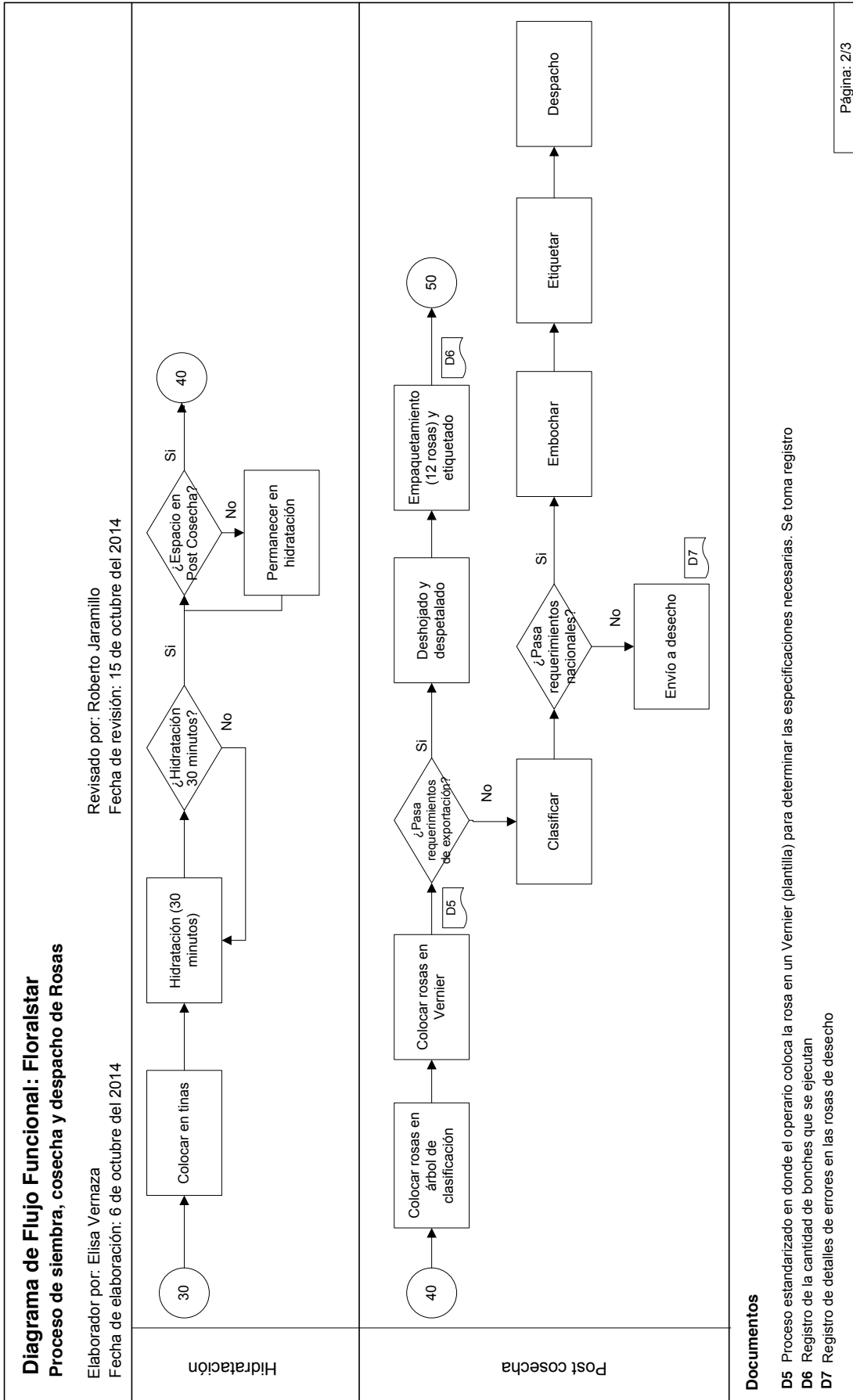
Elaborador por: Elisa Vernaza
Fecha de elaboración: 14 de julio del 2014

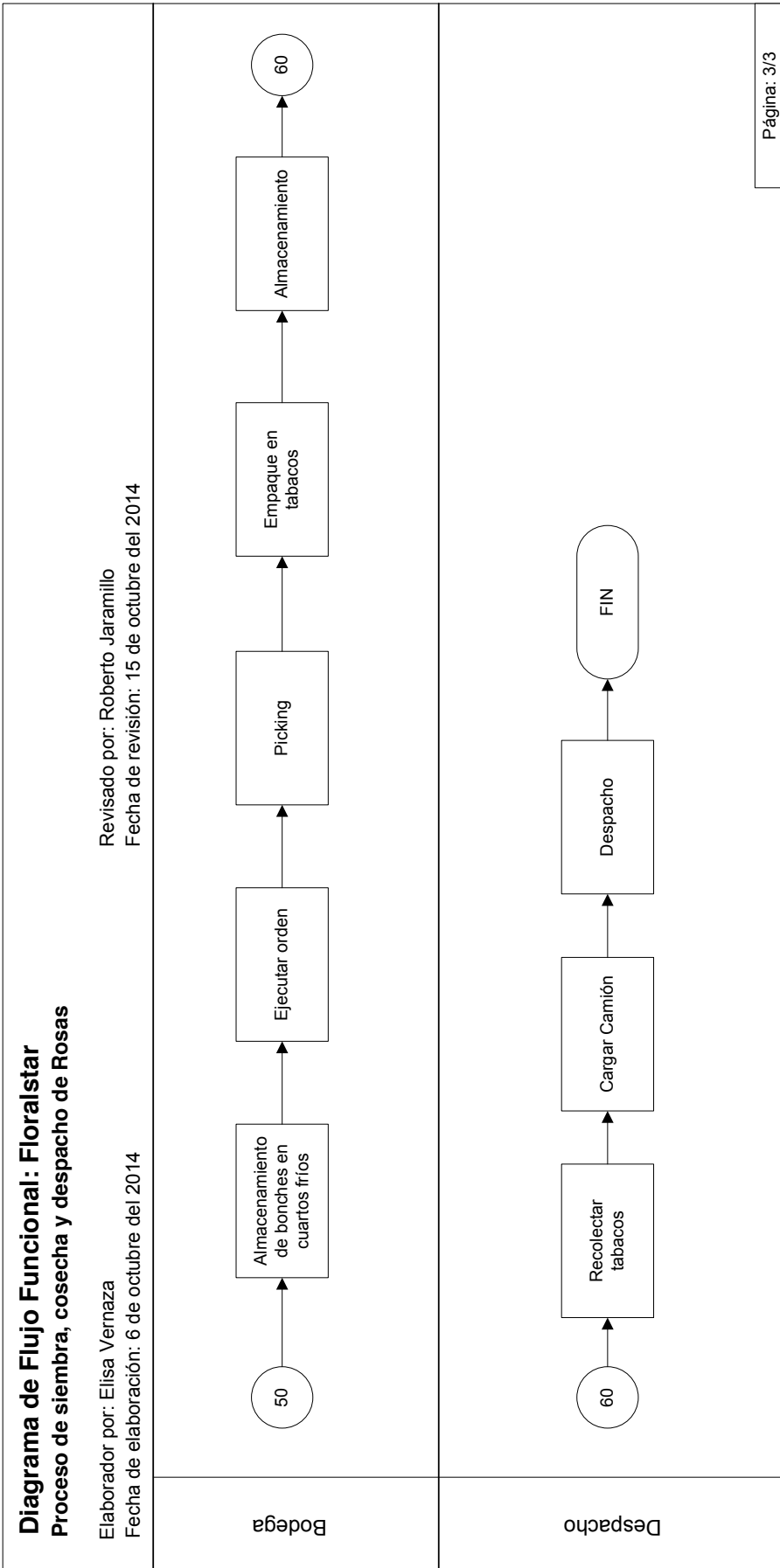
Revisado por: Roberto Jaramillo
Fecha de revisión: 22 de julio del 2014



ANEXO 4 – Diagrama de flujo funcional de *Floralstar*







ANEXO 5 – Diagrama de la Cadena de Suministros de *Floralstar*

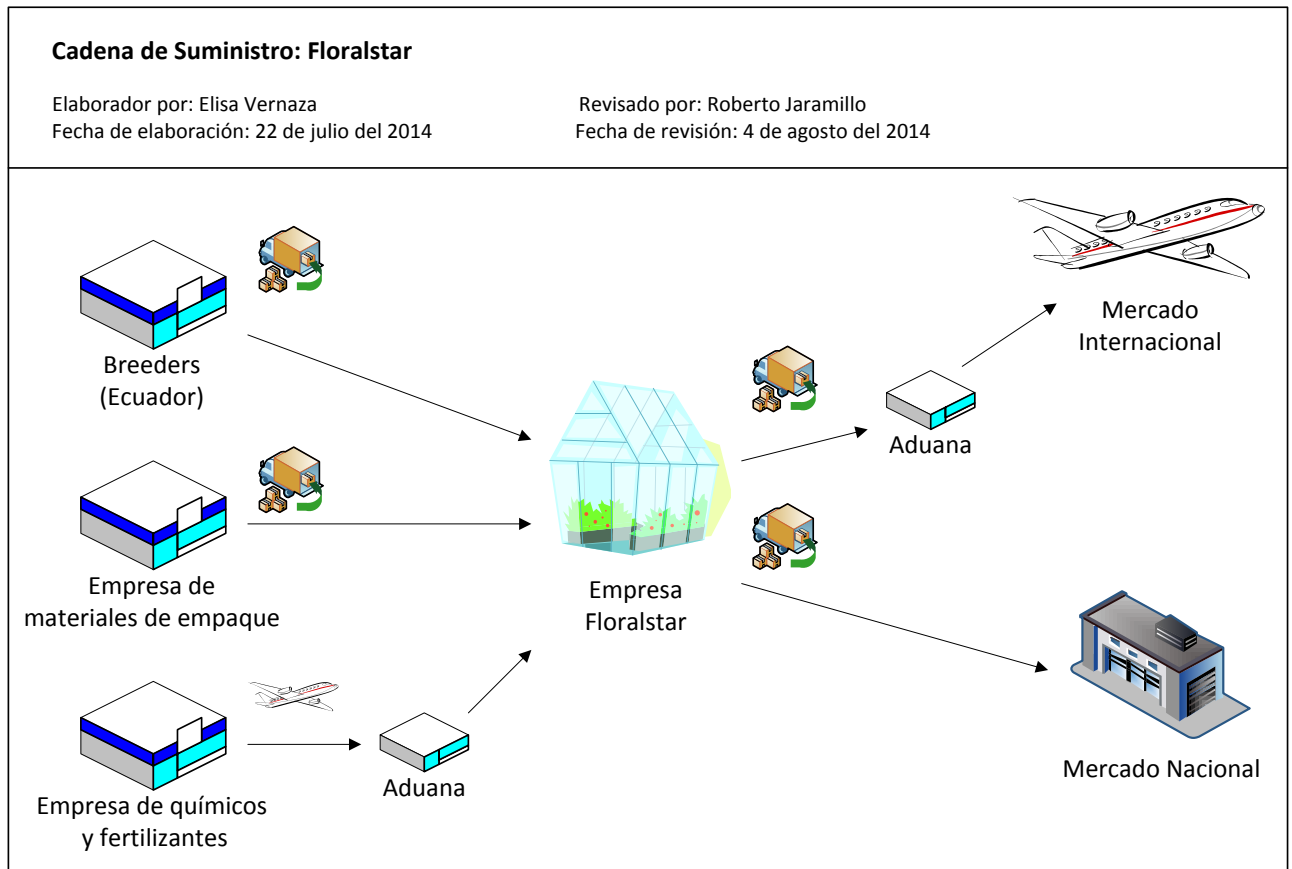


Figura 11 Diagrama de la Cadena de Suministro de Floralstar.

ANEXO 6 – Procesos Cíclicos de la Cadena de Suministros de *Floralstar*

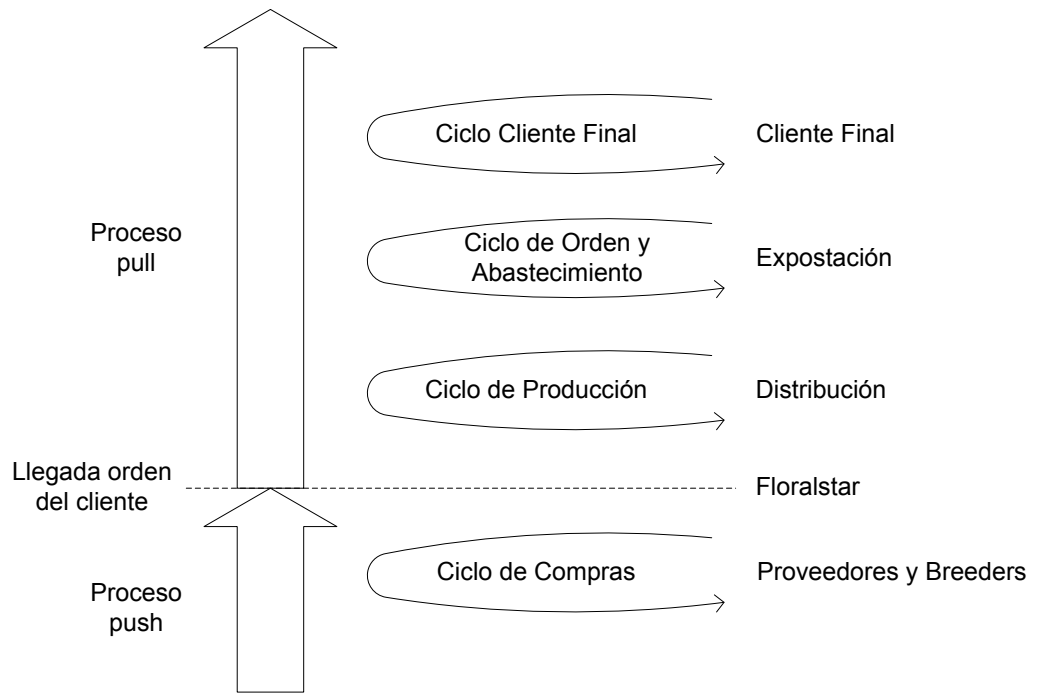
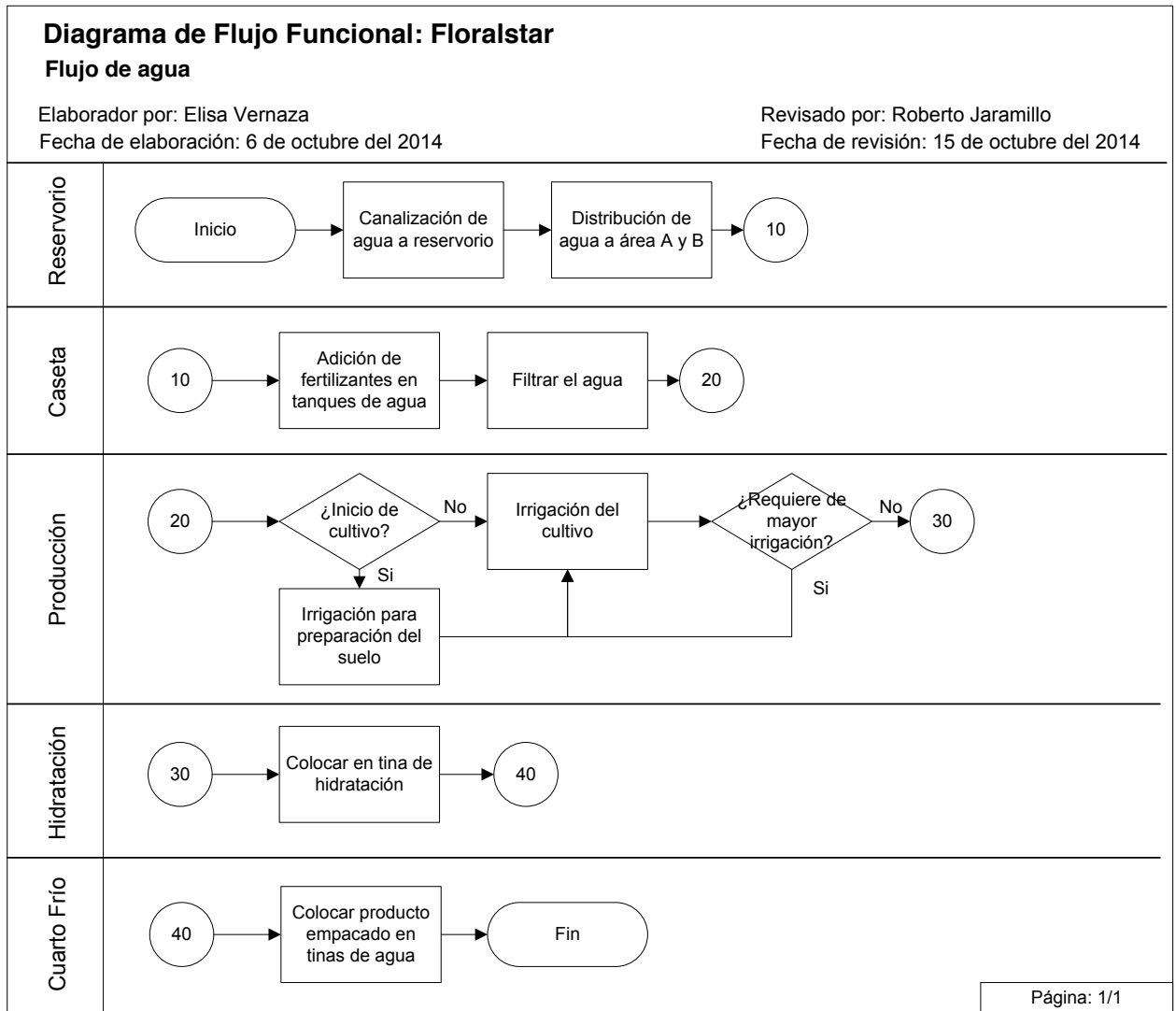


Figura 12 Procesos de la empresa.

En la Figura 12, se considera que la empresa opera el 40% bajo un ciclo *push* y un 60% bajo un ciclo *pull* el cual es determinado por el cliente.

ANEXO 7 – Diagrama de flujo funcional de agua en *Floralstar*



ANEXO 8 – Consumo de Agua en el 2013

Tabla 25 Consumo de los Recursos Hídricos en Floralstar.

Mes	Consumo (m³)
Enero	7230
Febrero	6650
Marzo	7310
Abril	6500
Mayo	7200
Junio	7500
Julio	9700
Agosto	10500
Septiembre	9980
Octubre	9672
Noviembre	7200
Diciembre	6500
Total	95942 m³

ANEXO 9 – Recolección de Datos INAHMI

Tabla 26 Temperatura expresada en porcentaje. Fuente: INAHMI (2014).

AÑOS	2013	Media	Mínima	Máxima
ENE	15.9	14.6	13.3	15.9
FEB	14.3	14.1	13.9	14.3
MAR	15.3	15.2	15.2	15.3
ABR	15.3	14.7	14.2	15.3
MAY	14.1	14.3	14.1	14.6
JUN	15.6	15.5	15.5	15.6
JUL	14.8	15.4	14.8	16.1
AGO	14.9	15.2	14.9	15.6
SEP	15.6	15.8	15.6	16.1
OCT	14.5	14.8	14.5	15.2
NOV	15.3	15.1	14.9	15.3
DIC	15.1	15.1	15.1	15.2
Suma	180.7	180.2	13.3	16.1
Media	15	15		

Tabla 27 Humedad Relativa expresada en porcentaje. Fuente: INAHMI (2014).

AÑOS	2013	Media	Mínima	Máxima
ENE	71	74	71	78
FEB	81	77	74	81
MAR	79	70	62	79
ABR	76	75	74	76
MAY	84	75	67	84
JUN	63	63	63	64
JUL	55	57	55	59
AGO	60	60	60	61
SEP	57	56	56	57
OCT	71	71	71	71
NOV	72	76	72	81
DIC	72	72	72	73
Suma	841	830	55	84
Media	70	69		

Tabla 28 Viento-Dirección expresado en m/s. Fuente: (INAHMI,2014).

AÑOS	2013	Media	Mínima	Máxima
ENE	5.8	4.7	3.6	5.8
FEB	2	2.2	2	2.5
MAR	2.1	4.2	2.1	6.3
ABR	2.7	2.5	2.4	2.7
MAY	2	4.9	2	7.8
JUN	6.7	7.3	6.7	7.9
JUL	10	10.5	10	11
AGO	8.4	8.2	8.1	8.4
SEP	7.9	8.9	7.9	10
OCT	2.5	2.5	2.5	2.6
NOV	3.8	3.4	3.1	3.8
DIC	8	5.5	3	8
Suma	61.9	65.1	2	11
Media	5.1	5.4		

Tabla 29 Hilofanía Efectiva Mensual expresado en hora. Fuente: (INAHMI, 2014).

AÑOS	2013	Media	Mínima	Máxima
ENE	206.4	162.1	117.9	206.4
FEB	105.5	100.8	96.1	105.5
MAR	170.5	164.6	158.7	170.5
ABR	151.3	143.2	135.1	151.3
MAY	117.6	136.9	117.6	156.2
JUN	217	214.6	212.2	217
JUL	233.8	244.1	233.8	254.5
AGO	219	232.6	219	246.2
SEP	182.6	219.6	182.6	256.6
OCT	180.7	171.7	162.8	180.7
NOV	192.2	174.1	156	192.2
DIC	201	194.8	188.7	201
Suma	2177.6	2159.3	96.1	256.6
Media	181.4	179.9		

Tabla 30 Precipitación total mensual (mm). Fuente: (INAHMI, 2014).

AÑOS	2013	2014	Suma	Media	Mínima	Máxima
ENE	68	131.4	442.9	147.6	68	243.5
FEB	142.7	140.4	488.7	162.9	140.4	205.6
MAR	104.3	116.4	272.8	90.9	52.1	116.4
ABR	186.2	40.3	351.2	117	40.3	186.2
MAY	230.8	148.6	414.2	138	34.8	230.8
JUN	85.1	54.5	183.3	61.1	43.7	85.1
JUL	17		17	8.5	0	17
AGO	0		19.5	9.7	0	19.5
SEP	65.6		78.3	39.1	12.7	65.6
OCT	218.5		325.5	162.7	107	218.5
NOV	78.9		198.7	99.3	78.9	119.8
DIC	64.4		130.6	65.3	64.4	66.2
Suma	1261.5		2922.7	1102.5	0	243.5
Media	105.1		243.5	91.8		

ANEXO 10 – Cálculo de la Evapotranspiración por medio del CROPWAT 8.0

En la siguiente tabla se muestra el cálculo de los requerimientos de riego para cada periodo de crecimiento del cultivo, que en total se tendrán 4 periodos en un año. Un periodo de crecimiento se consideró que comprende un rango de los 90 a 120 días. Los datos fueron modificados al aplicar el 65% para la evapotranspiración (mm/dec) y se realizó el cálculo en base a lo explicado en la sección 4.2.3.

Per. Creci	Mes	Dec	Etapa	Días	Kc	Etc	Etc	Etc (65%)	Peff	Req.Riego*	ET azul
						mm/día	mm/dec*	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/per
1	Oct	1	Inic	10	1.1	3.52	35.2	22.88	6.8	16.08	22.88
	Oct	2	Inic	10	1.1	2.64	26.4	17.16	9.16	8	17.16
	Oct	3	Inic	11	1.1	2.67	29.4	19.11	7.04	12.07	19.11
	Nov	1	Inic	10	1.1	2.78	27.8	18.07	4.04	14.03	18.07
	Nov	2	Des	10	1.12	2.79	27.9	18.135	2.2	15.935	18.135
	Nov	3	Des	10	1.17	3.09	30.9	20.085	2.12	17.965	20.085
	Dic	1	Med	10	1.21	3.38	33.8	21.97	1.84	20.13	21.97
	Dic	2	Med	10	1.21	3.58	35.8	23.27	1.36	21.91	23.27
	Dic	3	Fin	11	1.19	3.43	37.7	24.505	2.88	21.625	24.505
	Ene	1	Fin	8	1.11	3.1	24.8	16.12	3.92	12.2	16.12
2	Ene	1	Inic	2	1.1	3.07	6.1	3.965	0.96	3.005	3.965
	Ene	2	Inic	10	1.1	2.98	29.8	19.37	6.32	13.05	19.37
	Ene	3	Inic	11	1.1	2.78	30.6	19.89	6.44	13.45	19.89
	Feb	1	Inic	10	1.1	2.51	25.1	16.315	6.72	9.595	16.315
	Feb	2	Des	10	1.1	2.28	22.8	14.82	7.12	7.7	14.82
	Feb	3	Des	8	1.12	2.64	21.2	13.78	6.24	7.54	13.78
	Mar	1	Des	10	1.14	3.16	31.6	20.54	4.96	15.58	20.54
	Mar	2	Med	10	1.17	3.57	35.7	23.205	4.12	19.085	23.205
	Mar	3	Med	11	1.17	3.32	36.5	23.725	4.28	19.445	23.725
	Abr	1	Fin	10	1.15	2.95	29.5	19.175	4.36	14.815	19.175
Abr	2	Fin	8	1.05	2.5	20	13	3.44	9.56	13	
3	Abr	2	Inic	2	1.1	2.62	5.2	3.38	0.88	2.5	3.38
	Abr	3	Inic	10	1.1	2.67	26.7	17.355	5.36	11.995	17.355
	May	1	Inic	10	1.1	2.66	26.6	17.29	7.28	10.01	17.29
	May	2	Inic	10	1.1	2.67	26.7	17.355	8.6	8.755	17.355
	May	3	Des	11	1.1	3.18	35	22.75	6.48	16.27	22.75
	Jun	1	Des	10	1.15	3.9	39	25.35	3.76	21.59	25.35
	Jun	2	Des	10	1.24	4.71	47.1	30.615	1.88	28.735	30.615
	Jun	3	Med	10	1.3	5.29	52.9	34.385	1.28	33.105	34.385
	Jul	1	Med	10	1.3	5.74	57.4	37.31	0.04	37.27	37.31
	Jul	2	Fin	10	1.28	6.02	60.2	39.13	0	39.13	39.13
Jul	3	Fin	7	1.21	5.5	38.5	25.025	0	25.025	25.025	
4	Jul	3	Inic	4	1.1	5	20	13	0	13	13
	Ago	1	Inic	10	1.1	4.7	47	30.55	0	30.55	30.55
	Ago	2	Inic	10	1.1	4.52	45.2	29.38	0	29.38	29.38
	Ago	3	Inic	11	1.1	4.78	52.5	34.125	0.04	34.085	34.125
	Sep	1	Des	10	1.1	5.29	52.9	34.385	1.08	33.305	34.385
	Sep	2	Des	10	1.11	5.69	56.9	36.985	1.6	35.385	36.985
	Sep	3	Des	10	1.13	4.83	48.3	31.395	3.64	27.755	31.395
TOTAL										868.855	

En donde,

Per. Creci es el periodo de crecimiento, del 1 al 4

Mes representan todos los meses del año de

Dec representa la década

Etapas se divide en cuatro etapas que son:

- Inic: “Arroz” → 42 días
- Des: “Garbanzo” → 24 días
- Med: “Rayar Color” → 20 días
- Fin: “Cosecha” → 14 días

Req.Riego son los requerimientos de riego de los cultivos