



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ  
CARRERA AGRONOMÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO  
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA AGRÓNOMA**

**HUELLA HÍDRICA EN EL PROCESO PRODUCTIVO DEL  
BANANO (*Musa AAA*) DE LA FINCA “DON SEGUNDO 1”,  
CANTÓN EL TRIUNFO, GUAYAS**

**AUTORA  
SUÁREZ RUGEL MADELAINE ALEJANDRA**

**TUTOR  
ING. RODRÍGUEZ JARAMA FANNY DEL ROCIO, MSc.**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2024**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: HUELLA HÍDRICA EN EL PROCESO PRODUCTIVO DEL BANANO (*Musa AAA*) DE LA FINCA “DON SEGUNDO 1”, CANTÓN EL TRIUNFO, GUAYAS, realizado por la estudiante SUÁREZ RUGEL MADELAINE ALEJANDRA; con cédula de identidad N°0928636414 de la carrera AGRONOMÍA, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

ING. RODRÍGUEZ JARAMA FANNY DEL ROCIO, MSc.

Guayaquil, 22 de febrero del 2024



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: "HUELLA HÍDRICA EN EL PROCESO PRODUCTIVO DEL BANANO (*Musa AAA*) DE LA FINCA "DON SEGUNDO 1", CANTÓN EL TRIUNFO, GUAYAS", realizado por la estudiante SUÁREZ RUGEL MADELAINE ALEJANDRA, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

---

**ING. KLEBER CALLE ROMERO**  
**PRESIDENTE**

---

**ING. KLEBER MEDINA ROGRÍGUEZ**  
**M.Sc.**  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

**ING. RODRÍGUEZ JARAMA FANNY**  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

Guayaquil, 17 de octubre del 2024

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado especialmente a mi madre, Mayra Suárez y mi tía, Jacqueline Suárez, pilares fundamentales en mi vida. Por su tenacidad y lucha insaciable, por siempre haberme dado fuerza y apoyo incondicional que me han llevado a culminar mi carrera profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por brindarme salud y fortaleza.

A mi madre, ya que sin ella nada de esto sería posible, por todo su esfuerzo, entrega, dedicación y amor.

A mi tía, quien siempre ha velado por mi bienestar y me ha brindado su apoyo en todo momento. A mi familia por darme fuerza y valor. A mi novio por su comprensión y por depositar su entera confianza en cada reto que se me presentó sin dudar de mis capacidades.

## **Autorización de Autoría Intelectual**

Yo SUÁREZ RUGEL MADELAINE ALEJANDRA, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “HUELLA HÍDRICA EN EL PROCESO PRODUCTIVO DEL BANANO (*Musa AAA*) DE LA FINCA “DON SEGUNDO 1”, CANTÓN EL TRIUNFO, GUAYAS” para optar el título de INGENIERA AGRÓNOMA, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 17 de octubre, 2024

SUÁREZ RUGEL MADELAINE ALEJANDRA

C.I. 0928636414

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo la finalidad de estimar la huella hídrica del proceso productivo del banano hasta su empaclado en la finca Don Segundo 1 ubicada en el cantón, El Triunfo, provincia del Guayas, que cuenta con una zona de estudio de 135.94 ha y un rendimiento anual de 61.57 ton/ha; con el propósito de analizar el consumo del recurso hídrico, su contaminación y desperdicio, para lo cual se recopiló información generada *in situ* mediante la instalación del evaporímetro y pluviómetro en la finca, para conocer la evaporación y precipitación de la zona, empleando la metodología planteada por Hoekstra, Chapagain, Aldaya, y Mekonnen (2011), para el cálculo de la huella hídrica, con la cual se determinó un valor total de 146.19 ( $m^3/tn$ ), siendo la huella hídrica verde la mayoritaria debido a que el año 2023 presentó más meses de lluvia que años anteriores por la inusual presencia del fenómeno del niño, con un valor de 76.20 ( $m^3/tn$ ), la huella hídrica azul tuvo un valor de 47.80 ( $m^3/tn$ ) y por último la huella hídrica gris con 22.19 ( $m^3/tn$ ), por lo que se puede decir, que la finca Don Segundo 1 tiene un correcto manejo del recurso hídrico para producir 1ton de fruta.

**Palabras claves:** *Evaporímetro, huella hídrica, in situ, pluviómetro.*

## ABSTRACT

The purpose of this research work was to estimate the water footprint of the banana production process until its packaging on the Don Segundo 1 farm located in the canton, El Triunfo, province of Guayas, which has a study area of 135.94 ha and an annual yield of 61.57 ton/ha; with the purpose of analyzing the consumption of water resources, their contamination and waste, for which information generated in situ was collected through the installation of the evaporimeter tank and rain gauge on the farm, to know the evaporation and precipitation of the area, using the methodology proposed by Hoekstra, Chapagain, Aldaya, and Mekonnen (2011), for the calculation of the water footprint, with which a total value of 146.19 ( $m^3/tn$ ), was determined, with the green water footprint being the majority due Since the year 2023 presented more months of rain than previous years due to the unusual presence of the El Niño phenomenon, with a value of 76.20 ( $m^3/tn$ ), the blue water footprint had a value of 47.80 ( $m^3/tn$ ), and finally the gray water footprint with 22.19 ( $m^3/tn$ ), so it can be said that the Don Segundo 1 farm has correct management of the water resource to produce 1 ton of fruit.

**Keywords:** *Evaporimeter, water footprint, in situ, rain gauge.*



## ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR .....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
Autorización de Autoría Intelectual .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
1.1 Antecedentes del problema.....	14
1.2 Planteamiento y formulación del problema .....	15
<i>1.2.1 Planteamiento del problema .....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.2 Formulación del problema.....</i>	<i>15</i>
1.3 Justificación de la investigación .....	15
1.4 Delimitación de la investigación .....	16
1.5 Objetivo general .....	16
1.6 Objetivos específicos.....	16
1.7 Hipótesis .....	17
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1 Estado del arte.....	18
2.2 Bases teóricas .....	18
<i>2.2.1 Características taxonómicas.....</i>	<i>18</i>
<i>2.2.2 Importancia del cultivo .....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.3 Origen del cultivo de banano .....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.4 Condiciones edafoclimáticas.....</i>	<i>20</i>
2.2.4.1. Suelo .....	20
2.2.4.2. Temperatura .....	20
2.2.4.3. Latitud y altitud .....	20
2.2.4.4. Precipitación.....	21
<i>2.2.5 Fertilización .....</i>	<i>21</i>

2.2.6 Riego y drenaje .....	21
2.2.7 Importancia de los sistemas de riego .....	21
2.2.8 Huella hídrica.....	22
2.2.9 Evaluación de la huella hídrica .....	22
2.2.10 Huella hídrica verde .....	22
2.2.11 Huella hídrica azul.....	23
2.2.12 Huella hídrica gris .....	23
2.2.13 Evapotranspiración (ET).....	23
2.2.14 Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).....	23
2.2.15 ET estimada con el evaporímetro .....	24
2.2.16 Coeficiente de cultivo (Kc).....	24
2.2.17 Evaporímetro .....	24
2.2.18 Pluviómetro .....	25
2.2.19 Balance hídrico .....	25
2.2.20 Precipitación efectiva .....	25
2.2.21 Escorrentía .....	26
2.2.22 Percolación.....	26
2.2.23 Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos...	26
2.3 Marco legal.....	27
2.3.1 Constitución de la República del Ecuador.....	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1 Enfoque de la investigación .....	28
3.1.1 Tipo de investigación.....	28
3.1.2 Diseño de investigación .....	28
3.2 METODOLOGÍA .....	28
3.2.1 Variables .....	28
3.2.1.1. Variable independiente .....	28
3.2.1.2. Variable dependiente .....	28
3.2.1 Tratamientos.....	28
3.2.2 Diseño experimental .....	28
3.2.3 Recolección de datos.....	29
3.2.4.1. Recursos.....	29
3.2.4.2. Métodos y técnicas .....	29
3.2.4.2.1. Métodos de la investigación .....	29

<b>3.2.4.2.2. Técnicas de la investigación</b> .....	29
<b>3.2.4 Análisis estadístico</b> .....	33
<b>4. RESULTADOS</b> .....	34
<b>4.1 Establecimiento de la magnitud de la huella hídrica verde en el proceso productivo de banano en la finca “Don Segundo 1”, en el cantón El Triunfo provincia del Guayas</b> .....	34
<b>4.2 Cuantificación la huella hídrica azul en el proceso productivo de banano en la finca “Don Segundo 1”, en el cantón El Triunfo provincia del Guayas.</b>	36
<b>4.3 Valoración del contenido de nitrógeno total y cloro activo para la definición de la huella hídrica gris durante el proceso productivo del banano.</b> .....	37
<b>5. DISCUSIÓN</b> .....	42
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	44
<b>6.1 Conclusiones</b> .....	44
<b>6.2 Recomendaciones</b> .....	44
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	46
<b>ANEXOS</b> .....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Recursos.....	29
Tabla 2. Precipitación y evaporación de la época lluviosa .....	34
Tabla 3. ETC, ETO y necesidad de riego de la época lluviosa .....	35
Tabla 4. Producción con merma de la finca Don Segundo 1. ....	35
Tabla 5. Producción sin merma de la finca Don Segundo 1. ....	36
Tabla 6. Precipitación y evaporación de la época seca .....	36
Tabla 7. ETC, ETO y necesidad de riego de la época seca.....	37
Tabla 8. Nitrógeno total de la fertilización del banano de la época lluviosa .....	37
Tabla 9. Huella hídrica gris con merma de la época lluviosa .....	38
Tabla 10. Lámina de riego de la época seca .....	38
Tabla 11. Lámina de reposición de la época seca .....	39
Tabla 12. Huella hídrica gris con merma de la época seca.....	39
Tabla 13. Huella hídrica gris con merma de la empacadora .....	40
Tabla 14. Huella hídrica gris total con merma de la finca Don Segundo 1 .....	40
Tabla 15. Huella hídrica gris total sin merma de la finca Don Segundo 1 .....	41
Tabla 16. Datos meteorológicos del mes de enero .....	63
Tabla 17. Datos meteorológicos del mes de febrero.....	63
Tabla 18. Datos meteorológicos del mes de marzo .....	64
Tabla 19. Datos meteorológicos del mes de abril .....	64
Tabla 20. Datos meteorológicos del mes de mayo .....	65
Tabla 21. Datos meteorológicos del mes de junio.....	65
Tabla 22. Datos meteorológicos del mes de julio.....	66
Tabla 23. Datos meteorológicos del mes de agosto .....	67
Tabla 24. Datos meteorológicos del mes de septiembre .....	67
Tabla 25. Datos meteorológicos del mes de octubre .....	68
Tabla 26. Datos meteorológicos del mes de noviembre .....	68
Tabla 27. Datos meteorológicos del mes de diciembre.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la finca Don segundo 1, El Triunfo. ....	51
Figura 2. Instalación del evaporímetro. ....	51
Figura 3. Instalación del evaporímetro en la finca.....	52
Figura 4. Plano de la finca Don Segundo 1.....	52
Figura 5. Nivelación del evaporímetro.....	53
Figura 6. Instalación del pluviometro en la finca .....	53
Figura 7. Toma de datos del pluviometro.....	54
Figura 8. Toma de coordenadas de las válvulas de los módulos.....	54
Figura 9. Evaluación del sistema de riego .....	55
Figura 10. Visita a la finca de la tutora de tesis; ingeniera Fanny Rodríguez... 55	55
Figura 11. Instalación del banner representativo de la tesis en la finca. ....	56
Figura 12. Cambio de agua del evaporímetro. ....	56
Figura 13. Muestras de agua enviadas al laboratorio. ....	57
Figura 14. Toma de muestras de agua de los caudales de drenaje.....	57
Figura 15. Molinete para el aforo del canal de drenaje .....	58
Figura 16. Medición del canal de drenaje de las tinas de lavado.....	58
Figura 17. Aforo del canal de drenaje de las tinas de lavado.....	59
Figura 18. Aforo del canal de drenaje de las tinas de lavado.....	59
Figura 19. Toma de datos del evaporímetro. ....	60
Figura 20. Medición de la presión del sistema de riego con el manometro.....	60
Figura 21. Limpieza del evaporímetro.....	61
Figura 22. Estación de bombeo de la finca. ....	61
Figura 23. Toma de muestras de suelo.....	62
Figura 24. Muestra de suelo recolectada. ....	62
Figura 25. Resultado analítico de la muestra de suelo. ....	70
Figura 26. Resultado analítico de la muestra de agua de nitrógeno. ....	70
Figura 27. Resultado analítico de la muestra de agua de cloro .....	71
Figura 28. Huella hídrica de la finca Don Segundo 1.....	71

## 1. INTRODUCCIÓN

La huella hídrica es una estrecha relación entre el entorno humano y el entorno natural, encaminada a un uso eficiente de agua y al control de la contaminación del agua (López y Paredes, 2018). El Ecuador es el primer productor mundial de banano, cuya calidad hace que este sea consumido en casi todos los países del mundo y ha liderado el mercado internacional del banano durante más de cuatro décadas (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2011).

La agricultura utiliza el 70% del agua dulce del mundo procedente de acuíferos, arroyos y lagos, siendo el cultivo de banano el que requiere un suministro abundante y regular de agua, ya que su escasez puede afectar negativamente el crecimiento y el rendimiento de las plantas y al ser esta una planta perenne, los requerimientos anuales totales de agua son altos, desde 1200 mm en los trópicos húmedos hasta 2200 mm en los trópicos secos (Vargas et al., 2017).

Dada la importancia del riego y del drenaje en el proceso de producción de banano, el uso de agua y la contaminación ambiental han sido durante mucho tiempo una preocupación para la industria, en especial porque los consumidores se vuelven cada vez más exigentes con respecto al impacto que generan los productos que van a consumir y en el sector agrícola, la producción de banano para la exportación es una actividad estratégica a nivel nacional, y según él (Ministerio de Comercio Exterior del Ecuador, 2017) esta actividad representa el 2% del PIB total y alrededor del 35% del PIB agrícola.

También, tiene un gran impacto a nivel hídrico, tanto durante el riego como en los procesos que se realizan en la planta empacadora, por lo que, según los análisis de las estaciones de empaque en Ecuador, la cantidad de agua consumida se estima de 576 m<sup>3</sup>/t/banano, lo que indica una alta demanda del recurso hídrico (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2023).

### 1.1 Antecedentes del problema

El agua, a pesar de ser abundante, se considera un recurso limitado e insustituible para el bienestar humano. A escala global, diversas actividades humanas consumen una gran cantidad de recursos hídrico, que en la mayoría de los casos no se tiene en cuenta ecológicamente, lo que puede conducir a su escasez y en el Ecuador, según datos de SENAGUA publicados en el 2011, la

mayor parte del uso regular del país lo realiza la agricultura, en un 80% (Cabezas y Gonzales , 2017).

Uno de los principales cultivos a nivel nacional es el banano y su producción conlleva una actividad económica de gran importancia debido a los beneficios económicos y sociales para el país. De igual manera, se reconoce que, en el campo agrícola, es uno de los cultivos que demanda grandes cantidades de recurso hídrico en todas sus fases, y si bien el Ecuador, dispone de suficientes cantidades de agua para labores agrícolas, el agua que se utiliza en los distintos procesos no es cuantificada debido a su bajo costo, ya que la mayoría de las fincas se encuentran en la zona rural y obtiene el agua proveniente de fuentes naturales. Es por esta razón que es necesario optimizar el uso del recurso hídrico (Herrera, 2020).

## **1.2 Planteamiento y formulación del problema**

### ***1.2.1 Planteamiento del problema***

La industria bananera ha logrado contaminar el agua utilizada para todos sus procesos de producción, especialmente en la fase agrícola que comprende los procesos de riego de la plantación desde la siembra hasta la cosecha, ya que el cultivo de banano es una de las actividades agrícolas que más necesita del recurso hídrico para proseguir con su línea de producción y exportación, por esta razón la inexistencia de un sistema de cuantificación de huella hídrica en este sector implica riesgos en la gestión del agua, en el nivel ecológico, financiero e incluso legislativo, ya que el sector bananero es el que demanda mayor cantidad de recurso hídrico a nivel nacional, además de las dos terceras partes del agua extraída de los ríos, esteros y drenajes menores se utiliza para su riego (Fernández, 2018).

Sanmartín Blacio (2018) gracias a un cálculo de caudal efluente, determinó que se utilizan  $0.115 m^3$  de agua por caja de banano empacada y según los datos del (Observatorio Estadístico del Banano [OEB], 2023) las exportaciones de banano ecuatoriano, alcanzaron en 2022 los 354.60 millones de caja, un 6.57% menos que los 379.54 millones de cajas exportadas en 2021.

### ***1.2.2 Formulación del problema***

¿Cuál es la huella hídrica del proceso productivo del banano de la finca Don Segundo 1 en el cantón El Triunfo, provincia del Guayas?

## **1.3 Justificación de la investigación**

La asignación racional de agua por parte de los productores de banano a las diferentes áreas del cultivo, así como la determinación de actividades de riego,

aplicación de agroquímicos y fertilizantes en los campos agrícolas, se debe realizar mediante la cuantificación o cálculo de la evapotranspiración del cultivo.

La huella hídrica determina la cantidad de agua dulce asociada al uso de los recursos hídricos como factor de producción, distinguiéndose por su color el uso que se hace de la misma, siendo el agua verde la que representa a la precipitación que se almacena en el suelo como humedad y es utilizada por la transpiración de las plantas, el agua azul es la fuente de agua natural (superficial y subterránea) de la cuenca hidrológica, y la extracción de esta agua del entorno natural para su uso como factor de producción genera huella azul, por último, el acto de contaminar las fuentes de agua naturales crea la huella hídrica gris. Por lo que estimar la huella hídrica del banano, ayuda a tener un registro de la cantidad de recurso hídrico que se utiliza para la producción y a su vez saber qué cantidad de agua se exporta por cada kilogramo de fruta, considerando las características físicas del suelo y las condiciones climáticas del cantón El Triunfo.

#### **1.4 Delimitación de la investigación**

- **Espacio:** Se realizó en el cantón El Triunfo, provincia del Guayas. Coordenadas UTM: X: 663816,33; Y: 9748584,69
- **Tiempo:** La investigación documentada tuvo una duración de un año calendario.
- **Población:** En este proyecto participaron productores de la finca bananera del sector estudiado, docentes y alumnos de la Universidad Agraria del Ecuador, que obtuvieron información acerca de la huella hídrica en el proceso productivo del banano.

#### **1.5 Objetivo general**

Estimar la huella hídrica en el proceso productivo de banano (*Musa AAA*) en la finca “Don Segundo 1”, en el cantón El Triunfo provincia del Guayas.

#### **1.6 Objetivos específicos**

- Establecer la magnitud de la huella hídrica verde en el proceso productivo de banano en la finca “Don Segundo 1”, en el cantón El Triunfo provincia del Guayas.
- Cuantificar la huella hídrica azul en el proceso productivo de banano en la finca “Don Segundo 1”, en el en el cantón El Triunfo provincia del Guayas.



- Valorar el contenido de nitrógeno total y cloro activo para la definición de la huella hídrica gris durante el proceso productivo del banano.

### **1.7 Hipótesis**

Como una contestación anticipada a la problemática y en consonancia a la justificación dada, se espera que la huella hídrica de la producción de banano en la finca Don Segundo 1 hasta el proceso de empacado, in situ, dentro de la provincia del Guayas, cantón El Triunfo, bordee los 500  $m^3$  por kilogramo de fruta, en donde, además, sea la huella azul la que tenga mayor predominancia.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Estado del arte

Cabezas y Gonzales (2017), realizaron la determinación de la huella hídrica en el cultivo de banano de la finca Santa Narcisa, ubicada en la parroquia La Villegas, cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, con una zona de estudio de 40 ha y un rendimiento promedio de 30.5 ton/año. La huella hídrica total dio un resultado de  $1206.44 \text{ m}^3/\text{ton}$ , siendo la huella hídrica verde la mayoritaria con un resultado de  $1027.93 \text{ m}^3/\text{ton}$  (85.20%). Este valor fue considerable debido a las condiciones climáticas de la zona donde se encuentra establecida la finca que presenta un alto nivel de precipitación con un promedio mensual de 562.52 mm para la época lluviosa y de 148.7 mm para la época seca. La huella hídrica azul dio un resultado de  $147.02 \text{ m}^3/\text{ton}$  (12.19%) y finalmente la huella hídrica gris presente en la fase agrícola por la lixiviación de contaminantes como el nitrógeno, con una cantidad de  $31.49 \text{ m}^3/\text{ton}$  (2.61%).

Un estudio de evaluación de la huella hídrica del banano en la provincia de Los Ríos realizado por Fernández Guayasamín (2018), en 22 haciendas de banano que tienen un rendimiento promedio de 58.9 ton/ha, con una evapotranspiración de agua azul de 1201.7 mm/anual y agua verde de 1445.5 mm/anual, muestra un promedio de  $404.6 \text{ m}^3/\text{tn}$  de huella hídrica azul,  $486.7 \text{ m}^3/\text{tn}$  de huella hídrica verde y  $37.8 \text{ m}^3/\text{tn}$  de huella hídrica gris.

Zarate y Kuiper (2015), evaluaron una muestra de 15 haciendas productoras de banano en Ecuador con un área promedio de 10 ha por finca y seis haciendas con 0.5 a 1 ha en Perú, donde, las muestras de Ecuador incluyen cultivo convencional, orgánico y agroforestal; mientras que en Perú solo presenta cultivo orgánico y se obtuvo un valor promedio de huella hídrica para la muestra de Ecuador de  $57.6 \text{ m}^3/\text{tn}$  siendo el 48% de huella hídrica verde, 34% huella hídrica azul y 18% huella hídrica gris y para la muestra Peruana de  $599 \text{ m}^3/\text{tn}$  que corresponde el 94% a la huella hídrica azul y el 6% a la huella hídrica verde y al ser cultivos orgánicos no ocurre lixiviación de nitrógeno, por tanto la huella hídrica gris es cero.

### 2.2 Bases teóricas

#### 2.2.1 Características taxonómicas

Según Pineda (2021) la clasificación taxonómica del banano es la siguiente:

Reino: Plantae;  
División: Magnoliophyta;  
Clase: Liliopsida;  
Orden: Zingiberales;  
Familia: Musáceas;  
Género: Musa;  
Especie: paradisiaca;  
Nombre: Musa paradisiaca L.

### **2.2.2 Importancia del cultivo**

A nivel mundial, el banano es el cuarto cultivo más importante después del maíz, el arroz y el trigo; alcanzando un 15% del volumen total de la producción de frutas a nivel mundial, por lo que contribuye en el desarrollo económico y social en muchos países tropicales mediante la creación de puestos de trabajo y divisas (Vargas et al., 2017)

Según el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2022), el cultivo de banano (*Musa AAA*), es la actividad agrícola más importante para la economía del país; En el año 2010, Ecuador exportó 265 millones 587 mil 828 cajas con un peso de 18.14 kg, equivalentes a unas cuatro millones 828 mil toneladas. Un tercio de las exportaciones mundiales se origina en Ecuador, que actualmente genera \$1900 millones en ingresos de divisas y \$90 en impuestos gubernamentales. Los ingresos del banano representan el 3.84% del PIB total; 50% del PIB agrícola y 20 % de las exportaciones privadas del país. El cultivo de banano y sus industrias relacionadas brindan empleo a más de un millón de familias, lo que representa 2.5 millones de personas, o alrededor del 17% de la población actual, dependiendo de la industria bananera. El mercado del banano ecuatoriano es muy diverso, la fruta se exporta a la Unión Europea (42%), Estados Unidos (21%), Rusia (20%), Cono Sur (6%) como principales mercados y el 11% a mercados fronterizos (Medio Oriente, Europa del Este, África del Norte y Asia).

La superficie cultivada de 230 000 hectáreas se concentra principalmente en las tres provincias costeras del Guayas, Los Ríos y El Oro (92%) y las otras siete provincias (8%) (Ministerio de Comercio Exterior del Ecuador, 2017).

El cultivo de banano (*Musa AAA*), es un apoyo importante para seguridad socioeconómica y alimentaria del país. Desde un punto de vista socioeconómico, el banano es una fuente de empleo estable y proporciona alimentos ricos en

energía constante para la mayoría de la población agrícola. En la actualidad, todo el país tiene una superficie total de cultivo de banano de 144 981 hectáreas, de las cuales 86 712 hectáreas son para sistemas de monocultivo y 58269 para cultivos asociados (INEC, 2011).

### **2.2.3 Origen del cultivo de banano**

Originario del Sudeste Asiático, el banano se cultiva desde hace unos 10 000 años, cuyos primeros vestigios se descubrieron en Papúa Nueva Guinea en el siglo VII a.C. Esta planta herbácea gigante pertenece a las monocotiledóneas y a la familia de las musáceas, que originalmente crecía de forma silvestre y se propagaba por semillas (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo [INFOCOMM], 2015).

### **2.2.4 Condiciones edafoclimáticas**

El clima afecta el establecimiento de la mayoría de los cultivos y directamente su crecimiento y desarrollo, por lo que, a la hora de cultivar banano, es necesario tener en cuenta las características edafoclimáticas de la región:

#### **2.2.4.1. Suelo**

Los suelos destinados al cultivo de banano deben tener ciertas condiciones que los hagan aptos para este fin, por lo que se recomienda suelos que varían ligeramente de ácidos a neutros (pH 6.5 – 7.0), aunque puede tolerar los ligeramente alcalinos, también deben tener una topografía plana para favorecer las labores culturales y evitar la erosión, sueltos, profundos, abundantes en materia orgánica, fértiles y con buen drenaje (Chemonics International, 2019).

#### **2.2.4.2. Temperatura**

Según Agrocalidad (2018) la temperatura es un factor importante que regula el crecimiento de las plantas, las condiciones óptimas se pueden considerar entre 20 a 35.5 °C, en las que se produce el mejor rendimiento, a temperaturas inferiores a 20 °C el desarrollo se retarda y la producción desciende, en tanto que con temperaturas de 40 °C no se han visualizado efectos negativos cuando el suministro de agua es adecuado.

#### **2.2.4.3. Latitud y altitud**

La latitud concentra los mejores rendimientos a 15° al norte y al sur del ecuador terrestre, pero también se puede encontrar buenos rendimientos hasta los 30°. La altitud máxima recomendada para el banano es de 2000 msnm; se debe tener en cuenta que la altitud puede retrasar el ciclo vegetativo un mes por cada

100 metros adicionales por encima del nivel del mar (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura [INTAGRI], 2018).

#### **2.2.4.4. Precipitación**

Con precipitaciones de 1800 a 3000 mm/año, distribuidos uniformemente durante todo el año, cuando la precipitación no está bien distribuida, es decir, de 100 a 180 mm/mes, se requiere de un sistema de riego, entonces, la demanda de agua es demasiada elevada; si la lluvia no la compensa se debe regar regular y continuamente, si no se riega, la sequía provoca desecación de las hojas, empezando por las más viejas, luego la marchitez de las vainas y finalmente la rotura del pseudotallo (InfoAgro, 2019).

#### **2.2.5 Fertilización**

Las plantas de banano morfológicamente tienen un sistema radicular que se caracteriza por ser de rápido crecimiento vegetativo; lo que resulta como una gran capacidad de absorción de nutrientes del suelo ya que la fertilización puede ser de forma granular, orgánica y foliar, dependiendo de las necesidades del cultivo en base a los análisis foliares y de suelo y sus dosis por planta varía entre 60 a 120 g/planta dependiendo del estado fenológico del cultivo; sin embargo, el fertilizante debe usarse con mayor frecuencia en dosis más pequeñas, cada dos semanas dependiendo de la composición requerida por el cultivo (Vargas et al., 2017)

#### **2.2.6 Riego y drenaje**

Santos et al., (2018), indican que entendemos por métodos de riego al modo en que se aplica el agua a los lotes regados, y se entiende por sistemas de riego al conjunto de equipos y técnicas que compensan esa aplicación basándose en un método en específico.

El manejo del agua en el sistema productivo de banano tiene como objetivo lograr un equilibrio entre la cantidad de agua disponible en el suelo y la cantidad requerida por la planta, siendo los componentes principales el drenaje para eliminar el exceso de agua y el riego para compensar la escasez de agua debido a la falta de lluvia o alta evapotranspiración (Vézina, 2020).

#### **2.2.7 Importancia de los sistemas de riego**

En el Ecuador los recursos hídricos son desperdiciados, la cantidad de agua a disposición en todos los sistemas hidrográficos del territorio es de 432 000  $hm^3$  en la época lluviosa y de hasta 146 000  $hm^3$  en la época seca, debido a la irregular distribución espacial y temporal de las precipitaciones (Caicedo et al., 2019).

Herrera (2020), comenta que los sistemas de riego permiten asegurar que en épocas secas los cultivos continúen con sus procesos fisiológicos normales, para que los niveles de producción no disminuyan, puesto que el éxito de los sistemas de riego radica en programar el tiempo y cantidad de riego para garantizar la cantidad adecuada de humedad para el crecimiento de las plantas, por lo cual, las innovaciones han aumentado la eficiencia de los sistemas de riego en los cultivos, lo que permite una gestión adecuada del agua que es el recurso esencial para el crecimiento y desarrollo de estas.

### **2.2.8 Huella hídrica**

La huella hídrica es una medida del uso del agua dulce que se enfoca no solo en el consumo directo de agua por parte de los consumidores o productores, sino también en el uso indirecto del agua (Arévalo et al., 2019). La huella hídrica es útil para cuantificar los flujos de agua de las importaciones y exportaciones ya que su estudio a niveles geográficos permite conocer cuanto recurso hídrico, y en qué condiciones se utiliza (Tolón et al., 2017).

### **2.2.9 Evaluación de la huella hídrica**

La evaluación de la huella hídrica pretende ser una herramienta analítica para ayudar a comprender como las actividades y los productos están relacionados con la escasez y la contaminación del agua y sus consecuencias. Además, cuando se usa, permite tomar acciones que pueden garantizar que las actividades y los productos contribuyan al uso sostenible de los recursos mediante la identificación de pasos que pueden reducir el uso del agua (Hoekstra et al., 2011).

Al evaluar la huella hídrica, primero se deben definir claramente los objetivos y en que parte del proceso producción se la va a evaluar, luego se recopilan los datos necesarios y se cuantifica la huella hídrica, posteriormente se realiza un análisis de sostenibilidad desde el punto de vista ambiental, social y económico y finalmente se establecen estrategias para mejorar el uso del recurso hídrico (Cabezas y Gonzales, 2017).

### **2.2.10 Huella hídrica verde**

La huella hídrica verde es la cantidad de agua lluvia utilizada durante un proceso de producción, esta permanece en el suelo, en la superficie o en la vegetación por lo que no provoca escorrentía y no se une a las aguas subterráneas, es decir no fluye hacia canales o reservorios, siendo la parte de la precipitación que se evapora o transpiran las plantas, aunque estas no pueden absorber

completamente el agua verde disponible debido a factores como la evaporación del suelo o la disponibilidad limitada de agua en ciertas épocas del año (Hoekstra et al., 2011).

El uso de agua verde para la agricultura se puede cuantificar utilizando un conjunto apropiado de fórmulas empíricas o modelos de cultivos para estimar la evapotranspiración del agua utilizando una base de datos de las características atmosféricas, climáticas, del suelo y del cultivo (Hoekstra et al., 2011).

#### **2.2.11 Huella hídrica azul**

La huella hídrica azul es la cantidad de agua dulce de fuentes superficiales y subterráneas que utilizan los cultivos solo para riego, las plantas la usan y luego se evapora, y este consumo se refiere a la pérdida de agua azul ya que al evaporarse no vuelve a la misma cuenca, queda contenida en el producto, es decir, no vuelve al sistema que le dio origen (Cabezas y Gonzáles, 2017).

#### **2.2.12 Huella hídrica gris**

La huella hídrica gris de una fase del proceso, es un indicador de cómo se puede asociar la contaminación del agua dulce con un paso del proceso, esta se define como el volumen de agua dulce requerido para absorber la carga de contaminante, con base en las concentraciones naturales y las normas o reglamentos ambientales de calidad del agua existentes, puesto que el concepto de huella hídrica gris surge del reconocimiento de que el grado de contaminación del agua se puede expresar en términos del volumen de agua necesario para diluir los contaminantes y hacerlos inofensivos (Water footprint network, 2011).

#### **2.2.13 Evapotranspiración (ET)**

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente, y no hay una manera fácil de diferenciarlas, además de la presencia de agua en las capas superficiales, la evaporación de las tierras cultivables está determinada principalmente por la proporción de radiación solar que llega a la superficie del suelo, mientras que la evapotranspiración generalmente se expresa en milímetros (mm) por unidad de tiempo y esta representa la cantidad de agua perdida del área cultivada por unidad de altura, pero la unidad de tiempo puede ser una hora, un día, 10 días, un mes o incluso una temporada de cultivo o un año (FAO, 2006).

#### **2.2.14 Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>)**

Las observaciones meteorológicas cuantificadas son de gran importancia en la agricultura ya que con esto se puede incrementar la productividad (Velasco et al.,

2019). La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que surge sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina  $E_{To}$ , siendo los parámetros climáticos los únicos que pueden afectarla, por lo tanto,  $E_{To}$  también es un parámetro climático que se puede calcular a partir de datos meteorológicos, ya que, representa la evaporación de la atmósfera en un lugar y época del año en particular (Monge, 2023).

#### **2.2.15 ET estimada con el evaporímetro**

La evaporación de una superficie libre de agua, proporciona un índice del efecto integrado de la radiación, temperatura del aire, humedad del aire y el viento en la evapotranspiración, sin embargo, la diferencia entre la superficie del agua y la superficie tratada da como resultado una diferencia significativa entre la pérdida de agua de la superficie libre de esta, y la superficie cultivada, por tanto, el evaporímetro ha demostrado su utilidad y se ha utilizado con éxito para estimar la evapotranspiración de referencia mediante la observación de la pérdida por evaporación de una superficie de agua y haciendo uso de coeficientes empíricos para relacionar la evaporación del evaporímetro con la  $E_{To}$  (FAO, 2006).

#### **2.2.16 Coeficiente de cultivo ( $K_c$ )**

Durante la temporada de crecimiento del cultivo, el cambio del coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) representa los cambios de la cubierta vegetal y la cobertura del suelo y este cambio del coeficiente ( $K_c$ ) durante todo el crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo, así como también, solo se necesitan tres valores de ( $K_c$ ) para describir y trazar la curva del coeficiente del cultivo: los correspondientes a la etapa inicial ( $K_c$  ini), la etapa de mediados de temporada ( $K_c$  med) y la etapa final ( $K_c$  fin) (Monge, 2023).

#### **2.2.17 Evaporímetro**

La evapotranspiración del cultivo se puede obtener mediante el uso del evaporímetro y las lecturas se deben realizar diariamente cerca de las 7am. La diferencia entre la toma de datos del día actual y el día anterior representa la lámina de agua evaporada en el transcurso de las últimas 24 horas y una vez que se obtiene el valor de EV registrado en el evaporímetro, se puede calcular la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ), que es el consumo de agua del cultivo y donde solo el clima determina la evapotranspiración, también se debe tener en cuenta el coeficiente del evaporímetro  $K_t$ , el cual es un valor que también depende de las condiciones climáticas (Romero et al., 2016)



El evaporímetro no ofrece una medida incorporada del efecto de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo que se da en la superficie libre de agua, sin embargo, hay más factores que interfieren en la evaporación y transpiración, como lo son: la radiación solar, la acumulación de calor en el agua almacenada en el evaporímetro, vientos alrededor del evaporímetro, entre otros (Ortiz et al., 2018).

#### **2.2.18 Pluviómetro**

Las lecturas de precipitación representan la altura que alcanzará el agua que cae en la ubicación del pluviómetro, lo que quiere decir, que la lluvia que cae cubrirá la superficie de la tierra con una capa de la misma altura si parte del agua que llega al suelo en ese momento no se infiltra, evapora o escurre hacia ríos o canales de drenaje, por lo que el valor medido en el pluviómetro es muy útil para los cálculos y la altura de la capa de agua es una aproximación medida en milímetros (Iturralde Vinent, 2017).

#### **2.2.19 Balance hídrico**

El balance hídrico indica que la cantidad total de agua que ingresa al sistema debe ser igual a la cantidad de agua que sale del sistema y se puede calcular diariamente o mensualmente según la situación (Cortes y Torres, 2016). De la cantidad de agua que se deposita en el suelo, una parte de ella no se absorbe, fluye hacia niveles bajos, mientras que la otra parte se penetra en la superficie aumentando la cantidad de agua en el suelo y saturando las distintas capas, profundizándose hasta alcanzar una capa impermeable donde se pierde por escurrimiento profundo y solo una cantidad de agua queda en la profundidad donde se crecen los cultivos (Martínez y Garbi, 2020).

Tener en cuenta el balance hídrico como herramienta básica para calcular el volumen de agua percolada, es necesario, debido a que se relacionan los intercambios de agua entre la planta, el suelo y la atmósfera (Acón et al., 2019).

#### **2.2.20 Precipitación efectiva**

La precipitación representa una gran parte de la totalidad del aporte de agua al suelo, del agua que se precipita sobre el suelo, una cantidad es interceptada por la vegetación, otra cantidad se infiltra hacia la capa radical, un porcentaje se percola debajo de las raíces del cultivo y otra parte se escurre en la superficie del suelo (Cleves et al., 2016).

La precipitación efectiva se define como la relación de la precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades hídricas de las plantas y que no se pierde por escorrentía o percolación (Villalobos et al., 2009).

#### **2.2.21 Escorrentía**

La escorrentía es la parte de agua de lluvia o de riego que cae sobre el suelo, pero no se infiltra en este, por lo que el exceso de agua se escapa del suelo sin ser aprovechado por las plantas. El coeficiente de escorrentía es la cantidad de agua que se encuentra sobre la superficie del suelo regado dividida por la cantidad total de agua suministrada por el riego (Castillo, 2020)

#### **2.2.22 Percolación**

La percolación se da cuando el agua que cae a la superficie del suelo se infiltra hacia las capas más profundas de este y si la cantidad de agua aplicada supera la capacidad de retención, se infiltrará hacia zonas en las cuales las raíces de los cultivos no tienen acceso, siendo por lo tanto agua perdida. La relación de filtración es la cantidad de agua que percola dividida por el agua de riego total (Gaspari et al., 2007). Para estimar la percolación del agua en el suelo es habitual utilizar el método del balance hídrico, para el cual se necesitan varios datos diarios, los cuales en ocasiones son incompletos o no son justificados en el campo, además de que exista cierta inquietud en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (Teófilo et al., 2019).

#### **2.2.23 Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos**

El método actual utilizado es el propuesto por Chapagain y Hoekstra, que ha sido adaptada para calcular la huella hídrica de la comarca del poniente Almeriense, mayor exponente europeo de la agricultura intensiva bajo plástico. Para su cálculo se utilizaron datos de la campaña agrícola 2009/2010 para cultivos de: pimiento, tomate, pepino, sandía, melón y judía verde. Como resultado, se encuentra que, aunque el consumo de agua es en exceso, el costo de exportar agua virtual es alto, por lo que la huella hídrica es muy pequeña. Este hecho, junto con la alta eficiencia en el consumo de agua y los altos ingresos económicos, justifican el uso intensivo del agua y los insumos externos necesarios (Tolón et al., 2013).

## 2.3 Marco legal

### **2.3.1 Constitución de la República del Ecuador**

Art.12.- “El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”.

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. 410.- El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua (Constitución de la República del Ecuador 2008, Art 12, Art 318, Art 410, Art 411).

### **Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua**

Art. 12.- Protección, recuperación y conservación de fuentes. El Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos, así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única del Agua de acuerdo con lo previsto en la Constitución y en esta Ley.

Art. 40.- Principios y objetivos para la gestión del riego y drenaje. El riego y drenaje es un medio para impulsar el buen vivir o sumak kawsay. La gestión del riego y drenaje se regirán por los principios de redistribución, participación, equidad y solidaridad, con responsabilidad ambiental (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014, p. 14)

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Enfoque de la investigación

##### 3.1.1 Tipo de investigación

De acuerdo al planteamiento esta investigación es de tipo descriptivo – no experimental, ya que se recopiló información generada *in situ*, con la que se buscó delinear la huella hídrica de la producción de banano. Se levantaron datos de evapotranspiración de cultivo y de referencia, precipitación, volúmenes de riego, pérdidas por percolación y rendimiento de cultivo en la finca “Don Segundo 1” ubicada en el cantón El Triunfo, provincia del Guayas durante un año calendario.

##### 3.1.2 Diseño de investigación

La investigación es de carácter no experimental ya que no se manipularon las variables. Se interpretaron los datos recolectados para luego describirlos y analizarlos.

#### 3.2 Metodología

Para la cuantificación de la huella hídrica se implementó la metodología de Hoekstra propuesta en el manual *The Water Footprint Assessment* (Water footprint network, 2011), y esta investigación forma parte del proyecto de Huella Hídrica de la Universidad Agraria del Ecuador.

##### 3.2.1 Variables

###### 3.2.1.1. Variable independiente

Evapotranspiración

Precipitación

Rendimiento

Concentración de nitrógeno en el agua de percolación

Concentración de cloro activo en el proceso de empaque

###### 3.2.1.2. Variable dependiente

Huella hídrica azul

Huella hídrica verde

Huella hídrica gris

##### 3.2.1 Tratamientos

Esta investigación no está compuesta de tratamientos.

##### 3.2.2 Diseño experimental

En esta investigación no existe diseño experimental.

### 3.2.3 Recolección de datos

Se recolectó datos de evapotranspiración de cultivo y de referencia, precipitación, volúmenes de riego, pérdidas por percolación y rendimiento del cultivo de banano.

#### 3.2.4.1. Recursos

**Tabla 1.**  
**Recursos**

Recursos	Especificaciones	Cantidad	Valor \$
Pluviómetro	12 cm	1	20
Evaporímetro	20 l	1	20
Malla metálica	5 m	1	25
Cinta métrica	100 m	1	30
Manómetro	200PSI	1	8
Nivel	24"	1	10
Pallet	-----	1	15
Viáticos	-----	-----	500
Estudio de suelo	-----	1	40
Estudio de muestras de agua	-----	5	200
Total			\$868

**Elaborado por: La autora, 2024**

#### 3.2.4.2. Métodos y técnicas

##### 3.2.4.2.1. Métodos de la investigación.

En la presente investigación se utilizó el método de observación, ya que se observó con atención los datos de lluvia y evaporación diaria para registrar la información y que esta sea analizada para determinar los resultados.

##### 3.2.4.2.2. Técnicas de la investigación.

El proceso de estimación de requerimientos de agua se basa en: ubicación del cultivo, datos del cultivo, variables climáticas de precipitación y evapotranspiración. Para la estimación de la huella hídrica del proceso productivo del banano hasta su empacado se obtuvo de la sumatoria de la huella hídrica verde, huella hídrica azul y la huella hídrica gris expresada en volumen/peso (Hoekstra et al., 2011), esto es:

$$HH = HH_{VERDE} + HH_{AZUL} + HH_{GRIS}$$

Fórmula 1

**Objetivo 1:** Establecimiento de la magnitud de la huella hídrica verde en el proceso productivo de banano en la finca “Don Segundo 1”, en el en el cantón El Triunfo provincia del Guayas.

**Actividad 1:** Para alcanzar el objetivo planteado, se determinó el proceso de evapotranspiración, para lo cual se realizó la instalación de un evaporímetro *in situ*. Se instaló en la finca un balde de color claro, de 26 a 30 cm de diámetro con una altura de 40 cm, con protección de malla sobre una plataforma de madera y que pueda tener ventilación con espacio desde barlovento. Se lo perforó a 4 cm desde la parte superior para tener el control de nivel constante en el llenado y se le colocó una cinta métrica para tomar las medidas en mm, no se permitió que el agua se evapore más allá de 7 cm. Los datos se tomaron diariamente, a una hora fija para cubrir 24 horas. Se lo ubicó en un lugar abierto donde no se le genere sombra, cercano a la empacadora.

**Actividad 2:** Como segunda actividad, se instaló un pluviómetro en la finca a 1 m de distancia donde se encontraba el evaporímetro con 1 m de altura para medir la precipitación. De igual manera, los datos se tomaron diariamente, a una hora específica para cubrir las 24 horas.

**Actividad 3:** La determinación de la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), se estableció basada parcialmente en el método del evaporímetro clase A, a través de la siguiente expresión:

$$ET_c = 0.91 \times E_c \times K_{tan} \times K_c$$

Fórmula 2

Siendo  $E_c$  la evaporación medida en el evaporímetro,  $K_{tan}$  el coeficiente del evaporímetro y  $K_c$  el coeficiente de cultivo.

También se recolectaron datos de producción; merma, ratio y el número de cajas por semana durante la época lluviosa.

La huella hídrica verde se determinó mediante las siguientes ecuaciones:

$$HHVERDE = \frac{UAC\ VERDE}{R}$$

Fórmula 3

La huella hídrica verde está dada en  $m^3/t$  (equivalente a L/kg), siempre y cuando el Uso de Agua del Cultivo,  $UAC_{VERDE}$  (ETC) este dado en  $m^3/ha$  y  $R$  en t

/ha. Según lo recomendado por Hoekstra (2011) para cultivos perennes. Por lo tanto:

$$UAC_{VERDE} = 10 \times \sum ETC_{VERDE}$$

Fórmula 4

$$N_R = ETC - P_E$$

Fórmula 5

$$P_E \times \frac{125 - 20\% \times P_E}{P_E}$$

Fórmula 6

**Objetivo 2:** Cuantificación de la huella hídrica azul en el proceso productivo de banano en la finca “Don Segundo 1”, en el en el cantón El Triunfo provincia del Guayas.

**Actividad 1:** Para el cumplimiento de este objetivo, se evaluó el sistema de riego de la finca “Don Segundo 1”, tomando 1 módulo cercano a la bomba, uno medianamente cercano y uno lejos de la bomba. Se empleó el método polinomial planteado por el Dr. Euzebio Medrado Da Silva (2009), en donde los caudales tomados de los módulos de riego fueron evaluados para conocer el caudal medio.

Se seleccionaron 10 aspersores en cada módulo, se midió la presión con un manómetro y se recolectó el agua en un recipiente durante un minuto. Posteriormente, se obtuvo la cantidad de agua en litros/min de cada aspersor.

Cabe indicar que, para el cumplimiento de este objetivo también se valoró la evapotranspiración del cultivo, los datos de producción; merma, ratio y el número de cajas por semana durante la época seca.

Para estimar la huella hídrica azul se utilizó la expresión con la que según Hoekstra (2011), se puede determinar:

$$HHAZUL = \frac{UAC_{AZUL}}{R}$$

$$UAC_{AZUL} = 10 \times \sum ETC_{AZUL}$$

Fórmula 7

**Objetivo 3:** Valoración del contenido de nitrógeno total y cloro activo para la definición de la huella hídrica gris durante el proceso productivo del banano.

**Actividad 1:** Para la obtención del objetivo planteado, se tomaron muestras de agua de los canales de drenaje de la finca y tinas de lavado, las cuales se enviaron al laboratorio para valorar la concentración del contaminante; nitrógeno total y cloro respectivamente. Se recolectaron dos muestras de nitrógeno, una muestra antes de la fertilización y la otra muestra se extrajo 72 horas después de la fertilización.

Se tomaron muestras de suelo para conocer qué porcentaje de materia orgánica posee la finca y posteriormente se aforó el caudal de descarga de las tinas de lavado para conocer su caudal.

Para estimar la huella hídrica gris de la época lluviosa se utilizó la siguiente expresión:

$$HH_{Gris} = \frac{a \times TA / C_{permitida}}{R}$$

Fórmula 8

Donde  $a$  es la fracción de lixiviación que se toma 10% para fertilizantes nitrogenados,  $TA$  es la tasa de aplicación de Nitrógeno/ha,  $C_{permitida}$  es la concentración máxima permitida por el Acuerdo Ministerial 097 (Ministerio del ambiente, 2015) que es de 50 mg/L y  $R$  es el rendimiento en t/ha.

Para calcular la huella hídrica gris de la época seca:

$$HH_{Gris} = \frac{A_p \times C_c / C_{permitida}}{R}$$

Fórmula 9

$A_p$  es el agua de percolación en m<sup>3</sup>/ha,  $C_c$  es la concentración del contaminante en mg/m<sup>3</sup> y  $C_{permitida}$  es la concentración máxima permitida por la legislación ecuatoriana en mg/m<sup>3</sup>.

$$A_p = \sum L_R - \sum L_{REP}$$

Fórmula 10

$\sum L_R$  es la lámina de riego administrada durante toda la época de riego en (mm) y  $\sum L_{REP}$  es la lámina de reposición aplicada en (mm).

$$L_R = \frac{Q_i \times t_r}{d_a \times d_l}$$

Fórmula 11

Donde  $Q_i$  es el caudal medio del aspersor en L/h,  $t_r$  es el tiempo de riego en (h),  $d_a$  es la distancia entre aspersores (m) y  $d_l$  es la distancia entre laterales (m)



$$L_{REP} = \frac{0.1CC}{100} \times D_A \times P_R$$

Fórmula 12

$D_A$  es la densidad aparente en g/cm<sup>3</sup> y  $P_R$  la profundidad radicular efectiva en mm.

Determinación de la huella hídrica gris en la empacadora:

$$HH_{Gris} = \frac{(\sum V_i \times C_C) / (A \times C_{permitida})}{R}$$

Fórmula 13

$\sum V_i$  es la sumatoria de los volúmenes de agua utilizados en cada proceso de empaclado,  $C_C$  la concentración del contaminante, en este caso, el cloro activo,  $A$  las ha de la finca.

Se define volumen por:

$$V_i = q_i \times t$$

Fórmula 14

Donde  $q_i$  es el caudal de descarga de las tinajas de proceso y  $t$  el tiempo medio de duración de los procesos de producción.

### **3.2.4 Análisis estadístico**

El proyecto se desarrolló en base a la metodología establecida. Para esto se aplicó estadística descriptiva con la finalidad de analizar, describir y representar un conjunto de datos de las variables en estudio como son las variables dependientes y variables independientes antes mencionadas. Los valores obtenidos fueron organizados en tablas y se representaron mediante gráficos estadísticos.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Establecimiento de la magnitud de la huella hídrica verde en el proceso productivo de banano en la finca “Don Segundo 1”, en el en el cantón El Triunfo provincia del Guayas.

De acuerdo al objetivo planteado, se obtuvieron datos de precipitación y evaporación diaria de la época lluviosa para el cálculo de la huella hídrica verde, siendo estos datos los de los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio y diciembre.

En la tabla 2 se observa la sumatoria de las precipitaciones, precipitación efectiva (Ver fórmula 6) y evaporación de los meses que presentaron agua verde del año 2023 correspondiente a la huella hídrica verde, donde se muestra que el mes con mayor cantidad de precipitaciones fue el mes de abril con 605.50 mm.

**Tabla 2.**

***Precipitación y evaporación de la época lluviosa***

<b>Meses</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Precipitación efectiva (mm)</b>	<b>Evaporación (mm)</b>
Enero	132.50	104.40	83.50
Febrero	562.80	181.30	44.70
Marzo	450.50	170.10	49.80
Abril	605.50	185.60	41.10
Mayo	297.10	154.70	44.50
Junio	221.60	143.00	77.10
Julio	58.30	52.90	65.8
Agosto	4.00	4.00	52.10
Octubre	6.20	6.10	82.10
Noviembre	1.00	1.00	77.00
Diciembre	147.39	112.60	56.50

**Elaborado por: La autora, 2024**

La tabla 3 que encontramos a continuación se visualiza la Etc (Ver fórmula 2), Eto, necesidad de riego (Ver fórmula 5) de la época lluviosa expresadas en mm y UAC m<sup>3</sup>/ha (Ver fórmula 4).

**Tabla 3.*****ETC, ETO y necesidad de riego de la época lluviosa***

<b>Meses</b>	<b>ETC (mm)</b>	<b>ETO (mm)</b>	<b>Necesidad de riego (mm)</b>	<b>UAC (m<sup>3</sup>/ha)</b>
Enero	85.20	71.00	0.00	852.00
Febrero	45.60	38.00	0.00	456.00
Marzo	50.80	42.30	0.00	507.60
Abril	41.90	34.90	0.00	418.80
Mayo	45.40	37.80	0.00	453.60
Junio	78.60	65.50	0.00	786.00
Julio	67.10	55.90	14.20	529.00
Agosto	53.20	44.30	49.20	40.00
Octubre	83.80	69.80	77.70	61.00
Noviembre	78.60	65.50	77.60	10.00
Diciembre	57.60	48.00	0.00	576.00

**Elaborado por: La autora, 2024**

En la tabla 4 se expresan las cantidades de caja, merma, producción en (T/ha) de la finca. Esta finca presentó su mayor producción de la época lluviosa en el mes de febrero.

**Tabla 4.*****Producción con merma de la finca Don Segundo 1***

<b>Meses</b>	<b>Número de cajas</b>	<b>Merma</b>	<b>Producción (Tn/ha)</b>
Enero	31.081	67.63	5.21
Febrero	35.135	107.16	6.12
Marzo	26.802	92.80	4.74
Abril	25.131	93.49	4.45
Mayo	31.005	132.99	4.48
Junio	19.003	130.95	3.61
Julio	28.275	145.54	5.24
Agosto	23.286	143.20	4.55
Septiembre	26.022	136.65	5.01
Octubre	36.233	180.88	7.00
Noviembre	30.014	164.32	6.07
Diciembre	25.152	164.51	5.09
<b>Total</b>			<b>61.57</b>

**Elaborado por: La autora, 2024**

La tabla 5 presenta la producción sin merma de la finca Don Segundo 1.

**Tabla 5.*****Producción sin merma de la finca Don Segundo 1***

Meses	Producción (Tn/ha)
Enero	4.45
Febrero	5.04
Marzo	3.84
Abril	3.60
Mayo	4.44
Junio	2.72
Julio	4.05
Agosto	3.34
Septiembre	3.73
Octubre	5.19
Noviembre	4.30
Diciembre	3.60
Total	48.30

**Elaborado por: La autora, 2024**

En base a los datos antes detallados, se obtuvo que la huella hídrica verde con merma es de 76.20 ( $m^3/tn$ ) y la huella hídrica verde sin merma es de 97.10 ( $m^3/tn$ ).

#### **4.2 Cuantificación la huella hídrica azul en el proceso productivo de banano en la finca “Don Segundo 1”, en el cantón El Triunfo provincia del Guayas.**

En la tabla 6 se muestran los datos de precipitación, precipitación efectiva y evaporación en mm correspondientes a la época seca, donde el mes con mayor porcentaje de evaporación es octubre con 82.10 mm.

**Tabla 6.*****Precipitación y evaporación de la época seca***

Meses	Precipitación (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Evaporación (mm)
Julio	58.30	52.90	65.80
Agosto	4.00	4.00	52.10
Septiembre	0.00	0.00	74.00
Octubre	6.20	6.10	82.10
Noviembre	1.00	1.00	77.00

**Elaborado por: La autora, 2024**

La tabla 7 evidencia los datos de ETC, ETO y necesidad de riego de la época seca dadas en  $mm$  y UAC en  $m^3/ha$ , se observa que los meses con mayor necesidad de agua de riego corresponden a octubre y noviembre.

**Tabla 7.**

***ETC, ETO y necesidad de riego de la época seca***

Meses	ETC ( $mm$ )	ETO ( $mm$ )	Necesidad de riego ( $mm$ )	UAC ( $m^3/ha$ )
Julio	67.10	55.90	14.20	141.80
Agosto	53.20	44.30	49.20	491.60
Septiembre	75.50	62.90	75.50	754.80
Octubre	83.80	69.80	77.70	776.60
Noviembre	78.60	65.50	77.60	776.00

**Elaborado por: La autora, 2024**

La huella hídrica azul con merma y huella hídrica azul sin merma (Ver fórmula 7), tomando en cuenta los datos de rendimiento detallados en la tabla 4 y 5, dieron como resultado  $47.80 m^3/tn$  y  $60.90 m^3/tn$  de forma respectiva.

#### **4.3 Valoración del contenido de nitrógeno total y cloro activo para la definición de la huella hídrica gris durante el proceso productivo del banano.**

En la Tabla 8 se visualiza la cantidad de nitrógeno por ciclos que es utilizado en la finca para su correcta fertilización, y con esto poder estimar la huella hídrica gris de la época lluviosa (Ver fórmula 8).

**Tabla 8.**

***Nitrógeno total de la fertilización del banano de la época lluviosa***

Fertilización	% de nitrógeno ( $kg$ )	Sacos	Ciclo	Kg de nitrógeno
Urea	45	3,5	3	80.5
Sulfato de amonio	21	7,5	3	78.75
DAP	18	1	1	9
Total	-----	-----	-----	168.25

**Elaborado por: La autora, 2024**

Para estimar la huella hídrica gris de la época lluviosa se toma datos obtenidos de muestras de agua de un canal de drenaje de la finca enviados al laboratorio (Ver figura 26). La tabla 9 representa las concentraciones de nitrógeno presentes en la finca y la huella hídrica gris con merma de la época lluviosa que tuvo un resultado de  $9.99 \text{ m}^3/\text{tn}$ .

**Tabla 9.**

***Huella hídrica gris con merma de la época lluviosa***

Descripción	Cantidades
Nitrógeno ( $\text{kg}/\text{ha}$ )	168.25
Concentración de nitrógeno permitida ( $\text{kg}/\text{m}^3/\text{ha}$ )	0.5
Rendimiento ( $\text{Tn}/\text{ha}$ )	33.70
Huella hídrica gris ( $\text{m}^3/\text{tn}$ )	9.99

**Elaborado por: La autora, 2024**

Para calcular la huella hídrica gris en la época seca se utiliza datos de lámina de riego y lamina de reposición para obtener el dato de agua de percolación.

En la tabla 10 se muestran la lámina de riego (Ver fórmula 11) calculada con datos de las evaluaciones de los sistemas de riego realizados en tres módulos de la finca, de los cuales se obtuvo el caudal medio del aspersor que fue de  $715.22 \text{ L/h}$ .

**Tabla 10.**

***Lámina de riego de la época seca***

Descripción	Cantidades
Caudal medio del aspersor ( $\text{L}/\text{h}$ )	715.22
Tiempo de riego ( $h$ )	1
Distancia entre aspersores ( $m$ )	12
Distancia entre laterales ( $m$ )	12
Lámina de riego ( $mm$ )	908.93

**Elaborado por: La autora, 2024**

La tabla 11 representa la lámina de reposición (Ver fórmula 12) calculada con los resultados del análisis de suelo (Ver figura 25) y la profundidad efectiva del banano. La lámina de reposición de la época lluviosa es de  $5149.62 \text{ mm}$ .

**Tabla 11.****Lámina de reposición de la época seca**

Descripción	Cantidades
Capacidad de campo (%)	33.5
Densidad aparente ( $g/cm^3$ )	1.40
Profundidad efectiva (mm)	600
Días que regaron	183
Lámina de reposición (mm)	5149.62

**Elaborado por: La autora, 2024**

Con base en los datos de lámina de riego y lámina de reposición se obtiene el agua de percolación mediante la fórmula 10, el cual dio como resultado un valor negativo por lo que se toma el resultado de lámina de riego que es de  $908.93 m^3/ha$  para agua de percolación.

$$A_p = \sum 908.93 - \sum 5149.62 = -4240.69 \times 10 = -42406.95 (m^3/ha)$$

La huella hídrica gris de la época seca se obtuvo por medio de la fórmula 9. La huella hídrica gris con merma dio un total de  $9.40 m^3/tn$ , datos que se evidencian en la Tabla 12.

**Tabla 12.****Huella hídrica Gris con merma de la época seca**

Descripción	Cantidades
Agua de percolación ( $m^3/ha$ )	908.93
Concentración del contaminante ( $mg/m^3$ )	1445
Concentración permitida del contaminante ( $mg/m^3$ )	50000
Rendimiento ( $Tn/ha$ )	27.95
Huella hídrica gris ( $m^3/tn$ )	9.40

**Elaborado por: La autora, 2024**

La huella hídrica gris sin merma de la época seca fue de  $12.75 (m^3/tn)$ , teniendo presente el rendimiento sin merma que fue de  $20.61(tn/ha)$ .

La huella hídrica gris de la empacadora se estimó por medio de la fórmula 13, con los resultados de las muestras del agua de las tinajas de lavado enviadas al laboratorio (Ver figura 27) para medir la concentración del cloro activo que utilizan en los procesos de empaque y el volumen de agua utilizado en cada proceso (Ver

fórmula 14). La tabla 13 expone la huella hídrica gris con merma que es de 2.81  $m^3/ha$ .

**Tabla 13.**

***Huella hídrica gris con merma de la empacadora***

<b>Descripción</b>	<b>Cantidades</b>
Volumen de agua utilizado ( $m^3/ha$ )	117746.72
Concentración del cloro activo ( $mg/m^3$ )	100
Área de la finca ( $ha$ )	135.94
Concentración del contaminante permitida ( $mg/m^3$ )	500
Rendimiento ( $Tn/ha$ )	61.65
Huella hídrica gris ( $m^3/tn$ )	2.81

**Elaborado por: La autora, 2024**

La huella hídrica gris sin merma de la empacadora y el rendimiento sin merma de la finca es de, 3.59 ( $m^3/tn$ ) y 48.30 ( $tn/ha$ ) de forma respectiva.

En la tabla 14 se puede observar la huella hídrica gris de la época lluviosa, huella hídrica gris de la época seca, huella hídrica gris de la empacadora y la huella hídrica gris total con merma obtenida de los 12 meses de estudio del año 2023.

**Tabla 14.**

***Huella hídrica gris total con merma de la finca Don Segundo 1***

<b>Descripción</b>	<b>Cantidades</b>
Huella hídrica gris época lluviosa( $m^3/tn$ )	9.99
Huella hídrica gris época seca ( $m^3/tn$ )	9.40
Huella hídrica gris de la empacadora ( $m^3/tn$ )	2.81
Huella hídrica gris total ( $m^3/tn$ )	22.19

**Elaborado por: La autora, 2024**

La tabla 15 evidencia huella hídrica gris de la época lluviosa, huella hídrica gris de la época seca, huella hídrica gris de la empacadora y huella hídrica gris total sin merma de la finca.



**Tabla 15.*****Huella hídrica gris total sin merma de la finca Don Segundo 1***

<b>Descripción</b>	<b>Cantidades</b>
Huella hídrica gris época lluviosa ( $m^3/tn$ )	12.15
Huella hídrica gris época seca ( $m^3/tn$ )	12.75
Huella hídrica gris de la empacadora ( $m^3/tn$ )	3.59
Huella hídrica gris total ( $m^3/tn$ )	28.49

**Elaborado por: La autora, 2024**

En función a todos los datos mencionados anteriormente se expresa que la huella hídrica total con merma y sin merma (Ver fórmula 1) del cultivo del banano de la finca Don Segundo 1 es de:

Con merma:

$$HH = HH_{VERDE} 76.20 + HH_{AZUL} 47.80 + HH_{GRIS} 22.19 = 146.19 (m^3/tn)$$

Sin merma:

$$HH = HH_{VERDE} 97.10 + HH_{AZUL} 60.90 + HH_{GRIS} 28.48 = 185.48 (m^3/tn)$$

## 5. DISCUSIÓN

El presente estudio de la finca Don Segundo 1 que cuenta con 135.94 ha ubicada en el cantón El Triunfo, provincia del Guayas, donde el promedio de precipitaciones de la época lluviosa es de 2417.39 mm y tienen un rendimiento promedio de 61.57 ton/ha, tiene una huella hídrica verde de  $76.20 \text{ m}^3/\text{tn}$ . En comparación del estudio realizado por Cabezas y Gonzales (2017), que indican que en la finca Santa Narcisa con una extensión de 40ha de banano, ubicada en la provincia de Santo Domingo de Los Tsáchilas con un rendimiento de 30.5 ton/año, la huella hídrica verde dio un resultado  $1027.93 \text{ m}^3/\text{ton}$ , teniendo en cuenta los altos niveles de precipitación de la zona con un promedio mensual de 562.52mm. Fernández Guayasamín (2018), también realiza la evaluación de la huella hídrica del banano en 22 haciendas de la provincia de Los Ríos, que tienen un rendimiento promedio de 58.9 ton/ha y una precipitación de 1445.5 mm/anual y alcanzan una huella hídrica verde de  $37.8 \text{ m}^3/\text{tn}$ . Se puede evidenciar que, en los resultados de los estudios realizados existe una gran variación de datos por factores como la velocidad del viento, cantidad de precipitaciones, entre otros, debido a las diferentes localidades donde están ubicadas las distintas fincas.

La finca Don Segundo 1 muestra una huella hídrica azul de  $47.80 \text{ m}^3/\text{tn}$ , considerando que el nivel de evaporación durante toda la época seca fue de 350.96 mm. Zarate y Kuiper (2015), evaluaron 15 haciendas productoras de banano en Ecuador con un área promedio de 10 ha por finca y seis haciendas con 0.5 a 1 ha en Perú, donde las haciendas de Ecuador tienen un valor promedio de  $19.58 \text{ m}^3/\text{tn}$  y Perú  $563.06 \text{ m}^3/\text{tn}$  de huella hídrica azul. En el estudio de Fernández Guayasamín (2018), se evidencia un promedio de  $486.7 \text{ m}^3/\text{tn}$  de huella hídrica azul, con una evapotranspiración de 1201.7 mm/anual. De acuerdo a lo antes mencionado, existe gran diferencia con respecto al estudio realizado en el año 2018 en donde este presenta mayor cantidad de evapotranspiración debido a las altas temperaturas registradas y en el estudio del año 2015, Perú también tiene una alta demanda de recurso hídrico, mientras que, Ecuador tiene menor huella hídrica verde que en la presente investigación realizada en el año 2023, lo que está relacionado con los cambio de temperatura, tomando en cuenta que este año tuvo la llegada del fenómeno del niño.

El presente trabajo de investigación estima que la huella hídrica gris de la finca Don Segundo 1 es de  $22.19 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Cabezas y Gonzales (2017), en su estudio obtienen una huella hídrica gris de  $31.49 \text{ m}^3/\text{ton}$ , presente en la fase agrícola por lixiviación de contaminantes como el nitrógeno. En cambio, Zarate y Kuiper (2015), muestran  $10.37 \text{ m}^3/\text{ton}$  de huella hídrica gris en Ecuador. El valor de la huella hídrica gris de la finca Don Segundo 1, es menor al presentado por el estudio del año 2017 y mayor al estudio del año 2015, debido a las diferentes cantidades de fertilizantes que se utilizan en las tres fincas de las investigaciones antes detalladas.

Una vez obtenidos los resultados de la huella hídrica de la producción de banano de la finca Don Segundo 1 hasta el proceso de empacado en el cantón El Triunfo realizada en el presente estudio, se rechaza la hipótesis ya que en esta finca solo se necesita  $146.19 \text{ m}^3$  para producir una tonelada de banano, siendo la huella hídrica verde la que tuvo mayor predominancia con  $76.20 \text{ (m}^3/\text{tn)}$ , seguida de la huella azul con un valor de  $47.80 \text{ (m}^3/\text{tn)}$ .

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Basándose en los resultados antes presentados en esta investigación se puede concluir que se requieren  $146.19 m^3$  de agua para producir una tonelada de banano en la finca Don Segundo 1, ubicada en el cantón El Triunfo, provincia del Guayas. Se pudo evidenciar que el año 2023 presenta más meses correspondientes a la época lluviosa debido a la llegada del fenómeno del niño, los cuales fueron los meses de: enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio y diciembre, a diferencia de años anteriores, que presentan lluvias hasta finales del mes de mayo. La huella hídrica verde estimada que corresponde a la época lluviosa, fue de  $76.20 m^3/tn$ , siendo mayor que la huella hídrica azul que tiene un valor de  $47.80 m^3/ton$  y que corresponde a los meses de julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre, debido a que se aplica menos riego ya que las precipitaciones compensaban el requerimiento de agua del cultivo, lo que también ayuda a obtener una mejor producción que en los años anteriores, la cual fue de 61.57 ton/ha.

Para determinar la huella hídrica gris se toman en cuenta los datos de producción de la época lluviosa, de la época seca, fertilizantes y del agua utilizada en todos los procesos de empaque correspondientes a los 12 meses de estudio, por lo cual se logra identificar que el agua contaminada en la finca Don Segundo 1 es de  $22.19 m^3/ton$ , en función a la cantidad de fertilizantes nitrogenados aplicados en el cultivo y los niveles de cloro activo que se emplearon en los procesos de empaque a lo largo de todo el año (ver figura 28).

### 6.2 Recomendaciones

Luego de analizar los resultados obtenidos de la huella hídrica del cultivo de banano de la finca Don Segundo 1, se recomienda seguir utilizando la estación meteorológica con la que cuenta la finca para tener un registro de los datos exactos de las variables que pueden influir en el cultivo y en base a esto saber las necesidades de agua del cultivo.

Una vez conocida la necesidad hídrica del cultivo de banano diaria, sustituirla con el riego por aspersion como lo hacen actualmente pero con el tiempo necesario para alcanzar capacidad de campo, por lo que este sistema de riego es el más efectivo ya que simula una lluvia uniforme y así, poder continuar controlando el uso del agua de cada riego aplicado al cultivo, ya que esta influye directo con los niveles

de producción y ha resultado ser eficiente con respecto a los altos niveles de rendimiento obtenidos en el año de estudio.

Evaluar los sistemas de riego con la finalidad de que este sea homogéneo, ya que, al momento de realizar la evaluación del sistema de riego se pudo evidenciar que el riego no era uniforme debido a los distintos aspersores que se encontraron en los módulos evaluados, de esta manera se podrá seguir optimizando el recurso hídrico.

Se recomienda mantener los niveles de uso de nitrógeno total y cloro activo para no incrementar la huella hídrica gris, y hacer controles diarios.

Por último, se recomienda iniciar campañas para agregarle un valor al recurso hídrico utilizado en la producción del banano, puesto que este no tiene costo y los productores la obtiene a libre demanda de los ríos, esteros y acuíferos cercanos a cada finca, considerando que el costo de la caja de banano de exportación es mínimo para la cantidad de agua utilizada durante todo el proceso productivo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acón, J., Alpízar, L., y Wing, R. (2019). *Percolación y lixiviación de nutrientes en suelos bananeros al este del río reventazón, Costa Rica* [Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica]. SciELO. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v24n2/a09v24n2.pdf>
- Agrocalidad. (2018). Buenas prácticas agrícolas para banano. Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/guia4.pdf>
- AgroEs. (2017). Pérdida de agua en el suelo: escorrentía, filtración profunda y evaporación. <https://www.agroes.es/agricultura/agua-riegos-regadios/318-perdidas-de-agua-en-el-suelo->
- Arévalo, D., Zárate, É., Fernández, A., Kuiper, D., Moreira, D., Castro, C., y Cascante, R. (2019). *Guía metodológica para la evaluación de la Huella Hídrica en una Cuenca Hidrográfica*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
- Asamblea Nacional del Ecuador (2014) Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, Registro Oficial Suplemento 305, 06 de agosto 2014. <https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads>
- Cabezas, M., y Gonzales, D. (2017). *Determinación de la huella hídrica y del agua virtual en una plantación de banano como producto de exportación en la Finca Santa Narcisa, en el cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo de Los Tsáchilas* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador] Repositorio digital. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17>
- Caicedo, O., Balmaseda, C., y Proaño, J. (2019). *Programación del riego del banano (Musa paradisiaca) en finca San José 2, Los Ríos, Ecuador* [Tesis de Maestría, Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez] [https://www.researchgate.net/publication/276354717\\_Programacion\\_del\\_riego\\_del\\_banano\\_Musa\\_paradisiaca\\_en\\_finca\\_San\\_Jose\\_2\\_Los\\_Rios\\_Ecu](https://www.researchgate.net/publication/276354717_Programacion_del_riego_del_banano_Musa_paradisiaca_en_finca_San_Jose_2_Los_Rios_Ecu)
- Castillo, L. (2020). Pérdidas de agua en el suelo: escorrentía, filtración profunda y evaporación [versión electrónica]. <https://universidadagricola.com/perdidas-de-agua-en-el-suelo-escorrentia-filtracion-profunda-y-evaporacion-2/>
- Cenicaña. (1995). *El Cenirrómetro*. Revista de Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, (Segunda edición) 2-3.

- Chemonics International. (2019). *Guía práctica para el cultivo de banano* [Archivo PDF]. <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/NF01C965mp.pdf>
- Cleves, J., Toro, J., y Martínez, L. (2016). Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*, p.151.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Artículo 12, 318, 410, 411. Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/LOTAIP/2017/DIJU/octubre/LA2\\_OCT\\_DIJU\\_Constitucion.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/LOTAIP/2017/DIJU/octubre/LA2_OCT_DIJU_Constitucion.pdf)
- Cortes, K., y Torres, F. A. (2016). *Elaboración del balance hídrico y evaluación de las condiciones sanitarias del predio “Marsella” localizado en el municipio “El Playón” departamento de Santander [Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia]* <http://hdl.handle.net/11349/4183>
- Da Silva, E. (01 de Septiembre de 2009). Proposta e seleção de uma função polinomial para a avaliação de sistemas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(5).
- FAO. (2023). *Huella de agua de la industria bananera*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/>
- Fernández Guayasamín, A. V. (2018). *Evaluación de la huella hídrica del banano en la provincia de Los Ríos [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]*. Repositorio digital. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api>
- Futuro Latinoamericano. (2021). *Futuro del Agua en el Ecuador*. Futuro Latinoamericano. <https://www.ffla.net/es/futuro-del-agua-en-el-ecuador-perspectivas-presidenciales/>
- Gaspari, F., Senisterra, G., y Marlats, R. (21 de diciembre de 2007). Relación precipitación, escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso de suelo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de La Plata*, Pg. 22.
- Herrera Flores, R. (2020). *Incidencia de la programación del riego en la producción de banano [Tesis de Pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]* Repositorio institucional. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/HERRERA%20FLORES>
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). Manual de evaluación de la huella hídrica. *Water footprint network*.

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2011). *Banano, plátano y otras musáceas*, Ecuador.
- InfoAgro. (2019). Requerimientos edafoclimáticos del banano. [https://www.infoagro.com/documentos/requerimientos\\_edafoclimaticos\\_del\\_banano.asp](https://www.infoagro.com/documentos/requerimientos_edafoclimaticos_del_banano.asp)
- INFOCOMM. (2015). *Banano*. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (2022). *Banano, plátano y otras musáceas*.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2019). *Huella Hídrica*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/imta/articulos/huella-hidrica>
- INTAGRI. (2018). Requerimientos de Clima y Suelo para el Cultivo de Banano. <https://www.intagri.com/articulos/frutales/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-banano>
- Iturralde Vinent, M. A. (2017). Yo mido la lluvia. *Hidrometeorológico, Fortalecimiento del Sistema de Alerta Temprana lagua [versión electrónica]*. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022->
- López , M., y Paredes, J. (2018). *Estimación de la huella hídrica producida por las principales actividades comerciales del Casco [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí]*. Repositorio institucional. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/893>
- Macías, J., y Pino, S. (2023). Valor económico de la huella hídrica de cacao arriba (Theobroma cacao). *Revista de la Universidad del Zulia* 10.
- Martínez, S., y Garbi, M. (2020). *Evapotranspiración y balance hidrológico del suelo [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de La Plata]* Repositorio digital. [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/67875/mod\\_resource/cont](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/67875/mod_resource/cont)
- Ministerio de Comercio Exterior del Ecuador. (2017). *Informe de sector bananero Ecuatoriano*. <https://www.produccion.gob.ec/>
- Ministerio del ambiente. (2015). Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente. *Acuerdo Ministerial 097*, Registro Oficial 387, 04 de noviembre de 2015.
- Monge, M. (2023). Evapotranspiración y Kc. *lagua*. España. <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge->



- OEB. (2023). *Reporte Estadístico del Banano*. Observatorio Estadístico del Banano. <https://linktr.ee/aebeecuador>
- Ortiz, R., Tamayo, C., Chile, M., y Méndez, A. (2018). *Coeficiente del evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia para el valle de Tumbaco* [Tesis de Pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio institucional. <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1424>
- Pellicer, F. (2014). *Huella hídrica y planificación hidrológica*. Revista Universidad de Murcia, España. <http://hdl.handle.net/10201/40090>
- Pineda, J. (2021). *Evaluación de diferentes metodos de aplicacion de fungicidas en Banano*. [Discurso principal], Congreso Científico-Técnico Bananero Nacional, Guápiles, Costa Rica.
- Romero, M., Quintero, M., & Monserrate, F. (2016). Elementos técnicos para la medición de huella hídrica en sistemas agrícolas. *Centro Internacional de Agricultura Tropical*.
- Rosero, J. L. (2019). *Análisis sobre la competitividad del Banano Ecuatoriano*. Dirección General de Estudios.
- Sanmartín Blacio , J. A. (2018). *Diseño de un sistema de tratamiento y recirculación para el efluente proveniente de la empacadora de banano en la provincia de El Oro*. Biblioteca Digital Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a9e1ded3-715d-4458-bbdd-1f539262b4d3/content>
- Santos, L., Valero, J., Picornell, M., y Martín-Benito, J. (2018). *El riego y sus tecnologías*. Centro Regional de Estudios del Agua de España [https://www.researchgate.net/publication/272171215\\_El\\_riego\\_y\\_sus\\_tecn](https://www.researchgate.net/publication/272171215_El_riego_y_sus_tecn)
- Teófilo, E., Morales, G., Esteller, M., y Muciño, R. (2019). *Parámetros que controlan la percolación profunda en un cultivo de trigo* [Tesis de Pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México]. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v37n1/2395-8030-tl-37-01-57.pdf>
- Tolón , A., Lastra, X., y Fernández , V. (2017). *Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos*. Revista Electrónica de Medio Ambiente. 14(1), 56 <https://derecho.ucm.es/data/cont/media/www/pag>
- Vargas Céspedes, A., Watler, W., Morales, M., y Vignola, R. (2017). *Cultivo de Banano*. Ministerio de Ambiente y Energía. <http://www.mag.go.cr/>

- Velasco, V., Flores, F., Gonzáles, G., Flores, M., y Moreno, H. (2019). Desarrollo y validación de una estación metereológica automatizada de bajo costo dirigida a agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Instituto Tecnológico de la Laguna*, p. 1254.
- Vézina, A. (2020). *Manejo del agua*. ProMusa. <https://www.promusa.org>
- Villalobos, F., Mateos, L., Orgaz, F., & Fereres, E. (2009). *Fitotecnia: bases y tecnologías de la producción agrícola (2da. Ed)*. México: Ediciones Mundi - Prensa.
- Water footprint network. (2011). *Manual de evaluación de la huella hídrica*. Water footprint network. <https://C:/Users/Usuario/Desktop/HUELLA%20HIDRICA>
- Zarate, E., y Kuiper, D. (2015). *Evaluación de la huella hídrica del banano para pequeños productores en Perú y Ecuador*. Good Stuff International. Bowil, Switzerland.

## ANEXOS

**Figura 1.**  
*Ubicación de la finca Don Segundo 1, El Triunfo*



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 2.**  
*Instalación del evaporímetro*



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 3.**  
**Instalación del evaporímetro en la finca**



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 4.**  
**Plano de la finca Don Segundo 1**



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 5.**  
***Nivelación del evaporímetro***



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 6.**  
***Instalación del pluviómetro en la finca***



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 7.**  
***Toma de datos del pluviómetro***



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 8.**  
***Toma de coordenadas de las válvulas de los módulo***



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 9.**  
***Evaluación del sistema de riego***



**Elaborado por: La autora, 2024**

**Figura 10.**  
***Visita a la finca de la tutora de tesis; ingeniera Fanny Rodríguez***



**Elaborado por: La autora, 2024**

**Figura 11.**  
**Instalación del banner representativo de la tesis en la finca**



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 12.**  
**Cambio del agua del evaporímetro**



Elaborado por: La autora, 2024



**Figura 13.**  
**Muestras de agua enviadas al laboratorio**



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 14.**  
**Toma de muestras de agua de los canales de drenaje**



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 15.**  
***Molinete para el aforo del canal de drenaje***



**Elaborado por: La autora, 2024**

**Figura 16.**  
***Medición del canal de drenaje de las tinas de lavado***



**Elaborado por: La autora, 2024**

**Figura 17.**  
**Aforo del canal de drenaje de las tinajas de lavado**



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 18.**  
**Aforo del canal de drenaje de las tinajas de lavado**



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 19.**  
**Toma de datos del evaporímetro**



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 20.**  
**Medición de la presión del sistema de riego con el manómetro**



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 21.**  
***Limpieza del evaporímetro***



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 22.**  
***Estación de bombeo de la finca***



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 23.**  
***Toma de muestras de suelo***



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 24.**  
***Muestra de suelo recolectada***



Elaborado por: La autora, 2024

**Tabla 16.**  
**Datos meteorológicos del mes de enero**

FINCA:		DON SEGUNDO 1				
MES:		ENERO				
DÍA	Prec. (mm)	Evap. (mm)	ETC (mm)	ETO (mm)	Pe	
1	0.50	5.00	4.60	4.25	0.50	
2	0.00	1.30	1.20	1.10	0.00	
3	0.30	2.90	2.70	2.47	0.30	
4	1.80	1.60	1.50	1.36	1.79	
5	0.00	1.50	1.40	1.28	0.00	
6	0.00	2.90	2.70	2.47	0.00	
7	0.50	2.00	1.90	1.70	0.50	
8	0.00	2.20	2.00	1.87	0.00	
9	47.50	3.60	3.30	3.06	43.89	
10	0.30	3.00	2.80	2.55	0.30	
11	0.30	2.10	1.90	1.78	0.30	
12	0.00	4.20	3.90	3.57	0.00	
13	3.80	4.00	3.70	3.40	3.78	
14	33.80	2.80	2.60	2.38	31.97	
15	0.00	2.70	2.50	2.30	0.00	
16	2.00	2.00	1.90	1.70	1.99	
17	0.80	1.20	1.10	1.02	0.80	
18	1.80	4.10	3.80	3.48	1.79	
19	1.80	1.40	1.30	1.19	1.79	
20	0.00	2.20	2.00	1.87	0.00	
21	12.50	2.00	1.90	1.70	12.25	
22	2.50	4.60	4.30	3.91	2.49	
23	2.50	2.40	2.20	2.04	2.49	
24	0.30	2.20	2.00	1.87	0.30	
25	2.50	3.10	2.90	2.63	2.49	
26	5.80	3.00	2.80	2.55	5.75	
27	1.50	2.40	2.20	2.04	1.50	
28	3.60	3.10	2.90	2.63	3.58	
29	3.80	3.00	2.80	2.55	3.78	
30	0.80	2.10	1.90	1.78	0.80	
31	1.50	2.90	2.70	0.00	1.50	
SUMA	132.50	83.50	85.20	71.00	104.40	

Elaborado por: La autora, 2024

**Tabla 17.**  
**Datos meteorológicos del mes de febrero**

FINCA:		DON SEGUNDO 1				
MES:		FEBRERO				
DÍA	Prec. (mm)	Evap. (mm)	ETC (mm)	ETO (mm)	Pe	
1	0.30	3.60	3.30	3.06	0.30	
2	0.00	2.90	2.70	2.47	0.00	
3	6.90	3.60	3.30	3.06	6.82	
4	3.80	2.30	2.10	1.96	3.78	
5	9.70	1.40	1.30	1.82	9.55	
6	6.00	3.00	2.80	2.55	5.94	
7	15.00	2.00	1.90	1.7	14.64	
8	10.70	2.70	2.50	2.30	10.52	
9	1.00	0.10	1.90	0.085	1.00	
10	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00	
11	3.00	0.10	0.10	0.09	2.99	
12	3.30	2.00	1.90	1.7	3.28	
13	11.00	1.00	0.90	0.85	10.81	
14	2.00	0.20	0.20	0.17	1.99	
15	10.00	1.00	0.90	0.85	9.84	
16	69.00	0.20	0.20	0.17	61.38	
17	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	

18	0.00	4.00	3.70	3.40	0.00
19	79.00	4.60	4.30	3.91	69.01
20	25.90	2.60	2.40	2.21	24.83
21	92.00	0.30	0.30	0.26	78.46
22	59.00	0.10	0.10	0.09	53.43
23	5.00	1.00	0.90	0.85	4.96
24	12.00	0.20	0.20	0.17	11.77
25	30.00	0.10	0.10	0.09	28.56
26	28.20	1.40	1.30	1.19	26.93
27	71.00	0.10	0.10	0.09	62.93
28	9.00	0.20	0.20	0.17	8.87
SUMA	562.8	44.70	45.60	38.00	181.30

Elaborado por: La autora, 2024

Tabla 18.

*Datos meteorológicos del mes de marzo*

FINCA:		DON SEGUNDO 1				
MES:		MARZO				
DÍA	Prec. (mm)	Evap. (mm)	ETC (mm)	ETO (mm)	Pe	
1	0.00	5.00	4.60	4.25	0.00	
2	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00	
3	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
4	11.00	2.00	0.90	1.70	10.81	
5	48.50	1.80	1.70	1.53	44.74	
6	63.00	1.00	0.90	0.85	56.65	
7	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00	
8	29.00	1.00	0.90	0.85	27.65	
9	52.00	1.00	0.90	0.85	47.67	
10	31.00	1.00	0.90	0.85	29.46	
11	1.00	2.00	1.90	1.70	1.00	
12	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00	
13	1.00	2.00	1.90	1.70	1.00	
14	25.00	1.00	0.90	0.85	24.00	
15	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00	
16	1.00	2.00	1.90	1.70	1.00	
17	1.00	2.00	1.90	1.70	1.00	
18	1.00	2.00	1.90	1.70	1.00	
19	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00	
20	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
21	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00	
22	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00	
23	105.00	1.00	0.90	0.85	87.36	
24	49.00	1.00	0.90	0.85	45.16	
25	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
26	1.00	2.00	1.90	1.70	1.00	
27	1.00	2.00	1.90	1.70	1.00	
28	9.00	1.00	0.90	0.85	8.87	
29	2.00	1.00	0.90	0.85	1.99	
30	15.00	1.00	0.90	0.85	14.64	
31	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
SUMA	450.50	49.80	50.80	42.30	170.10	

Elaborado por: La autora, 2024

Tabla 19.

*Datos meteorológicos del mes de abril*

FINCA:		DON SEGUNDO 1				
MES:		ABRIL				
DÍA	Prec. (mm)	Evap. (mm)	ETC (mm)	ETO (mm)	Pe	
1	63.00	1.00	0.90	0.85	56.65	
2	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00	
3	2.00	2.50	2.30	2.13	1.99	
4	41.00	1.00	0.90	0.85	38.31	
5	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
6	50.00	1.00	0.90	0.85	46.00	
7	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00	
8	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00	



9	41.00	2.00	1.90	1.70	38.31
10	31.00	1.00	0.90	0.85	29.46
11	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
12	15.00	2.00	1.90	1.70	14.64
13	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
14	9.00	1.00	0.90	0.85	8.87
15	1.00	2.00	1.90	1.70	1.00
16	56.90	2.00	1.90	1.70	51.72
17	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
18	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
19	2.00	1.00	0.90	0.85	1.99
20	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
21	140.00	1.00	0.90	0.85	108.64
22	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
23	2.50	1.80	1.70	1.53	2.49
24	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
25	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00
26	121.00	1.00	0.90	0.85	97.57
27	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
28	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
29	2.00	1.00	0.90	0.85	1.99
30	24.10	2.80	2.60	2.38	23.17
SUMA	605.50	41.10	41.90	34.90	185.60

Elaborado por: La autora, 2024

Tabla 20.  
Datos meteorológicos del mes de mayo

MES: DÍA	DON SEGUNDO 1 MAYO				
	Prec. (mm)	Evap. (mm)	ETC (mm)	ETO (mm)	Pe
1	61.00	1.00	0.90	0.85	55.05
2	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
3	10.00	1.00	0.90	0.85	9.84
4	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
5	2.00	1.00	0.90	0.85	1.99
6	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00
7	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00
8	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00
9	2.00	1.00	0.90	0.85	1.99
10	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
11	22.00	1.00	0.90	0.85	21.23
12	12.00	2.00	1.90	1.70	11.77
13	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00
14	1.80	3.00	2.80	2.55	1.79
15	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
16	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
17	5.00	1.00	0.90	0.85	4.96
18	11.00	1.00	0.90	0.85	10.81
19	9.00	1.00	0.90	0.85	8.87
20	19.00	1.00	0.90	0.85	18.42
21	2.30	2.50	2.30	2.12	2.29
22	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
23	105.00	1.00	0.90	0.85	87.36
24	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
25	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
26	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
27	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
28	20.00	3.00	2.80	2.55	19.36
29	9.00	1.00	0.90	0.85	8.87
30	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
31	2.00	1.00	0.90	0.85	1.99
SUMA	297.10	44.50	45.40	37.80	154.70

Elaborado por: La autora, 2024

Tabla 21.  
Datos meteorológicos del mes de junio

FINCA:	DON SEGUNDO 1
--------	---------------

MES:	JUNIO				
DÍA	Prec. (mm)	Evap. (mm)	ETC (mm)	ETO (mm)	Pe
1	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
2	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
3	0.00	4.00	3.70	3.40	0.00
4	23.00	4.60	4.30	3.91	22.15
5	0.00	6.00	5.60	5.10	0.00
6	3.00	1.00	0.90	0.85	2.99
7	80.00	1.00	0.90	0.85	69.76
8	4.60	3.80	3.5	3.23	4.57
9	73.00	1.00	0.90	0.85	64.47
10	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00
11	0.00	3.90	3.60	3.32	0.00
12	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
13	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
14	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
15	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
16	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
17	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
18	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
19	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
20	0.00	4.00	3.70	3.40	0.00
21	1.00	2.00	1.90	1.70	1.00
22	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
23	22.00	1.00	0.90	0.85	21.23
24	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
25	1.00	1.80	1.70	1.53	1.00
26	13.00	1.0	0.90	0.85	12.73
27	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
28	0.00	5.00	4.60	4.25	0.00
29	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
30	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
SUMA	221.60	77.10	78.60	65.00	143.00

Elaborado por: La autora, 2024

**Tabla 22.**  
**Datos meteorológicos del mes de julio**

FINCA:	DON SEGUNDO 1				
MES:	JULIO				
DÍA	Prec. (mm)	Evap. (mm)	ETC (mm)	ETO (mm)	Pe
1	0.00	4.00	3.70	3.40	0.00
2	17.00	2.70	2.50	2.30	16.54
3	15.00	2.00	1.90	1.70	14.64
4	1.00	2.40	2.20	2.04	1.00
5	0.00	1.60	1.50	1.36	0.00
6	12.00	1.00	0.90	0.85	11.77
7	2.00	1.00	0.90	0.85	1.99
8	0.00	2.40	2.20	2.04	0.00
9	1.00	3.80	3.50	3.23	1.00
10	5.00	2.00	1.90	1.70	4.96
11	2.00	1.00	0.90	0.85	1.99
12	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
13	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
14	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
15	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
16	3.30	2.80	2.60	2.38	3.28
17	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
18	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
19	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
20	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
21	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
22	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
23	0.00	2.10	1.90	1.79	0.00
24	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
25	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
26	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
27	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00

28	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
29	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
30	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
31	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
SUMA	58.30	65.80	67.10	55.90	52.90

Elaborado por: La autora, 2024

Tabla 23.

*Datos meteorológicos del mes de agosto*

FINCA:		DON SEGUNDO 1				
MES:		AGOSTO				
DÍA	Prec. (mm)	Evap. (mm)	ETC (mm)	ETO (mm)	Pe	
1	0.00	3.10	2.90	2.64	0.00	
2	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
3	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
4	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
5	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
6	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
7	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
8	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00	
9	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
10	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
11	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
12	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
13	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
14	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
15	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
16	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
17	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
18	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00	
19	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00	
20	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00	
21	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00	
22	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
23	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00	
24	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
25	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
26	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
27	0.00	4.00	3.70	3.40	0.00	
28	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
29	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
30	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
31	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00	
SUMA	4	52.10	53.20	44.30	4.00	

Elaborado por: La autora, 2024

Tabla 24.

*Datos meteorológicos del mes de septiembre*

FINCA:		DON SEGUNDO 1				
MES:		SEPTIEMBRE				
DÍA	Prec. (mm)	Evap. (mm)	ETC (mm)	ETO (mm)	Pe	
1	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
2	0.00	4.00	3.70	3.40	0.00	
3	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
4	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
5	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
6	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
7	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
8	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
9	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
10	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
11	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00	
12	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
13	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
14	0.00	1.10	1.00	0.94	0.00	
15	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00	
16	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	

17	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
18	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
19	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
20	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
21	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
22	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
23	0.00	5.00	4.60	4.25	0.00
24	0.00	6.00	5.60	5.10	0.00
25	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
26	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
27	0.00	4.10	3.80	3.49	0.00
28	0.00	4.00	3.70	3.40	0.00
29	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
30	0.00	3.80	3.50	3.23	0.00
SUMA	0	74	75.50	62.90	0.00

Elaborado por: La autora, 2024

Tabla 25.

**Datos meteorológicos del mes de octubre**

FINCA:		DON SEGUNDO 1				
MES:		OCTUBRE				
DÍA	Prec. (mm)	Evap. (mm)	ETC (mm)	ETO (mm)	Pe	
1	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
2	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
3	0.00	4.00	3.70	3.40	0.00	
4	0.00	3.40	3.20	2.89	0.00	
5	0.00	5.00	4.60	4.25	0.00	
6	0.00	2.80	2.60	2.38	0.00	
7	0.00	2.88	2.70	2.45	0.00	
8	0.00	3.20	3.00	2.72	0.00	
9	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00	
10	0.00	4.00	3.70	3.40	0.00	
11	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00	
12	0.00	2.70	2.50	2.30	0.00	
13	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
14	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
15	0.00	2.60	2.40	2.21	0.00	
16	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
17	0.00	1.80	1.70	1.53	0.00	
18	0.00	4.00	3.70	3.40	0.00	
19	0.00	5.00	4.60	4.25	0.00	
20	0.00	6.00	5.60	5.10	0.00	
21	0.00	1.80	1.70	1.53	0.00	
22	0.30	1.10	1.00	0.94	0.30	
23	0.00	1.40	1.30	1.19	0.00	
24	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
25	0.00	1.48	0.00	1.26	0.00	
26	2.50	1.80	0.00	1.53	2.49	
27	2.30	2.00	0.00	1.70	2.29	
28	0.30	1.60	0.00	1.36	0.30	
29	0.80	1.40	0.00	1.19	0.80	
30	0.00	2.30	4.60	1.96	0.00	
31	0.00	1.80	0.00	1.53	0.00	
SUMA	6.20	82.06	83.80	69.80	6.10	

Elaborado por: La autora, 2024

Tabla 26.

**Datos meteorológicos del mes de noviembre**

FINCA:		DON SEGUNDO 1				
MES:		NOVIEMBRE				
DÍA	Prec. (mm)	Evap. (mm)	ETC (mm)	ETO (mm)	Pe	
1	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00	
2	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
3	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
4	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
5	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
6	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00	

7	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
8	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
9	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
10	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
11	0.00	4.00	3.70	3.40	0.00
12	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
13	0.00	4.00	3.70	3.40	0.00
14	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
15	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
16	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00
17	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
18	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
19	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
20	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
21	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
22	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00
23	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
24	0.00	5.00	4.60	4.25	0.00
25	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
26	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
27	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
28	0.00	4.00	3.70	3.40	0.00
29	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
30	0.00	3.00	2.80	2.55	0.00
SUMA	1.00	77.00	78.60	65.50	1.00

Elaborado por: La autora, 2024

Tabla 27.

*Datos meteorológicos del mes de diciembre*

FINCA:		DON SEGUNDO 1				
MES:		DICIEMBRE				
DÍA	Prec. (mm)	Evap. (mm)	ETC (mm)	ETO (mm)	Pe	
1	0.00	1.80	1.70	1.53	0.00	
2	0.00	2.30	2.10	1.96	0.00	
3	0.00	1.90	1.80	1.62	0.00	
4	5.59	2.70	2.50	2.30	5.54	
5	11.00	1.60	1.50	1.36	10.81	
6	1.00	1.80	1.70	1.53	1.00	
7	18.00	1.90	1.80	1.62	17.48	
8	5.00	2.60	2.40	2.21	4.96	
9	2.00	1.20	1.10	1.02	1.99	
10	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
11	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
12	5.00	1.70	1.60	1.45	4.96	
13	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
14	0.00	2.80	2.60	2.38	0.00	
15	3.80	2.00	1.90	1.70	3.78	
16	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
17	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
18	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
19	0.00	2.70	2.50	2.30	0.00	
20	1.00	2.60	2.40	2.21	1.00	
21	0.00	1.00	0.90	0.85	0.00	
22	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
23	1.00	1.00	0.90	0.85	1.00	
24	17.00	3.40	3.20	2.89	16.54	
25	0.00	1.80	1.80	1.53	0.00	
26	0.00	2.00	1.90	1.70	0.00	
27	45.00	1.00	0.90	0.85	41.76	
28	5.00	1.60	1.50	1.36	4.96	
29	1.00	2.10	1.90	1.79	1.00	
30	5.00	3.80	3.50	3.23	4.96	
31	21.00	1.20	1.10	1.02	20.29	
SUMA	147.39	56.50	57.60	48.00	112.60	

Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 25.**  
**Resultado analítico de la muestra de suelo**

		INFORME DE ENSAYO			
Nº de Referencia:	S-24/005783	Tipo Muestra:	SUELO AGRICOLA		
Descripción(*):	Finca Don Segundo 1	Fecha Fin:	31/01/2024		
RESULTADOS ANALITICOS					
Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA	
<i>Propiedades Físicas - Granulometría</i>					
Arcilla	30	%	-		
Arena	32,0	%	-		
Clase Textural	Franco-Arcillosa		-		
Limo	38	%	-		
<i>Fertilidad</i>					
Materia Orgánica	3,52	%	-		

Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 26.**  
**Resultado analítico de la muestra de agua de nitrógeno**

		INFORME DE ENSAYO			
Nº de Referencia:	A-24/021049	Tipo Muestra:	AGUA SUPERFICIAL		
Descripción(*):	Finca Don Segundo 1/A. Canal	Fecha Fin:	27/02/2024		
RESULTADOS ANALITICOS					
Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA	
<i>Formas Nitrogenadas/Fosforadas</i>					
Nitrógeno Kjeldahl	1,445	mg/L	±0,12		

Elaborado por: La autora, 2024

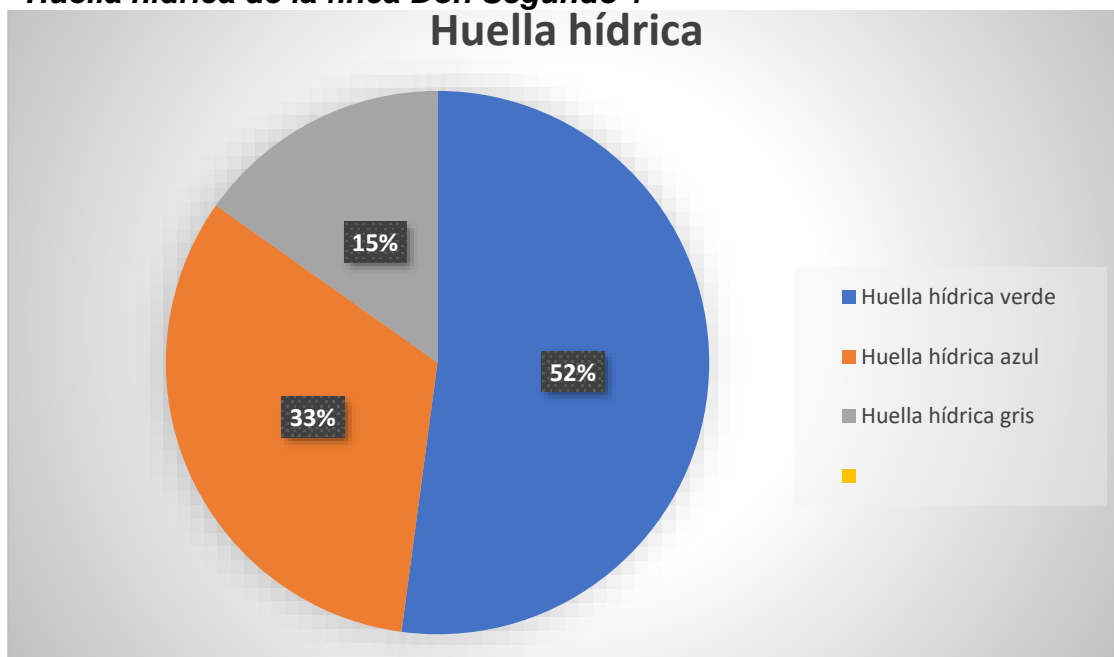
Figura 27.

**Resultado analítico de la muestra de agua de cloro**

QUALY TERRA Calidad Ambiental		INFORME DE ENSAYO		
Nº de Referencia:	A-FQM-23/0040	Tipo Muestra:	Agua Proceso	
Descripción:	Finca Don Segundo 1/Vertiente (Empacadora)	Fecha Fin:	17/07/2023	
RESULTADOS ANALITICOS				
Parámetro	Resultado	Incertidumbre U (k=2)	Unidades	CMA
<b>Físico-Químicos</b>				
Cloro Activo *	<0,10	---	mg/l	

Elaborado por: La autora, 2024

Figura 28.

**Huella hídrica de la finca Don Segundo 1**

Elaborado por: La autora, 2024