



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

TEMA:

**“DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA EN EL CULTIVO DE
ROSAS DE UNA EMPRESA FLORÍCOLA UBICADA EN CAYAMBE”**

AUTOR: ERIKA ADRIANA ROJAS FARINANGO

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. GUILLERMO NEUSA ARENAS, Esp.-MSc

IBARRA-ECUADOR

2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1727464461		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Rojas Farinango Erika Adriana		
DIRECCIÓN:	Pichincha-Cayambe-Los Cipreses		
EMAIL:	earojasf@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	363620	TELÉFONO MÓVIL:	0990063149
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	“DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA EN EL CULTIVO DE ROSAS DE UNA EMPRESA FLORÍCOLA UBICADA EN CAYAMBE”		
AUTOR (ES):	Erika Adriana Rojas Farinango		
FECHA:	09/08/2021		
PROGRAMA:	PRE-GRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería Industrial		
ASESOR/ DIRECTOR	MSc. Guillermo Neusa Arenas		

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de la reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 9 días del mes de agosto del 2021

AUTOR:



Erika Adriana Rojas Farinango

C.C: 1727464461



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

Ing. Guillermo Neusa Arenas, Esp.- MSc, Director de trabajo de grado desarrollado por la señorita estudiante **ERIKA ADRIANA ROJAS FARINANGO**.

CERTIFICA

Que, el proyecto de Trabajo de grado titulado “**DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA EN EL CULTIVO DE ROSAS DE UNA EMPRESA FLORÍCOLA UBICADA EN CAYAMBE**”, ha sido elaborado en su totalidad por la señorita estudiante Erika Adriana Rojas Farinango, bajo mi dirección, para la obtención del título de Ingeniera Industrial. Luego de ser revisada, considerando que se encuentra concluido y cumple con las exigencias y requisitos académicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería Industrial, autoriza su presentación y defensa para que pueda ser juzgado por el tribunal correspondiente

Ibarra, a los 9 días del mes de agosto de 2021.



Firmado electrónicamente por:
**GUILLERMO
NEUSA**

Ing. Guillermo Neusa Arenas, Esp.-MSc
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DEDICATORIA

A Dios que siempre cuida de mí, me llena de fortaleza, quien es mi consuelo en los momentos difíciles y que sobre todo me dio la bendición de contar siempre con mi maravillosa familia.

A mis padres Gloria Farinango y Amilcar Rojas, por enseñarme con el ejemplo que los objetivos se alcanzan con esfuerzo y sacrificio, que no hay nada mejor que el trabajo honesto, que somos un equipo, y como tal debemos apoyarnos, que siempre podemos ser mejores y alcanzar metas más altas. Por mostrarme que una persona no se mide por la cantidad de títulos que tenga, sino por la humildad y valores que posea. Por siempre creer en mí, apoyarme en cada uno de mis sueños, y aunque me vieron fracasar, me levantaron, me consolaron y me invitaron a seguir y mirar hacia adelante.

Aun no encuentro la manera de agradecer todo lo que me han brindado, espero en algún momento llegar a ser como ustedes y llenarlos de orgullo. Por ello, y para merecer un poquito a tanto amor, dedicación, esmero y confianza; esto es para ustedes.

Llena de infinito amor y gratitud, Erika Adriana Rojas Farinango.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

AGRADECIMIENTO

A mis padres, que estuvieron a mi lado en los buenos y malos momentos, que me inculcaron valores y que rendirse jamás era una opción. En ellos encontré las palabras adecuadas para cada momento. Sin su apoyo y guía, no lo hubiera podido lograr. Muchas gracias por todo el amor, les agradezco de todo corazón.

A mis hermanos Anderson, Viviana y Emily, que están a mi lado en cada etapa de mi vida, ustedes son una pieza fundamental para poder hacer realidad mis metas. Ñañitos, hagan lo que les apasione, no importa si para los demás son sueños locos, luchen hasta conseguirlos, porque yo siempre los estaré apoyando. Los amo mucho.

A mi tutor de tesis ing. Guillermo Neusa Arenas, Esp-MSc y asesores MSc Marcelo Vacas y MSc Ramiro Saraguro, quienes son pieza fundamental en el desarrollo y exitosa culminación del presente trabajo de grado.

Finalmente agradezco a mis queridas amigas Denisse, Claudia y Carolina, quienes hicieron de esta, una excelente etapa. Nosotras reímos, lloramos y festejamos juntas; pero al final, el esfuerzo valió la pena. Con ustedes se queda una parte de mi corazón, espero que todas lleguemos a ser lo que un día soñamos, y que nuestra amistad dure muchos años más.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

RESUMEN

Para el estudio de Huella Hídrica se toma en consideración la relevancia del sector florícola en el Ecuador; siendo esta actividad una de las principales fuentes de empleo y generadora de divisas al país, la importancia que tiene el recurso hídrico para la agricultura y en especial para una empresa dedicada al cultivo de rosas en la ciudad de Cayambe.

Esta línea de investigación se proyecta a cuantificar el consumo de recursos hídricos con base en la metodología de la huella hídrica azul, verde y gris; por esto, se desarrolla un análisis de la situación actual y se recopila información de los procesos productivos propios de la empresa. Para el cálculo se utilizaron datos Meteorológicos, hidrológicos y un software especializado (CROPWAT) en la ponderación de requerimientos de riego para el crecimiento óptimo de cualquier cultivo, adaptando los resultados del programa a las condiciones especiales bajo invernadero. A partir de ahí, realizar un estudio comparativo entre lo consumido y lo que se debería consumir en el proceso productivo de la rosa.

A través de este análisis se busca crear estrategias para mitigar el excesivo consumo del recurso, mediante la optimización de los procedimientos de riego, mantenimiento correcto del sistema de riego, adquisición de instrumentos de medición; que permite calcular los requerimientos hídricos para la empresa. Esto generará un uso eficiente, una mejor gestión, generar mayor competitividad frente a su competencia a más de ser reconocida por su entorno como una entidad responsable con el ambiente.

ABSTRACT

For the present study about water footprint, we must take into consideration the relevance the Ecuadorian flower sector, it's so that activity is one of main sources of employment and it's a generator of the country's currency. In addition, the importance of water resources for agriculture and especially for the rose industry that are in the city of Cayambe.

This research is projected to quantify the consumption of water resources, they are based on the methodology of the blue water footprint, green and gray; that's reason that they develop an analysis of Current situation and they collect information about the company's own production processes. To make the calculation they used meteorological data, hydrological and a specialized software (CROPWAT) in the weighting of irrigation requirements for the optimal growth of any crop. It adapting the program's result to the special greenhouse conditions. Thereafter, making a comparative study between the consumed and what should be consumed in the production process of the rose.

Through this analysis it seeks to create strategies to mitigate the overconsumption of the resource with the optimization of the irrigation system, acquisition of measurement instruments that allow calculating the water requirements for the company. They will generate efficient use for better management. In addition, they will obtain greater competitiveness against their competition and they could be recognized in their environment as responsible entities for the environment.

ÍNDICE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
2. CONSTANCIAS	iii
DEDICATORIA	vi
CAPÍTULO I	1
1. GENERALIDADES	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. ALCANCE	4
1.5. METODOLOGÍA	5
CAPÍTULO II	7
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1. NORMATIVA LEGAL ECUATORIANA	7
2.2. HUELLA HÍDRICA	9
2.3. NORMA ISO 14046:2014 HUELLA HÍDRICA	11
2.4. METODOLOGÍA HOEKSTRA	15
2.5. RECURSO HÍDRICO	18
2.7. Criterios de calidad del agua	23
2.8. Cultivo de rosas en el Ecuador	23

2.8.1.	Superficie y producción florícola en Ecuador	24
2.9.	CROPWAT	25
CAPÍTULO III		27
3.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	27
3.1.	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA EMPRESA FLORÍCOLA	27
3.1.1.	Producto	27
3.1.2.	Empresa	27
3.1.3.	Filosofía empresarial	29
3.1.4.	Estructura organizacional	30
3.1.5.	Levantamiento de procesos.....	32
3.1.5.2.	Diagrama SIPOC	32
3.1.5.3.	Procesos	33
CAPÍTULO IV		38
4.	HUELLA HÍDRICA	38
4.1.	Cuantificación de la HH	38
4.2.	Diagnóstico.....	39
4.2.1.	Caracterización del suelo	42
4.3.	Modelamiento	44
4.3.1.	Evapotranspiración	44
4.3.2.	Precipitación efectiva.....	45
4.3.3.	Cultivo.....	45
4.3.4.	Suelo	46
4.3.5.	RAC.....	46

4.3.6.	Evapotranspiración de agua azul.....	46
4.4.	Huella Hídrica	47
4.4.1.	Huella hídrica azul.....	47
4.4.2.	Huella Hídrica Gris	48
4.4.3.	Huella hídrica total.....	50
4.5.	Análisis hidrológicos y meteorológicos del cultivo.	50
4.6.	Análisis del sector florícola y su huella hídrica	53
CAPITULO V		57
5.	PLAN DE MITIGACIÓN.....	57
5.1.	Diagrama Ishikawa	57
5.2.	Diagrama de Pareto	58
5.3.	PLAN DE MITIGACIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO	60
Conclusiones		65
Recomendaciones		66
Referencias bibliográficas.....		67
ANEXOS		72

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Normativa legal	8
Tabla 2: Fundamentación de acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo	9
Tabla 3: Aspectos importantes de las fases en el estudio de la huella hídrica.....	13
Tabla 4: Diferencia entre metodologías de cálculo de la huella hídrica.....	17
Tabla 5: Distribución de los recursos hídricos mundiales	19
Tabla 6: Superficie cosechada de flores	25
Tabla 7: Producción del año 2019.	29
Tabla 8: Estructura organizacional de la empresa florícola.....	31
Tabla 9: Etapas en el cultivo de la rosa	40
Tabla 10: Datos meteorológicos de la estación Tomalón - Tabacundo.....	41
Tabla 11: Datos de precipitación mensual de la estación Cayambe	42
Tabla 12: Profundidad radicular del cultivo de rosas	43
Tabla 13: Volumen de agua utilizada por proceso productivo.....	43
Tabla 14: Información general del cultivo de rosas de la empresa florícola	43
Tabla 15: Cálculo de la evapotranspiración efectiva.....	44
Tabla 16: Resultado de la evapotranspiración	45
Tabla 17: Resultados para la huella hídrica azul de la empresa florícola.....	47
Tabla 18: Productos químicos utilizados en el cultivo de la rosa dentro de la empresa florícola	48
Tabla 19: Límites máximos permisibles de productos químicos dentro del agua de riego	49
Tabla 20: Aplicación estimada de productos químicos dentro de la empresa florícola	49
Tabla 21: Valores de temperatura óptimos para el crecimiento de la rosa, Ecuador.....	51
Tabla 22: Resultados comparativos propuesto.....	54
Tabla 23: tabla de frecuencias ordenadas	58
Tabla 24: Herramientas propuestas a implementar	61
Tabla 25: costos de las herramientas	62
Tabla 26: Plan de Mitigación.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fases de la evaluación de la huella de agua.....	12
Figura 2: Diagrama general del proceso y tipo de información solicitada para el cálculo de la huella hídrica	14
Figura 3: Colores de agua según Hoekstra	16
Figura 4: Tipos de agua para el inventario de huella hídrica	17
Figura 5: Contexto local del sistema hidrográfico.....	21
Figura 6: Realidad hídrica del Ecuador frente a Latinoamérica.....	21
Figura 7: Distribución del potencial hídrico.....	22
Figura 8: Porcentaje de exportación por tipo de flor.	24
Figura 9: Superficie cosechada (hectáreas), según su especie, 2019	25
Figura 10: Ubicación geográfica	28
Figura 11: Estructura organizacional.....	31
Figura 12: Mapa de procesos de la empresa florícola	32
Figura 13: Diagrama SIPOC empresa florícola.....	32
Figura 14: Diagrama de bloque proceso de manejos culturales	34
Figura 15: Diagrama de bloques subproceso riego.	34
Figura 16: Diagrama de bloques del proceso Postcosecha.....	35
Figura 17: Diagramas cuartos fríos	36
Figura 18: Temperatura mínima y máxima del año 2019, estación Tomalón-Tabacundo. 51	
Figura 19: Datos de humedad, año 2019. Estación Tomalón-Tabacundo.....	52
Figura 20: análisis porcentual comparativo de estudios similares	54
Figura 21: Diagrama de Ishikawa excesivo consumo de agua.....	57
Figura 22: Diagrama de Pareto.....	59

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental en el desarrollo y la supervivencia misma de los seres humanos (ONU, 2017). El cambio climático se manifiesta a través del agua. Nueve de cada diez desastres naturales se relacionan con el agua. Los riesgos climáticos vinculados con el agua se extienden en cascada a través de los sistemas alimentarios, energéticos, urbanos y ambientales (Banco Mundial, 2019).

Del agua dulce accesible en el mundo, tan solo una cantidad cercana al 10% es de consumo humano, mientras el 20% se usa en la industria y el 70% en la agricultura (Foro de los recursos hídricos., 2013). Del volumen de agua destinada al riego, un estimado de alrededor de un 25% se pierde por fugas en las diferentes obras de infraestructura hidráulica parte de estos sistemas (Benavides Muñoz, 2019).

La empresa florícola se dedica a la producción de rosas, donde sus procesos están caracterizados por la cantidad de agua utilizada; desde el momento de la preparación del suelo, siembra, control de la planta hasta el almacenamiento del tallo cortado. A pesar de comprender la importancia del recurso, se reconoce que no se concede el valor real del agua. Por tanto, no se aborda de manera extensa al momento de realizar programas de evaluación y gestión internos.

Esta falta de conciencia, conlleva a futuras dificultades de limitación en el crecimiento de la empresa, conflictos con la comunidad, incumplimiento con normativas establecidas o deterioro de su imagen; esto debido a que los requerimientos de los clientes ya no son solo cuestión de calidad, también se centran en los aspectos ambientales involucrados y debe

tomarse como prioridad encontrar procesos más amigables y responsables con el medio ambiente.

Mediante el cálculo de la huella hídrica, se pretende medir la cantidad e impacto que genera el agua consumida en la producción de rosas, dentro de la florícola. Posteriormente evaluar y proponer un plan de mitigación, que permita a la empresa contar con estrategias para optimizar el consumo de agua y contribuir con el cambio de la matriz productiva

1.2.OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Calcular la huella hídrica en el proceso de producción de rosas de una empresa florícola, mediante un análisis de diferentes metodologías, obteniendo resultados con los cuales se puedan generar estrategias donde se permita crear una cultura de ahorro del recurso agua.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fundamentar la base teórica del trabajo de investigación mediante el uso de diferentes fuentes bibliográficas, para definir las herramientas adecuadas que facilite la obtención de información.
- Diagnosticar la situación actual de la empresa y el inventario de huella de agua de los procesos productivos existentes.
- Evaluar del impacto de la huella de agua e interpretar los resultados obtenidos en el estudio.
- Desarrollar un plan de mitigación a partir de la clasificación y priorización, de manera que se implemente una gestión eficiente del recurso hídrico dentro de los procesos productivos.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La producción de rosas tiene un alto grado de impacto al medio ambiente; pues contamina a la salud humana, suelo, agua y aire. Afectando de manera permanente el entorno. En este estudio se toma en cuenta el recurso hídrico; uno de los más utilizados dentro del sector, pues a partir de este se realiza los procesos de: preparación del suelo, riego, fumigación, limpieza, almacenamiento, etc.

Mediante el cálculo de la huella hídrica, se determina el agua consumida en el proceso de producción de las rosas y con base en los resultados se debe generar e implementar estrategias de optimización y prevención de futuros impactos en la calidad y disponibilidad del recurso. Según datos del (MPCEIP, 2019), las empresas florícolas son unas de las importantes fuentes de ingresos, siendo así, la exportación de flores naturales se encuentra entre los principales productos agrícolas no petroleros, que en el primer semestre del año 2019 fue de US\$ 555.5 millones.

El estado ecuatoriano, dentro de artículo 276 de la constitución del Ecuador del año 2008, establece como uno de sus objetivos “Recuperar, conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural” (Constitución de la República del Ecuador, 2008),

Cabe recalcar el interés de la empresa por mejorar la gestión ambiental de su área productivas, se afianza al propósito de la investigación; de tal manera que se obtenga conciencia sobre la forma de uso correcto de un recurso que es limitado. La aplicabilidad del estudio se orienta al análisis de impactos que genera la mala utilización del agua, ofrece datos precisos que contribuyen a la búsqueda de soluciones de mitigación sobre los efectos ambientales adversos.

1.4. ALCANCE

El presente proyecto, tiene como propósito encontrar un indicador de huella hídrica en la producción de rosas de una empresa florícola. Va aplicado en los procesos de siembra, manejos culturales y postcosecha. Mediante un análisis de las fuentes de suministro del recurso, una evaluación del impacto generado dentro de la organización y el resultado del cálculo. Considerando la priorización obtenida, se podrá gestionar un plan de mitigación ambiental, donde consten de acciones estratégicas, labores a ejecutarse y responsabilidades a asumir. Esto con la finalidad de que la organización adquiera una cultura y política de cuidado al medio ambiente.

El estudio está dividido por etapas, estas constituyen la evaluación de la huella hídrica, es decir, el inventario de huella de agua; donde se definirá cada proceso y tipo de agua dentro de la producción, cálculo de los indicadores; estos serán de acuerdo con la metodología más óptima y el análisis de los resultados que se enmarcan en la priorización y acciones propuestas.

Como constancia del trabajo realizado, la empresa contará con el cálculo de la huella hídrica, su interpretación y evaluación; aportando con un plan de mitigación sobre posibles estrategias que permitan mejorar el uso del recurso dentro de sus procesos productivos.

1.5. METODOLOGÍA

La metodología a utilizar se planteará en base a un estudio literario sobre el cálculo de la huella Hídrica y de como esta se puede aplicar dentro de la empresa florícola. El alcance del proyecto está limitado al área de producción de rosas, pues es el lugar en donde existe mayor consumo del recurso hídrico.

Método de investigación

- **Investigación documental:** Este tipo de investigación se aplica para obtener información de acuerdo a los ejes principales del estudio; para este caso, el primer eje se rige en la búsqueda de información sobre la forma en la cual se va a realizar el proyecto, un estado del arte y los conceptos esenciales. El siguiente eje, se enmarca en la recopilación de información, es decir, documentos internos, estudios realizados, datos meteorológicos e hidrológicos, uso del agua, hacia donde va dirigido y datos propios del cultivo.
- **Investigación de campo:** En este tipo de investigación se establece la línea base del proyecto, es decir detallar el flujo del proceso de producción de la rosa, identificación de aspectos ambientales con respecto al agua, además se efectuarán visitas de campo y recopilación de información necesaria en el desarrollo del estudio.

Técnica de investigación

Las técnicas de investigación del trabajo de investigación son:

- **Observación:** Consiste en observar de manera directa o indirecta a las personas, cosas, fenómenos, hechos, acciones y situaciones, relevantes en la recopilación de información necesaria en el desarrollo del trabajo.
- **Entrevista:** Es el diálogo con las personas encargadas de las áreas de la cadena de valor, donde puedan responder preguntas relevantes en el éxito del proyecto.

Instrumentos

- **Notas de campo:** Serán necesarias al momento de realizar la investigación de campo, en estas se tendrán datos puntuales recogidos de forma inmediata.
- **Grabaciones:** Serán necesarias al momento de realizar las entrevistas donde se tendrá en cuenta cada aspecto propio de la técnica.
- **Inventario de huella de agua:** En esta se detallan todas las entradas y salidas de agua con las que cuenta la empresa dentro del proceso de producción, necesaria en cálculo el inventario.
- **Software CROPWAT:** Es un programa desarrollado por la FAO donde brindan datos sobre las necesidades hídricas de un cultivo.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El presente capítulo cuenta de cuatro secciones; el marco legal que consta de normas, leyes y reglamentos nacionales para sustentar el objeto de estudio. También se pretende contextualizar el concepto de huella hídrica, definir sus metodologías y generalidades que ayudaran a determinar el método de evaluación más adecuado y se profundizará en el transcurso del proyecto. Posteriormente se introducirá un panorama mundial y nacional de cómo se encuentra el recurso hídrico, esto ayuda a precisar la importancia de una óptima gestión, y finalmente de abarca temas sobre la actividad florícola a nivel nacional.

2.1. NORMATIVA LEGAL ECUATORIANA

2.1.1. Constitución de la República del Ecuador

El Art. 14 de la Constitución de la República del Ecuador reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*; declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, 2008).

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas que elimine o mitigue las consecuencias ambientales nocivas. (Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, 2008).

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

Art. 411.- dispone que el estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológico asociados al ciclo hidrológico y regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, especialmente en las fuentes y zonas de recarga. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua (Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, 2008).

2.1.2. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua

Esta ley tiene como fin garantizar el derecho al agua, regular y controlar su uso, gestionar de manera integral, preservar y restaurar los recursos hídricos en todas sus fases. En la Tabla 1 se menciona los títulos, secciones y artículos más relevantes en el sustento el proyecto.

Tabla 1: Normativa legal

	NORMATIVA	DESCRIPCIÓN
Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua	Título II: Recursos Hídricos	Art. 13.- Formas de conservación y protección de fuentes de agua
	Sección tercera, Gestión y administración de los recursos hídricos	Art. 34.- Gestión integrada e integral de los recursos hídricos
	Título III: Derechos, garantías y obligaciones	Art. 64.- Conservación, protección, mantenimiento del caudal, restauración y recuperación del ecosistema Art. 65.- Gestión integral del agua
	Sección segunda, de los usos del agua	Art. 90.- Condiciones del otorgamiento de autorizaciones de uso del agua mediante la verificación del cumplimiento de ciertas condiciones
	Sección tercera, Condiciones de autorización para aprovechamiento	Art. 93.- Actividades para el aprovechamiento productivo del agua y requerimientos necesarios de su autorización.

Fuente: (Asamblea Constituyente del Ecuador, 2014).

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

2.1.3. Plan Nacional de Desarrollo (2017-2021). Toda una Vida

Este plan está organizado dentro de tres ejes y nueve objetivos, actúan sobre la base de sustentabilidad y el desarrollo del territorio. En la Tabla 2 se puede observar cual es la fundamentación sobre el que se sustenta el presente trabajo de titulación.

Tabla 2: Fundamentación de acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo

Plan Nacional de Desarrollo	
Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones	Política 3.3.- Precautelar el cuidado del patrimonio natural y la vida humana por sobre el uso y aprovechamiento de recursos naturales no renovables.
	Política 3.4.- Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global.

Fuente: (SENPLADES, 2017).

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

2.2. HUELLA HÍDRICA

La huella hídrica es un indicador que contribuye a la evaluación y mejora de la sostenibilidad de las actividades de las empresas. En particular, permite evaluar todas las actividades relacionadas con el uso de agua en las empresas. Este análisis es complementario con la evaluación de otros indicadores como la huella de carbono, obteniendo así un análisis global de la sostenibilidad de sus actividades. La huella hídrica es un indicador geográficamente explícito, mostrando no sólo los volúmenes de uso del agua y la contaminación, sino también su localización (EsAgua, s.f.).

2.2.1. Aplicaciones de la huella hídrica

El concepto de huella hídrica está siendo utilizado como un referente ambiental a nivel internacional, nacional, sectorial, empresarial, agrícola y personal, es así que puede ser aplicado a:

- Operaciones unitarias
- Productos
- Consumidores
- Áreas geográficas
- Cuencas hidrográficas
- Cuencas Fluviales

En este caso, se aplicará la huella hídrica a un proceso productivo.

2.2.2. Huella hídrica en el Ecuador

Los estudios dedicados a obtener y gestionar la huella hídrica dentro del Ecuador son escasos, no existe una publicación que determine la huella hídrica nacional a comparación de algunos países de Latinoamérica como: Perú, Argentina, Chile y Colombia.

Sin embargo, Ecuador participa en una iniciativa del Banco de desarrollo de América latina. CAF, denominado “Huella de ciudades”, donde forman parte cinco ciudades del Ecuador, que son: Quito, Guayaquil, Cuenca, Loja y la isla Santa Cruz. Este proyecto se ejecuta con los gobiernos municipales e inician con el cálculo de los indicadores, posteriormente plantear estrategias dirigidas a mejorar la gestión del recurso y disminuir su carga contaminante.

A nivel empresarial, los estudios de huellas hídricas se concentran en empresas como: Cervecería nacional, General Motors, AENOR Ecuador y Pronaca. Además de existir un convenio llamado “Llamado de acción” que compromete a 19 empresas a gestionar de mejor manera el agua.

Dentro del marco académico, los estudios sobre huella hídrica se van incrementando, existen estudio dentro de campus universitarios, empresas y orientados al sector agrícola.

2.2.3. Riesgos asociados al agua

Una adecuada gestión de la huella hídrica dentro de las organizaciones puede ayudar contrarrestar varios riesgos asociados al uso del agua, estos son:

- **Físicos:** los riesgos ligados, entre otros factores, a la disponibilidad de agua en las cuencas hidrográficas en las cuales las empresas tienen localizada su producción (EsAgua, 2017).
- **Reputaciones:** hacen referencia a la percepción de los clientes, proveedores y el consumidor final tienen respecto al cuidado al medioambiente y el uso sostenible de los recursos por parte de la organización (EsAgua, 2017).
- **Financieros:** Por su parte, los riesgos están ligados con las pérdidas económicas asociados a la producción, por ejemplo, paros por escasez de agua, incremento en el coste del recurso o consumos no optimizados. Asimismo, también pueden aparecer problemas arancelarios, pues en un futuro se podría empezar a considerar el agua virtual de los productos exportados/importados como base para instaurar los gravámenes (EsAgua, 2017).
- **Legislativos:** Estos se refieren a la regulación de las entidades competentes respecto a los usos y calidades del recurso agua (EsAgua, 2017).

2.3. NORMA ISO 14046:2014 HUELLA HÍDRICA

La huella de agua según ISO 14046, (ISO, 2016), se define como la métrica o métricas con las que se cuantifican los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua, incluyendo la disponibilidad y degradación. La evaluación de la huella de agua según la norma ISO 14046 considera todas las etapas del ciclo de vida, desde la adquisición de las materias primas hasta el fin de vida de un producto o servicio.

La norma ISO 14046 de huella hídrica, aprobada en julio de 2014, tiene un enfoque metodológico basado en el ACV de un producto (o servicio), proceso u organización, el

cual considera los usos directos e indirectos de agua en la cadena de valor correspondiente y los correlaciona a potenciales impactos (COSUDE, Fundación Chile, Agua limpia, 2016).

2.3.1. Metodología de la norma ISO 14046

La metodología implementada por la norma ISO 14046, incluye las cuatro fases del análisis del ciclo de vida; como se observa en la Figura 1.

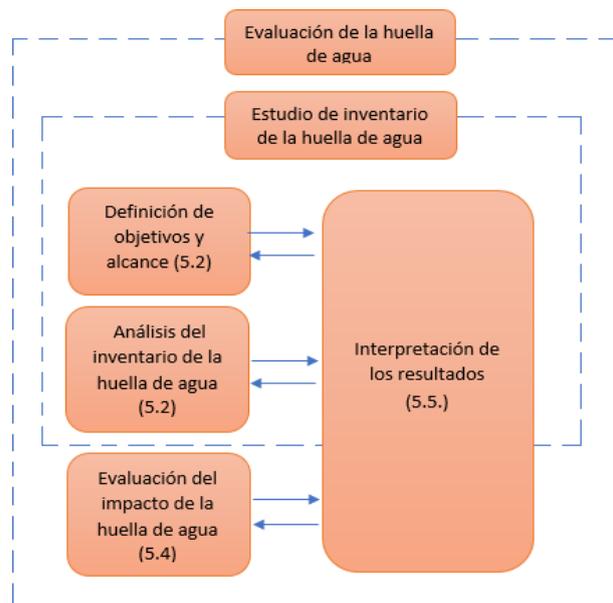


Figura 1: Fases de la evaluación de la huella de agua.

Fuente: ISO 14046:2015.

Elaborado por: Adriana Rojas.

La norma dice que se debe incluir tanto aspectos cualitativos como cuantitativos y al momento de utilizar la base de datos, esta debe ser transparente. Además, en esta norma no se debe considerar tan solo el volumen de agua consumida y contaminada, sino también, una evaluación de los impactos generados (COSUDE, Fundación Chile, Agua limpia, 2016).

En la Tabla 3, se detalla serie de pasos en el cumplimiento eficiente de acuerdo a cada fase de evaluación considerada dentro de la norma ISO 14046.

Tabla 3: Aspectos importantes de las fases en el estudio de la huella hídrica.

Definición del objetivo y alcance	Objetivo del estudio	Aplicaciones previstas, razones por las cuales efectuar el estudio, público objetivo, si forma parte del ACV, si es una evaluación única e independiente.
	Alcance del estudio	Sistema bajo estudio, límites del sistema, unidad funcional, definición y cobertura geográfica y temporal del estudio, datos y requisitos de calidad de los datos, metodología de evaluación del impacto y categorías de impacto seleccionadas, considerar si la evaluación será integral, incertidumbres y limitaciones, justificación y exclusiones del estudio.
Análisis de inventario de la huella de agua	Cálculo de inventario de la huella de agua	Recopilación de datos, validación de los datos, relación de los datos con los procesos unitarios y la unidad funcional, ajuste de los límites del sistema.
	Flujos elementales	Cantidades y tipo de agua utilizada (pluvial, superficial, de mar, etc.), características de calidad del agua, formas de uso de agua (evaporación, integración en el producto, etc.), ubicación geográfica del uso de agua o de su afectación, aspectos temporales del uso de agua.
	Asignación	Cuando los sistemas o procesos producen múltiples productos o servicios.
Evaluación del impacto de la huella de agua	Selección de la categoría de los impactos, indicadores de categorías y modelos de caracterización.	Identificación de los puntos finales, identificación del indicador de categoría en cada punto final de categoría dado, identificación de los resultados de ICV que se pueden asignar a la categoría de impacto, y la identificación del modelo y factores de caracterización.
	Asignación de resultados del ICV a las categorías de impactos seleccionadas de la clasificación	La asignación de los resultados del ICV exclusivos a una categoría de impacto, la identificación de los resultados del ICV que se refieren a más de una categoría de impacto.
	Cálculo de los resultados de indicadores de categoría	Implica la conversión de los resultados del ICV a unidades comunes y la suma de los resultados convertidos dentro de la misma categoría de impacto, mediante factores de caracterización.
Interpretación de los resultados		Identificación de las cuestiones significativas basadas en los resultados de la evaluación de la huella de agua, consideraciones de aspectos geográficos y temporales, conclusiones de la evaluación de la huella de agua, limitaciones de la evaluación, evaluación cualitativa y/o cuantitativa de la incertidumbre, consideraciones del análisis de sensibilidad.

Fuente: Adaptación de la norma (INTE ISO 14046:2015, 2015).

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

2.3.2. Análisis del inventario de la huella de agua

Implica la recopilación y la cuantificación de entradas y resultados relacionados con el agua en productos, procesos u organizaciones como se indica en la definición del objetivo y el alcance (INTE ISO 14046:2015, 2015).

- Preparación para la obtención de datos.
- Recopilación de datos.
- Validación de datos.
- Relacionar los datos y procesos unitarios.
- Relación de datos.
- Suma de datos.
- Ajuste de límites al sistema.

Dentro de la recopilación de información se debe tomar en cuenta las entradas y salidas relevantes, analizando la manera de como contribuyen a los impactos ambientales relacionados al recurso agua.



Figura 2: Diagrama general del proceso y tipo de información solicitada para el cálculo de la huella hídrica

Fuente: SuizAgua 2016.

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

2.4. METODOLOGÍA HOEKSTRA

El concepto de huella hídrica surge en el año 2002 por el profesor Arjen Hoekstra, y a partir de ahí se han desarrollado diferentes iniciativas que buscan una mejor gestión del recurso. Según (Hoekstra, 2015), el concepto es análogo a la huella ecológica y al carbono, pero indica el uso del agua en lugar del uso de la tierra o la energía fósil. La huella hídrica de un producto es el volumen de agua dulce utilizado en la producción producto, medido en los distintos pasos de la cadena de producción. El uso del agua se mide en volúmenes de agua consumidos y contaminados.

2.4.1. Componente de la huella hídrica

De acuerdo con esta metodología, los componentes de la huella hídrica se diferencian por colores, en función del tipo de agua que se considere y se diferencia según su consumo. A continuación, se dará un breve detalle estos colores y su respectivo significado.

2.4.1.1. Huella hídrica azul

La también llamada agua azul se define como el volumen de agua proveniente de aguas superficiales o subterráneas, y que, se extrae para ser utilizada en un producto (Mekonnen. M. Hoekstra, 2016).

Especialmente se encuentra en el sector agrícola y se utiliza para regar los campos o sembríos, para su utilización se requiere una extracción o intervención humana.

2.4.1.2. Huella hídrica verde

Es el volumen de agua de lluvia evaporado o incorporado al producto durante el proceso de producción. Esto es particularmente relevante en los productos agrícolas y forestales (productos a base de cultivos o de madera) y se refiere a la evapotranspiración del agua de lluvia total (García Vega, García Rojas, & Seguí-Amortegui, 2016).

2.4.1.3. Huella hídrica gris

Se define como el volumen de agua dulce requerido en la asimilación de la carga de contaminantes hasta llegar a concentraciones donde cumplan con normas de calidad de agua. Se calcula como el volumen de agua que se requiere en dilución los contaminantes hasta el punto en que la calidad del agua se mantenga por encima de las normas acordadas (García Vega, García Rojas, & Segui-Amortegui, 2016).

En la Figura 3, se puede observar los colores de agua según la metodología de Hoekstra, cada uno con sus respectivos ejemplos esenciales.

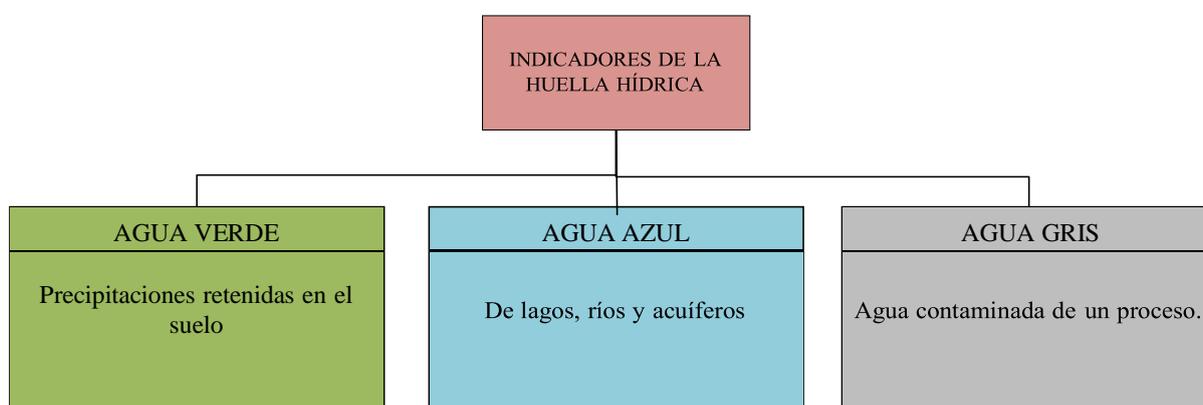


Figura 3: Colores de agua según Hoekstra.

Fuente: (EsAgua, 2017).

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

2.4.2. Contabilidad de la huella hídrica

En la Figura 4, muestra el proceso de contabilización o inventario de la huella hídrica donde en las entradas se considera a toda fuente de agua que puede ser extraída para ser utilizada en el proceso productivo; el agua extraída, vertimientos, consumos y la clasificación del agua según la metodología de Hoekstra.

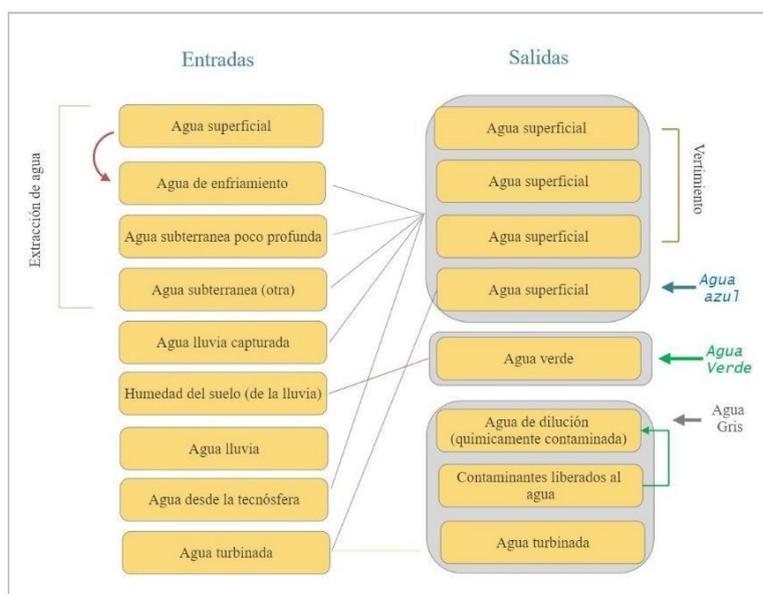


Figura 4: Tipos de agua para el inventario de huella hídrica.
Fuente: (COSUDE Colombia; CNPMLTA, 2015)
Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

Se pueden considerar dos conceptos diferentes de huella hídrica, uno dado por la norma ISO 14046 y la brindada por Hoekstra. Estas tienen ciertas diferencias, las cuales se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Diferencia entre metodologías de cálculo de la huella hídrica

ISO 14046	Hoekstra
Se basa en el análisis de ciclo de vida del producto	El volumen de agua se define de acuerdo al Water Footprint NetWork (WFN)
Los indicadores resultantes son de impacto de punto medio y punto final dentro de una cadena de Causa -Efecto	Se utiliza un indicador que mide la cantidad de agua necesaria para contener la carga contaminante (agua gris)
Sus resultados son indicadores de impacto en la calidad y disponibilidad del recurso.	Su indicador está basado en la medición de la cantidad de agua consumida en la producción de un bien o servicio.

Elaborado por: Adriana Rojas. (2020).

2.5. RECURSO HÍDRICO

El agua es el recurso natural de mayor incidencia en la vida económica y social del país. De su disponibilidad o déficit depende el desarrollo de las actividades de la población, así como su supervivencia (CEPAL, 2012).

El agua se encuentra en múltiples lugares: en la atmósfera, en las gotas de lluvia, el mar, en lagos y ríos, en corrientes subterráneas, en el suelo, cristalizada en minerales o formando parte de los seres vivos (Muñoz Andrés, Álvarez Rodríguez, & Asedegbega Nieto, 2020).

El uso del recurso hídrico puede ser utilizado en muchos sectores, de principal manera en el uso doméstico, industrial, agrícola, minero, recreación, producción de energía, forestal y pesquero, etc.

2.5.1. Fuentes de agua continentales

Las aguas continentales son aquellas que se encuentran sobre o debajo de la superficie terrestre y se encuentran alejadas de las costas, a excepción de las desembocaduras de las corrientes de agua.

2.5.1.1. Agua superficial

Son aquellas que se encuentran por encima de la superficie terrestre, se producen por escorrentía que parte de las precipitaciones o el afloramiento de aguas subterráneas.

2.5.1.2. Agua subterránea

El agua subterránea es aquella que yace debajo de la superficie terrestre, es agua filtrada a través de grietas o rocas, y se almacena dentro de formaciones geológicas con vacíos.

2.5.2. Disponibilidad de agua

Se estima que en el mundo existen unos 1 400 millones de km³ de agua, de los cuales 35 millones (2,5 %) son de agua dulce. El promedio anual de precipitación sobre la tierra alcanza 119 000 km³, de los cuales alrededor de 74 000 km³ se evaporan a la atmósfera. Los 45 000

km³ restantes fluyen hacia distintos cursos de agua, a esto se conoce como recursos hídricos.

En la Tabla 5, se muestra la distribución de agua a nivel mundial (FAO, 2017).

Tabla 5: Distribución de los recursos hídricos mundiales.

Agua	Volumen de agua (millones Km ³)	Porcentaje de agua dulce (%)	Porcentaje total de agua (%)
Agua total	1386		100
Agua dulce	35	100	2,53
Glaciares y capas polares	24,4	69,7	1,76
Agua subterránea	10,5	30	0,76
Lagos, ríos y atmósfera	0,1	0,3	0,01
Agua salina	1351		97,47

Fuente: (FAO, 2017).

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

El crecimiento de la población y el desarrollo de las ciudades, los cambios de clima, el incremento de los índices de contaminación y sobre todo las alteraciones en los patrones de consumo del agua han coadyuvado para un desbalance entre la disponibilidad de fuentes hídricas y la demanda del líquido vital (Fernández, Perez, Salinas, & Cañizares, 2017).

Debido al gran aumento que se producirá en la población, en 2050 la agricultura tendrá que producir un 60% más de alimentos a nivel mundial y un 100% más en los países en desarrollo, con lo que la demanda de agua dulce en este sector aumentará un 20% y su consumo será insostenible si no se gestionan los recursos de una forma mucho más eficiente (Pradana Pérez, 2019).

2.5.3. Escasez de agua

La vulnerabilidad que presentan las regiones marginadas, tanto a los fenómenos meteorológicos como a los efectos del cambio en el ciclo hidrológico provocado por el crecimiento de las zonas urbanas, y por el deterioro de los ecosistemas en las diferentes regiones del país, deben ser la base en el establecimiento las prioridades durante el proceso de gestión

del recurso hídrico (Monforte & Cantú, 2015). A medida que la escasez de agua continuará e intensificará en las zonas secas, el mundo en general corre el peligro de dejar el desafío de la escasez de agua a las generaciones futuras donde se enfrentarán a las consecuencias de las prácticas actuales (ONU, 2020).

2.5.4. Contaminación del agua

La contaminación del agua es cualquier modificación tanto química como física o biológica donde altera la calidad del agua en todos sus contextos y por lo tanto va describiendo un gran efecto dañino en quienes la consumen; como los humanos, las plantas y todas las especies de la fauna (Cumbre Pueblos, 2017).

La contaminación se produce por los residuos vertidos, los fertilizantes, pesticidas o químicos que desembocan en las aguas dulces y que acaban por contaminar también el agua salada (Vasquez, 2017).

Puesto en contexto los seres humanos tenemos la obligación adquirir un compromiso real hacia la naturaleza y tomar como punto clave, la gestión de los recursos hídricos, el tratamiento de las aguas residuales, de modo que se minimice los riesgos a la salud humana y los ecosistemas.

2.6. ESTADO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL ECUADOR

La disponibilidad de agua en Ecuador puede variar de 4'320.000 hm³ en la estación lluviosa, hasta sólo 146.000 hm³ en la estación seca. La precipitación media anual asciende a 2.274 mm, pero la distribución espacial y temporal es muy diversa. Aunque en Ecuador hay una reducción progresiva de la disponibilidad de agua, hasta ahora existe una importante riqueza hídrica. El promedio per cápita de agua en Ecuador alcanzó los 34.161 m³/año en el año 2000 y 32.170 m³/año del año 2005 con lo que superaría varias veces la media mundial, que en el año 1992

se calculaba en 7.400 m³/ha/año, dato que se prevé reducir a 5.100 m³ en el año 2025 (SENAGUA, ARCA, 2017).

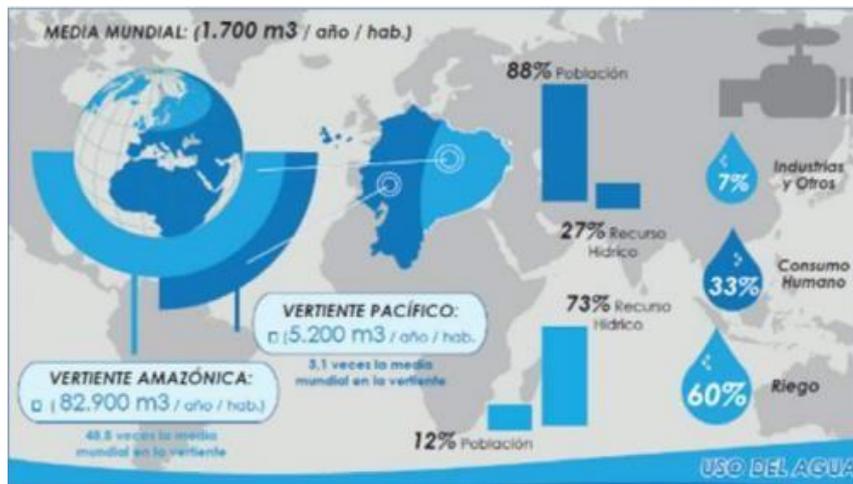
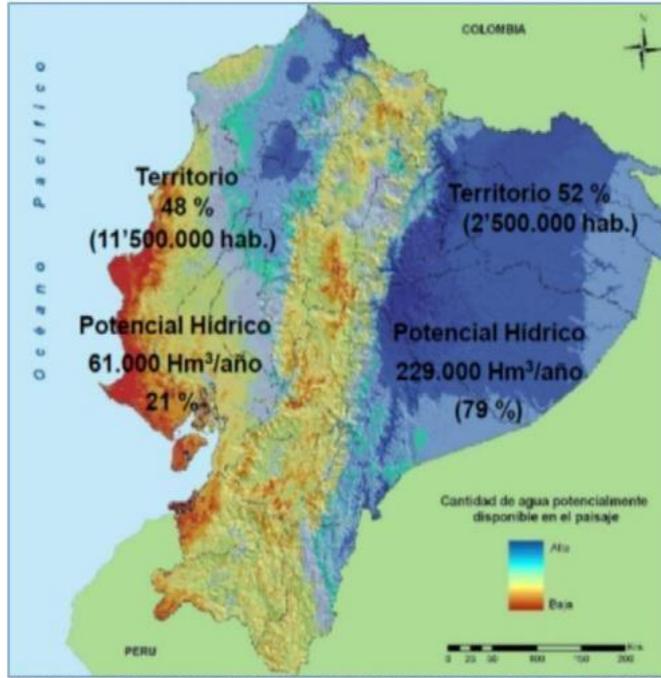


Figura 5: Contexto local del sistema hidrográfico.
Fuente: Boletín de la estadística sectorial del agua, 2017.



Figura 6: Realidad hídrica del Ecuador frente a Latinoamérica.
Fuente: Boletín de la estadística sectorial del agua, 2017.

A través de un balance hídrico se logra observar que la mayor disponibilidad de agua se concentra en la región amazónica, por otro lado, la zona litoral presenta menor disponibilidad, de igual manera las provincias de la zona central del país.



*Figura 7: Distribución del potencial hídrico.
Fuente: SENAGUA.*

Dentro del territorio nacional la cantidad de agua disponible es de $432 \text{ km}^3/\text{año}$. El país se divide en 31 Sistemas Hidrográficos, conformados por 79 cuencas. Estos sistemas corresponden a las dos vertientes hídricas que nacen en los Andes y drenan hacia el Océano Pacífico en un número de 24 cuencas, la cual representan 123.243 km^2 , con un porcentaje de superficie del territorio nacional de 48,07%; y en un número de 7 hacia la Región Oriental, la cual enmarca un área de 131.802 km^2 y que representa el 51,41% del territorio nacional (AQUASTAT-FAO, 2015).

2.6.1. Uso y aprovechamiento de los recursos hídricos en Ecuador

La cantidad de agua demandada depende de parámetros físicos, económicos y sociales. El uso dado al recurso se divide en extractivos y no extractivos. Los extractivos corresponden al abastecimiento urbano e industrial, agricultura y los necesarios hacia fines ambientales. Los usos no extractivos corresponden a los que tienen fines energéticos, navegación y recreativos (Galárraga-Sánchez).

2.7. Criterios de calidad del agua

Sin importar la localización y las condiciones del agua en la naturaleza, si esta se mantiene en contacto con varios elementos pueden alterar su composición fundamental, por lo que es esencial realizar cierto tipo de análisis de ciertos parámetros de acuerdo al uso que se pretenda dar.

Según (Sierra Ramirez, 2011) las propiedades del agua son aquellas características que posee la misma, independientemente de su condición y la distinguen de los demás líquidos, estos son:

- **Densidad.** - es conocida como la masa por unidad de volumen, su valor depende de la temperatura directamente.
- **Viscosidad.** - se define como la resistencia que presenta el agua a la deformación y también depende de la temperatura.
- **Calor específico.** - es la cantidad de calor necesario para elevar 1 °C la temperatura de un gramo de agua
- **Tensión superficial.** - Representa la energía necesaria para romper la capa de moléculas por unidad de área.

Tener conocimiento sobre los parámetros del agua pretende determinar la cantidad de pureza o contaminación contenida y están clasificadas en químicos, físicos y biológicos.

2.8. Cultivo de rosas en el Ecuador

La flora ecuatoriana es considerada una de las mejores del mundo, la variedad de flores que se cultivan cautiva por su calidad y belleza inigualables. De características únicas: tallos gruesos y de gran extensión, botones grandes y colores vivos. Además, el gran distintivo de la rosa ecuatoriana es su prolongada vida en el florero después del corte (PROECUADOR, 2017).

El sector florícola en el Ecuador ha presentado un crecimiento durante los últimos años gracias a la expansión internacional y exportación a países como Estados Unidos, Rusia y

China. En el 2019, las flores ocupan el cuarto lugar dentro de las principales exportaciones del Ecuador. Actualmente, 211 empresas operan dentro del sector de cultivo y producción de flores cortadas y capullos (AVAL, 2019). En el 2019, las exportaciones de rosas representaron USD 649 millones en el sector floricultor ecuatoriano, y estas representaron el 74 % del total exportado (EXPOFLORES, 2019).

En la siguiente figura se puede observar el porcentaje de exportación del año 2019, por tipo de flor.

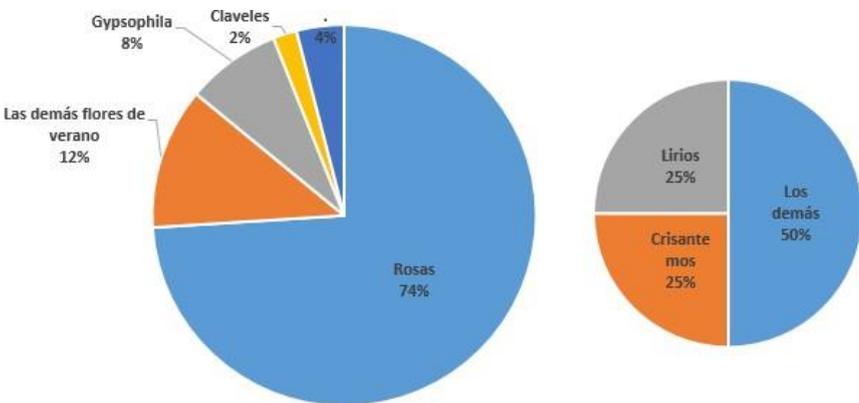


Figura 8: Porcentaje de exportación por tipo de flor.
Fuente: Banco central del Ecuador.
Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

2.8.1. Superficie y producción florícola en Ecuador

La superficie cosechada de flores a nivel nacional aumentó de 6960 hectáreas en 2018 a 8618 hectáreas en 2019, esto representa un aumento del 23,8% (INEC, 2019). En la Tabla 6, semuestra la superficie cosechada de flores desde el año 2016 hasta el año 2019.

Tabla 6: Superficie cosechada de flores

NACIONAL	
AÑO	Superficie (Ha)
	Cosechada
2016	8006
2017	9612
2018	6960
2019	8618

Fuente: (INEC, 2019)

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

En la Figura 9, muestra la superficie flores cultivadas, donde la rosa es el producto predominante, pues en el año 2019 ocupa el 59,4% de la superficie total cosechada.

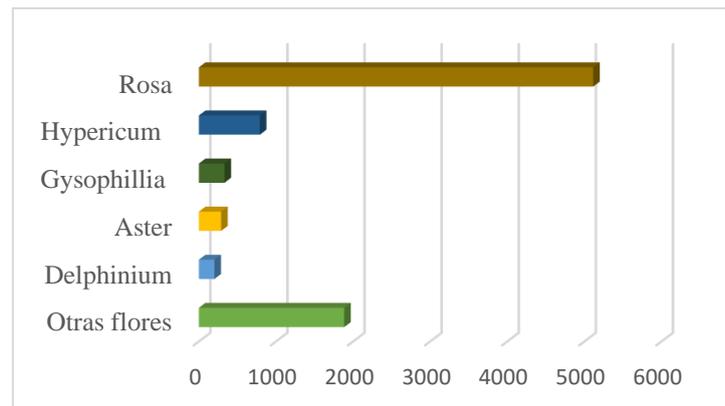


Figura 9: Superficie cosechada (hectáreas), según su especie, 2019

Fuente: (INEC, 2019)

Elaborado por: Adriana Rojas. (2020).

2.9. CROPWAT

Es un software, desarrollado por Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), que permite el cálculo de los requerimientos de agua en los cultivos y los requisitos de riego en función de datos del suelo, clima y cultivos. Además de contar con otras funciones;

como cálculo de suministro de agua y desarrollo de horarios de riego para diferentes cultivos.
(FAO, 2000)

Para el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo (*RAC*), el programa requiere datos de evapotranspiración (*ET_o*) o el software también permite ingresar datos de temperatura, humedad del suelo, velocidad del viento y radiación solar, lo cual permite al programa calcular el *ET_o*, mediante la ecuación de Penman- Monteith. (Manual CROPWAT8.0, s.f.).

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA EMPRESA FLORÍCOLA

El levantamiento de información muestra la situación actual de la empresa, recopilar información sobre procesos productivos y factores que influyen en estos, permite determinar en qué procesos existe mayor demanda de agua, lo que facilita la aplicación de la metodología de cálculo de la Huella Hídrica

3.1.1. Producto

Dentro de las principales actividades del sector florícola, predomina el cultivo de rosas, con el 71 % del total. A este le sigue el cultivo de las demás flores de verano con el 11 %, seguido por el de gypsophila con el 8 %, claveles con 3 % y de cartuchos e hypericum con el 2 % cada uno. Finalmente, las demás flores ocupan el 3 % restante.

La empresa florícola produce una sola variedad de rosa, denominada “Angie”. La mayor parte de su producción es destinada a la producción de rosas preservadas y un pequeño porcentaje de rosas frescas, hacia el exterior.

3.1.2. Empresa

3.1.2.1. Ubicación.

La empresa florícola, se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha, cantón Cayambe, parroquia Juan Montalvo, panamericana norte, km 3,5 vía Cayambe, con coordenadas 0°01'11.2"N latitud y 78°09'52.9" de longitud.



Figura 10: Ubicación geográfica
Fuente: (Google Maps, 2018).

3.1.2.2. Infraestructura

La empresa posee 31 invernaderos con una superficie total de 11 Ha. Los invernaderos están compuestos por una estructura de hierro cubierto con plástico, con cortinas laterales. El plástico protege a los cultivos de los rayos UV, de las fuertes lluvias, el viento, ciertas plagas o condiciones adversas que puedan deteriorar el óptimo crecimiento de la rosa.

3.1.2.3. Producción anual

En la Tabla 7 se muestra la información proporcionada directamente por la empresa, de la producción mensual de rosas frescas para el año 2019.

Tabla 7: Producción del año 2019.

Meses	Cantidad
Enero	600000
Febrero	400000
Marzo	800000
Abril	700000
Mayo	550000
Junio	800000
Julio	670000
Agosto	600000
Septiembre	550000
Octubre	600000
Noviembre	750000
Diciembre	660000

Fuente: Propia de la empresa

Elabora por: Adriana Rojas (2020).

3.1.3. Filosofía empresarial

La empresa florícola, con sede principal en Cayambe, fue fundada el 26 de mayo de 1997, actualmente emplea a 380 personas. Dentro de la empresa se practica los más altos estándares de calidad y cuidado del medio ambiente, trabajan con rosas Ecuatorianas Premium.

3.1.3.1. Misión

Producir una flor de calidad, orientada a nichos de mercado diferenciados, dentro de un ambiente de responsabilidad social, laboral y ambiental, que le retorne a nuestros socios, empleados y comunidad de una manera satisfactoria.

3.1.3.2. Visión

La empresa florícola tiene como visión mantener la satisfacción de los clientes y posicionarse en nuevos mercados con su flor fresca y preservada, obtener reconocimiento a nivel mundial por la calidad de productos que produce.

3.1.3.3. Valores empresariales

Responsabilidad social: Comprometidos con nuestros clientes, empleados, comunidad y medioambiente; trabajamos de acuerdo a lineamientos de legislación nacional e internacional,

teniendo en cuenta el impacto que generan nuestras actividades y asumiendo un modelo de actuación, guiado por principios de ética.

Confianza: Generamos un entorno favorable dentro de la organización, manteniendo una relación cordial entre nuestros colaboradores, una adecuada comunicación y trabajo en equipo. De tal manera que mejore la productividad, el cumplimiento de los objetivos empresariales; lo que se traduce en la mejora de nuestra imagen hacia el exterior y beneficios a mediano y largo plazo.

Calidad: trabajamos con objetivos de mejora continua, de tal manera, que se garantice un producto a la medida de las exigencias de nuestros clientes, pues son quienes determinan el nuestro éxito.

Honestidad: como empresa conocemos que el actuar de forma correcta, la sinceridad, el empleo de prácticas transparentes, son herramientas fundamentales para ganar credibilidad y confianza.

Competitividad: los valores, estrategias y objetivos planteados, tienen como fin, prepararnos para los nuevos retos del mercado, mejorar el desempeño y la imagen empresarial.

3.1.4. Estructura organizacional

En el organigrama se presenta la estructura de la empresa, en donde la empresa opera de manera vertical, mediante la división de departamentos y subdepartamentos, cada uno cuenta con un responsable que es el encargado de entregar informes hacia la gerencia.

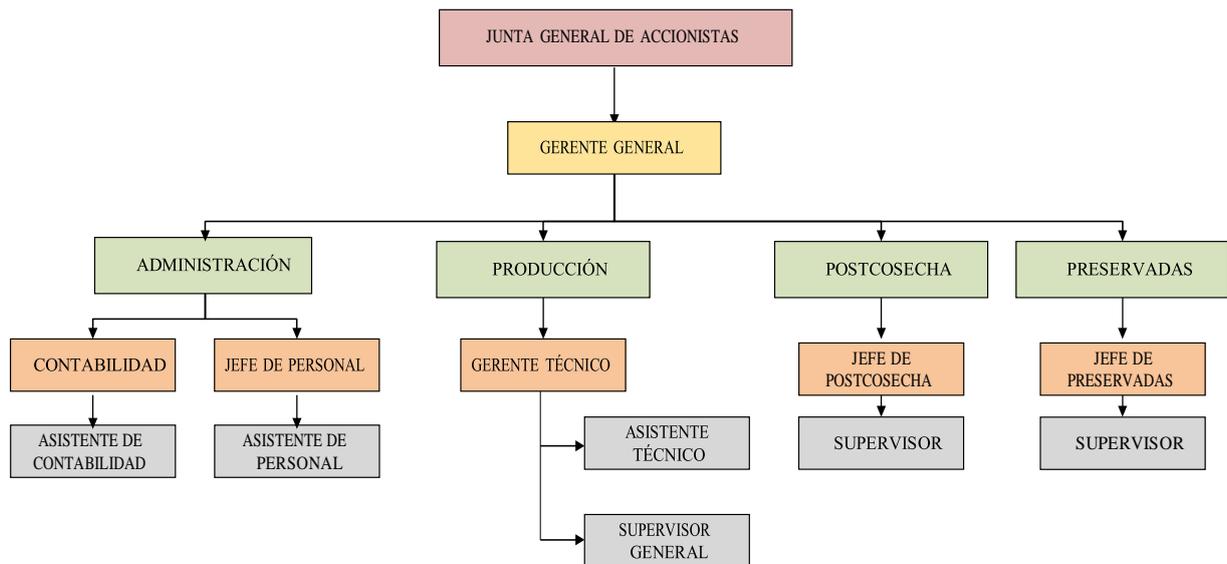


Figura 11: Estructura organizacional.

Fuente: Propia de la empresa.

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

En la Tabla 8, se presenta el área de la empresa y los roles asignados a cada departamento.

Tabla 8: Estructura organizacional de la empresa florícola

Área	Actividad
Administrativa	Ventas, servicio al cliente, RRHH
Cultivo-cosecha	Siembra, riego, fumigación, Fertilización
Postcosecha	Control de calidad, almacenamiento, mantenimiento
Área médica	Atención médica al personal
Seguridad	Vigilar y proteger los bienes muebles e inmuebles
Gestión ambiental	Generar acciones para cada componente ambiental de la empresa

Fuente: Empresa florícola

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

3.1.5. Levantamiento de procesos

3.1.5.1. Mapa de procesos

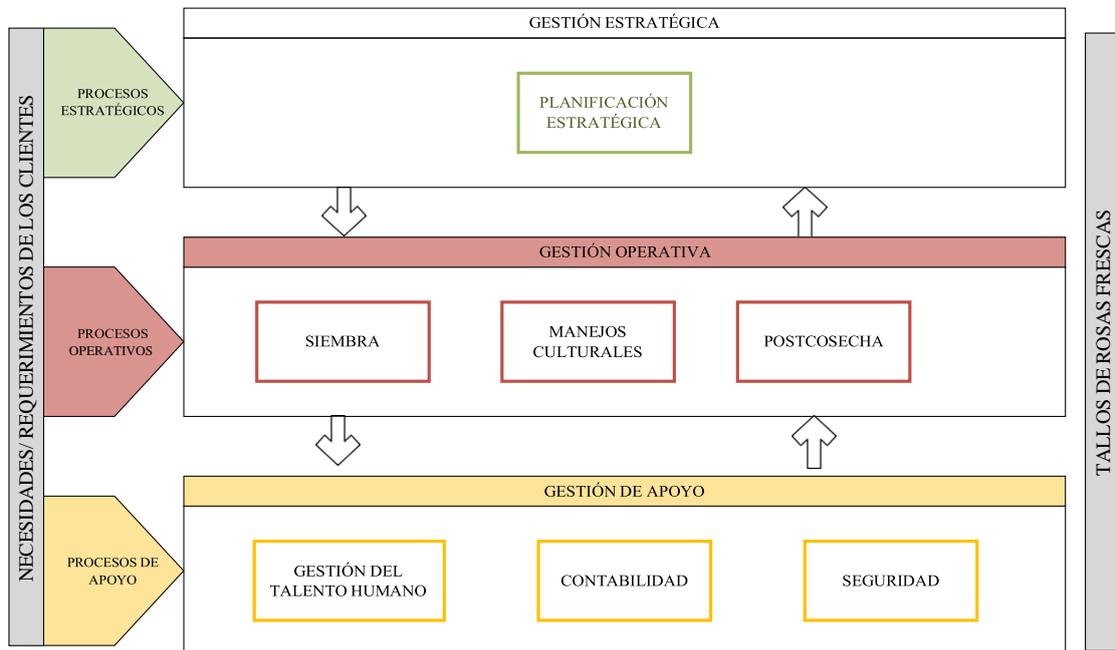


Figura 12: Mapa de procesos de la empresa florícola

Fuente: empresa florícola

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

3.1.5.2. Diagrama SIPOC

PROVEEDORES	ENTRADAS	PROCESO	SALIDA	CLIENTES
Proveedor de patrones Proveedor de fertilizantes Proveedor agroquímicos Herramientas y materiales	Plántulas Patrones Yemas Fuentes de calcio Nitrato Potasio Microelementos Insecticidas Fungicidas Control de plagas y enfermedades Tijeras Felco Cajas Bombas Herramientas para la tierra	SIEMBRA ↓ MANEJOS CULTURALES ↓ POSTCOSECHA	ROSAS ROJAS EN DISTINTAS ESPECIFICACIONES	ROSAS PRESERVADAS CLIENTES EN EL EXTERIOR

Figura 13: Diagrama SIPOC empresa florícola

Fuente: Empresa florícola

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

3.1.5.3. Procesos

Los procesos productivos de la empresa florícola son:

- **Siembra**
- **Manejos culturales**
- **Postcosecha**

A continuación, se explica detalladamente los procesos de producción, su respectivo diagrama de bloque donde se muestra de manera individual una actividad, con sus respectivas entradas y salidas.

Siembra: el primer paso para este proceso es la preparación del suelo; en donde se realiza la limpieza, retirando cualquier tipo de maleza, se riega y se incorporan materiales orgánicos, con la finalidad de abonar la tierra. Posteriormente se crean surcos (camas) que delimitan el espacio entre matas y el acceso del personal a los invernaderos. Una vez preparada la tierra en cada cama se siembran patrones previamente seleccionados; a partir de este punto, la mata requiere de riego diario, limpieza, fertilización, control de plagas. Cuando el patrón adquiere cierto tamaño se injerta la variedad de rosa deseada y en el transcurso de aproximadamente seis meses, la rosa tendrá un tallo y un botón que puede ser considerado de venta y de exportación.

Manejos culturales: Este proceso se enfoca en el cuidado de las matas, desde el crecimiento hasta el corte, esto incluye ciertos cuidados esenciales de limpieza como: maleza, hojas secas, arreglos de las matas y mantenimiento del terreno y las camas. Además, dentro de este proceso existen subprocesos de fumigación y riego que ligados al cuidado de la planta y donde se encuentran los principales consumos de agua.

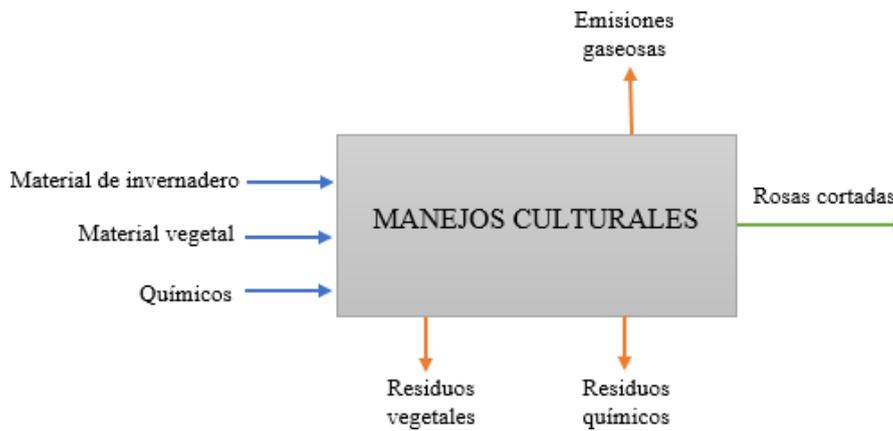


Figura 14: Diagrama de bloque proceso de manejos culturales.
Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

- **Fumigación:** las sustancias químicas son colocadas en tres tanques de 1000 litros cada uno, el equipo de fumigación prepara la mezcla de acuerdo al tratamiento que la planta requiera, se colocan el equipo de protección personal y posteriormente ese distribuye a los invernaderos mediante bombas.
- **Riego:** El sistema de la empresa permite el riego por goteo, En esto se utilizan 2 tanques. El agua es tomada a través de bombas desde el reservorio hacia los tanques, que luego son mezclados con las sustancias químicas y son repartidas por medio de cabezales para distribuirlos en la finca.

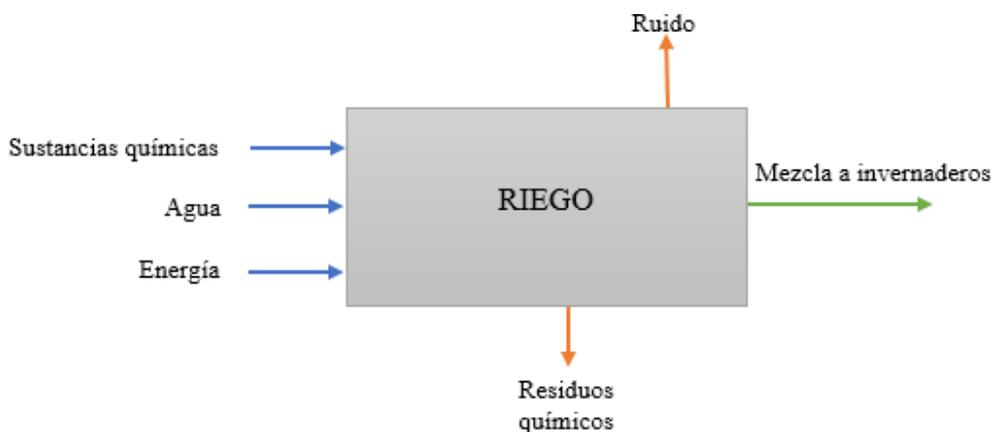
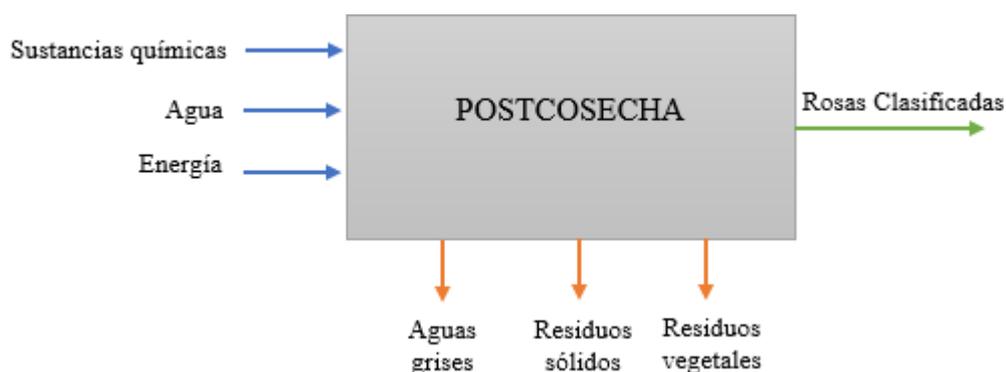


Figura 15: Diagrama de bloques subproceso riego.
Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

- **Corte:** Cuando finaliza el periodo de crecimiento de las plantas, los trabajadores ingresan entre los cultivos y con una tijera especializada cortan los tallos de rosas, los colocan en cajas y tinas, que posteriormente un cochero transporta la rosa a través de un cable vía al área de postcosecha.

Postcosecha: Las rosas que ingresan de cultivo a un cuarto frío son clasificadas de acuerdo a tamaño de botón, posteriormente son colocadas en estructuras en las que se las transportará al área de preservadas

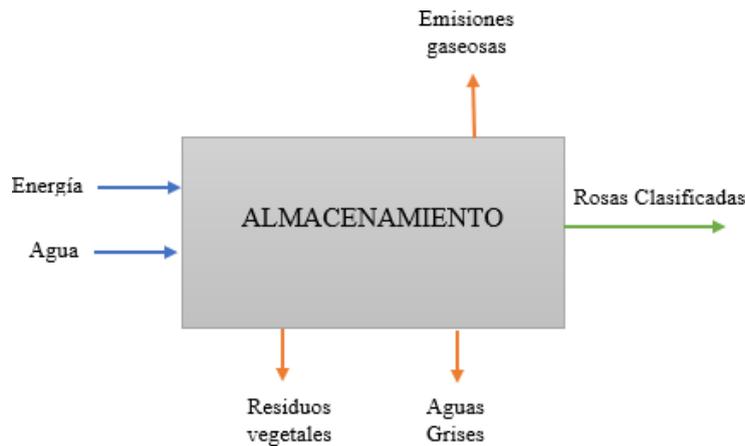
En la Figura 16, se muestra el diagrama de bloque del análisis del proceso postcosecha, donde intervienen entradas como sustancias químicas, agua, energía y como resultado se obtiene rosas clasificadas que pasan a mantenimiento en los cuartos fríos.



*Figura 16: Diagrama de bloques del proceso Postcosecha.
Elaborado por: Adriana Rojas (2020).*

- **Cuartos fríos.** - Es un cuarto diseñado para mantener temperaturas bajas, donde la flor conserva sus propiedades hasta el momento de su salida.

En la Figura 17, se puede observar el diagrama de bloque donde se muestra el análisis del proceso, donde ingresa agua y energía; se mantiene la flor en buenas condiciones para enviarlas al proceso de flores preservadas.



*Figura 17: Diagramas cuartos fríos.
Elaborado por: Adriana Rojas (2020).*

3.1.5.4. Uso del agua

La empresa cuenta con tres reservorios de 2500 m³, 3000 m³ y 4000 m³ respectivamente, el agua proviene de los deshielos del nevado Cayambe y forman parte de dos juntas comunitarias de riego, Canal de riego Miraflores y Canal de riego Ishigto.

La empresa dispone de dos sistemas de riego, para cuarto y siete invernaderos respectivamente. Estos consisten en una bomba de succión que lleva el agua del reservorio hacia el cuarto de preparación, donde es almacenada en tres tanques de 1000 litros, se añade la solución de químicos o fertilizantes que necesite la planta, esta mezcla es conducida por otro sistema de bombas a las mangueras de goteo; que están ubicadas en doble hilera con un largo de 32 metros por cama.

Para las plantas se utiliza varios fertilizantes orgánicos como: Bioles, té de frutas, en general productos de casas comerciales de origen natural; disminuyendo la cantidad de contaminantes residuales.

El funcionamiento del sistema de riego mediante goteo, se aplica gota a gota con baja presión y mojando un punto específico del suelo. Estos basados en sistemas de válvulas, la cantidad de agua utilizada es en intervalos de tiempo acorde a la humedad del suelo, esto lo determina el personal en función de su experiencia.

Discusión

La empresa florícola tiene una estructura organizacional del tipo funcional, ya que divide su trabajo acorde a una especialización, es decir, que a cada empleado le es delegada una función y debe rendir cuentas a un superior. En este caso, existe un gerente, departamentos de administración, producción, postcosecha y preservadas; cada uno con subdepartamentos. De esta distribución se obtiene una comunicación más ágil y directa. Como parte de la estructura organizacional se elaboró la propuesta de valores empresariales, teniendo en cuenta su misión.

Para un mayor entendimiento del sistema productivo, se realizó un mapa de procesos y un diagrama SIPOC donde se detallaron los actores involucrados en los procesos. Además, se describió los procesos y subprocesos de siembra, cultivo, manejos culturales y postcosecha; cada uno su respectivo diagrama de bloques, en el cual se representa la operación y el flujo de materia.

A partir del detalle de los procesos, se logró determinar que el de mayor impacto para el estudio es manejos culturales, con los subprocesos de riego y fumigación, pues son los que exigen gran cantidad de agua. Se pudo comprobar que, en términos económicos, no existe la necesidad de registrar el agua consumida, ya que su precio es mínimo y por lo mismo, no cuentan un sistema eficiente que logre contabilizar el agua utilizada en el riego, sin embargo, se estima una utilización de 25000 litros por semana, pero esto puede variar de acuerdo al clima, etapa y desarrollo de la planta.

Casi el total de la producción es utilizada para la elaboración de rosas preservadas, que luego son exportadas. Para lograr esto, se cumplen con ciertos parámetros de calidad, y dentro de esos estándares, los clientes requieren garantías de que el producto es producido de manera sostenible, además, la empresa requiere un valor real cuantitativo para generar una cultura de ahorro y responsabilidad con el entorno.

CAPÍTULO IV

4. HUELLA HÍDRICA

El cálculo de la huella hídrica se presenta como un indicador de sostenibilidad, donde se permite cuantificar el volumen de agua consumido de manera directa o indirecta dentro de la producción. Este indicador se usa como punto de partida en la generación de planes de acción en la reducción del impacto ambiental, con resultados en la imagen corporativa de la empresa, diferenciándose del resto del mercado.

El objeto de estudio en este caso es la producción de rosas frescas dentro de una empresa florícola ubicada en Cayambe, los procesos a intervenir son: Siembra, con el subproceso de preparación de la tierra y siembra; manejos culturales, con los subprocesos de fumigación y riego; y el proceso de postcosecha. El tiempo de evaluación será durante todas las etapas del cultivo, que son de aproximadamente seis meses. La información se obtendrá de manera mensual.

4.1. Cuantificación de la HH

Para contabilizar la huella hídrica total se debe sumar sus componentes, es decir el agua verde, azul y gris. Según la metodología de Hoekstra la fórmula para el cálculo de la HH total es:

$$HH_{total} = HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris}$$

Los cálculos individuales para cada tipo de agua son

Huella azul

$$HH_{azul} = \frac{UAC_{azul}}{Y}$$

Donde:

HH_{azul} : huella hídrica azul m^3/ton

UAC_{azul} : volumen de agua azul utilizada en el cultivo m^3/Ha

Y: rendimiento del cultivo, expresado en *tallos*/Ha

La cantidad de agua azul usada en el cultivo se calcula mediante la acumulación de evapotranspiración sobre el periodo de tiempo de la etapa.

$$UAC_{azul} = 10 \sum_{d=1}^{lgp} ET_{azul}$$

Huella Gris

El componente gris corresponde a los fertilizantes utilizados en el cultivo de la rosa y se calcula como la cantidad de productos químicos aplicados por hectárea. Su valor es determinado a partir de la siguiente ecuación.

$$HH_{gris} = \frac{\frac{a * AR}{(C_{max} - C_{nat})}}{Y}$$

Donde:

A: factor de lixiviación y esorrentía.

AR: es la tasa de aplicación de productos químicos por hectárea kg/ha

C_{max}: es la concentración máxima aceptable de un contaminante kg/m^3

C_{nat}: es la concentración natural del contaminante kg/m^3

Y: representa el rendimiento del cultivo.

4.2. Diagnóstico

Como primer punto se debe tomar a consideración todos los aspectos relacionados al crecimiento de la planta. La Tabla 9, recoge información de las medidas de tiempo para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Cabe recalcar que no se tiene una certeza del 100% en

el cumplimiento de las etapas, pues no todas las plantas cumplen con el mismo ciclo. Los datos fueron proporcionados directamente por la empresa florícola.

Tabla 9: Etapas en el cultivo de la rosa

Etapas	Duración (días)
Siembra a injertación	42 día
Injertación a soft pinch	45 días
Soft Pinch a protación	7 días
Brotación a cosecha	80 días

*Fuente: Empresa florícola.
Elaborado por: Adriana Rojas (2020).*

Para realizar un estudio adecuado, se necesita recolectar información meteorológica e hidrológica, estas son extraídas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Para esto se procedió a investigar las estaciones más cercanas a la zona de estudio y se pudo conocer que Cayambe solo cuenta con estaciones pluviales; de la cual se extraerán datos de precipitación. Y para los datos meteorológicos se tomará la estación Tomalón-Tabacundo, ubicada en la provincia de Pichincha, con latitud: 0.033°, longitud: -78.233° y elevación: 2271 msnm.

Las variables requeridas de estas estaciones son:

- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Heliofanía efectiva
- Humedad
- Velocidad y dirección del viento
- Precipitación

Los datos meteorológicos mensuales de la estación Tomalón-Tabacundo para el año 2019 se muestran en la Tabla 10. La información es de temperatura mínima, temperatura máxima, humedad velocidad del viento, heliofanía efectiva.

Tabla 10: Datos meteorológicos de la estación Tomalón - Tabacundo

MESES	Temp min (°C)	Temp max (°C)	Humedad (%)	Vel viento (m/s)	Helio efec (horas)
Enero	7,8	27,2	71,22	2,39	206,4
Febrero	8,5	26,3	79,69	1,54	105,5
Marzo	8,4	26,2	77,74	1,67	170,5
Abril	7,7	25,3	79,61	1,61	151,3
Mayo	7,7	24,9	77,39	1,66	117,6
Junio	7,5	26,7	65,61	2,35	217
Julio	5,7	25,4	61,63	2,57	233,8
Agosto	6,2	25,3	50,44	3,67	219
Septiembre	6,3	27,1	60,23	2,78	182,6
Octubre	6,4	25,8	76,63	1,67	180,7
Noviembre	7,7	25,8	81,32	1,61	192,2
Diciembre	7,3	25,8	78,66	1,61	201

Fuente: INAMHI, 2019

Elaborado por: Adriana Rojas (2020)

De la estación pluvial se tomaron los datos medios de precipitación del año 2019. La Tabla 10, muestra la información recopilada, con la cual se completó los datos que deben ser ingresados en la siguiente etapa dentro del software.

En la Tabla 11, se muestra la información de precipitación media obtenida de la estación pluvial Cayambe para el año 2019.

Tabla 11: Datos de precipitación mensual de la estación Cayambe.

Mes	Precipitación (mm)
Enero	85,4
Febrero	92,8
Marzo	71,7
Abril	73,7
Mayo	100
Junio	45,4
Julio	11,1
Agosto	12,7
Septiembre	42,6
Octubre	102
Noviembre	51,3
Diciembre	41,9

Fuente: (INAMHI, 2019).

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

4.2.1. Caracterización del suelo

Para el sector agrícola, el suelo es la base de la estructura de la producción, pues en este se cultiva la planta, se absorbe el agua y capta los nutrientes necesarios. Las características del suelo indicarán la cantidad de agua que se necesita para el cultivo.

Para lograr determinar la huella de agua, es necesario tener conocimiento sobre las características del suelo y determinar las etapas del cultivo, desde el momento de la siembra hasta su cosecha, coeficiente del cultivo Kc, rendimiento del cultivo, profundidad radicular.

Para este caso, el cultivo de rosas se desarrolla en un suelo del tipo franco arenoso.

4.2.1.1. Profundidad radicular

Es la capacidad que tienen las plantas para extraer el agua disponible del suelo, esta depende del tipo de planta y del suelo en donde se encuentre. La información para este estudio fue proporcionada directamente por la empresa florícola y se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12: Profundidad radicular del cultivo de rosas

	ETAPAS DE LA PLANTA	
	Inicial (siembra)	Producción (cosecha)
Profundidad radicular (cm)	13	80

*Fuente: Empresa Florícola.
Elaborado por: Adriana Rojas (2020).*

4.2.1.2. Volumen de agua por cada proceso

Tabla 13: Volumen de agua utilizada por proceso productivo

Proceso productivo	Volumen de agua (litros)	Duración del proceso
Siembra	25000	3 veces por semana
Desarrollo	450000	3 veces por semana
Producción	65000	Semanal

*Fuente: Empresa Florícola.
Elaborado por: Adriana Rojas (2020).*

4.2.1.3. Información del cultivo

La información sobre las características los cultivos en torno al agotamiento crítico fueron proporcionada por la empresa florícola y estos datos se muestran en la Tabla 14, para las distintas etapas de crecimiento.

Tabla 14: Información general del cultivo de rosas de la empresa florícola

Información del cultivo	Etapas de crecimiento			
	1	2	3	4
Coefficiente de cultivo (Kc)	1,7	-	-	1,7
Duración de las etapas (días)	23	28	30	35
Factor de agotamiento crítico %	45			
Factor de rendimiento del cultivo (Ky)		1,2	1,2	

*Fuente: Propia de la empresa
Elaborado por: Adriana Rojas (2020).*

En cuanto al coeficiente del cultivo K_c , es un factor dependiente de las características anatómicas y morfológicas del cultivo, pues esta cambia conforme avanzan las etapas de la planta y el clima donde se encuentra.

4.3. Modelamiento

4.3.1. Evapotranspiración

Como el primer paso para el cálculo de la huella hídrica se debe determinar la Evapotranspiración (ET_o), que se refiere a la cantidad de agua efectivamente evaporada en el suelo; que es transpirada por la planta y como consecuencia vuelve a la atmósfera. Este resultado se obtiene mediante la aplicación del programa CROPWAT, que aplica la metodología de Penman.Monteith y toma en cuenta datos climatológicos mensuales del año 2019 y factores propios del suelo.

En la Tabla 15, se muestra los resultados de la evapotranspiración de referencia (ET_o), que arrojan un total de $3,21 \text{ mm/día}$, además de la variación mensual y un pico considerable en el mes de agosto.

Tabla 15: Cálculo de la evapotranspiración efectiva

Mes	Rad	ET _o
	MJ/m ² /día	mm/día
Ene	11,4	3,31
Feb	10,9	2,74
Mar	12	2,98
Abr	11,4	2,78
May	10,8	2,65
Jun	11,4	3,42
Jul	12,1	3,61
Agos	12,4	4,51
Sept	12,6	4
Oct	11,9	2,95
Nov	11,6	2,76
Dic	11,6	2,81
TOTAL	11,7	3,21

Fuente: CROPWAT 8.0.

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

4.3.2. Precipitación efectiva

Como segundo paso, dentro del programa se debe determinar la Precipitación efectiva (P_{eff}), esto mediante un método basado en el procesamiento de datos a largo plazo del clima y humedad. Los datos ingresados son del periodo enero- diciembre del año 2019 y fueron proporcionados por el INAMHI

Se define como precipitación efectiva a la cantidad de agua que se infiltra dentro del suelo y es aprovechada por la planta, es decir el agua útil, que permanece al alcance de las raíces de la planta sin ahogarlas. La Tabla 16 muestra el resultado de $P_{eff} = 514,3$. Además de la existencia de varios meses donde la precipitación efectiva supera los 50 mm; es decir, existe un buen nivel de agua para el uso en el cultivo.

Tabla 16: Resultado de la evapotranspiración

Mes	Precipit.	Prec. Efec
	mm	mm
Ene	69,6	61,8
Feb	64,2	57,6
Mar	35,3	33,3
Abr	100,6	84,4
May	59,3	53,7
Jun	18,1	17,6
Jul	11,4	11,2
Agos	3,3	3,3
Sept	38,4	36
Oct	45,5	42,2
Nov	87,4	75,2
Dic	40,6	38
TOTAL	573,7	514,3

Fuente: CROPWAT 8.0.

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

4.3.3. Cultivo.

Determinar cómo se relaciona la profundidad radicular del cultivo y el coeficiente del cultivo. Algunos de los datos ingresados son proporcionados directamente por la empresa y se muestran en la Tabla 12 y la información faltante se encontraron en estudios similares.

4.3.4. Suelo

El suelo del cultivo de rosas tiene propiedades franco arenosas, caracterizado por estar en pendientes muy suaves, medianas y fuertes; tienen buen drenaje, son poco profundos, no son pedregosos, toxicidad nula, pH ácido en ciertos lugares y neutros en otros, no salino, baja saturación. Los datos de las características del suelo son incluidos dentro del programa para determinar los requerimientos de agua para el cultivo.

4.3.5. RAC

Una vez ingresada la información de los módulos de clima (ET_0), precipitación, cultivo, y datos del suelo al software CROPWAT 8.0, se obtiene los requerimientos de agua del cultivo (RAC) como se muestra en el anexo 1. Estos resultados son para un periodo de tiempo y se aplicará para el resto del año. Esta opción muestra la cantidad de agua necesaria para compensar la pérdida de evapotranspiración del área de cultivo.

4.3.6. Evapotranspiración de agua azul.

El RAC se calcula en periodo de 10 días, donde la primera columna indica los meses que se necesitan desde el momento de la siembra hasta el cultivo de la rosa, la segunda los meses divididos en valores decenarios, la tercera muestra las etapas de desarrollo de la planta, la siguiente columna indica EL K_c de acuerdo al tipo de características del ciclo de vida del cultivo. La ET_c calculada es de $594,9 \text{ mm/dec}$, este dato representa el agua necesaria total para la evapotranspiración en condiciones ideales de cultivo. El requerimiento de riego (Req. riego) cuyo valor en este estudio es de $280,7$ que es la cantidad de agua que necesita la planta.

Dentro del programa CROPWAT 8.0, el análisis del requerimiento de agua al cultivo se analiza únicamente para cultivos abiertos; por cuanto, es necesario adaptar esos resultados a las condiciones de invernadero. Para esto se consideró fuentes bibliográficas donde se determina que en condiciones de invernadero cuenta con el 65% de las condiciones a campo abierto. El

resultado, bajo las condiciones estimadas para la huella hídrica azul y verde se presentan en la Tabla 17, dando como resultado de $ET_{azul} = 386,69$

Tabla 17: Resultados para la huella hídrica azul de la empresa florícola

Mes	Década	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. Efec	Req. Riego	Et. Azul 65%
			Coeficie	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/ periodo
Dic	1	Inic	1,15	3,21	22,5	10,4	15	14,63
Dic	2	Inic	1,15	3,23	32,3	9,8	22,5	21,00
Dic	3	Inic	1,15	3,42	37,6	13,4	24,2	24,44
Ene	1	Inic	1,15	3,69	36,9	18,8	18,1	23,99
Ene	2	Des	1,15	3,93	39,3	21,9	17,4	25,55
Ene	3	Des	1,17	3,73	41	21	20	26,65
Feb	1	Des	1,19	3,48	34,8	20,3	14,5	22,62
Feb	1	Des	1,20	3,3	33	20,1	12,9	21,45
Feb	3	Des	1,22	3,44	27,5	17,1	10,4	17,88
Mar	1	Med	1,23	3,55	35,5	11,4	24,1	23,08
Mar	2	Fin	1,22	3,63	36,3	7,6	28,8	23,60
Mar	3	Fin	1,21	3,51	38,6	14,4	24,2	25,09
Abr	1	Fin	1,19	3,39	33,9	25	8,9	22,04
Abr	2	Fin	1,18	3,28	32,8	32	0,8	21,32
Abr	3	Fin	1,17	3,19	31,9	27,3	4,6	20,74
May	1	Fin	1,15	3,11	31,1	21,4	9,6	20,22
May	2	Fin	1,14	3,02	30,2	18,1	12,1	19,63
May	3	Fin	1,13	3,28	19,7	7,6	12,7	12,81
				3,411	33,671	17,644	280,800	386,690

Fuente: CROPWAT 8.0.

Elaborado por: Adriana Rojas (2020)

4.4. Huella Hídrica

4.4.1. Huella hídrica azul

Una vez obtenido los resultados del SOFTWARE se procede a determinar el componente del uso del agua en los cultivos (UAC) utilizando la ecuación

$$UAC_{azul} = (386,69 \text{ mm} * 10) + 8589,55 \frac{m^3}{ha}$$

$$UAC_{azul} = 12456,45 \frac{m^3}{ha}$$

$$HH_{azul} = \frac{12456,45 \frac{m^3}{ha}}{11 ha}$$

$$HH_{azul} = 1132,40 \frac{m^3}{ha}$$

4.4.2. Huella Hídrica Gris

Para este cálculo se tiene en cuenta los productos químicos y la cantidad aplicada dentro del cultivo (Kg/ha) estos productos son Nitratos, sulfatos y fosfatos. En la Tabla 18 se muestra la información de los productos aplicados dentro de la empresa florícola, la cantidad y la periodicidad. Como resultado se obtendrá un indicador que muestre el grado de contaminación del agua asociado al proceso de producción de la rosa.

Tabla 18: Productos químicos utilizados en el cultivo de la rosa dentro de la empresa florícola

Producto químico	Etapas del proceso	Cantidad de producto por etapa (kg/Ha)
Fosfato Monoamónico	Fertilización (2 veces por semana)	1,5
Nitrato de Potasio	Fertilización (2 veces por semana)	13,20
Ácido Bórico	Fertilización (2 veces por semana)	0,2
Kelatex Cobre	Fertilización (2 veces por semana)	0,7
Kelatex Manganeso	Fertilización (2 veces por semana)	4,5
Kelatex Zinc	Fertilización (2 veces por semana)	1
Magma (Kelatex hierro)	Fertilización (2 veces por semana)	1,5
Molibdato de amonio	Fertilización (2 veces por semana)	0,05
Sulfato magnesio Técnico	Fertilización (2 veces por semana)	4,5
Ácido nítrico	Fertilización (2 veces por semana)	2,5
Nitrato de Calcio	Fertilización (1 vez por semana)	22

Fuente: Propia de empresa.

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

Los límites máximos permisibles de concentración para los productos químicos están basados en la revisión y actualización del libro VI, anexo 1 de la normativa de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. En la Tabla 19 se encuentran estos valores máximos permisibles y en la Tabla 18 la aplicación estimada dentro de la empresa florícola

Tabla 19: Límites máximos permisibles de productos químicos dentro del agua de riego

Producto químico	Cantidad	Límite permisible
Nitratos	Mg/l	10
Sulfatos	Mg/l	400
Fosfatos	Mg/l	0,02

Fuente: Normativa de calidad ambiental

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

4.4.2.1. Aplicación estimada de productos químicos

Para obtener la Tabla 20 se utilizó la información de la Tabla 18 que fueron multiplicados por el número de días al mes en los que se aplica al cultivo y por el número de meses que dura el ciclo desde la siembra hasta la cosecha del producto.

Tabla 20: Aplicación estimada de productos químicos dentro de la empresa florícola

Producto	AR	Unidades
Nitratos	1689,6	Kg
Sulfatos	216	Kg
Fosfatos	72	Kg

Fuente: Propia de la empresa.

Elaborado por: Adriana rojas (2020).

$$HH_{nitratos} = \frac{0,1 * 1689,6 \frac{Kg}{ha}}{(1 \times 10^{-5} \frac{Kg}{m^3} - 0)} = 0,213 \frac{m^3}{ha}$$

$$HH_{sulfatos} = \frac{0,1 * 216 \frac{Kg}{ha}}{(4 \times 10^{-4} \frac{Kg}{m^3} - 0)} = 0,683 \frac{m^3}{ha}$$

$$HH_{fosfatos} = \frac{0,1 * 72 \frac{Kg}{ha}}{(2 \times 10^{-6} \frac{Kg}{m^3} - 0)} = 0,045 \frac{m^3}{ha}$$

$$HH_{gris} = 0,045 \frac{m^3}{ha} + 0,683 \frac{m^3}{ha} + 0,213 \frac{m^3}{ha}$$

$$HH_{gris} = 0,941 \frac{m^3}{ha}$$

4.4.3. Huella hídrica total

$$HH_{total} = 1132,40 \frac{m^3}{ha} + 0,941 \frac{m^3}{ha}$$

$$HH_{total} = 1133,3 \frac{m^3}{ha}$$

La huella hídrica total para la producción de rosas dentro de la empresa florícola, es de $1133,3 \frac{m^3}{ha}$, este cálculo se basó en el análisis de las condiciones meteorológicas e hidrológicas de estaciones cercanas al sitio de estudio. El modelo fue desarrollado bajo el programa COPWAT 8.0.

4.5. Análisis hidrológicos y meteorológicos del cultivo.

El gráfico 18, presenta los valores máximos y mínimos de temperatura del cultivo

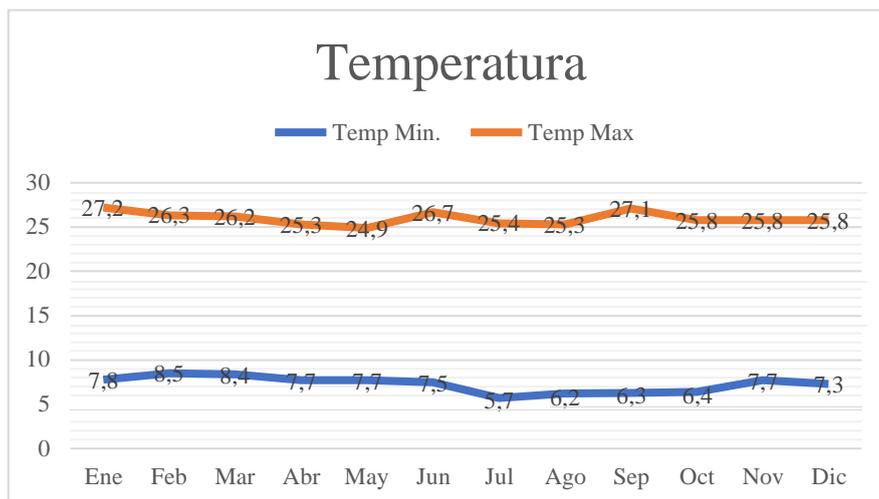


Figura 18: Temperatura mínima y máxima del año 2019, estación Tomalón-Tabacundo.

Fuente: INAMHI.

Elaborado por Adriana Rojas (2020).

Aquí se observa un clima templado, siendo su menor temperatura en las horas de la noche y madrugada de 5,7°C, un valor máximo en las mañanas y tardes de 27,1 °C.

En base a la Figura 18, se debe considerar si las condiciones de cultivo cumplen con los requerimientos adecuados; por esto, se presenta la Tabla 21 donde se encuentran los valores de temperatura para un óptimo desarrollo y mantenimiento de la planta.

Tabla 21: Valores de temperatura óptimos para el crecimiento de la rosa, Ecuador.

Rosas	Temperatura
Mínima letal	0 °C
Mínima biológica	12 °C
Óptima	18-21 °C
Máxima biológica	25 °C
Máxima letal	35 °C
Delta térmico ideal	9-10 °C
Óptima del suelo	15-16 °C

Fuente: (EXPOFLORES, 2015).

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

Al comparar la Figura 18 y la Tabla 21, se debe considerar que bajo invernadero y ante temperaturas bajas se puede mantener un ambiente templado dentro del cultivo. Por el contrario, ante temperaturas altas se deben tomar en cuenta ciertas acciones. Para este caso, la temperatura máxima en ciertos meses sobrepasa los 25°C del máximo biológico y en estos casos, el ingeniero encargado del cultivo realiza un monitoreo periódico que permita tomar decisiones con precisión.

Humedad

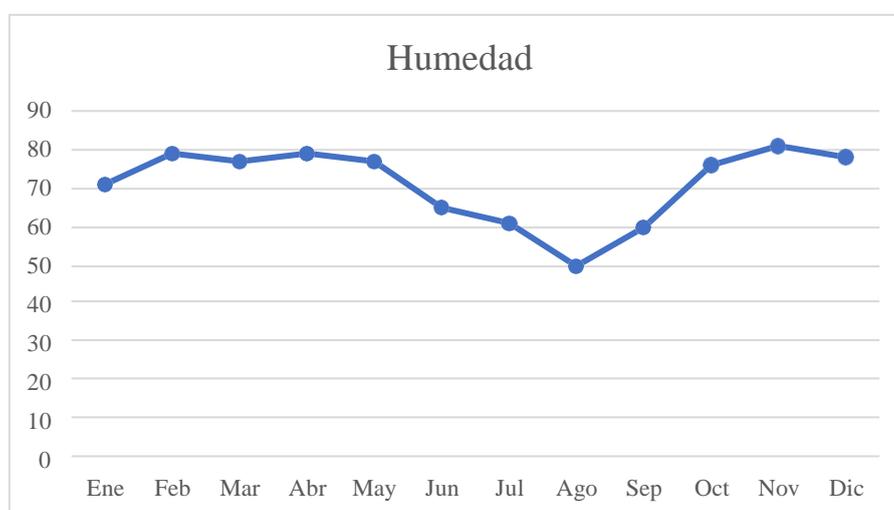


Figura 19: Datos de humedad, año 2019. Estación Tomalón-Tabacundo.

Fuente: INAMHI.

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

La humedad es el segundo factor que influye en el desarrollo y modifica el rendimiento de los cultivos. Es inversamente proporcional a la temperatura, es decir si la temperatura se incrementa la humedad disminuye, al aumentar la humedad ambiental las estomas permanecen abiertos y la fotorrespiración disminuye, obteniéndose mejores resultados en el desarrollo.

La humedad óptima para un adecuado desarrollo de la planta, varía en torno al 60-70%. Bajo invernadero a más alta humedad se pueden aplicar técnicas como ventilación, plásticos con menos transmitancia, elevar las ventanillas del invernadero, etc. Por el otro lado, a más baja

humedad se puede aplicar aspersión aérea, aspersión en camas ductos para cerrar los cenitales, etc.

4.6. Análisis del sector florícola y su huella hídrica

La Industria florícola ecuatoriana se ha visto en constante crecimiento, tanto así, que es uno de las principales fuentes de divisas al país y fuente de miles de empleos para las regiones en donde se las cultiva. Este sector se beneficia por características naturales como: el clima, fuentes de agua, suelo con características fértiles, pisos térmicos adecuados, topografía, etc. Estas características generan gran competitividad con el resto de la industria florícola a nivel internacional.

Uno de los principales factores de producción es el recurso hídrico, debido a los requerimientos del suelo y de la planta a lo largo de su proceso productivo. La mayor cantidad de agua es requerida para el subproceso de riego durante la etapa de desarrollo, con el objetivo de mantenerlas hidratadas.

Para conocer si existe una adecuada utilización del recurso dentro del proceso de cultivo, se debe realizar un análisis comparativo del resultado obtenido de la huella hídrica en la empresa florícola, con la información obtenida de estudios similares. El objetivo es determinar mayor variación en términos de consumo de agua.

En este punto se tomará como referencia dos estudios similares, el primero, el estudio realizado por Gutiérrez S. (2018). Para la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano; quien estimo una huella hídrica para una de las fincas de $2579,4 m^3 / ha$. Y el estudio de Vernaza L. (2014). Para la Universidad San Francisco de Quito; quien obtuvo como resultado para una finca florícola una huella hídrica de $1190,1 m^3 / ha$, y de acuerdo a los datos arrojados por el

programa CROPWAT para condiciones de invernadero, la huella hídrica debería ser de $910,75 \text{ m}^3/\text{ha}$.

En la Tabla 22, se expone los resultados a comparar para conocer si existe similitudes o variaciones entre los diferentes estudios realizados.

Tabla 22: Resultados comparativos propuesto

Lugar	HH (m ³ /Ton)
Vernaza L	1190,1
Gutiérrez S.	2149,5
CROPWAT	910,75
Empresa	1133,3

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

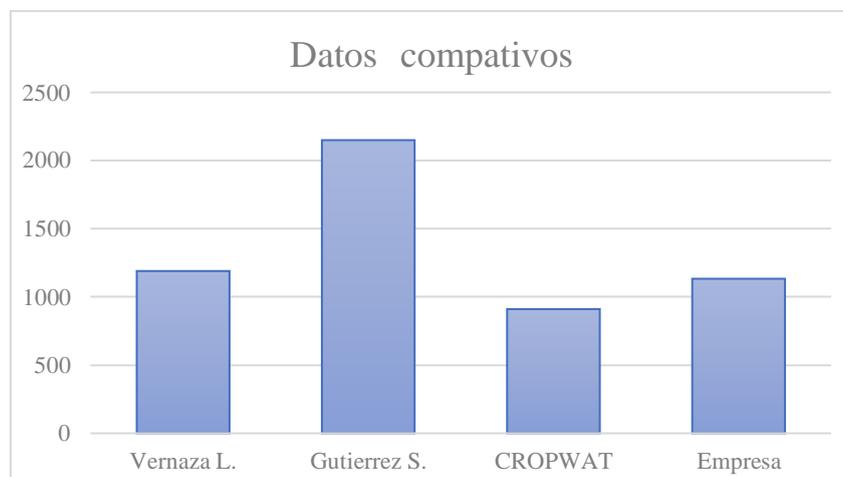


Figura 20: análisis porcentual comparativo de estudios similares.

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

De los resultados se puede destacar que, para Gutiérrez S, Vernaza L y la empresa florícola de estudio, el consumo de agua en el proceso productivo es de 30,67%, 136% y 24,44%

respectivamente a comparación del estimado por el software CROPWAT que es el del requerimiento ideal de agua para el cultivo en las condiciones propuestas.

Para Gutiérrez L, se observa que los datos arrojan mayor porcentaje de sobreutilización de agua, esto se puede deber a las condiciones climáticas del país o al tipo de manejo que se dé al cultivo. Para nuestro estudio no se toma dentro del análisis puesto que los resultados pueden no acomodarse a las condiciones reales de nuestro entorno.

Una vez desarrollada la observación en donde muestra el porcentaje de sobreutilización de agua para la empresa de estudio, se puede establecer una serie de acciones encaminadas a favorecer las buenas prácticas de la producción en la empresa, labores orientadas a mitigar el impacto ambiental generado por el consumo y falta de control del recurso hídrico. Además de crear un entorno más sostenible.

El hecho de contar con un plan de mitigación y aplicarlo dentro de la empresa ayuda a disminuir la cantidad de agua utilizada en la producción, retirando la presión sobre el recurso hídrico, demostrando la utilidad de contar con el cálculo de huella hídrica incluso si se tiene buena disponibilidad del agua.

Para identificar cuáles son las acciones a desarrollar dentro de la empresa, se debe realizar un análisis de priorización, es decir tomar en cuenta todos los aspectos involucrados en la producción de la rosa, cuál de estos puede generar fallas, se puede realizar mejoras o que son de fácil aplicación. Separarlas de acuerdo al tipo de agua según Hoekstra y desarrollar las medidas pertinentes.

En el caso de la huella azul, es el consumo del producto asociado a sistemas de riego que hace referencia al agua captada de una fuente que es conducida hacia los reservorios de la finca florícola y utilizada para suplir la demanda que no se satisface de manera natural. Esto implícitamente trata de escasez, es decir posibles conflictos por uso.

Las acciones de huella gris están orientados a identificar y generar una reducción en cuanto a productos químicos utilizados en el cultivo y mantenimiento de la rosa y potencial contaminación de agua y efluentes.

CAPITULO V

5. PLAN DE MITIGACIÓN

5.1. Diagrama Ishikawa

De acuerdo a los resultados generados del cálculo de la huella hídrica, se puede determinar que existe una sobreutilización del recurso hídrico dentro en la producción de rosas de la empresa florícola. Este problema puede tener diferentes causales, sobre los cuales se debe trabajar en reducirlos o eliminarlos.

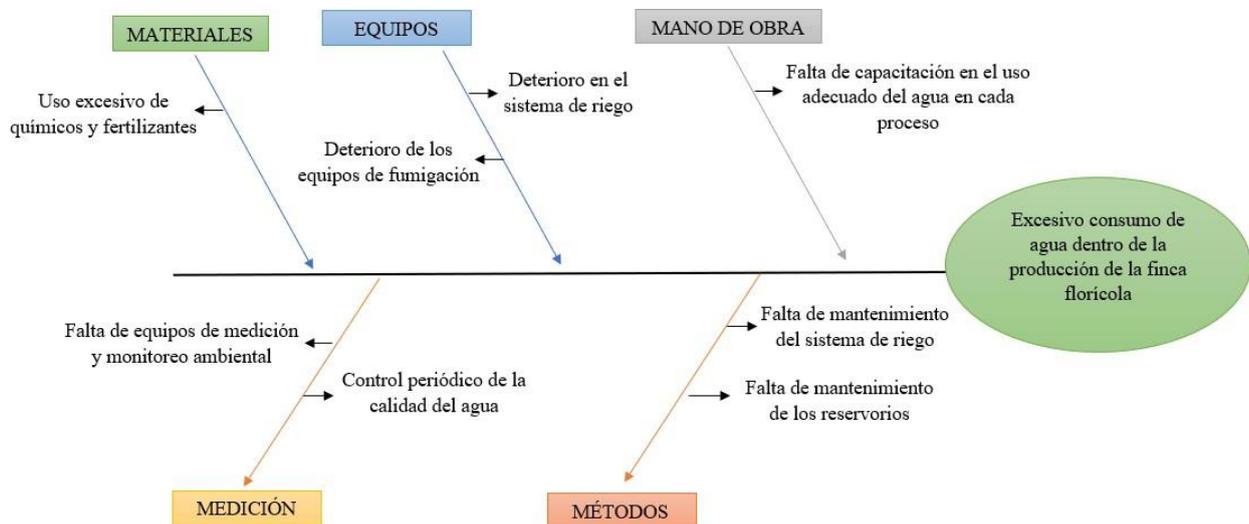


Figura 21: Diagrama de Ishikawa excesivo consumo de agua.

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

Causas

- Falta de capacitación en el uso adecuado del recurso.
- Deterioro en el sistema de riego.
- Deterioro en los equipos de fumigación.
- Uso excesivo de químicos y fertilizantes.
- Falta de control periódico de la calidad del agua.

- Falta de equipos de medición de monitoreo ambiental.
- Falta de mantenimiento del sistema de riego.
- Falta de mantenimiento de los reservorios.

A partir de la aplicación del diagrama de ISHIKAWA Figura 21, que presenta ideas o hipótesis sobre las causas al problema de sobreutilización del agua, se aplica un diagrama de Pareto que permite identificar y priorizar las causales más frecuentes, relevantes o comunes al problema existente. El diagrama de Pareto es una técnica basada en que el 80% del problema se puede eliminar con el 20% de las causas que los originan.

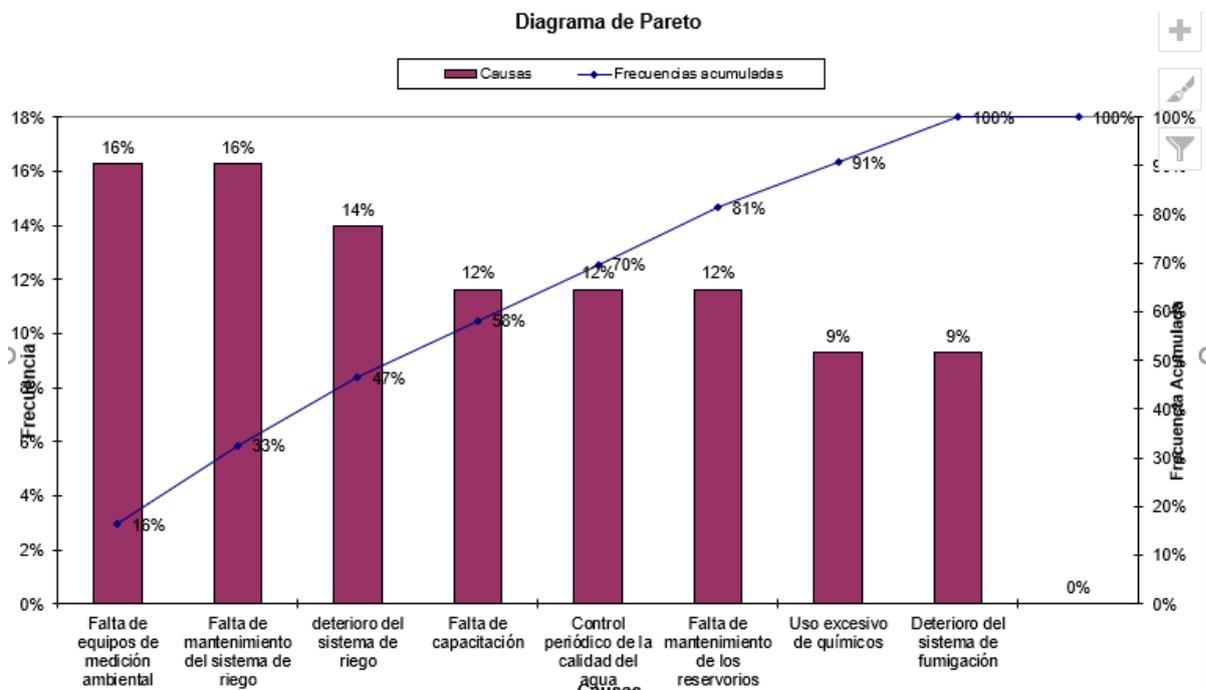
5.2. Diagrama de Pareto

La Tabla 23 muestra las posibles causas que generan el problema, la ponderación o frecuencia, el porcentaje normalizado y el porcentaje acumulado.

Tabla 23: tabla de frecuencias ordenadas

CAUSAS	Frecuencia	Frec. Normaliz	Frec. Acumulada
Falta de equipos de medición ambiental	7	16%	16%
Falta de mantenimiento del sistema de riego	7	16%	33%
deterioro del sistema de riego	6	14%	47%
Falta de capacitación	5	12%	58%
Control periódico de la calidad del agua	5	12%	70%
Falta de mantenimiento de los reservorios	5	12%	81%
Uso excesivo de químicos	4	9%	91%
Deterioro del sistema de fumigación	4	9%	100%
		0%	100%

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).



*Figura 22: Diagrama de Pareto.
Elaborado por: Adriana Rojas (2020).*

Como resultados obtenemos que, las causas más relevantes para que exista un consumo excesivo de agua en el proceso de manejos culturales es la falta de mantenimiento del sistema de riego y el Falta de equipos de medición ambiental, existen otras posibles causas, pero representan un menor impacto ante la problemática. A partir de estos resultados se debe buscar soluciones o mejoras adecuadas que se puedan elaborar e implementar dentro de un plan de mitigación.

El plan de mitigación propuesto se basa en el 20% de las causas resultantes del diagrama de Pareto, **Figura 22**, la ponderación para considerar dentro del plan se fundamentó en tres factores; factibilidad económica, factibilidad de implementación y tipo de agua al cual se debe aplicar. El plan de mitigación debe contar con un objetivo general, objetivos específicos, alcance y las actividades a desarrollar; cada una con tiempos determinados, metas, responsables y actividades específicas.

5.3. PLAN DE MITIGACIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO

Objetivo

Formular un plan de mitigación, prevención y control dentro de los procesos productivos de la empresa florícola, mediante la aplicación de proyectos y acciones factibles para lograr alcanzar un manejo óptimo del recurso hídrico.

Objetivos específicos

- Generar conciencia sobre la importancia del recurso hídrico en los procesos productivos de la empresa.
- Implementar nueva tecnología en la medición y control de los factores que influyen en el desarrollo adecuado de la planta.
- Disminuir el uso de productos químicos para la fumigación y fertilización del cultivo, para disminuir la carga contaminante que afecta a la calidad del agua.
- Desarrollar una planificación para la prevención, mantenimiento y corrección del sistema de riego, para evitar pérdidas del recurso hídrico.

Alcance

El presente plan de mitigación está orientado a una empresa florícola, ubicada en la ciudad de Cayambe. Este pretende tratar el problema de sobreutilización del agua, es decir, controlar o reducir el consumo innecesario del recurso hídrico dentro del proceso de manejos culturales, mediante la generación de estrategias y alternativas, orientadas a la creación de conciencia de una cultura de ahorro y responsabilidad ambiental, de tal manera que vaya acorde a valores empresariales y misión que profesa la empresa.

PLAN DE MITIGACIÓN

El plan de mitigación para la empresa florícola se encuentra en el Anexo 2. Ahí se detallan las actividades que deben realizarse para mitigar las causas que provocan un excesivo consumo de agua.

Dentro de este plan se toma a consideración que, para mejorar las operaciones del cultivo, la empresa debería adquirir herramientas que permitan obtener datos de temperatura, humedad del suelo, evapotranspiración y radiación de manera directa. Esto permitirá contabilizar el agua utilizada, estar al tanto de la cantidad de agua que realmente necesita el cultivo y optimar el proceso de manejos culturales, incluso reduciendo la probabilidad de que ciertas enfermedades afecten a las plantas.

En la Tabla 24 se detalla las herramientas básicas que puede adquirir la empresa para mejorar el control sobre los cultivos y la utilización del agua

Tabla 24: Herramientas propuestas a implementar

Herramienta	Uso
Válvulas volumétricas	Esta herramienta puede contabilizar volumen de agua utilizado, regular la presión de agua y abrir y cerrar el sistema.
Controlador de riego	El principal objetivo de esta herramienta es permitir la programación de horas, días y duración del riego, y es adaptable a cualquier sistema de riego.
Lisímetro	Es un dispositivo utilizado para medir la humedad y evapotranspiración de suelo, indispensable para conocer el balance hídrico
CROPWAT	Software utilizado para medir la cantidad de agua de un cultivo.

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

En la Tabla 25 se detallan los costos de las herramientas propuestas para mejorar el manejo de cultivos, contabilizar y controlar el consumo de agua en el proceso productivo.

Tabla 25: costos de las herramientas

	Detalle	Precio	Cantidad	Total
Costos herramientas	Válvulas volumétricas	\$ 50,00	3	\$ 150,00
	Controlador de riego	\$ 2.400,00	1	\$ 2.400,00
	Lisímetro	\$ 97,00	3	\$ 291,00
	CROPWAT	\$ -	1	\$ -
	Total			\$ 2.841,00

Elaborado por: Adriana Rojas (2020).

Tabla 26: Plan de Mitigación

TEMA	ACCIÓN ESTRATÉGICA	META	TIEMPO	ACCIONES A EJECUTARSE	RESPONSABLE	
Sistema de riego	Desarrollar un programa de mantenimiento del sistema de riego	Reducir el 90% de pérdidas de agua por deterioro en el sistema de riego	mensual	<p>El primer punto del programa de mantenimiento. tratamientos preventivos al sistema:</p> <ul style="list-style-type: none"> evitaran obstrucciones, pérdidas de agua y errores en el funcionamiento del sistema. Se deben abarcar puntos como: - limpieza del sistema de riego por goteo - Revisión de sistemas de programación y bombeo - Revisión de tuberías y sistema en general 	<p>Impacto mitigado:</p> <p>Perdidas de agua por mal funcionamiento del sistema</p>	Área de mantenimiento
			Cuando se presente daños en las tuberías	<p>Como segunda parte de este programa Definir el mantenimiento emergente</p> <p>En caso de que no sea suficiente el mantenimiento preventivo, se debe realizar actividades no programadas, que consisten en:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis del sistema de riego para detectar el daño y verificar si no existe más averías. - estudiar el mejor método que impida que algún daño vuelva a suceder - Reparación de la avería, reemplazando piezas dañadas o en mal estado. 	<p>Impacto mitigado: averías en el sistema de riego</p>	Área de mantenimiento

Medición y monitoreo ambiental	Adquisición de herramientas para medición y control de aspectos ambientales e hidrológicos	Disponer de información meteorológica e hidrológica propia de la empresa		<p>los instrumentos de medición que se proponen utilizar son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Válvulas volumétrica - Controlador autónomo de riego - Lisímetro 	Departamento de compras,
				Software para el control del riego, que establezca el estado de la planta bajo las condiciones y los requerimientos de riego	Ingeniero agrónomo
Socialización y capacitación	Dar a conocer al personal de la empresa sobre el cálculo de la huella hídrica y su importancia para la empresa	Socializar a todo el personal sobre el estudio realizado	30 minutos por área	<p>Exponer los resultados y análisis de la huella hídrica para los procesos productivos</p> <p>-Concientizar al personal sobre el cuidado de los recursos naturales.</p>	Gestión ambiental, tesista
	Orientar al personal sobre la importancia, cuidado y mantenimiento del recurso hídrico	Generar un sentido de responsabilidad sobre el cuidado del recurso hídrico	1 hora	Determinar buenas prácticas culturales, agropecuarias y operativas para el uso adecuado del agua	Gestión ambiental

Conclusiones

- La Huella hídrica es un indicador y tiene como fin calcular el uso del agua a lo largo de una cadena productiva, por lo tanto, su resultado se mira de forma cuantitativa y no establece acciones o maneras de utilizar el agua de una manera más eficiente. Esas estrategias se las debe establecer de acuerdo al nivel de sobre consumo resultante.
- Al analizar la cadena de valor de la empresa florícola, se estableció que los procesos productivos son: Siembra, manejos culturales, cosecha y postcosecha. En ninguno de estos procesos se contabiliza la cantidad de agua utilizada, tampoco cuenta con equipos de medición y monitoreo ambiental, por eso, los datos climáticos y de precipitación fueron brindados por el INAMHI para un periodo de estudio del año 2019.
- Para el cálculo de la huella hídrica, se utilizó el programa CROPWAT, adaptando los requerimientos de riego bajo invernadero. Para este caso, la huella hídrica de la empresa es de $1133.3 \text{ m}^3 / \text{ha}$ y mediante un análisis a estudios similares, se logró determinar que hay una sobreutilización de agua en un 24.4% con respecto a los resultados ideales del software, lo que quiere decir que existe un consumo excesivo de agua en el proceso productivo de la finca.
- Para el desarrollo del plan de mitigación se realizó un diagrama de causa-efecto que determinó las posibles causas que generan una sobreutilización del agua, y a partir de lo obtenido se aplicó un diagrama de Pareto, que permite priorizar el 20% de las causas que constituyen mayor impacto en el problema. Estas causas son: falta de mantenimiento del sistema de riego y deterioro del sistema de riego. Ante estos resultados se propuso diferentes actividades (Anexo 2.) que permitan detener y optimizar el uso del recurso hídrico

Recomendaciones

- Ecuador al ser uno de los principales países productores y exportadores de rosas puede hacer uso de la medición de huella hídrica para generar estrategias que le permitan ser más sostenible, competitivo, responsable en la implementación de acciones que mitiguen el cambio climático.
- Si se requiere de un dato más preciso de la huella hídrica para la empresa florícola, se debe proponer un nuevo estudio, donde se incluya a los procesos de apoyo y para este caso, a los procesos de rosas de larga duración. Estos resultados darán un enfoque más claro de la cantidad real utilizada por la organización.
- Si bien es cierto se utilizó el Software CROPWAT 8,0 para conocer la cantidad de agua que se utiliza en el proceso productivo; también se puede manejar para encontrar la cantidad de agua que se necesita dentro del proceso. Esto teniendo en cuenta las condiciones en las que se presenta el clima y la precipitación para el año 2019 y analizarlas con estudios similares de años anteriores e identificar si existen mayores cambios meteorológicos e hidrológicos.
- La inversión en equipos de medición ayudará a obtener datos más exactos en torno al consumo real del agua en cada una de sus etapas, mejorando la veracidad de los resultados e incluso beneficiaría a un mantenimiento óptimo del cultivo.
- Se recomienda la implementación del plan de gestión hídrico para lograr un manejo óptimo del recurso y así satisfacer hasta cierto punto la necesidad de la empresa por consolidarse como una entidad responsable con el ambiente, generar competitividad frente a otras y obtener ciertos beneficios que estas representan.

Referencias bibliográficas

- AQUASTAT-FAO. (2015). *Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la agricultura*. Recuperado el marzo de 18 de 2020, de http://www.fao.org/nr/water/Aquastat/countries_regions/Profile_segments/ECU-WR_esp.stm
- Asamblea Constituyente del Ecuador. (06 de agosto de 2014). Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua. Quito, Pichincha, Ecuador: Registro oficial N° 305.
- Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador. (2008). Constitución de la república del Ecuador. *Constitución de la república del Ecuador*. Montecristi, Manabí, Ecuador.
- AVAL. (22 de Agosto de 2019). *Situación financiera actualizada del sector florícola*. Obtenido de <https://www.aval.ec/informacion-general-de-empresas/situacion-financiera-actualizada-del-sector-floricola/>
- Banco Mundial. (2019). *Agua Panorama general*. Obtenido de bancomundial.org/es/topic/water/overview
- Beatriz, R. d. (2007). Una visión sostenibilista sobre la escasez del agua dulce en el mundo. *Revista internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 2.
- Benavidez Muñoz, H. (08 de mayo de 2019). *DIALOGUEMOS La academia en la comunidad*. Obtenido de ¿En Ecuador dónde se concentra la mayor demanda de agua? ¿Es realmente en el sector agrícola?: <https://dialoguemos.ec/2019/05/en-ecuador-donde-se-concentra-la-mayor-demanda-de-agua-es-realmente-en-el-sector-agricola/>
- CEPAL. (2012). Diagnóstico de las estadísticas del agua en Ecuador.

COSUDE Colombia; CNPMLTA. (2015). Proyecto Suiza agua Colombia. 4. Grupo Mundo Imagen.

COSUDE, Fundación Chile, Agua limpia. (2016). Manual de aplicación para la evaluación de la huella hídrica acorde a la norma ISO 14046. Santiago: Fundación Chile.

Cumbre Pueblos. (13 de octubre de 2017). *Contaminación del agua: Qué es, causas, consecuencias y soluciones*. Obtenido de <https://cumbrepuebloscop20.org/medio-ambiente/contaminacion/agua/>

EsAgua. (2017). *El valor de la huella hídrica*.

EsAgua. (2017). Huella hídrica, hacia una gestión sostenible de los recursos hídricos. 8. Obtenido de <http://www.esagua.es/wp-content/uploads/2017/03/Reportaje-huella-hidrica-EsAgua.pdf>

EsAgua. (s.f.). *Que es la huella hídrica*. Obtenido de <http://www.esagua.es/que-es-la-huella-hidrica/>

Espinoza Vernaza, E. (diciembre de 2014). *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*. Tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito, Quito.

EXPOFLORES. (15 de octubre de 2015). *Blog con artículos técnicos de producción florícola en Ecuador y noticias del sector*. Recuperado el 26 de noviembre de 2020, de Clima bajo invernadero (Parte 1): <http://expofloresflorecuador.blogspot.com/2015/10/clima-bajo-invernadero.html>

EXPOFLORES. (2019). *Informe Anual de Exportaciones*.

- FAO. (2000). CropWat. Recuperado el 16 de 08 de 2020, de <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>
- FAO. (2013). *Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i3015s.pdf>
- FAO. (2017). Agua y cultivos. Recuperado el marzo de 18 de 2020, de <http://www.fao.org/3/y3918s/y3918s00.htm#TopOfPage>
- Fernández Cirelli, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*. Recuperado el 13 de marzo de 2020, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>
- Fernández, V., Perez, G., Salinas, F., & Cañizares, G. (2017). CAPACITACIÓN VIRTUAL MASIVA ABIERTA Y LA CULTURA DE AHORRO DEL AGUA POTABLE. *Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria*, 109-116.
- Foro de los recursos hídricos. (2013). *La gestión comunitaria del agua para consumo humano y el saneamiento en el Ecuador: Diagnóstico y propuestas*. Quito.
- Galárraga-Sánchez, R. (s.f.). Informe nacional sobre la gestión del agua en el Ecuador. Quito: Tiempo nuevo. Recuperado el 18 de marzo de 2020, de <https://www.cepal.org/DRNI/proyectos/samtac/InEc00100.pdf>
- García Vega, D., García Rojas, H., & Segui-Amortegui, L. (2016). Huella hídrica: análisis como instrumento estratégico de gestión para el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos.
- Hoekstra, A. Y. (2015). *La huella hídrica: la relación ente el consumo humano y el uso del agua*. Springer, Cham.
- INEC. (2019). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Boletín técnico, INEC, Quito. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-
2019/Boletin%20Tecnico%20ESPAC_2019.pdf

INTE ISO 14046:2015. (2015). Gestión ambiental- Huella de agua - Principios, requisitos y directrices. INTECO.

ISO. (2016). Gestión Ambiental. Huella de agua -Principios, requisitos y directrices.

Llop, A., Comellas, E., Buccheri, M., Mendoza, V., Puebla, P., Duek, A., . . . Bertranou, A. (s.f.). *Sobre el alcance y aplicabilidad de la Huella Hídrica*. Asociación Argentina de Economía Agraria. Obtenido de http://www.aaea.com.ar/_upload/files/publicaciones/179_20170113113450_T64.pdf

Manual CROPWAT8.0. (s.f.). Recuperado el 16 de 08 de 2020, de <https://www.scribd.com/doc/61197379/Cropwat-8-0-manual-en-espanol>

Mekonnen. M. Hoekstra, A. (2016). *Glosario*.

Monforte, G., & Cantú, P. C. (2015). Escenario del agua en México. *Culcyt*.

MPCEIP. (2019). Análisis de exportaciones no petroleras ecuatorianas. Guayaquil.

Muñoz Andrés, V., Álvarez Rodríguez, J., & Asedegbega Nieto, E. (2020). *Gestión y conservación de las aguas y suelos*. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.

ONU. (2017). *Agua*. Obtenido de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>

ONU. (2020). Resumen analítico de ONU-Agua sobre recursos hídricos no convencionales. Ginebra.

- Pradana Pérez, J. Á. (2019). *Criterios de calidad y gestión del agua potable*. Pradana Pérez, J. Á. y García, J. (Coord.). (2019). Criterios de calidad y gestión del agua potable. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Obtenido de <https://elibro.net/en/ereader/utnorte/111749?page=15>
- Prieto-Celi, M. (2000). *Gestión sobre la calidad del agua: tendencias del uso del agua marginal en el riego*. Obtenido de http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/docrep/RLC1026s/rlc1026s.002.pdf
- PROECUADOR. (2017). FICHA SECTORIAL: Cultivo de flores.
- SENAGUA, ARCA. (2017). Boletín de la estadística sectorial del agua. Quito. Recuperado el 20 de marzo de 2020, de https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2018/02/Boletin-Estadistico-ARCA-SENAGUA_08feb.compressed-2.pdf
- SENPLADES. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021- Toda una Vida*. Quito.
- Sierra Ramirez, C. A. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. Medellín, Colombia. Obtenido de https://www.academia.edu/9511155/Calidad_del_agua_evaluaci%C3%B3n_y_diagn%C3%B3stico
- Vasquez, E. (21 de Agosto de 2017). Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones. *Agua.org.mx*. Obtenido de <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-soluciones/>

ANEXOS

Anexo 1. Resultados del requerimiento de riego, software CROPWAT 8,0

ETo Penman-Monteith Mensual - C:\Users\Usuario\Documents\TESIS\CROPWAT\ETO DEFINITI...

País: ECUADOR Estación: Tomalon Tabacundo

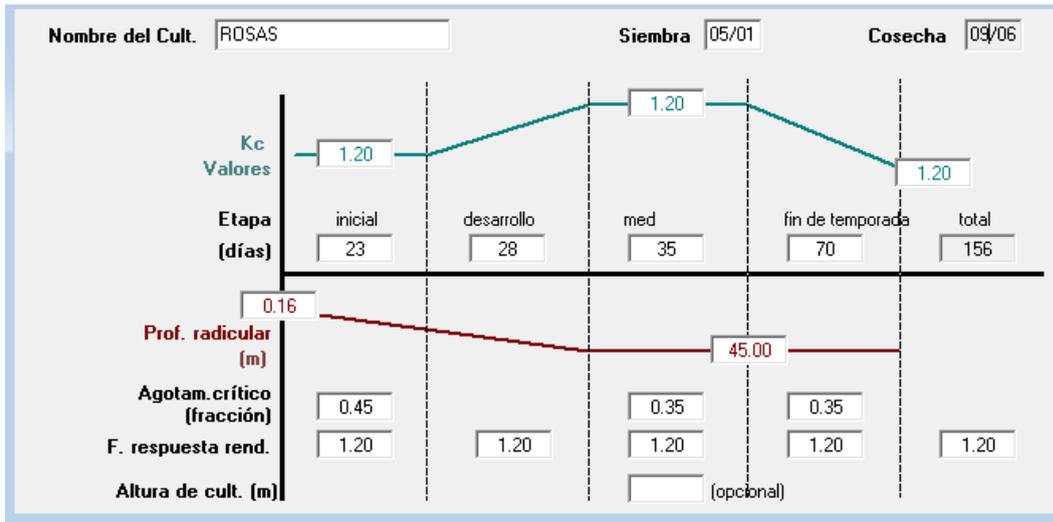
Altitud: 2271 m. Latitud: 0.78 °N Longitud: 0.03 °E

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/día
Enero	7.8	27.2	71	199	1.6	11.4	3.31
Febrero	8.5	26.3	79	130	1.0	10.9	2.74
Marzo	8.4	26.2	77	138	1.6	12.0	2.98
Abril	7.7	25.3	79	138	1.4	11.4	2.78
Mayo	7.7	24.9	77	138	1.4	10.8	2.65
Junio	7.5	26.7	65	199	2.1	11.4	3.42
Julio	5.7	25.4	61	216	2.5	12.1	3.61
Agosto	6.2	25.3	50	311	2.3	12.4	4.51
Septiembre	6.3	27.1	60	233	2.1	12.6	4.00
Octubre	6.4	25.8	76	138	1.7	11.9	2.95
Noviembre	7.7	25.8	81	138	1.7	11.6	2.75
Diciembre	7.3	25.8	78	138	1.9	11.6	2.81
Promedio	7.3	26.0	71	176	1.8	11.7	3.21

Precipitación mensual - C:\Users\Usuario\Documents\TESIS\CROPWAT\PRECIPITAC...

Estación: Cayambe Método Prec. Ef: Método USDA S.C.

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	69.6	61.8
Febrero	64.2	57.6
Marzo	35.3	33.3
Abril	100.6	84.4
Mayo	59.3	53.7
Junio	18.1	17.6
Julio	11.4	11.2
Agosto	3.3	3.3
Septiembre	38.4	36.0
Octubre	45.5	42.2
Noviembre	87.4	75.2
Diciembre	40.6	38.0
Total	573.7	514.3



Suelo - untitled

Nombre del suelo Franco arenoso

Datos generales de suelo

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	160.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precipitación	30	mm/día
Profundidad radicular máxima	300	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	50	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	80.0	mm/metro

Requerimiento de Agua del Cultivo							
Estación ET: Tomalón Tabacundo				Cultivo: ROSAS			
Est. de lluvia: Cayambe				Fecha de siembra: 04/12			
Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req. Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Dic	1	Inic	1.15	3.21	22.5	10.4	15.0
Dic	2	Inic	1.15	3.23	32.3	9.8	22.5
Dic	3	Inic	1.15	3.42	37.6	13.4	24.2
Ene	1	Inic	1.15	3.69	36.9	18.8	18.1
Ene	2	Des	1.15	3.93	39.3	21.9	17.4
Ene	3	Des	1.17	3.73	41.0	21.0	20.0
Feb	1	Des	1.19	3.48	34.8	20.3	14.5
Feb	2	Des	1.20	3.30	33.0	20.1	12.9
Feb	3	Des	1.22	3.44	27.5	17.1	10.4
Mar	1	Med	1.23	3.55	35.5	11.4	24.1
Mar	2	Fin	1.22	3.63	36.3	7.6	28.8
Mar	3	Fin	1.21	3.51	38.6	14.4	24.2
Abr	1	Fin	1.19	3.39	33.9	25.0	8.9
Abr	2	Fin	1.18	3.28	32.8	32.0	0.8
Abr	3	Fin	1.17	3.19	31.9	27.3	4.6
May	1	Fin	1.15	3.11	31.1	21.4	9.6
May	2	Fin	1.14	3.02	30.2	18.1	12.1
May	3	Fin	1.13	3.28	19.7	7.6	12.7
					594.9	317.7	280.7