



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

**DIAGNÓSTICO DEL SUELO Y REQUERIMIENTOS  
HÍDRICOS PARA EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma  
cacao*) EN LA FINCA “SAN VICENTE”, LA TRONCAL**  
**TRABAJO NO EXPERIMENTAL**

Trabajo de titulación presentado como requisito para la  
obtención del título de  
**INGENIERO AGRÓNOMO**

**AUTOR**  
**ZAMBRANO CHÁVEZ ABRAHAM ISAAC**

**TUTOR**  
**ING. ALVARADO AGUAYO ALLAN ALBERTO, M.Sc.**

**EL TRIUNFO – ECUADOR**

**2023**



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

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

Yo, **ING. ALVARADO AGUAYO ALLAN, M.Sc.**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **DIAGNÓSTICO DEL SUELO Y REQUERIMIENTOS HÍDRICOS PARA EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao*) EN LA FINCA “SAN VICENTE”, LA TRONCAL**, realizado por el estudiante **ZAMBRANO CHÁVEZ ABRAHAM ISAAC** con cédula de identidad N° **0929784221** de la carrera de **INGENIERÍA EN AGRONOMÍA**, Programa Regional de Enseñanza Dr. Jacobo Bucaram Ortiz campus El Triunfo, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

---

**Ing. Allan Alvarado Aguayo, M.Sc.**

El Triunfo, 24 de marzo del 2023



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN 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: **DIAGNÓSTICO DEL SUELO Y REQUERIMIENTOS HÍDRICOS PARA EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao*) EN LA FINCA “SAN VICENTE”, LA TRONCAL**, realizado por el estudiante **ZAMBRANO CHÁVEZ ABRAHAM ISAAC**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

---

PhD. Freddy Gavilánez Luna  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Angel Carrasco Schuldt  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

Ing. Allan Alvarado Aguayo  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

Milagro, 24 de marzo del 2023

## **Dedicatoria**

Para papá y mamá.

## **Agradecimiento**

Gracias a Dios por brindarme la vida y la fuerza necesaria para continuar con mis estudios.

Gracias ilustres autoridades de la Universidad Agraria del Ecuador, Dr. Jacobo Bucaram Ortiz Rector Fundador, Dra. Martha Bucaram Leverone Rectora y Dr. Paulo Centanaro Decano por recibirme en esta prestigiosa institución.

Gracias querida familia por su apoyo siempre.

Gracias estimado tutor Ing. Allan Alvarado por formar parte de este proceso de titulación.

Gracias estimado Ing. Wilmer Pilaloe por su tiempo y paciencia.

Gracias a cada uno de mis queridos docentes por sus enseñanzas diarias.



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

**Autorización de Autoría Intelectual**

Yo, **ZAMBRANO CHÁVEZ ABRAHAM ISAAC**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre **DIAGNÓSTICO DEL SUELO Y REQUERIMIENTOS HÍDRICOS PARA EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao*) EN LA FINCA “SAN VICENTE”, LA TRONCAL**, 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 autor 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.

El Triunfo, 24 de marzo del 2023

---

**ZAMBRANO CHÁVEZ ABRAHAM ISAAC**  
**C.I. 0929784221**

## Índice general

<b>PORTADA.....</b>	<b>2</b>
<b>APROBACIÓN DEL TUTOR .....</b>	<b>2</b>
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>4</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>5</b>
<b>Autorización de Autoría Intelectual.....</b>	<b>6</b>
<b>Índice general .....</b>	<b>7</b>
<b>Índice de Tablas .....</b>	<b>12</b>
<b>Índice de Figuras.....</b>	<b>13</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>15</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>16</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 Antecedentes del problema.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2 Planteamiento y formulación del problema .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.1 Planteamiento del problema .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.2 Formulación del problema.....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 Justificación de la investigación.....</b>	<b>19</b>
<b>1.4 Delimitación de la investigación .....</b>	<b>20</b>
<b>1.5 Objetivo general .....</b>	<b>20</b>
<b>1.6 Objetivos específicos .....</b>	<b>20</b>
<b>1.7 Hipótesis .....</b>	<b>21</b>

<b>2. Marco teórico</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1 Estado del arte</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2 Bases teóricas</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.1 Origen del cacao</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.2 Taxonomía</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2.3 Morfología</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2.4 Requerimiento edáficos para el cultivo del cacao</b> .....	<b>26</b>
<b>2.2.4.1 Suelo</b> .....	<b>26</b>
<b>2.2.4.2 Luminosidad</b> .....	<b>26</b>
<b>2.2.4.3 Altitud</b> .....	<b>27</b>
<b>2.2.5 Potencial del suelo para el cultivo de cacao</b> .....	<b>27</b>
<b>2.2.5.1 Identificación de suelos</b> .....	<b>27</b>
<b>2.2.5.2 Muestreo del suelo</b> .....	<b>28</b>
<b>2.2.5.3 Análisis del suelo</b> .....	<b>28</b>
<b>2.2.6 Requerimientos nutrimentales del cultivo de cacao</b> .....	<b>28</b>
<b>2.2.6.1 pH del cultivo</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.6.2 Materia orgánica</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.6.3 Conductividad eléctrica</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.7 Requerimientos climáticos del cultivo de cacao</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.7.1 Temperatura máxima y mínima</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.7.2 Velocidad del viento</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.7.3 Temperatura</b> .....	<b>30</b>

2.2.8 Requerimientos hídricos del cultivo de cacao.....	31
2.2.8.1 Precipitación .....	31
2.2.8.2 Humedad relativa.....	31
2.2.8.3 Evaporación .....	31
2.2.9 Diagnóstico .....	31
2.2.10 Potencial del suelo .....	32
2.2.11 Diagnóstico potencial del suelo .....	32
2.3 Marco legal .....	33
3. Materiales y métodos.....	34
3.1 Enfoque de la investigación .....	34
3.1.1 Tipo de investigación.....	34
3.1.2 Diseño de investigación .....	34
3.2 Metodología .....	34
3.2.1 Variables.....	34
3.2.1.1 Variable independiente .....	34
3.2.1.2 Variable dependiente .....	34
3.2.1.2.1 Selección de sitios representativos .....	37
3.2.1.2.2 Identificación de los suelos de referencia.....	37
3.2.1.2.3 Cálculo de los requerimientos de riego.....	38
3.2.1.2.4 Programación de riego en el cultivo .....	38
3.2.2 Tratamientos .....	39
3.2.3 Diseño experimental .....	39

3.2.4 Recolección de Datos .....	39
3.2.4.1 Recursos .....	39
3.2.4.2 Métodos y técnicas .....	40
3.2.5 Análisis Estadístico.....	40
3.2.5.1 Población.....	40
3.2.5.2 Muestra .....	40
4. Resultados .....	41
4.1 Caracterización del suelo de referencia con relación a sus propiedades físicas y químicas mediante técnicas en el cultivo.....	41
4.1.1 Selección de sitios representativos .....	41
4.1.2 Identificación de los suelos de referencia.....	42
4.2 Requerimientos de riego para el cacao, utilizando el software CropWat, relacionándolos con datos de variables climatológicas e indicadores relativos al cultivo.....	42
4.2.1 Software CROPWAT 8.0.....	42
4.2.2 Resultados de los requerimientos de riego del cultivo de cacao con el CROPWAT .....	43
4.3 Programación de riego en el cultivo de cacao de la Finca “San Vicente” en base a los requerimientos de riego tomando en cuenta la preservación del recurso suelo .....	46
4.3.1 Programación de riego en el cultivo .....	46
5. Discusión.....	62

<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>66</b>
<b>7. Recomendaciones.....</b>	<b>67</b>
<b>8. Bibliografía.....</b>	<b>68</b>
<b>9. Anexos.....</b>	<b>79</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1: Operacionalización de variables dependientes sobre potencial del suelo .....	35
Tabla 2: Operacionalización de variables dependientes sobre requerimientos hídricos .....	36
Tabla 3. Selección de sitios representativos.....	41
Tabla 4. Identificación de los suelos de referencia .....	42
Tabla 5. Resultados de ETo en mm/día .....	43
Tabla 6. Cálculo de precipitación efectiva .....	44
Tabla 7. Coeficientes del cultivo (kc) para el cultivo de cacao .....	45
Tabla 8. Datos y características del suelo .....	45
Tabla 9. Resultados del requerimiento de riego del cultivo de cacao en la finca “San Vicente” .....	46
Tabla 10. Programación diaria de caudales estimados para el riego.....	49

## Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del área de investigación finca “San Vicente” .....	79
Figura 2. Delimitación del área experimental.....	79
Figura 3. Colocación de transectos horizontales y verticales.....	80
Figura 4. Identificación de transectos en el área experimental .....	80
Figura 5. Delimitación de los sitios representativos en el área experimental.....	81
Figura 6. Área de selección de sitios representativos de 10 x 5 metros .....	81
Figura 7. Colocación de letrero identificador del área experimental y datos del proyecto.....	82
Figura 8. Fabricación de cilindro de observación para sitios representativos.....	82
Figura 9. Informe de análisis de laboratorio página 1.....	83
Figura 10. Informe de análisis de suelo página 2.....	84
Figura 11. Toma de muestras en sitio representativo al azar del área experimental .....	85
Figura 12. Observación de cilindro con muestras obtenidas a 60 cm de profundidad del primer sitio representativo .....	85
Figura 13. Toma de segunda muestras en sitio representativo al azar del área experimental.....	86
Figura 14. Observación de cilindro con muestras obtenidas a 40 cm de profundidad del primer sitio representativo .....	86
Figura 15. Toma de muestra a 90 cm del suelo aprovechable con una profundidad de 60 cm.....	87
Figura 16. Muestra obtenida a 90 cm del suelo aprovechable .....	87
Figura 17. Observación de perfiles del suelo de la finca “San Vicente” a una profundidad de 80 cm.....	88

Figura 18. Comparación de muestra de suelo seco con el sistema de notación Munsell .....	88
Figura 19. Comparación de muestra de suelo humedecido hasta el punto de saturación con el sistema de notación Munsell .....	89
Figura 20. Verificación de datos tomados en campo.....	89
Figura 21. Visita del tutor de tesis.....	90

## Resumen

El diagnóstico de suelos y requerimientos de riego son acciones fundamentales, desde el punto de vista técnico y científico, especialmente el desarrollo de programación de riego que optimice el recurso hídrico. Se consideró el cacao (*Theobroma cacao L.*), pues es un cultivo prominente en la zona de estudio, correspondiente al cantón La Troncal, provincia del Cañar. El trabajo se desarrolló en la Finca “San Vicente”, de dicha localidad, en una plantación establecida, donde se realizó un diagnóstico del suelo y se obtuvieron los requerimientos de riego para la plantación. En el cultivo se seleccionaron sitios representativos en una superficie de 1 ha, trazando 200 transectos, donde se realizaron perforaciones mediante cilindro de observación para estudiar las características físicas (manto freático, capas endurecidas, color del suelo). Las muestras tomadas fueron analizadas mediante laboratorio para identificar sus características químicas (conductividad eléctrica, clase textural, pH, materia orgánica, macro y micronutrientes). Se calcularon los requerimientos de riego del cultivo utilizando el software CropWat, tabulando datos de variables climatológicas y relativas al cultivo en sus distintas etapas fenológicas en base a los registros del periodo 2010 al 2021 de la estación meteorológica del Ingenio Agro Azúcar La Troncal (anteriormente Aztra), asociada al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). El promedio resultante del año para la ETo es de 3.59 mm/día, su precipitación efectiva es 1453.5 mm y su requerimiento de riego es de 642.3 mm/año. En base a estos datos se da una propuesta de riego diaria para el cultivo para cubrir el requerimiento hídrico.

**Palabras claves:** Cacao, Diagnostico, Requerimientos de riego, Software CropWat.

### **Abstract**

The diagnosis of soils and water requirements are fundamental actions, from the technical and scientific point of view, especially the development of irrigation programming that optimizes water resources. Cocoa (*Theobroma cacao* L.) was considered, since it is a prominent crop in the study area, corresponding to the canton La Troncal, province of Cañar. The work was carried out at "San Vicente" farm, in that locality, in an established plantation, where a soil diagnosis was made and the water requirements of this plantation were obtained. Representative sites were selected in a 1 ha area, tracing 200 transects, where perforations were made by means of observation cylinders to study the physical characteristics (water table, hardened layers, color of the soil). The samples taken were analyzed by laboratory to identify their chemical characteristics (electrical conductivity, textural class, pH, organic matter, macro and micronutrients). Crop water requirements were calculated using CropWat software, tabulating data on climatological and crop-related variables at different phenological stages based on records for the period 2010 to 2021 from the weather station of Ingenio Agro Azúcar La Troncal (formerly Aztra), associated with the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI). The resulting average ETo for the year is 3.59 mm/day, its effective precipitation is 1453.5 mm and its water requirement is 642.3 mm/year. Based on these data, a daily irrigation proposal for the crop is given to cover the water requirement.

**Keywords:** Cocoa, Diagnosis, Water requirements, CropWat software.

## 1. Introducción

### 1.1 Antecedentes del problema

En la actualidad para Ecuador es una prioridad la gestión del uso potencial del suelo. Mediante la creación del Programa Nacional de Conservación y Recuperación de Suelos y los proyectos que surjan del mismo, Ecuador promueve la conservación del suelo, preservando aquellos que se encuentran degradados o en procesos de degradación, sea esta química o física (Loayza, *et al.* 2020).

La revisión de los resultados de análisis de suelos son fundamentales, desde el punto de vista técnico y científico, especialmente en lo relacionado con los análisis de suelos y plantas, dado que sin datos correctos y ciertos las sugerencias para fertilizar los suelos pueden ser desacertadas, conllevando gastos innecesarios que ponen en riesgo la sostenibilidad monetaria de las producciones agrarias (Gallardo, *et al.* 2017).

Una preocupación en el Ecuador es la gestión del agua de riego donde se quiere reducir la mala utilización de los recursos hídricos locales, lo cual se puede lograr al aumentar la eficiencia de los sistemas de riego. La sobre extracción de agua se puede reducir con sistemas de riego eficaces (Salmoral, *et al.* 2018).

El eficiente uso de las técnicas de riego permite la reducción de un gran volumen del agua y del tiempo de uso de las bombas, beneficiando la reducción de costos empleado para la producción (Martínez y Calatrava, 2021).

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

### **1.2.1 Planteamiento del problema**

En la actualidad los problemas que se pueden encontrar en los suelos son muy variados, pueden ir desde la necesidad de corregir el estado nutricional por deficiencia o exceso de nutrientes, déficit de materia orgánica o exceso de sales (Bote, 2020).

Los análisis de suelo realizados aconsejan sobre nutrición o fertilización, estos resultados deben ser compartidos en la zona del cultivo, para que el agricultor dependiendo a su condición económica y el estado del cultivo pueda cambiar las dosis y productos a utilizar (Jaraba, *et al.* 2021).

El cacao es una planta muy sensible a la falta de agua, lo cual afecta directamente al potencial de su rendimiento, las necesidades de agua de este cultivo oscilan entre 1500 y 2500 mm al año. Por tal motivo el cultivo de cacao presenta bajas producciones en la época seca, por no cubrir las necesidades hídricas y no suplir las pérdidas que se generan debido a la evapotranspiración, entre otras causas (Vargas, 2022).

La poca información cuantitativa sobre el potencial del suelo y requerimientos de riego sobre el cacao en el sector “San Vicente”, cantón La Troncal, provincia del Cañar, es una limitante para cada productor en su finca, cuando el objetivo es mejorar el uso de estrategias para el agua y el potencial de los suelos. Sin información de estudios locales, en este sector con indicadores importantes sobre suelo y riego, es difícil predecir el impacto de los cambios en la nutrición, crecimiento y productividad del cacao.

Un diagnóstico proporciona información para estimar los factores limitantes no controlables de la producción y a la vez para identificar factores de orden edáfico, fisiológicos, hídricos y nutrimentales que podemos controlar (Calvache, 2021).

### **1.2.2 Formulación del problema**

¿Cómo mejorar las estrategias para el desarrollo del cultivo de *Theobroma cacao* mediante el diagnóstico potencial del suelo y requerimientos hídricos en la finca “San Vicente”, La Troncal?

### **1.3 Justificación de la investigación**

El cacao se lo conoce como la pepa de oro, al ser un producto de exportación para el país de Ecuador, principal generador de recursos e impulsor de la economía de forma importante (García y Pico, 2021). Con esta premisa, el presente trabajo de investigación contribuyo con conocimientos para optimizar la producción de cacao en el sitio de estudio.

Los resultados que se obtuvieron aportaron a la falta de información que padece la finca “San Vicente” como parte de la zona cacaotera del sector del cantón La Troncal acerca del potencial del suelo y requerimientos hídricos del cultivo. Esta información puede documentarse y compartirse entre los agricultores de la zona, buscando mejorar sus sistemas de producción.

La información que se obtuvo a partir del diagnóstico de uso potencial del suelo y del agua permitió la implementación de estrategias y técnicas que repercutieron en un mejor desempeño productivo y rentabilidad en los cultivos de la zona. Esto es debido a que las cuantificaciones agronómicas evaluadas servirán de indagación para estudios posteriores, pues en lo monetario ayudaron a evitar gastos

innecesarios en el uso incorrecto del potencial del suelo y sus requerimientos hídricos en el cultivo del cacao. Con ello, se contribuyó a reducir el impacto ecológico en el suelo por el enorme uso de fertilizantes para aumentar la producción, así como también con un uso eficiente del recurso hídrico.

#### 1.4 Delimitación de la investigación

La investigación se llevó a cabo, tomando en consideración los siguientes elementos.

- **Espacio:** Finca “San Vicente”, cantón La Troncal, provincia del Cañar, coordenadas geográficas -2.4587646,-79.4017007
- **Tiempo:** El trabajo enmarcó un tiempo aproximado de seis meses
- **Población:** En este trabajo experimental, se contó con el aporte del estudiante, docente guía, expertos referenciales, y sobre todo la comunidad, a la cual se proporcionó de información pertinente en función de los resultados obtenidos

#### 1.5 Objetivo general

Diagnosticar los suelos y obtener los requerimientos hídricos óptimos del cultivo del cacao (*Theobroma cacao*) en la Finca “San Vicente”, mediante evaluación técnica in situ, para mejorar las estrategias del uso de agua y el potencial del suelo para este cultivo.

#### 1.6 Objetivos específicos

- Caracterizar in situ el suelo de referencia, con relación a sus propiedades físicas y químicas en el cultivo.

- Calcular los requerimientos hídricos para el cacao, utilizando el software CropWat, relacionándolos con datos de variables climatológicas e indicadores relativos al cultivo.
- Proponer una programación de riego en el cultivo de cacao de la Finca “San Vicente” en base a los requerimientos hídricos obtenidos.

### **1.7 Hipótesis**

El diagnóstico de los problemas que limitan el potencial de suelo y los requerimientos hídricos del cultivo de cacao, permite el diseño de una programación de riego para mejorar el uso del suelo y satisfacer los requerimientos hídricos.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Estado del arte

El suelo es un recurso limitado e indispensable para la agricultura. El 95% de los alimentos se produce de manera directa en el suelo y un manejo sostenible del suelo permitiría promover hasta un 58% más de alimentos. El manejo sostenible de los suelos agrícolas y la producción sostenible son importantes para cambiar la degradación de los suelos y garantizar en el mundo la seguridad alimentaria (FAO, 2015).

Las actividades agrícolas a nivel mundial consumen más del 70% de agua disponible, esto se debe al mal uso de los recursos hídricos, aún en sistemas tecnificados es desperdiciada, por no reconocer los requerimientos del cultivo. Esto conlleva a que los cultivos deben darle importancia a su uso racional (Servín, *et al.* 2017).

Es importante hacer un análisis de suelo, para poder conocer los datos nutrimentales existentes y poder calcular las dosis requeridas por el cultivo de cacao, asegurando una optimización del 100% para un plan de fertilización que alcance rendimientos promedios de 25500 kg de cacao seco por hectárea, en contraste con cultivos no fertilizados (Herrera, 2018).

Encontramos más de noventa elementos esenciales en la constitución de las plantas. De los cuales, sólo dieciséis se consideran útiles para las plantas: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, hierro, boro, manganeso, cobre, zinc, molibdeno y cloro (Intagri, 2021).

Los requerimientos esenciales o macronutrientes para una planta de cacao son: Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio (Jaraba, *et al.* 2021).

En los análisis de suelos realizados en dos fincas cacaoteras referenciales de la Parroquia Río Bonito de la provincia de Machala el valor medio general del  $\text{NH}_4$  estuvo entre  $28.50 \text{ mg/L} \pm 4.95$  y  $43.00 \text{ mg/L} \pm 2.83$ . El P varió considerablemente entre  $2.90 \pm 0.71 \text{ mg/L}$  y  $9.10 \text{ mg/L} \pm 0.14$ . En el K la media oscila entre  $0.19 \text{ meq/100} \pm 0.01$  y  $0.12 \text{ meq/100} \pm 0.01$ . Con respecto al S, la media menor llega a  $5.35 \text{ mg/L} \pm 0.07$  y la mayor a  $12.50 \text{ mg/L} \pm 0.71$ . En cuanto al Ca se muestran medias entre  $5.00 \text{ meq/100ml} \pm 0.85$  para F1 y  $2.80 \text{ meq/100ml}$ . Mientras que la media del Mg mayor llega a  $3.10 \text{ meq/100}$  y la menor a  $1.01 \text{ meq/100} \pm 0.03$  (Barrezueta, 2019).

En las zonas bajas más cálidas el riego en el cacao debe ser entre los 1500 – 2500 mm, en valles debe haber 1200 – 1500 mm. El cultivo de cacao es muy sensible a la falta de agua, debe haber un drenaje correcto para evitar encharcamiento para que no sufra un estrés hídrico (Orozco y López, 2016).

Para un cultivo de cacao una frecuencia de riego de 5 días, la demanda del cultivo de  $1.89 \text{ mm/día}$  y una eficiencia de aplicación del 75% se determinó una lámina total requerida de  $12.58 \text{ mm}$ , que deben satisfacerse en cada aplicación de riego por aspersión, con un tiempo de 2 horas para lo cual se requiere un volumen de  $161.05 \text{ m}^3$  para la superficie de  $1.28 \text{ ha}$  (Calero y Pilatasig, 2021).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Origen del cacao**

Latinoamérica es conocida como el lugar donde se originó el cacao, durante mucho tiempo México y Centroamérica se los ha reconocido como lugares donde se estableció este cultivo, por las pruebas de su uso en estas localidades hace cuatro mil años. En la actualidad, existen estudios que demuestran que una de

estas variedades de cacao fino de aroma tiene su lugar de origen en Ecuador (Abad, *et al.* 2019).

La tecnificación de los cultivos, son las técnicas para el control de plagas y mecanización en los procesos de producción. Una encuesta realizada a los productores de cacao del cantón Naranjal dio como resultado que el 63% de los agricultores no realizan tecnificación. A pesar de esto la fertilidad de la tierra ayuda a que se mantenga la producción (Carreño, 2019).

En Ecuador la distribución de la superficie regada por cultivos permanentes en el año 2020, indica que el 77% de las plantaciones no cuentan con un riego tecnificado (Pilataxi, 2021).

### **2.2.2 Taxonomía**

La taxonomía del cacao lo ubica dentro del reino Plantae y división Magnoliophyta, siendo su clase Magnoliopsida. Pertenece al Malvales y a la familia Malvaceae. En el sistema binomial de Linneo, pertenece al género ***Theobroma***, y a la especie ***cacao*** (López, 2016).

### **2.2.3 Morfología**

El árbol de cacao tiene un crecimiento vertical y horizontal, puede alcanzar hasta los seis metros de altura donde su tallo es leñoso, con chupones que aparecen velozmente. El crecimiento de las ramas por lo general es en abanico (Martínez, *et al.*, 2021).

El CCN 51 es de origen ecuatoriano, es un cacao clonado sus siglas significan Colección Castro Naranjal. Es una planta de alta productividad, de esta forma fue declarada el 22 de Junio del 2005. Su color característico es rojo, además se lo

reconoce por sus características de alto rendimiento para la extracción de ingredientes esenciales para la producción de chocolate (Jaimes, *et al.* 2022).

La raíz principal es pivotante, posee varias raíces secundarias y pelos absorbentes que están a treinta centímetros del suelo (Furcal y Torres, 2020).

El clon CCN 51 tiene un pivote central que es su raíz principal que alcanza hasta un 1.5 m, la mayoría de sus raíces las cuales se encuentran en los 0.30 m del suelo (Parco y Camacho, 2021).

El tallo crece verticalmente de cinco a ocho metros, está abrigado por hojas pecioladas en espiral. Después del primer año de cultivo, el tallo desarrolla una serie de yemas axilares que en conjunto se llama corona (Cayetano y Peña, 2021).

El tallo del cacao CCN 51 es erguido de 1 m a 1,50 m de altura, del cual surgen ramas en una cantidad de 3 a 5 con un desarrollo horizontal, donde se forma un abanico (Capa y Romero, 2022).

Sus hojas son enteras y simples, su tonalidad cambia mucho, la mayoría son de color verde. El peciolo de la hoja del tronco es orto trópico, las hojas de las ramas laterales son de menor tamaño. El tamaño de la hoja varía mucho si hay menos luminosidad es más grande y con menos es más pequeña, los cultivos de cacao en la amazonia tienen hojas pequeñas (Montaleza, 2020).

Las flores son hermafroditas, formada por cinco sépalos, cinco pétalos, cinco ovarios, cinco estambres y todos ellos creciendo en simetría. Las flores deben ser fecundadas hasta dos días porque luego se caen (Montero, 2019).

El fruto del cacao tiene diferentes tamaños, colores y formas, su forma más general es de una baya, de 30 cm de largo y 10 cm de diámetro de color rojo, amarillo, morado o café. La cascara del fruto es gruesa, en su interior se dividen en

celdas, pulpa blanca o rosada, de sabor ácido a dulce. El contenido de semillas por fruto es de veinte a cuarenta (Jaimes, *et al.* 2022).

Las mazorcas de la raza de cacao criollo tienen frutos alargados y rojizos, de una cubierta delgada con granos de una calidad superior. Las mazorcas de la raza forastero presentan frutos amelonados, de cascara dura y leñosa con granos aplanados. Las mazorcas del cacao trinitario son alargadas y verdes, granos de tamaño mediano a grande pero de menor calidad (Rodríguez, *et al.* 2022).

En cuanto a frutos del cacao CCN 51 llegan a alcanzar los 30 cm de largo y 12 cm de ancho, su peso va de 200 a 1000 g; entre los primeros 50 a 100 días después del cuajado de la mazorca, algunos pueden detener su crecimiento para ayudar al árbol a ajustar la capacidad de carga (Parco y Camacho, 2021).

El cacao INIAP EETP 800 y INIAP EETP 801 en su madurez fisiológica tienen una mazorca inmadura color verde y amarillo, su producción es de 12 a 14 meses, donde su promedio es de 46 semillas por mazorca e índice de semilla de 1.40 (Loor, *et al.* 2019).

## **2.2.4 Requerimiento edáficos para el cultivo del cacao**

### **2.2.4.1 Suelo**

Para la siembra del cultivo de cacao se debe optar por suelos franco-arcillosos, estos suelos deben tener un buen drenaje y mantener una pendiente para evitar encharcamientos (Guerrero, 2019).

### **2.2.4.2 Luminosidad**

La luz es otro elemento importante en el cultivo, porque ayuda en la fotosíntesis. En las primeras etapas del cultivo se recomienda proporcionar sombra con otras

plantas ya que son susceptibles a los rayos solares, debe tener una luminosidad del 40 a 50% mientras se está formando y del 60 al 75% cuando es adulto (Cayetano, 2021).

#### **2.2.4.3 Altitud**

Este cultivo crece cultivándose desde el nivel del mar hasta los 800 metros de altura siendo mejor en las zonas tropicales. En zonas de Ecuador se ha visto la planta crecer hasta los 1400 msnm (Montealegre y Rojas, 2020).

### **2.2.5 Potencial del suelo para el cultivo de cacao**

#### **2.2.5.1 Identificación de suelos**

Los suelos se identifican dependiendo a su textura. Se definen por la cantidad de arcilla, limo o arena que contengan, la clasificación básica es por su formación y su composición (Melo, 2018).

El sistema de clasificación AASHTO, clasifica a los suelos en tres principales categorías: Granulares Son suelos cuya comisión que pasa el tamiz N° 200 es menor o igual al 35% del total de la muestra. Suelos limo-arcilla, suelos cuyo porcentaje que pasa el tamiz N° 200 es mayor al 35% del total de la muestra. Suelos orgánicos, son los suelos que están constituidos principalmente por materia orgánica. Esta clasificación está basado al tamaño de partículas (Huaraca, 2020).

La nomenclatura de los suelos en base a su edad y degradación se forman con: Raíz +i/o + sol; las raíces se forman de manera que incluyen el EFO y en algunos casos son el propio EFO. Estas se seleccionan de manera que su significado esté relacionado con algún atributo relevante para el uso del suelo (Castillo, *et al.* 2017).

### **2.2.5.2 Muestreo del suelo**

Una de las técnicas más utilizadas para tomar muestras del suelo es del cuarteo, consiste en la clasificación de una muestra mediante la combinación de varias sub muestras, en el campo todas las sub muestras se las coloca en un plástico se las mezcla y se va eliminando en forma de X hasta dejar un peso de 500 gramos (Salazar, *et al.* 2019).

El muestreo de suelos se debe realizar de manera aleatoria tomando una sola muestra o varias muestras simples del suelo con las siguientes técnicas, sistemáticas donde las muestras se toman en la forma cuadrícula, zig - zag y Diagonales. Teniendo técnicas asistemáticos cuando no se utiliza una técnica o diseño especial (Domingo, 2019).

### **2.2.5.3 Análisis del suelo**

Una parte importante para la producción agrícola y un mejor manejo son los análisis de suelos, ayudan a saber la fertilidad, qué nutrientes se debe aplicar, permite determinar las limitaciones del cultivo y un diagnostico general ante cualquier problema. Es una tecnología fundamental para optimizar la producción (Agronet, 2018).

### **2.2.6 Requerimientos nutrimentales del cultivo de cacao**

Los requerimientos de nutrientes en el cultivo de cacao por cosecha de 1.000 kg estimados son de Nitrógeno (36 kg), Fosforo (6 kg), Potasio (49 kg), Calcio (6 kg) y Magnesio (7 kg) (Charris, 2021).

Análisis realizados en Ecuador del cacao CCN 51, con condiciones del cultivo en plena producción en 2.222 plantas/ha es: N (101), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (27), K<sub>2</sub>O (204), CaO (69), MgO (42) y S (12) todos ellos expresados en kg ha<sup>-1</sup> (Marquinez, 2021).

#### **2.2.6.1 pH del cultivo**

La acidez en los suelos afecta la absorción de nutrientes de las plantas incrementando el aprovechamiento de micronutrientes, y disminuyendo la disponibilidad de macronutrientes. Los valores óptimos son de 5 a 7 para un mejor desarrollo (Rosas, 2021).

#### **2.2.6.2 Materia orgánica**

La materia orgánica es esencial en las propiedades del suelo, sus efectos son importantes en el crecimiento de la vegetación, ayuda a fijar nutrientes como nitrógeno, fósforo y azufre en cantidades significativas, aporta energía a los microorganismos. Regula el medio de recursos mediante cationes para micronutrientes (Ramírez y Florida, 2019).

La materia orgánica son los residuos de plantas y animales, hecha de compuestos como carbohidratos y proteínas, está relacionada con la fertilidad del suelo, debajo del 1% se considera baja y por encima del 4% alta. Lo ideal es son valores entre el 2% y el 4% (Agrodiario, 2020).

#### **2.2.6.3 Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica cuando es elevada impide el desarrollo correcto del cultivo, por el motivo que contiene una cantidad excesiva de sales. Todo cultivo

tiene condiciones diferentes de conductividad, esto va a depender de las sales que se encuentran en el suelo (Cremona y Enriquez, 2020).

La forma de medición más utilizada es el Siemens/cm (S/cm, con valores de 10 elevado a -6 es decir ( $\mu\text{s/cm}$ ), o en 10 elevado a -3 es decir, mili Siemens (mS/cm). Cuanto mayor es la cantidad de este dato sobre los iones que se disuelven en el agua, la conductividad eléctrica será mejor (Venturo, 2017).

## **2.2.7 Requerimientos climáticos del cultivo de cacao**

### **2.2.7.1 Temperatura máxima y mínima**

Para poder obtener un desempeño óptimo a nivel productivo la temperatura mínima y máxima recomendada para el cultivo de cacao es entre 21 y 32°C (Hebbar, *et al.* 2019).

### **2.2.7.2 Velocidad del viento**

Los vientos continuos provocan caída de hojas, ramas quebradas incluso muerte del cacao, el viento determina la rapidez que el agua se evapora del suelo. En lugares donde el viento alcanza los 4 metros/segundo y no mucha sombra hay caída prematura de plantas (Junco, 2019).

### **2.2.7.3 Temperatura**

La planta de cacao no resiste temperaturas bajas, el promedio de este cultivo es de 21 grados. Las temperaturas altas permiten modificaciones a sus órganos vegetativos, llegando a caerse las flores (Andrade, *et al.* 2019).

## **2.2.8 Requerimientos hídricos del cultivo de cacao**

### **2.2.8.1 Precipitación**

El cultivo de cacao es muy perceptivo a la falta de agua, así como al encharcamiento. La precipitación recomendada debe de ser de 1,500 a 2,500 mm al año. En lugares donde hay sequía se debe tener riego para mantener la producción del cultivo (Tigua, 2020).

### **2.2.8.2 Humedad relativa**

La plantación del cacao necesita una humedad ambiental entre 70 y 80%, cuando es menor a 70% provoca un desbalance hídrico, al mantenerse arriba del 80% en época lluviosa, produce la aparición de enfermedades (Peña, 2017).

### **2.2.8.3 Evaporación**

Es el proceso físico donde el agua pasa de líquido a vapor, es un ciclo hidrológico que depende de varios factores entre ellos se tiene el viento, temperatura, etc. En los cultivos cuando se habla de este proceso se refiere al agua que se evapora del suelo (León, 2018).

Se recomienda que para el óptimo desarrollo del cultivo de cacao su Kc inicial sea de 1,00 y su Kc final de 1,05, estimando la altura del cultivo en tres metros (FAO, 2018).

## **2.2.9 Diagnóstico**

Un diagnóstico es un conjunto de procedimientos para describir y examinar sistemas agrícolas, identificar sus limitaciones, las causas de éstas y las posibles soluciones para mejorar su producción y productividad (Amaro y Marquéz, 2019).

### **2.2.10 Potencial del suelo**

El potencial del suelo determina la capacidad de la tierra para dar soporte a su uso adecuado en la producción a partir de información climática, edafológica y los diferentes usos del suelo (Martínez, 2021)

### **2.2.11 Diagnóstico potencial del suelo**

El diagnóstico potencial del suelo proporciona datos detallados sobre el estado y sus propiedades permitiendo una mejora agronómica y optimización del rendimiento, teniendo en cuenta la información aportada mediante los procedimientos (Csr Laboratorio, 2022).

## 2.3 Marco legal

El presente trabajo se relaciona con la Ley orgánica de recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua con los siguientes artículos:

Artículo 1.- Naturaleza jurídica. Los recursos hídricos son parte del patrimonio natural del Estado y serán de su competencia exclusiva, la misma que se ejercerá concurrentemente entre el Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, de conformidad con la Ley. El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria (República del Ecuador, 2008).

El artículo 318 de la Constitución prohíbe toda forma de privatización del agua y determina que la gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria y que el servicio de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias; prescribe además, que el Estado a través de la Autoridad Única del Agua, será responsable directa de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano y riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación y que se requerirá autorización estatal para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la Ley (República del Ecuador, 2008).

Los artículos 12, 313 y 318 de la Constitución de la República consagran el principio de que el agua es patrimonio nacional estratégico, de uso público, dominio inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos, reservando para el Estado el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia (República del Ecuador, 2008).

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

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1 Enfoque de la investigación

##### 3.1.1 Tipo de investigación

Esta investigación se realizó mediante una combinación de trabajo de campo y trabajo de software donde se halló respuestas a la utilización de técnicas (uso potencial del suelo y requerimientos hídricos), para mejorar las estrategias del uso de agua y la viabilidad del suelo en el cultivo. La información fue recolectada en una plantación establecida donde se determinó las variables propuestas. Fue un estudio transversal, pues se desarrolló en condiciones reales y en el tiempo presente.

##### 3.1.2 Diseño de investigación

La presente investigación expuso las variables en estudio y canalizó los resultados obtenidos en base a las diferentes técnicas, donde se determinó la veracidad de la información, permitiendo la obtención de resultados objetivos y replicables en el tiempo.

#### 3.2 Metodología

##### 3.2.1 Variables

###### 3.2.1.1 *Variable independiente*

Los resultados en campo de las técnicas y diagnóstico aplicado al cultivo de *Theobroma cacao* L. de la Finca "San Vicente": contenido de macro y micro nutrientes, conductividad eléctrica, pH, contenido de materia orgánica y características físicas y requerimientos hídricos.

###### 3.2.1.2 *Variable dependiente*

Diagnóstico del potencial del suelo.

A continuación se muestra la operacionalización de variables:

**Tabla 1: Operacionalización de variables dependientes sobre potencial del suelo**

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicadores	Índice
<b>Selección de sitios representativos</b>	Transectos horizontales y verticales de 5 x 10 m en el área de estudio; y dentro de cada transecto, un cuadrulado de 1 m <sup>2</sup>	Potencial del suelo	Profundidad del manto freático y determinar la presencia de capas endurecidas, el pH y el color del suelo	<p><b>¿A qué profundidad está el manto freático?</b> 0.70 m ( ) 1.00 m ( ) 1.20 m ( )</p> <p><b>¿Nivel del pH del suelo?</b> 4 ( ) 5 ( ) 6 ( ) 7 ( ) 8 ( ) 9 ( )</p> <p><b>¿Color del suelo?</b> Gris ( ) Rojo ( ) Amarillo ( )</p>
<b>Identificación de los suelos de referencia</b>	Muestras de los horizontes de los respectivos perfiles con indicadores de referencia: contenido de macro y micro nutrientes, conductividad eléctrica, pH, contenido de materia orgánica y características físicas	Potencial del suelo	La identificación final de los suelos de referencia se realizará utilizando la taxonomía propuesta en el sistema categórico de la FAO	<p><b>¿Textura del suelo?</b> Arcilloso ( ) Arenoso ( ) Limoso ( ) Otra ( )</p> <p><b>¿Clasificación del tipo de suelo en base a su edad?</b> Entisoles ( ) Inceptisoles ( ) Molisoles ( ) Alfisoles ( )</p> <p><b>¿Contenido de macro nutrientes y micronutrientes?</b> N ( ) P ( ) K ( ) Ca ( ) Mg ( ) S ( )</p> <p><b>¿Conductividad eléctrica del suelo?</b> &lt; 1 ( ) 2-4 ( ) 4-8 ( ) 8-10 ( )</p> <p><b>¿Contenido de Materia Orgánica?</b> 3% ( ) 4% ( ) 5% ( )</p>

**Tabla 2: Operacionalización de variables dependientes sobre requerimientos hídricos**

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicadores	Índice
<b>Cálculo de los requerimientos hídricos</b>	Variables climatológicas (temperatura máxima y mínima, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, evaporación, horas de insolación) y variables relativas al cultivo en sus distintas etapas fenológicas (vegetativa, floración, fructificación) con su respectivo coeficiente de uso consuntivo (kc)	Requerimientos hídricos	La información climatológica se tomará con base en los registros disponibles por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en el periodo de los últimos 5 años	<p><b>¿Temperatura máxima y mínima?</b> 10 a 20° ( ) 20 a 30° ( ) 25 a 35° ( )</p> <p><b>¿Precipitación?</b> 1000 a 2000 mm ( ) 1500 a 2500 mm ( ) 1800 a 3000 mm ( )</p> <p><b>¿Humedad Relativa?</b> 60 a 70% ( ) 70 a 80% ( ) 70 a 90% ( )</p> <p><b>¿Velocidad del Viento?</b> 4 m/s ( ) 5 m/s ( ) 6 m/s ( )</p> <p><b>¿Evaporación?</b> Kc inicial 1,00 y Kc final de 1,05 ( ) Otro Kc especifique ( )</p>
<b>Programación de riego en el cultivo</b>	Resultados de diagnóstico con análisis de requerimientos hídricos gestionados por el software CropWat	Requerimientos hídricos	El riego se ajusta a los parámetros de las variables analizadas	<p><b>¿Frecuencia del riego en el cultivo?</b> Una vez a la semana ( ) Pasando 2 días ( ) Todos los días ( )</p> <p><b>¿Tiempo de riego en el cultivo?</b> 30 minutos ( ) 1 hora ( ) 2 Horas ( )</p>

#### *3.2.1.2.1 Selección de sitios representativos*

Para la selección de los suelos representativos del cultivo de cacao en la finca “San Vicente”, se delimitó una superficie de 1 ha, en la cual se trazaron transectos horizontales y verticales de 5 x 10 m en el área de estudio. Esto dio un total de 200 transectos de los que se seleccionó aleatoriamente una octava parte, para realizar los muestreos a 15 transectos y dentro de cada uno se tomó una cuadrícula de 1m<sup>2</sup>. En los cuadros trazados se realizaron perforaciones mediante barreno con el propósito de medir la profundidad del manto freático y determinar la presencia de capas endurecidas y el color del suelo.

#### *3.2.1.2.2 Identificación de los suelos de referencia*

Se tomaron muestras de los horizontes de los respectivos perfiles, se secó al aire, bajo sombra y se tamizó a través de una malla de 2 mm antes de llevar a cabo el análisis de laboratorio para identificar la clase textural del suelo de referencia: contenido de macro y micro nutrientes, conductividad eléctrica, pH, contenido de materia orgánica y características físicas. La identificación final de los suelos de referencia se realizó utilizando la taxonomía propuesta en el sistema categórico de la FAO.

La clasificación y taxonomía de suelos de la FAO se refiere a la agrupación de propiedades similares sean químicas, físicas y biológicas, que puedan ser georeferenciadas y mapeadas para conformar y ordenar los tipos de suelo diferentes. Los suelos se consideran como un recurso natural mucho más complejo que otros elementos como el aire y el agua (FAO, 2022).

Algunas de las categorías taxonómicas de suelo son: Entisoles, Inceptisoles, Molisoles, Alfisoles, Ultisoles, Espodosoles, Oxisoles, Aridisoles, Andisoles,

Vertisoles, Histosoles y Gelisoles. Dichas categorías se establecen en base a la edad y degradación del suelo y permite predecir su comportamiento (Fadda, 2017).

#### *3.2.1.2.3 Cálculo de los requerimientos de riego*

Se calculó los requerimientos de riego del cultivo bajo las condiciones de la finca “San Vicente”, utilizando el software CropWat. Para el tipo de suelo de referencia se introdujo al programa los datos de las variables climatológicas (temperatura máxima y mínima, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, evaporación, horas de insolación) y variables relativas al cultivo en sus distintas etapas fenológicas (vegetativa, floración, fructificación) con su respectivo coeficiente de uso consuntivo (kc). La información climatológica se tomó con base a los registros del periodo 2010 al 2021 de la estación meteorológica del Ingenio Agro azúcar (La Troncal) coordenadas geográficas -2.43750000, -79.35250000 perteneciente al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

El modelo de simulación virtual de Food Agriculture Organization (FAO) llamado CropWat, está creado para el cálculo de los requerimientos hídricos y el desarrollo de un calendario de riego para los cultivos, éste modelo facilita el cálculo de la precipitación efectiva para diferentes condiciones (Vargas y Escobar, 2018).

#### *3.2.1.2.4 Programación de riego en el cultivo*

Esta variable se propuso al final de la investigación, tomando en base los resultados obtenidos del diagnóstico del suelo relacionados con los análisis y los requerimientos hídricos del cultivo mediante la gestión del software CropWat para la finca “San Vicente” en el cultivo de cacao.

La edad del cultivo es de 14 meses, el área de la finca consta de 4 hectáreas con una superficie plana con canales distribuidos cada 9 metros con una

profundidad de 90 cm, teniendo un sistema de riego por aspersión donde la frecuencia de riego es de 2 veces por semana.

### **3.2.2 Tratamientos**

Es un trabajo sin aplicación de tratamientos.

### **3.2.3 Diseño experimental**

Es un trabajo no experimental.

### **3.2.4 Recolección de Datos**

#### **3.2.4.1 Recursos**

- Equipos de medición (GPS, calculadora)
- Pala
- Cilindros de medición
- Muestras para análisis de laboratorio
- Malla de 2 mm
- Software CropWat
- Cámara fotográfica
- Cuaderno de apuntes
- Computadora
- Impresora
- Resmas de papel
- Memoria USB
- Bolígrafo

### **3.2.4.2 Métodos y técnicas**

Los métodos y técnicas que se utilizaron fueron de acuerdo al tipo de investigación. Cabe indicar que, el detalle de cómo se realizaron la recolección de datos aplicados a las diferentes técnicas o métodos fueron detallados en la metodología.

### **3.2.5 Análisis Estadístico**

#### **3.2.5.1 Población**

Para efectuar esta investigación se realizó un cuestionario al técnico encargado de la Finca “San Vicente”, conformada por 15 preguntas cerradas de opciones múltiples, es decir la población es una sola persona.

#### **3.2.5.2 Muestra**

No se consideró necesario la aplicación de una muestra puesto que el universo del estudio es una sola persona.

## 4. Resultados

### 4.1 Caracterización del suelo de referencia con relación a sus propiedades físicas y químicas mediante técnicas en el cultivo

#### 4.1.1 Selección de sitios representativos

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en la selección de sitios representativos.

**Tabla 3. Selección de sitios representativos**

Componentes	Resultado
Manto freático	Se realizó una perforación de 2 metros mediante barreno en dos niveles donde no se encontró la presencia del manto freático, con base a la entrevista al técnico encargado el nivel freático se encuentra a 10 metros de profundidad por la comprobación mediante la realización de pozos profundos para riego.
Capas endurecidas	Mediante la perforación utilizando el barreno no se encontró la presencia de capas endurecidas mientras se determinaba la selección de los sitios representativos en la finca "San Vicente".
Color del suelo en seco	Se tomó una muestra de la selección de sitios representativos, después de ser secada y tamizada con un peso de 100 gramos se la comparo con el sistema de notación Munsell Yellow - Red donde se determinó que su color es 7/2.
Color de suelo en condición de saturación	Se tomó una muestra de la selección de sitios representativos, después de humedecerla hasta el punto de saturación con un peso de 100 gramos se la comparo con el sistema de notación Munsell Yellow – Red donde se determinó que su color es 6/2.

---

Resultados obtenidos de la selección de sitios representativos  
Zambrano, 2023

#### 4.1.2 Identificación de los suelos de referencia

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de las muestras obtenidas en la selección de sitios representativos, donde las condiciones ambientales presentadas fueron de T°C: 25.0 y %H: 61.0

**Tabla 4. Identificación de los suelos de referencia**

<b>Determinación</b>	<b>Resultado</b>
pH	6.0
NH <sub>4</sub>	13 ug/ml
P	24 ug/ml
K	162 ug/ml
Ca	3571 ug/ml
Mg	582 ug/ml
Clase Textural	Franco
Conductividad eléctrica	1.19 mS/cm
Materia Orgánica	2.21 %

Resultados obtenidos de la identificación del suelo de referencia  
INIAP, 2023

#### 4.2 Requerimientos de riego para el cacao, utilizando el software CropWat, relacionándolos con datos de variables climatológicas e indicadores relativos al cultivo

##### 4.2.1 Software CROPWAT 8.0

CROPWAT es una herramienta de TIC de la Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Está creado para el cálculo de requerimientos hídricos y la elaboración de un calendario de riego para los cultivos, permitiendo

modelos para el cálculo de la precipitación efectiva en distintas condiciones (Vargas y Escobar, 2018).

Los módulos de entrada de datos de CROPWAT son los siguientes:

- Clima/ETo: datos medidos de ETo o datos climáticos.
- Precipitación: datos de precipitación y precipitación efectiva.
- Cultivo (cultivos no inundados o arroz): datos del cultivo y su fecha de siembra.
- Suelo: datos de suelo.
- Patrón de cultivo: modelo de cultivos para calcular el esquema de entrega de agua.

#### 4.2.2 Resultados de los requerimientos de riego del cultivo de cacao con el CROPWAT

En la tabla 5 se presentan los resultados de ETo en mm/día, siendo el dato más alto de 4.62 mm/día para los meses de marzo y abril, el promedio más bajo de 3.06 mm/día para el mes de noviembre.

**Tabla 5. Resultados de ETo en mm/día**

Mes	Temp min °C	Temp max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m <sup>2</sup> /día	ETo mm/día
Enero	22.9	29.6	87	1.2	3.6	14.7	3.16
Febrero	23.1	30.2	86	1.3	5.5	18	3.79
Marzo	23.5	31.1	86	1.5	8.3	22.5	4.62
Abril	23.6	31.3	85	1.9	8.6	22.2	4.62
Mayo	23.2	30.2	86	1.7	6.2	17.3	3.66
Junio	22.4	29.2	86	2.3	4.4	14.2	3.14

Julio	21.6	28.6	86	3.3	4.5	14.6	3.23
Agosto	21	28.7	83	3.0	5.7	17.1	3.72
Septiembre	21.3	29.4	84	3.3	4.8	16.7	3.77
Octubre	21.1	28.4	85	1.8	3	14.1	3.12
Noviembre	21.3	28.7	84	1.6	3	13.9	3.06
Diciembre	22.4	29.8	83	1.4	3.4	14.3	3.19
Promedio	22.3	29.6	85	2.0	5.1	16.6	3.59

Resultados obtenidos de ETo para el cultivo de cacao  
CROPWAT, 2023

En la Tabla N° 6 se presenta el cálculo de la precipitación efectiva con un total de 1453.5 mm, siendo la máxima de 404.6 mm para el mes de febrero y la máxima de 0 para los meses de Julio a Noviembre.

**Tabla 6. Cálculo de precipitación efectiva**

	Precipitación (mm)	Precipitación Efectiva (mm)
Enero	384.1	283.3
Febrero	535.7	404.6
Marzo	495.4	372.3
Abril	332.8	242.2
Mayo	172.5	114.0
Junio	30.7	8.4
Julio	16.3	0
Agosto	6.5	0
Septiembre	10.6	0
Octubre	16.2	0
Noviembre	16.3	0

Diciembre	64.3	28.6
Total	2081.4	1453.5

---

Resultados obtenidos de precipitación efectiva  
CROPWAT, 2023

En la tabla N° 7, se presenta los coeficientes de cultivo (Kc) para el cultivo de Cacao con valores de 0.6 a 1.0 dependiendo de la época del cultivo.

**Tabla 7. Coeficientes del cultivo (kc) para el cultivo de cacao**

<b>Etapa</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Med</b>	<b>fin de temporada</b>	<b>Total</b>
Días	60	100	180	25	365
Kc (valores)	0.6		1	0.75	
Profundidad rad	0.75		1	1	
agotamiento critico	0.02		0.02	0.02	
F. respuesta rend.	0.01	0.01	0.01	0.01	

---

Resultados ingresados de los coeficientes de cultivo (Kc)  
CROPWAT, 2023

En la Tabla N° 8, se presenta las características del suelo, destacando la disponibilidad de humedad en el suelo de 180 mm/metro de profundidad (1.800 m3 /Ha/metro).

**Tabla 8. Datos y características del suelo**

<b>Datos generales del suelo</b>	<b>Resultado</b>
Humedad del suelo disponible total (CC - PMP)	180.0 mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	30 mm/día
Profundidad radicular máxima	900 cm
Agotamiento inicial de hum. del suelo (como % de ADT)	0 %

Humedad del suelo inicialmente disponible

180.0 mm/metro

---

Resultados obtenidos sobre las características del suelo  
CROPWAT, 2023

### 4.3 Programación de riego en el cultivo de cacao de la Finca “San Vicente” en base a los requerimientos de riego tomando en cuenta la preservación del recurso suelo.

#### 4.3.1 Programación de riego en el cultivo

En la Tabla N° 9, y en base a los resultados anteriores se ha calculado el requerimiento de agua para el cultivo de cacao en la Finca “San Vicente” del cantón la Troncal.

**Tabla 9. Resultados del requerimiento de riego del cultivo de cacao en la finca “San Vicente” expresado en periodos de 10 días.**

Mes	Periodos de 10 días	Etapas	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Ene	1	Inic	0.6	1.9	19	70.3	0
Ene	2	Inic	0.6	1.9	19	100.7	0
Ene	3	Inic	0.6	2.02	22.2	112.1	0
Feb	1	Inic	0.6	2.15	21.5	126.2	0
Feb	2	Inic	0.6	2.27	22.7	142.1	0
Feb	3	Inic	0.6	2.44	19.5	136.1	0
Mar	1	Des	0.62	2.67	26.7	130.8	0
Mar	2	Des	0.65	3.01	30.1	128.7	0
Mar	3	Des	0.69	3.18	35	112.7	0
Abr	1	Des	0.73	3.4	34	95.2	0

Abr	2	Des	0.76	3.59	35.9	80.7	0
Abr	3	Des	0.8	3.48	34.8	66.5	0
May	1	Des	0.83	3.31	33.1	51.6	0
May	2	Des	0.87	3.17	31.7	37	0
May	3	Des	0.9	3.15	34.7	25.6	9.1
Jun	1	Med	0.94	3.12	31.2	8.5	22.7
Jun	2	Med	0.95	3	30	0	30
Jun	3	Med	0.95	3.02	30.2	0	30.2
Jul	1	Med	0.95	3.05	30.5	0.1	30.4
Jul	2	Med	0.95	3.08	30.8	0	30.8
Jul	3	Med	0.95	3.24	35.6	0	35.6
Ago	1	Med	0.95	3.4	34	0	34
Ago	2	Med	0.95	3.55	35.5	0	35.5
Ago	3	Med	0.95	3.57	39.2	0	39.2
Sep	1	Med	0.95	3.58	35.8	0	35.8
Sep	2	Med	0.95	3.6	36	0	36
Sep	3	Med	0.95	3.39	33.9	0	33.9
Oct	1	Med	0.95	3.19	31.9	0	31.9
Oct	2	Med	0.95	2.98	29.8	0	29.8
Oct	3	Med	0.95	2.96	32.6	0	32.6
Nov	1	Med	0.95	2.94	29.4	0	29.4
Nov	2	Med	0.95	2.92	29.2	0	29.2
Nov	3	Med	0.95	2.96	29.6	0.1	29.5
Dic	1	Fin	0.94	2.97	29.7	0	29.7
Dic	2	Fin	0.85	2.7	27	0	27

Dic	3	Fin	0.72	2.31	25.4	28.7	0
Ene	1	Inic	0.6	1.9	19	70.3	0
Total					1087.3	1453.7	642.3

---

Resultados obtenidos sobre los requerimientos de riego en el cultivo CROPWAT, 2023

Los requerimientos de riego obtenidos mediante el uso del software CROPWAT para el cultivo de cacao en la finca “San Vicente” del cantón La Troncal proyectan como resultado durante el año que las necesidades de riego del cacao son de 1087,3 mm/año – 10873 m<sup>3</sup> por Ha. Los aportes por precipitación son de 1453.7 mm/año – 14537 m<sup>3</sup> por Ha y los requerimientos ecosistémicos son de 642.3 mm/año – 6423 m<sup>3</sup> por Ha.

A continuación en la tabla 10 se refleja la programación diaria, sobre los caudales necesarios a aplicar en el cultivo de cacao de la finca “San Vicente” en el cantón La Troncal.

Tabla 10. Programación diaria de caudales estimados para el riego

Fecha	Día	Etap	Precipit. Mm	Ks fracc.	ETa mm/día	Agot. %	Lám.Neta mm	Déficit Mm	Pérdida mm	Lam.Br. mm	Caudal l/s/ha
01-ene	1	Ini	0	1	1.9	1	0	1.9	0	0	0
02-ene	2	Ini	0	1	1.9	3	3.8	0	0	5.4	0.63
03-ene	3	Ini	48.9	1	1.9	1	0	1.9	0	0	0
04-ene	4	Ini	0	1	1.9	3	3.8	0	0	5.4	0.63
05-ene	5	Ini	0	1	1.9	1	0	1.9	0	0	0
06-ene	6	Ini	0	1	1.9	3	3.8	0	0	5.4	0.63
07-ene	7	Ini	48.9	1	1.9	1	0	1.9	0	0	0
08-ene	8	Ini	0	1	1.9	3	3.8	0	0	5.4	0.63
09-ene	9	Ini	0	1	1.9	1	0	1.9	0	0	0
10-ene	10	Ini	0	1	1.9	3	3.8	0	0	5.4	0.63
11-ene	11	Ini	0	1	1.9	1	0	1.9	0	0	0
12-ene	12	Ini	0	1	1.9	3	3.8	0	0	5.4	0.63
13-ene	13	Ini	68	1	1.9	1	0	1.9	0	0	0
14-ene	14	Ini	0	1	1.9	3	3.8	0	0	5.4	0.63
15-ene	15	Ini	0	1	1.9	1	0	1.9	0	0	0
16-ene	16	Ini	0	1	1.9	3	3.8	0	0	5.4	0.63
17-ene	17	Ini	68	1	1.9	1	0	1.9	0	0	0
18-ene	18	Ini	0	1	1.9	3	3.8	0	0	5.4	0.63
19-ene	19	Ini	0	1	1.9	1	0	1.9	0	0	0
20-ene	20	Ini	0	1	1.9	3	3.8	0	0	5.4	0.63
21-ene	21	Ini	0	1	2	1	0	2	0	0	0
22-ene	22	Ini	0	1	2	3	4	0	0	5.8	0.67
23-ene	23	Ini	75.1	1	2	1	0	2	0	0	0
24-ene	24	Ini	0	1	2	3	4	0	0	5.8	0.67
25-ene	25	Ini	0	1	2	1	0	2	0	0	0

26-ene	26	Ini	0	1	2	3	4	0	0	5.8	0.67
27-ene	27	Ini	75.1	1	2	1	0	2	0	0	0
28-ene	28	Ini	0	1	2	3	4	0	0	5.8	0.67
29-ene	29	Ini	0	1	2	1	0	2	0	0	0
30-ene	30	Ini	0	1	2	3	4	0	0	5.8	0.67
31-ene	31	Ini	0	1	2	1	0	2	0	0	0
01-feb	32	Ini	0	1	2.1	3	4.2	0	0	6	0.69
02-feb	33	Ini	0	1	2.1	1	0	2.1	0	0	0
03-feb	34	Ini	83.9	1	2.1	1	0	2.1	0	0	0
04-feb	35	Ini	0	1	2.1	3	4.3	0	0	6.1	0.71
05-feb	36	Ini	0	1	2.1	1	0	2.1	0	0	0
06-feb	37	Ini	0	1	2.1	3	4.3	0	0	6.1	0.71
07-feb	38	Ini	83.9	1	2.1	1	0	2.1	0	0	0
08-feb	39	Ini	0	1	2.1	3	4.3	0	0	6.1	0.71
09-feb	40	Ini	0	1	2.1	1	0	2.1	0	0	0
10-feb	41	Ini	0	1	2.1	3	4.3	0	0	6.1	0.71
11-feb	42	Ini	0	1	2.3	2	0	2.3	0	0	0
12-feb	43	Ini	0	1	2.3	3	4.5	0	0	6.5	0.75
13-feb	44	Ini	93.8	1	2.3	2	0	2.3	0	0	0
14-feb	45	Ini	0	1	2.3	3	4.5	0	0	6.5	0.75
15-feb	46	Ini	0	1	2.3	2	0	2.3	0	0	0
16-feb	47	Ini	0	1	2.3	3	4.5	0	0	6.5	0.75
17-feb	48	Ini	93.8	1	2.3	2	0	2.3	0	0	0
18-feb	49	Ini	0	1	2.3	3	4.5	0	0	6.5	0.75
19-feb	50	Ini	0	1	2.3	2	0	2.3	0	0	0
20-feb	51	Ini	0	1	2.3	3	4.5	0	0	6.5	0.75
21-feb	52	Ini	0	1	2.4	2	0	2.4	0	0	0
22-feb	53	Ini	0	1	2.4	3	4.9	0	0	7	0.81
23-feb	54	Ini	90.1	1	2.4	2	0	2.4	0	0	0

24-feb	55	Ini	0	1	2.4	3	4.9	0	0	7	0.81
25-feb	56	Ini	0	1	2.4	2	0	2.4	0	0	0
26-feb	57	Ini	0	1	2.4	3	4.9	0	0	7	0.81
27-feb	58	Ini	90.1	1	2.4	2	0	2.4	0	0	0
28-feb	59	Ini	0	1	2.4	3	4.9	0	0	7	0.81
01-mar	60	Ini	0	1	2.7	2	0	2.7	0	0	0
02-mar	61	Des	0	1	2.7	4	5.3	0	0	7.6	0.88
03-mar	62	Des	86.7	1	2.7	2	0	2.7	0	0	0
04-mar	63	Des	0	1	2.7	4	5.3	0	0	7.6	0.88
05-mar	64	Des	0	1	2.7	2	0	2.7	0	0	0
06-mar	65	Des	0	1	2.7	3	5.3	0	0	7.6	0.88
07-mar	66	Des	86.7	1	2.7	2	0	2.7	0	0	0
08-mar	67	Des	0	1	2.7	3	5.3	0	0	7.6	0.88
09-mar	68	Des	0	1	2.7	2	0	2.7	0	0	0
10-mar	69	Des	0	1	2.7	3	5.3	0	0	7.6	0.88
11-mar	70	Des	0	1	3	2	0	3	0	0	0
12-mar	71	Des	0	1	3	4	6	0	0	8.6	1
13-mar	72	Des	85.5	1	3	2	0	3	0	0	0
14-mar	73	Des	0	1	3	4	6	0	0	8.6	1
15-mar	74	Des	0	1	3	2	0	3	0	0	0
16-mar	75	Des	0	1	3	4	6	0	0	8.6	1
17-mar	76	Des	85.5	1	3	2	0	3	0	0	0
18-mar	77	Des	0	1	3	4	6	0	0	8.6	1
19-mar	78	Des	0	1	3	2	0	3	0	0	0
20-mar	79	Des	0	1	3	4	6	0	0	8.6	1
21-mar	80	Des	0	1	3.2	2	3.2	0	0	4.5	0.53
22-mar	81	Des	0	1	3.2	2	3.2	0	0	4.5	0.53
23-mar	82	Des	75.5	1	3.2	2	3.2	0	0	4.5	0.53
24-mar	83	Des	0	1	3.2	2	3.2	0	0	4.5	0.53

25-mar	84	Des	0	1	3.2	2	3.2	0	0	4.5	0.53
26-mar	85	Des	0	1	3.2	2	3.2	0	0	4.5	0.53
27-mar	86	Des	75.5	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
28-mar	87	Des	0	1	3.2	4	6.4	0	0	9.1	1.05
29-mar	88	Des	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
30-mar	89	Des	0	1	3.2	4	6.4	0	0	9.1	1.05
31-mar	90	Des	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
01-abr	91	Des	0	1	3.4	4	6.6	0	0	9.4	1.09
02-abr	92	Des	0	1	3.4	2	3.4	0	0	4.9	0.56
03-abr	93	Des	64.5	1	3.4	2	3.4	0	0	4.9	0.56
04-abr	94	Des	0	1	3.4	2	3.4	0	0	4.9	0.56
05-abr	95	Des	0	1	3.4	2	3.4	0	0	4.9	0.56
06-abr	96	Des	0	1	3.4	2	3.4	0	0	4.9	0.56
07-abr	97	Des	64.5	1	3.4	2	3.4	0	0	4.9	0.56
08-abr	98	Des	0	1	3.4	2	3.4	0	0	4.9	0.56
09-abr	99	Des	0	1	3.4	2	3.4	0	0	4.9	0.56
10-abr	100	Des	0	1	3.4	2	3.4	0	0	4.9	0.56
11-abr	101	Des	0	1	3.6	2	3.6	0	0	5.1	0.59
12-abr	102	Des	0	1	3.6	2	3.6	0	0	5.1	0.59
13-abr	103	Des	55.4	1	3.6	2	3.6	0	0	5.1	0.59
14-abr	104	Des	0	1	3.6	2	3.6	0	0	5.1	0.59
15-abr	105	Des	0	1	3.6	2	3.6	0	0	5.1	0.59
16-abr	106	Des	0	1	3.6	2	3.6	0	0	5.1	0.59
17-abr	107	Des	55.4	1	3.6	2	3.6	0	0	5.1	0.59
18-abr	108	Des	0	1	3.6	2	3.6	0	0	5.1	0.59
19-abr	109	Des	0	1	3.6	2	3.6	0	0	5.1	0.59
20-abr	110	Des	0	1	3.6	2	3.6	0	0	5.1	0.59
21-abr	111	Des	0	1	3.5	2	3.5	0	0	5	0.57
22-abr	112	Des	0	1	3.5	2	3.5	0	0	5	0.57

23-abr	113	Des	46.5	1	3.5	2	3.5	0	0	5	0.57
24-abr	114	Des	0	1	3.5	2	3.5	0	0	5	0.57
25-abr	115	Des	0	1	3.5	2	3.5	0	0	5	0.57
26-abr	116	Des	0	1	3.5	2	3.5	0	0	5	0.57
27-abr	117	Des	46.5	1	3.5	2	3.5	0	0	5	0.57
28-abr	118	Des	0	1	3.5	2	3.5	0	0	5	0.57
29-abr	119	Des	0	1	3.5	2	3.5	0	0	5	0.57
30-abr	120	Des	0	1	3.5	2	3.5	0	0	5	0.57
01-may	121	Des	0	1	3.3	2	0	3.3	0	0	0
02-may	122	Des	0	1	3.3	4	6.6	0	0	9.5	1.09
03-may	123	Des	37.4	1	3.3	2	0	3.3	0	0	0
04-may	124	Des	0	1	3.3	4	6.6	0	0	9.5	1.09
05-may	125	Des	0	1	3.3	2	0	3.3	0	0	0
06-may	126	Des	0	1	3.3	4	6.6	0	0	9.5	1.09
07-may	127	Des	37.4	1	3.3	2	0	3.3	0	0	0
08-may	128	Des	0	1	3.3	4	6.6	0	0	9.5	1.09
09-may	129	Des	0	1	3.3	2	0	3.3	0	0	0
10-may	130	Des	0	1	3.3	4	6.6	0	0	9.5	1.09
11-may	131	Des	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
12-may	132	Des	0	1	3.2	4	6.3	0	0	9.1	1.05
13-may	133	Des	28.3	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
14-may	134	Des	0	1	3.2	4	6.3	0	0	9.1	1.05
15-may	135	Des	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
16-may	136	Des	0	1	3.2	4	6.3	0	0	9.1	1.05
17-may	137	Des	28.3	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
18-may	138	Des	0	1	3.2	4	6.3	0	0	9.1	1.05
19-may	139	Des	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
20-may	140	Des	0	1	3.2	4	6.3	0	0	9.1	1.05
21-may	141	Des	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0

22-may	142	Des	0	1	3.2	4	6.3	0	0	9	1.04
23-may	143	Des	20.6	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
24-may	144	Des	0	1	3.2	4	6.3	0	0	9	1.04
25-may	145	Des	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
26-may	146	Des	0	1	3.2	4	6.3	0	0	9	1.04
27-may	147	Des	20.6	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
28-may	148	Des	0	1	3.2	4	6.3	0	0	9	1.04
29-may	149	Des	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
30-may	150	Des	0	1	3.2	4	6.3	0	0	9	1.04
31-may	151	Des	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
01-jun	152	Des	0	1	3.1	4	6.3	0	0	9	1.04
02-jun	153	Des	0	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
03-jun	154	Des	11	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
04-jun	155	Des	0	1	3.1	3	6.2	0	0	8.9	1.03
05-jun	156	Des	0	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
06-jun	157	Des	0	1	3.1	3	6.2	0	0	8.9	1.03
07-jun	158	Des	11	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
08-jun	159	Des	0	1	3.1	3	6.2	0	0	8.9	1.03
09-jun	160	Des	0	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
10-jun	161	Med	0	1	3.1	3	6.2	0	0	8.9	1.03
11-jun	162	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
12-jun	163	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.6	0.99
13-jun	164	Med	2.1	1	3	2	0	3	0	0	0
14-jun	165	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.6	0.99
15-jun	166	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
16-jun	167	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.6	0.99
17-jun	168	Med	2.1	1	3	2	0	3	0	0	0
18-jun	169	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.6	0.99
19-jun	170	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0

20-jun	171	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.6	0.99
21-jun	172	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
22-jun	173	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.6	1
23-jun	174	Med	2.3	1	3	2	0	3	0	0	0
24-jun	175	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.6	1
25-jun	176	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
26-jun	177	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.6	1
27-jun	178	Med	2.3	1	3	2	0	3	0	0	0
28-jun	179	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.6	1
29-jun	180	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
30-jun	181	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.6	1
01-jul	182	Med	0	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
02-jul	183	Med	0	1	3.1	3	6.1	0	0	8.7	1.01
03-jul	184	Med	3.4	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
04-jul	185	Med	0	1	3.1	3	6.1	0	0	8.7	1.01
05-jul	186	Med	0	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
06-jul	187	Med	0	1	3.1	3	6.1	0	0	8.7	1.01
07-jul	188	Med	3.4	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
08-jul	189	Med	0	1	3.1	3	6.1	0	0	8.7	1.01
09-jul	190	Med	0	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
10-jul	191	Med	0	1	3.1	3	6.1	0	0	8.7	1.01
11-jul	192	Med	0	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
12-jul	193	Med	0	1	3.1	3	6.2	0	0	8.8	1.02
13-jul	194	Med	2.6	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
14-jul	195	Med	0	1	3.1	3	6.2	0	0	8.8	1.02
15-jul	196	Med	0	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
16-jul	197	Med	0	1	3.1	3	6.2	0	0	8.8	1.02
17-jul	198	Med	2.6	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
18-jul	199	Med	0	1	3.1	3	6.2	0	0	8.8	1.02

19-jul	200	Med	0	1	3.1	2	0	3.1	0	0	0
20-jul	201	Med	0	1	3.1	3	6.2	0	0	8.8	1.02
21-jul	202	Med	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
22-jul	203	Med	0	1	3.2	4	6.5	0	0	9.3	1.07
23-jul	204	Med	2.1	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
24-jul	205	Med	0	1	3.2	4	6.5	0	0	9.3	1.07
25-jul	206	Med	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
26-jul	207	Med	0	1	3.2	4	6.5	0	0	9.3	1.07
27-jul	208	Med	2.1	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
28-jul	209	Med	0	1	3.2	4	6.5	0	0	9.3	1.07
29-jul	210	Med	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
30-jul	211	Med	0	1	3.2	4	6.5	0	0	9.3	1.07
31-jul	212	Med	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
01-ago	213	Med	0	1	3.4	4	6.6	0	0	9.5	1.1
02-ago	214	Med	0	1	3.4	2	0	3.4	0	0	0
03-ago	215	Med	1.4	1	3.4	3	5.4	0	0	7.7	0.89
04-ago	216	Med	0	1	3.4	2	0	3.4	0	0	0
05-ago	217	Med	0	1	3.4	4	6.8	0	0	9.7	1.12
06-ago	218	Med	0	1	3.4	2	0	3.4	0	0	0
07-ago	219	Med	1.4	1	3.4	3	5.4	0	0	7.7	0.89
08-ago	220	Med	0	1	3.4	2	0	3.4	0	0	0
09-ago	221	Med	0	1	3.4	4	6.8	0	0	9.7	1.12
10-ago	222	Med	0	1	3.4	2	0	3.4	0	0	0
11-ago	223	Med	0	1	3.6	4	6.9	0	0	9.9	1.15
12-ago	224	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
13-ago	225	Med	0.8	1	3.6	4	6.3	0	0	9	1.04
14-ago	226	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
15-ago	227	Med	0	1	3.6	4	7.1	0	0	10.1	1.17
16-ago	228	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0

17-ago	229	Med	0.8	1	3.6	4	6.3	0	0	9	1.04
18-ago	230	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
19-ago	231	Med	0	1	3.6	4	7.1	0	0	10.1	1.17
20-ago	232	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
21-ago	233	Med	0	1	3.6	4	7.1	0	0	10.2	1.18
22-ago	234	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
23-ago	235	Med	1.1	1	3.6	3	6	0	0	8.6	1
24-ago	236	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
25-ago	237	Med	0	1	3.6	4	7.1	0	0	10.2	1.18
26-ago	238	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
27-ago	239	Med	1.1	1	3.6	3	6	0	0	8.6	1
28-ago	240	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
29-ago	241	Med	0	1	3.6	4	7.1	0	0	10.2	1.18
30-ago	242	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
31-ago	243	Med	0	1	3.6	4	7.1	0	0	10.2	1.18
01-sep	244	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
02-sep	245	Med	0	1	3.6	4	7.2	0	0	10.2	1.18
03-sep	246	Med	1.5	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
04-sep	247	Med	0	1	3.6	4	7.2	0	0	10.2	1.18
05-sep	248	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
06-sep	249	Med	0	1	3.6	4	7.2	0	0	10.2	1.18
07-sep	250	Med	1.5	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
08-sep	251	Med	0	1	3.6	4	7.2	0	0	10.2	1.18
09-sep	252	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
10-sep	253	Med	0	1	3.6	4	7.2	0	0	10.2	1.18
11-sep	254	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
12-sep	255	Med	0	1	3.6	4	7.2	0	0	10.3	1.19
13-sep	256	Med	1.7	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
14-sep	257	Med	0	1	3.6	4	7.2	0	0	10.3	1.19

15-sep	258	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
16-sep	259	Med	0	1	3.6	4	7.2	0	0	10.3	1.19
17-sep	260	Med	1.7	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
18-sep	261	Med	0	1	3.6	4	7.2	0	0	10.3	1.19
19-sep	262	Med	0	1	3.6	2	0	3.6	0	0	0
20-sep	263	Med	0	1	3.6	4	7.2	0	0	10.3	1.19
21-sep	264	Med	0	1	3.4	2	0	3.4	0	0	0
22-sep	265	Med	0	1	3.4	4	6.8	0	0	9.7	1.12
23-sep	266	Med	2.1	1	3.4	2	0	3.4	0	0	0
24-sep	267	Med	0	1	3.4	4	6.8	0	0	9.7	1.12
25-sep	268	Med	0	1	3.4	2	0	3.4	0	0	0
26-sep	269	Med	0	1	3.4	4	6.8	0	0	9.7	1.12
27-sep	270	Med	2.1	1	3.4	2	0	3.4	0	0	0
28-sep	271	Med	0	1	3.4	4	6.8	0	0	9.7	1.12
29-sep	272	Med	0	1	3.4	2	0	3.4	0	0	0
30-sep	273	Med	0	1	3.4	4	6.8	0	0	9.7	1.12
01-oct	274	Med	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
02-oct	275	Med	0	1	3.2	4	6.4	0	0	9.1	1.05
03-oct	276	Med	2.5	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
04-oct	277	Med	0	1	3.2	4	6.4	0	0	9.1	1.05
05-oct	278	Med	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
06-oct	279	Med	0	1	3.2	4	6.4	0	0	9.1	1.05
07-oct	280	Med	2.5	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
08-oct	281	Med	0	1	3.2	4	6.4	0	0	9.1	1.05
09-oct	282	Med	0	1	3.2	2	0	3.2	0	0	0
10-oct	283	Med	0	1	3.2	4	6.4	0	0	9.1	1.05
11-oct	284	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
12-oct	285	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.5	0.99
13-oct	286	Med	2.8	1	3	2	0	3	0	0	0

14-oct	287	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.5	0.99
15-oct	288	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
16-oct	289	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.5	0.99
17-oct	290	Med	2.8	1	3	2	0	3	0	0	0
18-oct	291	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.5	0.99
19-oct	292	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
20-oct	293	Med	0	1	3	3	6	0	0	8.5	0.99
21-oct	294	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
22-oct	295	Med	0	1	3	3	5.9	0	0	8.5	0.98
23-oct	296	Med	2.8	1	3	2	0	3	0	0	0
24-oct	297	Med	0	1	3	3	5.9	0	0	8.5	0.98
25-oct	298	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
26-oct	299	Med	0	1	3	3	5.9	0	0	8.5	0.98
27-oct	300	Med	2.8	1	3	2	0	3	0	0	0
28-oct	301	Med	0	1	3	3	5.9	0	0	8.5	0.98
29-oct	302	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
30-oct	303	Med	0	1	3	3	5.9	0	0	8.5	0.98
31-oct	304	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
01-nov	305	Med	0	1	2.9	3	5.9	0	0	8.4	0.98
02-nov	306	Med	0	1	2.9	2	0	2.9	0	0	0
03-nov	307	Med	2	1	2.9	2	3.9	0	0	5.6	0.65
04-nov	308	Med	0	1	2.9	2	0	2.9	0	0	0
05-nov	309	Med	0	1	2.9	3	5.9	0	0	8.4	0.97
06-nov	310	Med	0	1	2.9	2	0	2.9	0	0	0
07-nov	311	Med	2	1	2.9	2	3.9	0	0	5.6	0.65
08-nov	312	Med	0	1	2.9	2	0	2.9	0	0	0
09-nov	313	Med	0	1	2.9	3	5.9	0	0	8.4	0.97
10-nov	314	Med	0	1	2.9	2	0	2.9	0	0	0
11-nov	315	Med	0	1	2.9	3	5.9	0	0	8.4	0.97

12-nov	316	Med	0	1	2.9	2	0	2.9	0	0	0
13-nov	317	Med	1.6	1	2.9	2	4.3	0	0	6.1	0.7
14-nov	318	Med	0	1	2.9	2	0	2.9	0	0	0
15-nov	319	Med	0	1	2.9	3	5.8	0	0	8.4	0.97
16-nov	320	Med	0	1	2.9	2	0	2.9	0	0	0
17-nov	321	Med	1.6	1	2.9	2	4.3	0	0	6.1	0.7
18-nov	322	Med	0	1	2.9	2	0	2.9	0	0	0
19-nov	323	Med	0	1	2.9	3	5.8	0	0	8.4	0.97
20-nov	324	Med	0	1	2.9	2	0	2.9	0	0	0
21-nov	325	Med	0	1	3	3	5.9	0	0	8.4	0.97
22-nov	326	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
23-nov	327	Med	4.6	1	3	2	0	3	0	0	0
24-nov	328	Med	0	1	3	3	5.9	0	0	8.5	0.98
25-nov	329	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
26-nov	330	Med	0	1	3	3	5.9	0	0	8.5	0.98
27-nov	331	Med	4.6	1	3	2	0	3	0	0	0
28-nov	332	Med	0	1	3	3	5.9	0	0	8.5	0.98
29-nov	333	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
30-nov	334	Med	0	1	3	3	5.9	0	0	8.5	0.98
01-dic	335	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
02-dic	336	Med	0	1	3	3	5.9	0	0	8.5	0.98
03-dic	337	Med	3.7	1	3	2	0	3	0	0	0
04-dic	338	Med	0	1	3	3	5.9	0	0	8.5	0.98
05-dic	339	Med	0	1	3	2	0	3	0	0	0
06-dic	340	Med	0	1	3	3	5.9	0	0	8.5	0.98
07-dic	341	Fin	3.7	1	3	2	0	3	0	0	0
08-dic	342	Fin	0	1	3	3	5.9	0	0	8.5	0.98
09-dic	343	Fin	0	1	3	2	0	3	0	0	0
10-dic	344	Fin	0	1	3	3	5.9	0	0	8.5	0.98

11-dic	345	Fin	0	1	2.7	1	0	2.7	0	0	0
12-dic	346	Fin	0	1	2.7	3	5.4	0	0	7.7	0.89
13-dic	347	Fin	4.3	1	2.7	1	0	2.7	0	0	0
14-dic	348	Fin	0	1	2.7	3	5.4	0	0	7.7	0.89
15-dic	349	Fin	0	1	2.7	1	0	2.7	0	0	0
16-dic	350	Fin	0	1	2.7	3	5.4	0	0	7.7	0.89
17-dic	351	Fin	4.3	1	2.7	1	0	2.7	0	0	0
18-dic	352	Fin	0	1	2.7	3	5.4	0	0	7.7	0.89
19-dic	353	Fin	0	1	2.7	1	0	2.7	0	0	0
20-dic	354	Fin	0	1	2.7	3	5.4	0	0	7.7	0.89
21-dic	355	Fin	0	1	2.3	1	0	2.3	0	0	0
22-dic	356	Fin	0	1	2.3	3	4.6	0	0	6.6	0.76
23-dic	357	Fin	24.2	1	2.3	1	0	2.3	0	0	0
24-dic	358	Fin	0	1	2.3	3	4.6	0	0	6.6	0.76
25-dic	359	Fin	0	1	2.3	1	0	2.3	0	0	0
26-dic	360	Fin	0	1	2.3	3	4.6	0	0	6.6	0.76
27-dic	361	Fin	24.2	1	2.3	1	0	2.3	0	0	0
28-dic	362	Fin	0	1	2.3	3	4.6	0	0	6.6	0.76
29-dic	363	Fin	0	1	2.3	1	0	2.3	0	0	0
30-dic	364	Fin	0	1	2.3	3	4.6	0	0	6.6	0.76
31-dic	Fin	Fin	0	1	0	0					

---

Programación diaria de los caudales estimados para el riego en la Finca "San Vicente"  
CropWat, 2023

## 5. Discusión

De acuerdo a la hipótesis planteada “El diagnóstico de los problemas que limitan el potencial de suelo y los requerimientos hídricos del cultivo de cacao, permite el diseño de una programación de riego para mejorar el uso del suelo y satisfacer los requerimientos hídricos”, en base a la literatura consultada se obtuvo:

El cultivo de cacao en la finca “San Vicente” del cantón La Troncal, es favorecido por algunas condiciones identificadas en la selección de los sitios representativos como: profundidad, buen drenaje interno, ausencia de salinidad y pH no restrictivo, esto concuerda con estudios de zonificación edafoclimáticas del cacao en que dichas características físicas y químicas del suelo son favorables para el desarrollo del cultivo (Súarez, *et al.* 2021).

Sin embargo, algunas características como estructura de bloques y texturas arenosas del suelo limitan la capacidad para proporcionar suficiente humedad al cultivo (Volveras, *et al.* 2020), mientras que en épocas de precipitaciones donde el suelo supera su capacidad de campo, se limita el crecimiento al producir condiciones de anoxia (Caicedo, *et al.* 2020). Considerando estos escenarios, el sitio del ensayo presenta una pendiente poco pronunciada ( $\leq 1\%$ ), se justifica la presencia de canales cada 9 m con una profundidad de 90 cm para el drenaje adecuado. Se concuerda con que remover el exceso de agua favorece la plantación, y ello puede ser uno de los factores responsables del rendimiento promedio de 2,5 t/ha-1 en la zona de estudio (Pérez, *et al.*, 2019). Además cabe destacar que en la provincia del Cañar, la profundidad del manto freático no supera los 10 metros (INAMHI, 2011).

En este trabajo se estima la lámina de riego en promedio para esta zona durante el periodo de estudio. El método de estimación se basa en el dato de precipitación

pluvial anual (1453,5 mm), pero de los resultados se determina que la mayor cantidad de precipitación solamente ocurre en cuatro meses (1302,4 mm), por lo que la precipitación efectiva (89,6 %) corresponde a 1/3 del año. Con base en esta información climática, se muestra que en el periodo en que se realiza este estudio, la precipitación pluvial fue insuficiente para cubrir la demanda hídrica del cacao (Vargas D. , 2022) por lo que se recomienda aplicar una lámina de 166,2 mm en la época seca del año. Existen estudios que concuerdan con este método de estimación y compensación de agua durante periodos secos (Nieto, *et al.* 2018). De los datos obtenidos, se puede llegar a tomar como referencia cuando no se dispone información de las características del suelo, se puede extrapolar a periodos de más de un ciclo de cultivo.

Existe variación de precipitación entre los años 2010-2021 en la zona de La Troncal (INAMHI, 2022), lo cual está acorde con el rendimiento cambiante del cacao en estos años en la zona de estudio debido a dicha variabilidad del patrón anual de precipitación. De acuerdo con los datos calculados en CropWat, se determina que 89,62 % de la precipitación se concentra de enero a abril, lo que no abastece la demanda hídrica del cacao para todo el año, y este hecho respalda estudios donde se evidencia que el suministro insuficiente de agua en ciertas etapas fenológicas afecta indicadores de la producción como tasa de floración, cuajado de mazorcas y productividad por hectárea (FAO, 2018).

Aunque el procedimiento anterior constituye una guía preliminar aceptable, no considera la influencia de los diferentes tipos de suelos en las condiciones de humedad para el cultivo. En este trabajo, se incorporan datos relativos a las características del suelo al programa CropWat, obteniéndose del cálculo un requerimiento hídrico de 642,3 mm/dec. El resultado concuerda con valores

promedio de los registros climáticos y su aplicación general; sin embargo, el análisis de los mismos permite diseñar escenarios posibles de acuerdo a probabilidades de ocurrencia de la precipitación. De este análisis se evidencia (con datos cuantificables) que en la zona de La Troncal, la probabilidad de precipitación es alta (89,6 %) durante la época lluviosa, en tanto que disminuye (10,4%) en la época seca, lo cual concuerda con estudios de patrones de precipitación (León, *et al.* 2021).

El programa CropWat permite calcular, para cada posible escenario, el déficit hídrico y ser tomado en cuenta en la programación de un calendario de riego y así atenuar, según el tipo de suelo, el efecto negativo de los patrones de precipitación pluvial sobre el rendimiento (Peña, 2017). En este caso se concuerda con la utilidad de la programación, ya que los datos permiten optimizar la demanda de agua y reducir el riesgo de sufrir estrés hídrico, el cual podría ser mayor en los suelos de baja productividad (Lozano y Moreno, 2016).

Aun bajo escenarios en los que la precipitación sea apropiada para el cacao, éste se encuentra limitado por la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y por la frecuencia e intensidad con que se presenta el evento de precipitación pluvial. En la región del estudio donde se ubica la finca "San Vicente" del cantón La Troncal, la precipitación media es de 2081.4 mm, lo cual indica que la capacidad de almacenamiento de la humedad alcanzaría a satisfacer la necesidad hídrica del cacao, que es de 1453.5 mm (INAMHI, 2022). De ello se determina que la programación del riego recomendada según los datos tabulados en CropWat da referencia diaria en calendario anual de los días que no es necesario aplicar una lámina de riego y los días que se debería, con sus respectivos caudales. Estas observaciones coinciden con estudios de capacidad de retención de agua del suelo,

profundidad de las raíces de las plantas y porcentaje de pérdida del agua total disponible acumulada antes de la aplicación de riego (Novillo, et al., 2018). De acuerdo con los resultados del estudio, la información climatológica y de suelos, en conjunto con los datos de CropWat, constituye una herramienta útil para efectuar ajustes en los programas de riego; o bien, calcular la lámina y frecuencia de riego en huertas donde se desea determinar con buena precisión un programa de riego. Por lo antes expuesto se acepta la hipótesis planteada.

## 6. Conclusiones

En este trabajo se demuestra que en la finca “San Vicente” del cantón La Troncal, los suelos presentan condiciones favorables para el cultivo de cacao. Sin embargo, es necesario considerar mediante la selección de sitios representativos, su variabilidad y las características de sus propiedades físicas y químicas para la estimación de los requerimientos hídricos durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

Los resultados obtenidos de ETo en mm/día, reflejan que el dato más alto fue de 4.62 mm/día para los meses de marzo y abril, el promedio más bajo fue de 3.06 mm/día para el mes de noviembre. La precipitación efectiva fue de 1453.5 mm, siendo la máxima de 404.6 mm para el mes de febrero y la máxima de 0 para los meses de Julio a Noviembre, obteniendo valores de 0.6 a 1.0 en el Kc del cultivo dependiendo su etapa fenológica.

En base al trabajo de diagnóstico y requerimientos hídricos del cultivo de cacao en la finca “San Vicente”, La Troncal, se debe crear conciencia sobre el consumo eficiente del recurso agua, considerando que la precipitación efectiva es solo 1/3 del año y la profundidad del manto freático es 10 m, por lo que se recomienda implementar una programación de riego donde se obtiene como resultados que las necesidades de riego durante un año son de 1087.3 mm, los aportes por precipitación son de 1453.7 mm donde sus requerimientos ecosistémicos son de 642.3 mm/año.

## **7. Recomendaciones**

Siendo las variables necesarias para el uso adecuado del programa CropWat en la sección Clima/ETo: temperatura mínima, temperatura máxima, humedad, viento, insolación. Se recomienda implementar en la finca instrumentos de medición meteorológica básicos para tener los datos climáticos para programar el riego.

Considerando la profundidad del manto freático y la capacidad de almacenamiento de agua, para optimizar la programación de riego, se recomienda la implementación de un sistema de riego por goteo que optimice el uso de agua y reduzca el impacto del uso de combustibles para la activación del sistema.

Se recomienda desarrollar estudios en otras zonas adyacentes con condiciones climáticas iguales o diferentes, o realizarlos en otros cultivos de la localidad (banano, caña de azúcar, cítricos), a fin de optimizar el adecuado uso del recurso agua en la producción agrícola local y la conservación del suelo.

Se recomienda la utilización diaria de la programación de riego propuesta en base a los requerimientos obtenidos para este cultivo.

## 8. Bibliografía

- Abad, A., Acuña, C., y Naranjo, E. (2019). El cacao en la Costa ecuatoriana: Estudio de su dimensión cultural y económica. *Estudios de la Gestión*, 1(7), 59-83. doi:<https://doi.org/10.32719/25506641.2020.7.3>
- Agrodiario. (2020). *Estos son los parámetros de análisis de suelo agrícola que debes considerar*. Murcia, España.: Agrodiario. Recuperado de <https://www.agrodiario.com/texto-diario/mostrar/1963189/estos-parametros-analisis-suelo-agricola-debes-considerar>
- Agronet. (2018). *El análisis de suelo marca diferencias en la agricultura*. Bogotá, Colombia.: Agronet Noticias. Recuperado de <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/El-an%C3%A1lisis-de-suelo-marca-diferencias-en-la-agricultura.aspx>
- Amaro, E., y Marquéz, E. (2019). Diagnóstico inicial de la evolución de un suelo degradado. *Avances*, 21(1), 129-138.
- Andrade, J., Rivera, J., Chire, G., y Ureña, M. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao *Theobroma cacao* L. de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4), 1-12.
- Asamblea Constituyente del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito: Tribunal Constitucional del Ecuador.
- Barrezueta, S. (2019). *Comparación de los niveles de cadmio en cacao tipo nacional en la parroquia Río Bonito, provincia de El Oro-Ecuador* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.

- Bote, J. (2020). *Problemas en los cultivos*. Castilla y León, España.: Fertibox.  
Recuperado de <https://www.fertibox.net/single-post/problemas-cultivos>
- Caicedo, O., Galarza, E., Cadena, D., y Solorzano, D. (2020). Permisibilidad del maíz (*Zea mays* L.) sometido a diferentes condiciones de inundación: Determinación del tiempo de drenaje en Babahoyo, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 6(2), 67-75. doi:10.26423/rctu.v6i2.472
- Calero, N., y Pilatasig, M. (2021). *Diseño agronómico e hidráulico para la implementación de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) de variedad CCN-51* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador.
- Calvache, M. (2021). *Diagnóstico de la fertilidad del suelo y estado nutrimental de los cultivos*. Buenos Aires, Argentina.: Engormix. Obtenido de <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/diagnostico-fertilidad-suelo-estado-t48520.htm>
- Carreño, M. (2019). *Análisis de los sistemas de comercialización interna del cacao en el Cantón Naranjal* (tesis de maestría). Universidad Católica de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Castillo, A., Chaparro, M., Heredia, C., Roque, J., y Trujillo, M. (2017). Clasificación taxonómica del suelo. *Revistas de Recursos Naturales de Chile*, 1(1), 1- 9. doi:<https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/147700>
- Capa, M., y Romero, A. (2022). Efectos de las fuentes nitrogenadas en la morfo fisiología, producción y calidad de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 en el sur de la Amazonia Ecuatoriana. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(1), 1-17. doi: <http://doi.org/10.56369/tsaes.4316>.

- Cayetano, M. (2021). Porcentaje de luminosidad y grano de lijas en el prendimiento del injerto del cacao en Puerto Bermúdez. *Revista de Investigación Universitaria*, 11(2), 677- 692.
- Cayetano, P., y Peña, K. (2021). *Estudio de Vigilancia Tecnológica en el cultivo del Cacao*. Lima, Perú: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.
- Charris, E. (2021). *Manejo agronómico de un sistema productivo de cacao Theobroma cacao L. en el corregimiento de Villa Germania municipio de Valledupar Cesar* (tesis de pregrado). Universidad de La Salle, Valledupar, Colombia.
- Cremona, M., y Enriquez, A. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *Presencia*, 73(1), 1-8.
- Csr Laboratorio. (2022). *¿En qué consiste el Diagnóstico de suelos SIMAS?*. Alcázar de San Juan, España.: Csr Laboratorio. Recuperado de <https://csrlaboratorio.es/laboratorio/agricultura/suelos-agricolas/en-que-consiste-el-diagnostico-de-suelos-simas/#:~:text=Es%20un%20Sistema%20de%20Informaci%C3%B3n,del%20Suelo%20de%20su%20explotaci%C3%B3n>.
- Domingo, A. (2019). *Técnicas de toma y remisión de muestras de suelos* . Cerro Azul, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria .
- Fadda, G. (2017). *Clasificación de suelos*. San Miguel de Tucumán, Argentina: Universidad Nacional de Tucumán.

- FAO. (2015). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2018a). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: Estudio de FAO Riego y Drenaje.
- FAO. (2018b). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Bogotá: ICIA.
- FAO. (2022). *Clasificación de Suelos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Furcal, P., y Torres, J. (2020). Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(1), 122 - 137. doi: <https://doi.org/10.18845/tm.v33i1.5027>
- Gallardo, J., Vega, C., y Calvache, A. (2017). Calidad de análisis de laboratorios de suelos del Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Investigaciones Agropecuarias*, 2(2), 1-12. doi:<http://dx.doi.org/10.31164/reiagro.v2n2.1>
- García, A., y Pico, B. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Revista Digital Novasinerгия*, 4(2), 152-172. doi: <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>
- Guerrero, F. (2019). Cultivo de cacao (*Theobroma cacao* linnaeus) como rubro para la sustentabilidad de los suelos. *Revista Scientific*, 4(13), 78-89. doi: <https://doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2019.4.13.4.78-89>
- Hebbar, K., Apshara, E., y Chandran, K. (2019). *Effect of elevated CO<sub>2</sub>, high temperature, and water deficit on growth, photosynthesis, and whole plant*

*water use efficiency of cocoa (Theobroma cacao L.). International Journal of Biometeorology* (tesis de pregrado). Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore, India.

Herrera, H. (2018). *Diagnóstico del estado nutricional y recomendaciones de fertilización en cacao CCN-51 en la finca El Capullo, cantón El Triunfo, provincia del Guayas* (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

INAMHI. (2011). *Unidades hidrogeológicas del Ecuador*. Quito, Ecuador: INAMHI. Recuperado de [https://issuu.com/inamhi/docs/unidades\\_hidrogeologicas-ecuador/10](https://issuu.com/inamhi/docs/unidades_hidrogeologicas-ecuador/10)

Huaraca, J. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información Tecnológica*, 31(4), 139-152. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000400139>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2022). *Inventario de datos Meteorológicos e Hidrológicos*. Recuperado de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>.

Intagri. (2021). *Manejo de Fertilizantes con Micronutrientes*. Guanajuato, México.: Intagri. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/manejo-de-fertilizantes-con-micronutrientes>

Jaime, R., Barragán, L., Fernández, M., Wessjohann, L., Cedeño, G., Sotomayor, I., y Arteaga, F. (2022). Theobroma cacao L. cultivar CCN 51: a comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects. *Plant Biology*, 10(1), 26-76. doi:<https://doi.org/10.7717/peerj.12676>

- Jaraba, A., Buriticá, Á., Vega, F., Urrego, J., Bautista, J., Puerta, J., y Yepes, J. (2021). Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) nutrición y fertilización. *13(15)*, 1-7. doi:<https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7404647>
- Junco, D. (2019). *Manejo de labores culturales del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) de la finca Dos Hermanos en la ciudad de Montalvo* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo, Ecuador.
- León, J. (2018). *Determinación de requerimientos hídricos en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa) Var. Winterhaven en base al tanque de evaporación tipo a y formulas empíricas (FAO) en Macaji, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- León, E., Vásquez, V., y Valderrama, M. (2021). Cambios en patrones de precipitación y temperatura en el Ecuador: regiones sierra y oriente. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, *8(2)*, 1-22. doi:[doi://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2608](https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2608)
- Loayza, V., Sevilla, V., Olivera, C., Guevara, M., Olmedo, G., Vargas, R., . . . Jiménez. (2020). Mapeo digital de carbono orgánico en suelos de Ecuador. *Ecosistemas*, *29(2)*, 1-13. doi:<https://doi.org/10.7818/ECOS.1852>
- Loor, R., Amores, F., Vasco, S., Quiroz, J., Casanova, T., Garzón, A., . . . Tarqui, O. (2019). INIAP - EETP - 800 "Aroma Pichilingue" nueva variedad Ecuatoriana de cacao fino de alto rendimiento. *Rev. Fitotec. Mex*, *42 (2)*, 187 - 189.

- López, B. (2016). *Evaluación agronómica de una plantación de cacao (Theobroma cacao L.) tipo CCN – 51 en la zona de Balao provincia del Guayas* (tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Lozano, J., y Moreno, L. (2016). Respuestas fisiológicas de *Theobroma cacao* L. en etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo. *Acta Agronómica*, 65(1), 44-50. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n1.48161>
- Marquinez, A. (2021). *Eficiencia Agronómica y Económica de fertilizantes compuestos en cacao CCN - 51* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calcuta, Ecuador.
- Martínez, A. (2021). Pérdida de suelo y modificación de escurrimientos causados por el cambio de uso de la tierra en la cuenca del río Conchos, Chihuahua. *Nova Scientia*, 12(25), 1-28. doi: <https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2321>
- Martínez, D., y Calatrava, J. (2021). Conocimiento y percepción sobre técnicas de riego deficitario controlado por parte de agricultores y técnicos agrarios del sudeste español. *Información Técnica Económica Agraria*, 117(4), 415-435. doi: <https://doi.org/10.12706/itea.2020.036>
- Martínez, I., Fernández, Y., Bertín, P., Riera, M., y Decock, C. (2021). Diversidad morfológica, genética y fitopatología del cacao (*Theobroma cacao* L.) tradicional cubano. *Anales de la Academia de ciencias de Cuba*, 11(3), 1-11.
- Melo, E. (2018). *Identificación de las características físicas - mecánicas del suelo para implantación de edificaciones de categoría baja en el sector 3, ciudad Paján* (tesis de pregrado). Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador.

- Montealegre, F., y Rojas, J. (2021). Factores agronómicos y socioeconómicos que inciden en el rendimiento productivo del cultivo de cacao. Un estudio de caso en Colombia. *FAVE - Ciencias Agrarias*, 20 (2), 59-73.
- Montaleza, J. (2020). Análisis de la diversidad morfológica de cacao (*Theobroma cacao*. l) del jardín clonal de la Universidad Técnica de Machala. *Revista Científica Agroeco-sistemas*, 8(2), 45-57.
- Montero, S. (2019). Floración y diversidad de insectos polinizadores en un sistema monocultivo de cacao. *Revista Espamciencia*, 10(1), 1-7.
- Nieto, C., Pazmiño, E., Rosero, S., y Quishpe, B. (2018). Estudio del aprovechamiento de agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, con base en el requerimiento hídrico de cultivos y el área regada, en dos localidades de la Sierra ecuatoriana. *Siembra*, 5(1), 1-20. doi:<https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1427>
- Novillo, D., Carrillo, M., Cargua, J., Moreira, V., Albán, K., y Morales, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177-187.
- Orozco, L., y López, A. (2016). *Balance de agua y requerimientos de riego en cacao*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Parco, M., y Camacho, A. (2021). Caracterización de un jardín clonal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonía Peruana. *Revista de Invest. Agropecuaria Science and Biotechnology*, 1(4), 30-42. doi:<http://dx.doi.org/10.25127/riagrop.20214.719>

- Peña, D. (2017). *Identificación de áreas potenciales para cultivo de cacao en Honduras y propuesta de programa de fertilización* (tesis de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Pérez, J., Ortega, H., Ramírez, C., Flores, H., Sánchez, E., Can, Á., y Mancilla, O. (2019). Riesgo de salinización y sodificación de los suelos irrigados en la cuenca del río Lerma. *Acta Universitaria*, 29(1), 1-20. doi://doi.org/10.15174/au.2019.2066
- Pilataxi, C. (2021). *Módulo de Información Agroambiental y Tecnificación 2020*. Ecuador: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- Ramírez, K., y Florida, N. (2019). Indicadores químicos y microbiológicos del suelo bajo aplicación de microorganismos eficientes en plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(2), 21-28.
- Rodríguez, N., Chávez, B., Gómez, I., Estrada, P., y Vásquez, M. (2022). El cultivo del cacao, sus características y su asociación con microorganismos durante la fermentación. *Alianzas y Tendencias*, 7(25), 36-51. doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.6326782>
- Rosas, J. (2021). Efecto de la aplicación de Dolomita y Magnocal en la dinámica del suelo y crecimiento vegetativo del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Neshuya - Padre Abad. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient*, 24(1), 1-10. doi: <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1643>
- Salazar, C., Moya, A., González, J., Rodríguez, H., y Corrales, D. (2019). Comparación de dos métodos de muestreo para el análisis de fertilidad de

suelos. *Alcances Tecnológicos*, 13(1), 31 - 29.  
doi:<https://doi.org/10.35486/at.v13i1.168>

Salmoral, G., Khatun, K., Llive, F., y Lopéz, C. (2018). Agricultural development in Ecuador: A compromise between water and food security? *Elsevier*, 202(1), 779-791. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.308>

Servín, M., Tijerina, L., Medina, G., Palacios, O., y Flores, H. (2017). Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 423 - 430.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.61>

Súarez, G., Avendaño, C., Hernández, M., Rodríguez, L., Estrada, P., y Salas, M. (2021). Zonificación edafoclimática del cultivo de cacao en el estado Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 629-641.  
doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2518>

Tigua, D. (2020). *Las buenas prácticas agrícolas de cacao en la "Asociación de productores Agrícolas Campamento" del Cantón General Elizalde (Bucay), provincia del Guayas* (tesis de pregrado). Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador.

Vargas, D. (2022). *Sistemas de riego por aspersión subfoliar en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo, Ecuador.

Vargas, J., y Escobar, N. (2018). Cálculo de la precipitación efectiva a través del modelo CropWat bajo condiciones de los Llanos Occidentales Venezolanos. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 36(1), 8-16.

- Venturo, G. (2017). *Determinación del contenido de Cadmio en almendras frescas de tres variedades de cacao (Theobroma cacao L.) y del suelo y su relación con el pH y la conductividad eléctrica en las zonas de Juanjuí y Pucacaca* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Volverás, B., Merchancano, J., Campo, J., y López, J. (2020). Propiedades físicas del suelo en el sistema de siembra en wachado en Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(3), 743-760. doi:10.15517/am.v31i3.39233

## 9. Anexos

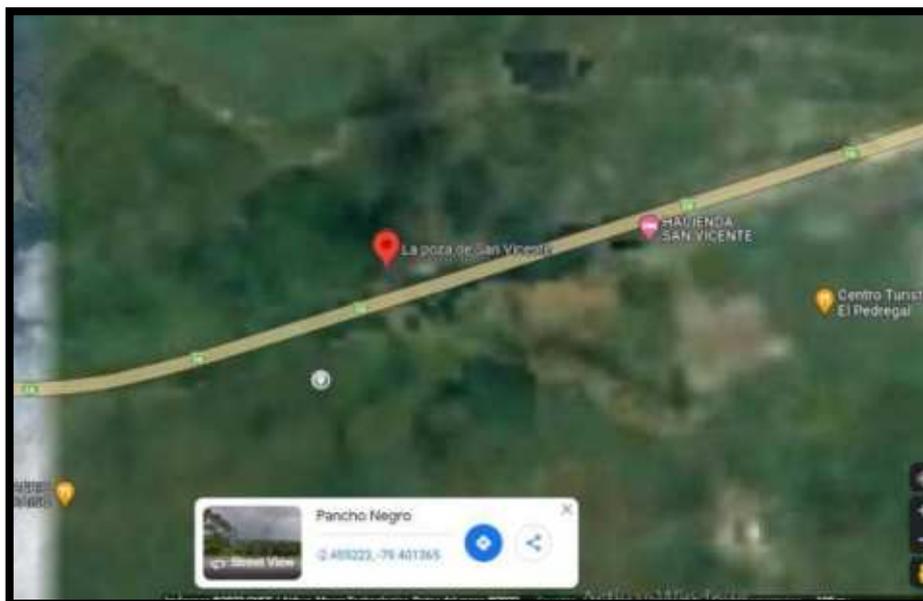


Figura 1. Ubicación del área de investigación finca “San Vicente”  
Google Maps, 2023



Figura 2. Delimitación del área experimental  
Zambrano, 2023



Figura 3. Colocación de transectos horizontales y verticales  
Zambrano, 2023



Figura 4. Identificación de transectos en el área experimental  
Zambrano, 2023



Figura 5. Delimitación de los sitios representativos en el área experimental Zambrano, 2023



Figura 6. Área de selección de sitios representativos de 10 x 5 metros Zambrano, 2023



Figura 7. Colocación de letrero identificador del área experimental y datos del proyecto  
Zambrano, 2023



Figura 8. Fabricación de cilindro de observación para sitios representativos  
Zambrano, 2023



**ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR**  
**"DR. ENRIQUE AMPUERO PAREJA"**  
**LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS**  
Km. 26 Ma. Chardín, Trabajo Agudo, Páramo (09-01-1069) Yaguachi - Guaymas - Ecuador  
 Teléfono: 042724260 - 042724118 e-mail: labuertos\_cens@iniaj.gob.ec

**LABORATORIO DE ENSAYO**  
**ACREDITADO POR EL SAE**  
**N°OAE LE C 11-007**

**INFORME DE ANALISIS DE SUELOS**

**DATOS DEL PROPIETARIO**

Nombre : **ABRAHAM ISAAC ZAMBRANO CHAVEZ**  
 Dirección : **AVE**  
 Ciudad : **LA TRONCAL**  
 Teléfono : **0969193198**  
 Fax : **AVE**

**DATOS DE LA PROPIEDAD**

Nombre : **SAN VICENTE**  
 Provincia : **CANAR**  
 Cantón : **LA TRONCAL**  
 Parroquia : **LA TRONCAL**  
 Ubicación : **AVE**

**DATOS DE LA MUESTRA**

Informe No. : **01226** Factura No. : **90314**  
 Responsable Muestreo : **Cliente** Fecha Análisis : **13/10/2022**  
 Fecha Muestreo : **03/10/2022** Fecha Emisión : **13/10/2022**  
 Fecha Ingreso : **03/10/2022** Fecha Impresión : **19/10/2022**  
 Condiciones Ambientales : **T°C: 25.0 %H: 61.0 Cultivo Actual : CACAQ**

N° Laborat.	Identificación del Lote	pH	µg/ml											
			NH <sub>4</sub>	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Cl
77115	MUESTRA 1	6.0 <span style="color: red;">MVAc</span>	13 <span style="color: red;">B</span>	24 <span style="color: green;">A</span>	162 <span style="color: green;">A</span>	3571 <span style="color: green;">A</span>	582 <span style="color: green;">A</span>	35 <span style="color: green;">A</span>	3.4 <span style="color: green;">M</span>	5.4 <span style="color: green;">A</span>	201 <span style="color: green;">A</span>	28.0 <span style="color: green;">A</span>	1.30 <span style="color: green;">M</span>	

Integración	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Cl
NH <sub>4</sub> , P, K, Ca, Mg, S	6.0	MVAc	24	162	3571	582	35	3.4	5.4	201	28.0	1.30	
Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl													
B													
Cl													
A													
Al													
As													
Cd													
Co													
Cr													
Cu													
Fe													
Mn													
Ni													
Pb													
Se													
V													
Zn													

Integración	Metodología	Estándares
NH <sub>4</sub> , P	Colorimétrica	Óxidos
K, Ca, Mg	Atomística	Metodología
Zn, Cu, Fe, Mn	Atomística	Met A.S.
B	Inductiva	Met B.S.
Cl	Colorimétrica	Met C.S.
Ca	Volumétrica	Metodología
Cu	Atomística	Metodología
Fe	Atomística	Metodología
Mn	Atomística	Metodología
B	Atomística	Metodología
Cl	Atomística	Metodología
pH		Metodología

Integración	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Cl
NH <sub>4</sub> , P, K, Ca, Mg, S	6.0	MVAc	24	162	3571	582	35	3.4	5.4	201	28.0	1.30	
Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl													
B													
Cl													
A													
Al													
As													
Cd													
Co													
Cr													
Cu													
Fe													
Mn													
Ni													
Pb													
Se													
V													
Zn													

**NE = No entregado**

**<LC = Menor al Límite de Cuantificación**

Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a los resultados obtenidos en el ensayo. Los resultados de los ensayos de laboratorio no se incluyen en este informe. Los ensayos de laboratorio se realizan en el laboratorio de SAE. Los ensayos de laboratorio, etc. que se indican a continuación, están fuera del alcance de acreditación otorgada al SAE.

Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a copiar que sea en su totalidad.

Los datos marcados con cursiva y subrayados son proporcionados por el cliente.

*(Firma)*  
**Responsable Técnico del Laboratorio**  
**Mgs. Diana Acosta J.**  
 Página 1 de 3

Figura 9. Informe de análisis de laboratorio página 1 INIAP, 2023





Figura 11. Toma de muestras en sitio representativo al azar del área experimental Zambrano, 2023



Figura 12. Observación de cilindro con muestras obtenidas a 60 cm de profundidad del primer sitio representativo Zambrano, 2023



Figura 13. Toma de segunda muestras en sitio representativo al azar del área experimental  
Zambrano, 2023



Figura 14. Observación de cilindro con muestras obtenidas a 40 cm de profundidad del primer sitio representativo  
Zambrano, 2023



Figura 15. Toma de muestra a 90 cm del suelo aprovechable con una profundidad de 60 cm  
Zambrano, 2023



Figura 16. Muestra obtenida a 90 cm del suelo aprovechable  
Zambrano, 2023



Figura 17. Observación de perfiles del suelo de la finca “San Vicente” a una profundidad de 80 cm  
Zambrano, 2023



Figura 18. Comparación de muestra de suelo seco con el sistema de notación Munsell  
Zambrano, 2023



Figura 19. Comparación de muestra de suelo humedecido hasta el punto de saturación con el sistema de notación Munsell  
Zambrano, 2023



Figura 20. Verificación de datos tomados en campo  
Zambrano, 2023



Figura 21. Visita del tutor de tesis  
Zambrano, 2023