



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

### DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL PARA PASTIZALES EN EL SECTOR GUAMBIME PARROQUIA CHICAÑA DEL CANTÓN YANTZAZA PROVINCIA ZAMORA CHINCHIPE

Trabajo de Titulación, previo a  
la obtención del título de  
Ingeniera Agrícola

#### AUTOR:

Daniela Geovanna Hualpa Jaén

#### DIRECTOR:

Ing. Romel Ramón Hurtado, M.Sc.

Loja – Ecuador

2024

## Certificación

Loja, 31 de marzo de 2023

Ingeniero Manuel Romel Ramón Hurtado M.Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL PARA PASTIZALES EN EL SECTOR GUAMBIME PARROQUIA CHICAÑA DEL CANTÓN YANTZAZA PROVINCIA ZAMORA CHINCHIPE**, previo a la obtención del Título de **Ingeniera Agrícola**, de la autoría de la estudiante **Daniela Geovanna Hualpa Jaén**, con **cédula de identidad Nro.1150414868**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.




Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **Autoría**

Yo, **Daniela Geovanna Hualpa Jaén**, declaro de ser la autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresarme a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual

**Firma:** 

**Cédula de identidad:** 1150414868

**Fecha:** Loja 02 de abril de 2024

**Correo electrónico:** daniela.hualpa@unl.edu.ec

**Teléfono:** 096 7865186

**Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Daniela Geovanna Hualpa Jaén**, declaro ser autora de Trabajo de Titulación denominada **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL PARA PASTIZALES EN EL SECTOR GUAMBIME PARROQUIA CHICAÑA DEL CANTÓN YANTZAZA PROVINCIA ZAMORA CHINCHIPE”** como requisito para optar por el título de **Ingeniera Agrícola**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja a los tres días del mes de abril de dos mil veinticuatro.

**Firma:** 

**Autora:** Daniela Geovanna Hualpa Jaén

**Cédula:** 1150414868

**Dirección:** Ciudad Alegría

**Correo electrónico:** [daniela.hualpa@unl.edu.ec](mailto:daniela.hualpa@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 096 7865186

#### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Trabajo de Titulación:** Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado, Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

Dedico este logro a mis padres, quienes han sido mi pilar y mi ejemplo a que todo en esta vida se puede lograr con esfuerzo y dedicación; a mis tías por siempre apoyarme y brindarme toda ayuda posible para alcanzar mis sueños, con mucho amor esto va para ustedes.

*Daniela Geovanna Hualpa Jaén.*

## **Agradecimiento**

A la Universidad Nacional de Loja por acogerme y formarme como una profesional para el servicio a la comunidad ecuatoriana.

Al Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado, Mg. Sc por la dirección y apoyo del presente trabajo, además por compartir sus conocimientos y experiencias sobre la carrera universitaria.

Agradezco a mi familia por ser mi mayor motivación y ser un gran apoyo durante toda mi vida.

A mis amigos que me brindaron todo su apoyo y motivación para seguir en la etapa de estudio y la elaboración de este proyecto; a una persona muy especial que me animó a seguir adelante y no darme por vencida.

***Daniela Geovanna Hualpa Jaén.***

## Índice de Contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>ii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de Contenidos</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>xi</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>xii</b>
<b>Índice de anexos</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>6</b>
<b>4.1. El suelo</b> .....	<b>6</b>
<b>4.2. Drenaje en zonas húmedas</b> .....	<b>7</b>
4.2.1. <i>Beneficios del drenaje agrícola</i> .....	<i>7</i>
4.2.2. <i>Causas de los problemas de drenaje</i> .....	<i>8</i>
<b>4.3. Sistemas de drenaje</b> .....	<b>8</b>
4.3.1. <i>Drenajes primarios o colectores</i> .....	<i>9</i>
<b>4.4. Propiedades físicas del suelo</b> .....	<b>10</b>
4.4.1. <i>Textura</i> .....	<i>10</i>
4.4.2. <i>Estructura</i> .....	<i>13</i>
4.4.3. <i>Densidad aparente</i> .....	<i>13</i>
4.4.4. <i>Densidad real</i> .....	<i>14</i>
4.4.5. <i>Porosidad</i> .....	<i>15</i>
4.4.6. <i>Características hidrofísicas</i> .....	<i>15</i>
4.4.6.1. <i>Capacidad de campo <math>H_{cc}</math></i> .....	<i>15</i>
4.4.6.2. <i>Punto de marchitez permanente <math>H_{PMP}</math></i> .....	<i>15</i>
4.4.7. <i>Agua disponible para las plantas ADP</i> .....	<i>16</i>

4.4.8. <i>Movimiento del agua en zona saturada</i> .....	16
4.4.9. <i>Ley de Darcy en el estudio de la conductividad hidráulica</i> .....	17
4.4.10. <i>Nivel freático</i> .....	17
4.4.11. <i>Conductividad hidráulica</i> .....	18
4.4.11.2. <i>Métodos de campo</i> .....	18
4.4.11.1. <i>Métodos de laboratorio</i> .....	19
<b>4.5. Diseño de drenes superficiales</b> .....	<b>20</b>
4.5.1. <i>Trazado de la red</i> .....	20
4.5.2. <i>Tiempo de drenaje</i> .....	20
4.5.3. <i>Estimación de lluvia de diseño</i> .....	20
4.5.4. <i>Cálculo del caudal de diseño</i> .....	21
4.5.6. <i>Cálculo para el espaciamiento de drenes</i> .....	21
4.5.7. <i>Descarga de drenes</i> .....	23
<b>5. Metodología</b> .....	<b>24</b>
<b>5.1. Localización geográfica</b> .....	<b>24</b>
5.1.1. <i>Datos climáticos de la zona</i> .....	24
<b>5.2. Materiales</b> .....	<b>25</b>
5.2.1. <i>Materiales de campo</i> .....	25
5.2.2. <i>Materiales de laboratorio</i> .....	25
5.2.3. <i>Materiales de oficina</i> .....	25
<b>5.3. Metodología para primer objetivo</b> .....	<b>25</b>
5.3.1. <i>Características físicas</i> .....	26
5.3.1.1. <i>Densidad aparente</i> .....	26
5.3.1.2. <i>Densidad Real</i> .....	26
5.3.1.3. <i>Porosidad</i> .....	26
5.3.1.4. <i>Textura</i> .....	27
5.3.2. <i>Características hidrofísicas</i> .....	27
5.3.2.1. <i>Contenido de humedad del suelo</i> .....	27
5.3.2.2. <i>Conductividad hidráulica</i> .....	27
5.3.2.3. <i>Precipitación</i> .....	28
5.3.2.4. <i>Temperatura</i> .....	29

5.3.2.5. Evapotranspiración.....	29
5.3.2.6. Tiempo de drenaje.....	29
5.3.2.7. Lluvia de diseño.....	30
5.3.2.8. Escorrentía.....	30
5.3.2.9. Infiltración potencial.....	31
5.3.2.10. Escorrentía en periodo de 24 horas.....	31
5.3.2.11. Coeficiente de drenaje.....	31
5.3.2.12. Caudal de diseño.....	32
<b>5.4. Metodología para segundo objetivo.....</b>	<b>32</b>
5.4.1. Levantamiento Topográfico.....	33
5.4.2. Diseño de los drenes.....	33
<b>6. Resultados.....</b>	<b>34</b>
<b>6.1. Descripción del perfil del suelo.....</b>	<b>34</b>
<b>6.2. Características físicas.....</b>	<b>35</b>
<b>6.3. Características hidrofísicas.....</b>	<b>36</b>
6.3.1. Capacidad de Campo, Punto de Marchitez permanente y Agua Aprovechable.....	36
6.3.2. Conductividad Hidráulica.....	36
6.3.3. Profundidad del nivel freático.....	37
6.3.4. Precipitación.....	37
6.3.5. Temperatura.....	38
6.3.6. Evapotranspiración.....	38
6.3.7. Componentes agronómicos.....	39
6.3.7.1. Tiempo de drenaje.....	39
6.3.8. Componente hidrológico.....	39
6.3.8.1. Lluvia de diseño.....	39
6.3.8.2. Escorrentía.....	40
6.3.8.3. Infiltración potencial.....	40
6.3.8.4. Escorrentía 24H.....	41
6.3.8.5. Coeficiente de drenaje.....	41
6.3.8.6. Caudal de diseño y velocidades.....	41
6.3.8.7. Diseño de drenaje.....	43

<b>7. Discusión .....</b>	<b>44</b>
<b>7.1. Perfiles del suelo .....</b>	<b>44</b>
<b>7.2. Cultivo .....</b>	<b>44</b>
<b>7.3. Características físicas.....</b>	<b>45</b>
<b>7.4. Características hidrofísicas .....</b>	<b>45</b>
7.4.1. <i>Capacidad de campo</i> .....	45
7.4.2. <i>Punto de Marchitez permanente</i> .....	45
7.4.3. <i>Conductividad hidráulica</i> .....	46
7.4.4. <i>Nivel Freático</i> .....	46
7.4.5. <i>Precipitación/Evapotranspiración</i> .....	47
<b>7.5. Diseño de un sistema de drenaje .....</b>	<b>48</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>50</b>
<b>9. Recomendaciones .....</b>	<b>51</b>
<b>10. Bibliografía .....</b>	<b>52</b>
<b>11. Anexos .....</b>	<b>58</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Principales texturas de un suelo agrícola .....	11
<b>Tabla 2.</b> Clases Texturales.....	12
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de la densidad aparente en los suelos .....	14
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de suelos de acuerdo a distintos valores de K.....	18
<b>Tabla 5.</b> Tiempo de drenaje para diferentes cultivos.....	30
<b>Tabla 6.</b> Descripción de perfiles del suelo.....	34
<b>Tabla 7.</b> Características físicas de la zona de estudio.....	35
<b>Tabla 8.</b> Características hidrológicas.....	36
<b>Tabla 9.</b> Precipitación media mensual de zona de estudio .....	37
<b>Tabla 10.</b> Datos de Evapotranspiración.....	39
<b>Tabla 11.</b> Tiempo de drenaje .....	39
<b>Tabla 12.</b> Lluvia de diseño por cada periodo de retorno .....	40
<b>Tabla 13.</b> Escorrentía.....	40
<b>Tabla 14.</b> Infiltración potencial .....	40
<b>Tabla 15.</b> Escorrentía 24H.....	41
<b>Tabla 16.</b> Coeficiente de drenaje .....	41
<b>Tabla 17.</b> Caudal de diseño .....	42
<b>Tabla 18.</b> Dimensiones del sistema de drenaje.....	43

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Composición de drenes.....	9
<b>Figura 2.</b> Dren colector de tipo trapezoidal.....	10
<b>Figura 3.</b> Triángulo textural .....	12
<b>Figura 4.</b> Esquema de un perfil de suelo donde se indica las zonas saturada, capilar y no saturada .....	16
<b>Figura 5.</b> Mapa de ubicación de la zona de estudio a nivel provincial, cantonal y parroquial .....	24
<b>Figura 6.</b> Curva de K de la zona de estudio .....	37
<b>Figura 7.</b> Temperatura media mensual de la zona de estudio .....	38
<b>Figura 8.</b> Diseño de los drenes .....	42

## Índice de anexos

<b>Anexo 1.</b> Elaboración de calicata.....	58
<b>Anexo 2.</b> Perfiles del suelo in situ.....	58
<b>Anexo 3.</b> Identificación de los perfiles .....	59
<b>Anexo 4.</b> Medición de horizontes .....	59
<b>Anexo 5.</b> Muestras saturadas para Da.....	60
<b>Anexo 6.</b> Muestras en estufa para Da.....	60
<b>Anexo 7.</b> Análisis de textura .....	61
<b>Anexo 8.</b> Análisis de suelo de CC, PMP y AA para primer horizonte .....	61
<b>Anexo 9.</b> Análisis de suelo de CC, PMP y AA para el segundo horizonte.....	63
<b>Anexo 10.</b> Elaboración de pozos para k.....	64
<b>Anexo 11.</b> Datos de los pozos .....	64
<b>Anexo 12.</b> Datos de las estaciones .....	65
<b>Anexo 13.</b> Balance hídrico.....	66
<b>Anexo 14.</b> Tiempo de retorno .....	67
<b>Anexo 15.</b> Curva PDF .....	67
<b>Anexo 16.</b> Número de curva para el cálculo de escorrentía.....	68
<b>Anexo 17.</b> Levantamiento topográfico.....	69
<b>Anexo 18.</b> Ancho de la solera .....	69
<b>Anexo 19.</b> Taludes para diferentes tipos de suelo.....	69
<b>Anexo 20.</b> Valores de coeficiente de rugosidad.....	70
<b>Anexo 21.</b> Pendiente admisible en función del tipo de suelo .....	70
<b>Anexo 22.</b> Velocidades máximas recomendadas en función de las características de los suelos..	70
<b>Anexo 23.</b> Topografía de la zona de estudio.....	71
<b>Anexo 24.</b> Diseño de los drenes.....	71
<b>Anexo 25.</b> Líneas de flujo del agua.....	71
<b>Anexo 26.</b> Certificado de inglés.....	71

## **Título**

DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL PARA PASTIZALES EN EL SECTOR GUAMBIME PARROQUIA CHICAÑA DEL CANTÓN YANTZAZA PROVINCIA ZAMORA CHINCHIPE

## 2. Resumen

La región amazónica del Ecuador se distingue por su clima tropical húmedo, que se manifiesta claramente en los problemas de drenaje presentes en los suelos. Este tipo de inconvenientes son principalmente resultado de las abundantes precipitaciones y las características del relieve de la zona. Es por ello, que el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema de drenaje agrícola para el sector Guambime de la provincia de Zamora Chinchipe. Esto se desarrolló con el propósito de mejorar la producción y la calidad del cultivo de pasto. Para el desarrollo, se inició realizando calicatas para los diferentes análisis de textura, densidad aparente del suelo, capacidad de campo, punto de marchitez permanente; con el fin de comprender su estructura y composición. Adicionalmente se implementaron pozos de observación para la determinación de conductividad hidráulica, y se llevó a cabo un levantamiento topográfico para obtener información detallada sobre las elevaciones de la zona de estudio. Por otra parte, se analizó los periodos de retorno de las precipitaciones de la estación El Pangui para 2, 5 y 10 años, calculando los caudales de diseño del área de estudio. Esto permitió determinar la ecuación para el cálculo de la lluvia de diseño y por ende obtener los datos de los caudales. En la zona de estudio que obtuvo como resultado un suelo de textura franco arenosa y franco arcillo arenosa, con una napa freática de 0.60 m, y una profundidad de drenaje de 0.50 m, adecuada profundidad radicular del cultivo del pasto. El resultado de la propuesta de diseño para el sistema de drenaje incluye un dren natural, un dren secundario y tres drenes laterales.

***Palabras clave:*** *diseño de drenaje, conductividad hidráulica, precipitación, tropical húmedo, amazonía.*

## **Abstract**

The Amazon region of Ecuador is distinguished by its humid tropical climate, which clearly causes soil drainage problems. These kinds of issues are mainly a consequence of the abundant rainfall and the shape of the area's relief. Therefore, this research work aimed to design an agricultural drainage system for the Guambime sector that is in the province of Zamora Chinchipe. This project was developed with the purpose of improving the production and quality of the grass cultivation. To develop it, the first step was perforate the soil to get analysis of different features, texture, soil bulk density, field capacity, permanent wilting point; aiming to understand its structure and composition.

In addition, observation wells were made to determine the hydraulic conductivity; and a topographical survey was carried out to obtain a detailed data on the elevations of the study area. Besides, the return periods of precipitation at El Pangui station to two, five and ten years were analyzed, calculating the design flows of the study area. This allowed to know the equation for calculating the design rainfall and, consequently, to get the flow data. In the study area the results were a sandy loam soil texture and a sandy clay loam texture, with a water table of 0.60 m and a drainage profundity of 0.60 m, which is a suitable radicular depth of grass cultivation. The result of the drainage system design proposal includes a natural drainage, a secondary drainage and three lateral drains.

**Key words:** *drainage design, hydraulic conductivity, rainfall, humid tropical, Amazon region.*

### 3. Introducción

Las condiciones de exceso de agua sobre la superficie del suelo en el trópico húmedo representan un desafío significativo para la agricultura en áreas planas y bajas, donde la salida de agua por gravedad es limitada. Este problema ha llevado a la aplicación de diversas técnicas y artificios para aprovechar estas zonas inundables (Merino et al., 2006). Los problemas de drenaje agrícola, desencadenados por la presencia prolongada de humedad en el suelo, pueden tener diversas causas, siendo las inundaciones por altas precipitaciones y la topografía del terreno dos de las más comunes (Torres, 2014). Según Sentis (2006), la topografía influye en la formación del suelo a través del secado y sedimentación de los agregados, lo que puede dar lugar al apelmazamiento del suelo, reduciendo la permeabilidad y aumentando la escorrentía, así como el riesgo de erosión.

En el Ecuador, el tema del drenaje agrícola ha sido descuidado, tanto en áreas regadas como en zonas húmedas, lo que ha resultado la degradación de suelos en el primer caso y en limitaciones severas para el aprovechamiento de áreas productivas en el segundo (Román et al., 2011). En particular, en el Oriente ecuatoriano, donde las precipitaciones anuales alcanzan niveles significativos, la necesidad de un sistema de drenaje agrícola es indispensable para recuperar suelos anegados (inundados). Esta demanda requiere de estudios integrales para determinar su viabilidad desde las perspectivas social, ambiental, técnica y financiera (Zapatta et al., 2019).

Es relevante destacar que, en esta región, los suelos son inherentemente poco fértiles y se encuentran casi constantemente saturados debido a las elevadas precipitaciones anuales, que oscilan entre 3.000 y 4.000 mm. Esta condición conlleva problemas de drenaje agrícola, ya que los suelos no logran drenar eficazmente el exceso de agua acumulada, lo que resulta en una menor porosidad con más moléculas de agua que de aire. Esto, a su vez, limita el desarrollo óptimo de los cultivos, ya que no pueden aprovechar plenamente los nutrientes presentes en el suelo. (Román et al., 2011).

El río de Zamora es caudaloso y extenso, tiene una longitud de unos 183 km, el río forma la cuenta hidrográfica principal, la más larga y extensa, desemboca en el río Amazonas (Carbajal & Vivanco, 2007). El río Nangaritza es un río de la provincia de Zamora Chinchipe. Es el mayor afluente del río Zamora, desemboca en la parte alta del Amazonas; escurre por una parte de la

Cordillera del Cóndor de los Andes que comparte y forma parte de la frontera entre Ecuador y Perú. El valle del río Nangaritza es conocido por albergar uno de los ecosistemas más biodiversos del mundo (Li, 2018)

El propósito de este trabajo es contribuir en el estudio del manejo del suelo a través de la implementación de un sistema de drenaje, evitando así el anegamiento del suelo debido al exceso de precipitación. Para ello, se planteó como objetivo contribuir al manejo adecuado del suelo para mejorar la productividad agrícola e identificar las características, hidrológicas y físicas del suelo con fines de drenaje, garantizando así que los cultivos puedan desarrollarse de manera óptima y aprovechar nutrientes disponibles. Por lo que el estudio se enfoca en la propuesta del diseño de un sistema de drenaje superficial para pastizales en el sector Guambime, parroquia Chicaña, del cantón Yantzaza, provincia Zamora Chinchipe, ofreciendo una solución concreta para las condiciones de la región.

### **Objetivo general**

- Contribuir al manejo adecuado del suelo para mejorar la productividad agrícola en el sector Guambime parroquia Chicaña del cantón Yantzaza, a través del diseño de un sistema de drenaje.

### **Objetivos específicos**

- Identificar las características hidrológicas y físicas del suelo con fines de drenaje para el área de estudio.
- Proponer un sistema de drenaje de acuerdo a las características del suelo, topografía y cultivos del área de estudio.

## 4. Marco teórico

### 4.1. El suelo

El suelo es la capa de la tierra donde crecen las raíces y donde las plantas extraen el agua y el alimento que necesitan para crecer y mantenerse sanas; está formado por materiales de roca madre mezclados con materiales orgánicos, agua, aire y organismos vivos (Van Konijnenburg, 2006). El suelo constituye el medio en el cual crecen las plantas; es capaz de aportar con los nutrientes fundamentales para su crecimiento y almacenar agua de lluvias cediéndole a las plantas a medida que lo necesitan (INIA, 2015).

El proceso de formación del suelo ha sido de millones de años; sin embargo, en poco tiempo se puede degradar o perder a causa de varios factores como: prácticas agrícolas inadecuadas, sobrepastoreo en tierras frágiles, deforestación, entre otras; generando efectos graves para el suelo (Osorio et al., 2022).

Según Soto (1994) el sistema de suelo está conformado por partículas sólidas de diferentes tamaños, de las cuales se clasifican conforme a su diámetro equivalente en: arena, limo y arcilla. Las fracciones son equivalentes a los diámetros que tienen un rango de 2.0 – 0.02, 0.02 – 0.002 y menores a 5 que 0.002 mm respectivamente. La proporción de estas fracciones, determinan la textura del suelo.

El drenaje en tierras agrícolas consiste en un conjunto de técnicas que permiten eliminar cualquier exceso de agua y/o sales que se presente sobre la superficie del suelo, o en la zona radicular de los cultivos, con el objetivo de proporcionar a éstos un medio adecuado para su normal desarrollo y mantener el suelo en condiciones favorables. Al atacar los problemas de drenaje deben hacerse contemplando simultáneamente el drenaje superficial y el subterráneo (CONGOPE, 2018).

Un suelo el cual no se le da un buen drenaje, produce en el cultivo una reducción o eliminación del espacio de aire en el suelo, lo cual evita la entrada de oxígeno atmosférico hacia las raíces, siendo indispensable para sus funciones de respiración y crecimiento. Bajo tales circunstancias se elimina el intercambio gaseoso existente en el suelo ya que no permite la salida del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), siendo que el sistema radical de las plantas puede morir debido a la falta de aire en el suelo produciéndose la pérdida total del cultivo (Pizarro, 1985; citado por Soto, 1994).

Así mismo, este autor manifiesta que los cultivos que se encuentran en terrenos con mal drenaje no pueden hacer uso eficiente de los fertilizantes, ya que la energía deriva de la respiración dentro de la raíz es utilizada parcialmente en el proceso de absorción de nutrientes, y en tales condiciones dicha energía es mínima.

## **4.2. Drenaje en zonas húmedas**

Gavilánez (2021) expresa que, en una zona donde la precipitación supera a la evapotranspiración de las plantas se la determina como zona húmeda. Si además de esta situación climática existe condiciones topográficas desfavorables y suelos impermeables, habrá problemas de drenaje superficial. En estas zonas los sistemas de drenaje tienen la función de eliminar los excesos de agua, con el fin de lograr aireación en la zona radicular, y, por consiguiente, obtener un desarrollo adecuado para los cultivos. (p. 15)

### ***4.2.1. Beneficios del drenaje agrícola***

Gavilánez (2021) expresa que “la recaudación de los excesos de agua presentes en el suelo causa diferentes beneficios que son dirigidos al mismo (en términos agrícolas) y al desarrollo normal del cultivo”. Entre estos beneficios se presentan los siguientes:

- Evitar condiciones anaeróbicas al momento de oxigenar los poros del suelo, lo que genera que se mejore el crecimiento radicular de los cultivos, absorción total y efectiva de los nutrientes existentes en el suelo y la función de transpiración.
- Con la presencia de la aireación en el suelo, aumentan los procesos de oxidación, es por ello que se acelera la descomposición de la materia orgánica presente en el suelo.
- Con el drenaje se puede subsanar los problemas derivados por las enfermedades de las plantas, ya que al momento de eliminar los excesos de agua en el suelo se descartan los ambientes húmedos que son idóneos para el desarrollo de hongos y bacterias patógenas.

La evacuación de los anegamientos mejora las condiciones térmicas del suelo, aumentando la temperatura, por ende, acelerando las cosechas y la germinación de las semillas.

#### ***4.2.2. Causas de los problemas de drenaje***

Llerena (2015) menciona que los problemas de drenaje se presentan cuando las inundaciones superficiales asfixian a los cultivos, debido a que el aire es reemplazado por el agua. Esto evita toda posibilidad de provisión de oxígeno y afecta también a la actividad biológica y al mismo suelo. Además, internamente reduce el volumen de suelo disponible para las raíces, afectando la aireación y el desarrollo radicular, por lo que se disminuye la capacidad de absorción de agua y nutrientes de la mayoría de las plantas.

Torres, (2014) expresa que entre las causas más comunes de los problemas de exceso de humedad se tiene:

- *Presencia de estratos impermeables:* cuando existen estratos o capas endurecidas en el subsuelo, el agua de lluvia o riego no fluye verticalmente y se pueden presentar nivel freático (NF) colgados.
- *Baja permeabilidad:* presencia de estratos superficiales de baja permeabilidad que no transmiten el agua de manera rápida para evitar excesos de humedad. Existen suelos que tienen altos contenidos de arcilla y estructura masiva que en épocas de lluvias permanecen saturados por periodos prolongados
- *Aplicaciones de láminas excesivas:* Ocurre cuando existe precipitaciones intensas o la aplicación de riego por inundación pueden conducir al represamiento del agua debido a que se supera la capacidad natural de drenaje del suelo.
- *Zonas planas con poca pendiente:* Ocurre cuando el gradiente hidráulico dentro del suelo no es suficiente para obligar al agua a fluir hacia el NF.

#### **4.3. Sistemas de drenaje**

El sistema de drenaje permite la circulación de las aguas estancadas en el terreno, a causa de las depresiones topográficas y controla la acumulación de sales en el suelo, ya que esto puede disminuir la productividad. Si en un terreno no se instala un sistema de drenaje, el agua estancada provocara daños graves a la agricultura (Cuchillo, 2015).

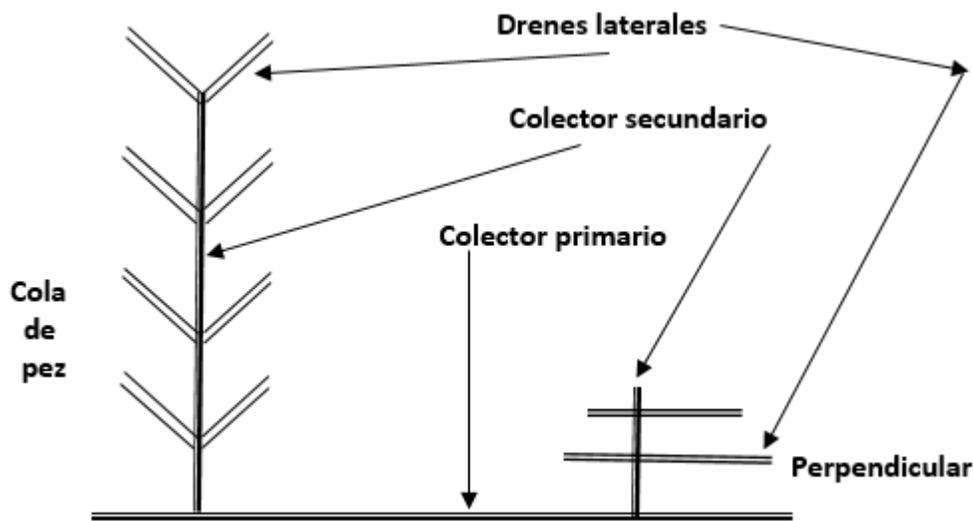
Un sistema de drenaje está compuesto por una red de canales que recogen y conducen las aguas a otra parte, fuera del área a ser drenada, impidiendo al mismo tiempo, la entrada de las aguas

externas. Típicamente estos sistemas se hacen necesarios en los amplios estuarios de los grandes ríos y en los valles donde el drenaje natural es deficiente (Cuchillo, 2015).

Gavilán Luna (2021) manifiesta que, en estos sistemas, dependiendo del contexto, se puede encontrar:

- Drenes laterales o de parcela, los cuales tienen la función de extraer los excesos hídricos.
- Drenes terciarios o colectores de laterales, cuya función principal es la recolección del agua que descargan los drenes laterales y transportarla a los drenes principales.
- Drenes principales que tienen por misión el transporte de los excesos de agua fuera del área cultivada. No obstante, en algunos casos también pueden existir drenes secundarios que tienen la misma función.

**Figura 1.**  
*Composición de drenes*



Fuente: SAGARPA, 2020

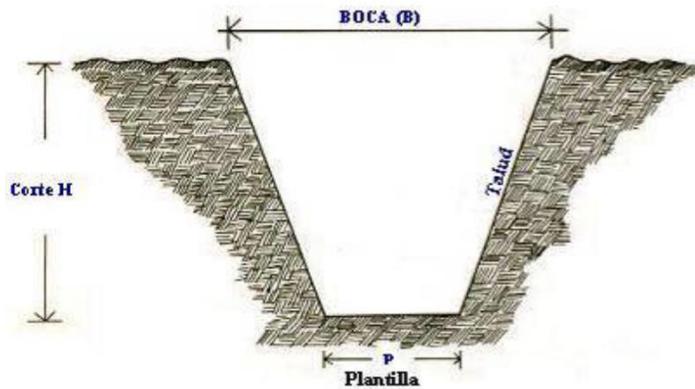
#### **4.3.1. Drenajes primarios o colectores**

Los drenajes primarios son zanjas o canales que evacuan en forma pronta las aguas sobrantes del sistema; éstos pueden ser naturales como ríos, quebradas, o depresiones; o artificiales, contruidos de acuerdo a las necesidades. Debido a su tamaño es necesario el uso de maquinaria a

fin de disminuir los costos durante su establecimiento. El cálculo está dado por el caudal de agua a evacuar y por lo general está incluido dentro de los siguientes ámbitos «ver figura» (Soto 2008).

**Figura 2.**

*Dren colector de tipo trapezoidal.*



Fuente: Yangana, 2004

#### **4.4. Propiedades físicas del suelo**

La textura, densidad aparente, porosidad son factores fundamentales en el suelo y diseño de los drenajes. Para el análisis de los perfiles del suelo: en los estudios de drenaje es básico construir calicatas que permitan analizar las variaciones de nivel freático y los cambios de textura en la profundidad del perfil, sobre todo localizar estratos arcillosos de baja permeabilidad y la profundidad de la barrera impermeable (Belalcázar, 1991).

Para el autor antes mencionado, el drenaje sólo aumenta la velocidad de salida del agua gravitacional, de allí en adelante opera la evapotranspiración. Por esta razón, en el estudio de las propiedades del suelo se deben incluir las curvas de retención de humedad.

##### **4.4.1. Textura**

La textura de un suelo indica el contenido relativo de partículas que tienen diferente tamaño, como son la arena, limo y arcilla; la textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, además determina la composición de agua, aire y la velocidad con que el agua penetra el suelo y lo atraviesa (Osorio et al., 2022).

Las propiedades físicas pueden evaluarse mediante inspección visual, tacto o laboratorio, se separan por tamaños de partículas y se los compara con algún tipo de escala, tamaño, consistencia, intensidad, etc. Cada suelo tiene un conjunto peculiar, de propiedades físicas

particulares que dependen de la naturaleza de sus componentes, sus cantidades relativas y la forma en que se acoplan entre sí (Thompson, 1982).

La identificación del tipo textural de un suelo permite tener una idea de la magnitud del problema de drenaje. Los tipos texturales de suelo se han definido en función de los diámetros de las partículas, que, en su conjunto, establecen la magnitud de los poros en donde se aloja el agua (Gavilánez, 2021).

“Siguiendo la terminología establecida por la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América), tenemos las siguientes clases de partículas inferiores a 2 mm de diámetro ( $\emptyset$ )” (Blanquer et al., 2010):

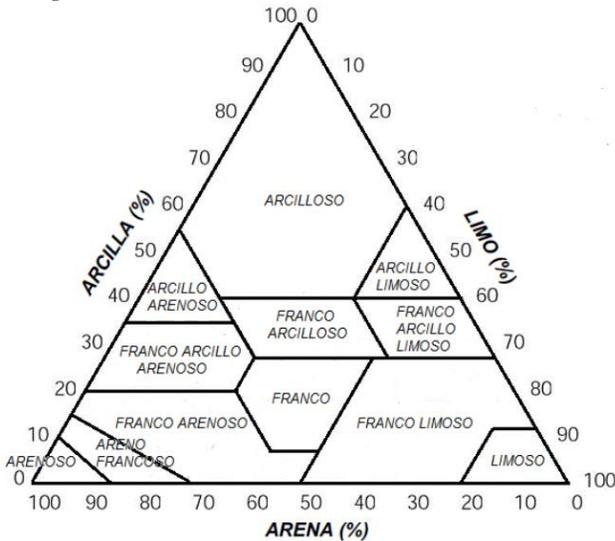
**Tabla 1.**  
*Principales texturas de un suelo agrícola*

<i>Principales texturas de un suelo agrícola</i>	<b>2 mm &gt; <math>\emptyset</math> &gt; 1 mm</b>
<b>Arena muy gruesa</b>	
<b>Arena gruesa</b>	1 mm > $\emptyset$ > 0.5 mm
<b>Arena media</b>	0.5 mm > $\emptyset$ > 0.25 mm
<b>Arena fina</b>	0.25 mm > $\emptyset$ > 0.10 mm
<b>Arena muy fina</b>	0.10 mm > $\emptyset$ > 0.05 mm
<b>Limo</b>	0.05 mm > $\emptyset$ > 0.002 mm
<b>arcilla</b>	$\emptyset$ < 0.002 mm

Fuente: Blanquer et al., 2010

El triángulo textural se divide en una serie de áreas correspondientes a las diferentes clases de textura, que representan grupos de texturas con capacidades o propiedades análogas. Las clases suelen dividirse en cuatro grupos principales correspondientes a las texturas arcillosas, limosas, arenosas y francas o equilibradas; dependiendo si existe una participación dominante o una participación suficiente en todos ellos (Blanquer et al., 2010).

**Figura 3.**  
*Triangulo textural*



Fuente: Osorio et al., 2022

Blanquer et al. (2010), expresa que varios son las clases texturales existentes, que a continuación pasamos a describir:

**Tabla 2.**  
*Clases Texturales*

<b>Arcillosa</b>	<b>Arcilla <math>\geq</math> 40 %</b>
	Limo < 40 %
	Arena < 45 %
<b>Areno-arcillosa</b>	Arcilla $\geq$ 35 %
	Arena $\geq$ 45 %
<b>Franco-arcillosa</b>	Arcilla = 27 a 40 %
	Arena = 20 a 45 %
<b>Limo-arcillosa</b>	Arcilla $\geq$ 40 %
	Limo $\geq$ 40 %
<b>Franco-limo-arcillosa</b>	Arcilla = 27 a 40 %
	Arena < 20 %
<b>Franco-areno-arcillosa</b>	Arcilla = 20 a 35 %
	Limo < 28 %
	Arena $\geq$ 45 %
<b>Franca</b>	Arcilla = 7 a 27 %

	Limo = 28 a 50 %	
	Arena < 52 %	
<b>Franco-limosa</b>	Sí Arcilla < 12 %	
	Limo = 50 a 80 %	
	Sí Arcilla = 12 a 27 %	
<b>Limosa</b>	Arcilla < 12 %	
	Limo $\geq$ 80	
<b>Franco-arenosa</b>	Arcilla $\leq$ 20 %	Arcilla < 7 %
	Limo + (2.0 x Arcilla) > 30 %	o Limo < 50 %
	Arena $\geq$ 52 %	Arena = 43 a 52 %
<b>Arenosa-franca</b>	Sí Limo + (1.5 x Arcilla) $\geq$ 15 %	
	Arena = 85 a 90 %	
	Sí Limo + (2.0 x Arcilla) $\leq$ 30 %	
<b>Arenosa</b>	Limo + (1.5 x Arcilla) $\leq$ 15 %	
	Arena $\geq$ 85 %	

Fuente: Blanquer et al., 2010

#### 4.4.2. Estructura

La estructura del suelo se refiere en cambio a la forma en que las partículas básicas de arena, limo y arcilla se agrupan para formar agregados o terrones. Su influencia en los problemas de drenaje se debe a su deficiencia, ya que la permeabilidad y la infiltración se reducen en suelos cuya estructura ha sido destruida por un laboreo excesivo o por la presencia de sodio, este último dispersando las partículas homogenizando la capa. También se observa en suelos aluviales jóvenes, donde la arcilla llena los espacios porosos, por lo que las acciones de drenaje son difíciles de realizar allí (Gavilánez, 2021, p. 29)

#### 4.4.3. Densidad aparente

“La densidad aparente (*da*) es una propiedad del suelo ampliamente en la agricultura, relacionada principalmente con las prácticas de manejo de los suelos y de las aguas” (Jiménez & Khalajabadi, 2005). Al igual que la textura, la densidad aparente es un indicador de la capacidad del suelo para drenar. Está estrechamente relacionado con la textura, la estructura y con el contenido de materia orgánica. La magnitud de su valor permite tener una idea de la porosidad y de la capacidad de infiltración del suelo (Gavilánez Luna, 2021)

La  $d_a$  se define como la relación entre la masa secado (Pss) al horno de las partículas de suelo y el volumen total (Vt), incluyendo el espacio poroso que ocupan, a través de la ecuación:

$$d_a \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{peso del cilindro con suelo seco (105^\circ)} - \text{Peso del cilindro}}{\text{volumen del cilindro}}$$

Al determinar la ecuación se debe clasificar mediante la tabla de la densidad aparente (Castillo, 2005).

**Tabla 3.**

*Clasificación de la densidad aparente en los suelos*

<b>Unidad de la (Da) g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Clasificación</b>
Arenas	1.6 – 1.7
Francos	1.3 – 1.4
Arcillas	1.1 – 1.2
Suelos orgánicos	0.5 – 1.0

Fuente: Pritchett, 1990

#### **4.4.4. Densidad real**

Según Ingaramo et al. (2007), “La densidad real, también conocida como densidad de sólidos o densidad de las partículas, se define como la masa de sólidos por unidad de volumen” (p.15). La densidad real se utiliza en varias expresiones matemáticas que tienen en cuenta el volumen o la masa de una muestra de suelo, y su medición es necesaria para: Realizar conversaciones adecuadas de datos basados en masa a datos volumétricos y para calcular el volumen de sólidos, porosidad total del suelo o el número de sus poros, cálculo de la sedimentación de partículas en líquidos, cálculo de la capacidad calorífica del suelo u otros materiales diferentes, corrección de la densidad de muestras que contienen una gran cantidad de fragmentos gruesos. (Villaseñor Ortiz, 2016).

$$p_s = \frac{M_s}{V_s}$$

Donde  $M_s$  es la muestra seca y  $V_s$  es el volumen de sólidos de un suelo.

#### **4.4.5. Porosidad**

El espacio poroso es la parte del suelo que en su estado natural está ocupada por aire y/o agua. El volumen de este espacio poroso depende en gran medida de la disposición de las partículas sólidas. La porosidad del suelo es muy importante para la agricultura y sus características dependen de la textura, estructura, contenido de materia orgánica, tipo e intensidad de cultivos, cultivo del suelo y otras propiedades del suelo y su manejo.(Flores, 2010)

Según Gavilánez (2021) la porosidad total queda definida de la siguiente forma:

$$P_T = 100 \left( 1 - \frac{d_a}{p_s} \right)$$

Donde  $P_T$  se reporta en forma porcentual. La densidad aparente  $d_a$  y la densidad real  $d_r$ , o densidad de partícula, pueden expresarse mediante cualquiera de las siguientes unidades:  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{t/m}^3$  (Gavilánez Luna, 2021, p.32).

#### **4.4.6. Características hidrofísicas**

Entre las características hidrofísicas de los suelos agrícolas se encuentran dos puntos de contenido de humedad bien definidos que están relacionados con las plantas y con su drenaje natural. El primer punto es conocido como humedad a capacidad de campo y el segundo es la humedad en punto de marchitez permanente.(Gavilánez Luna, 2021)

##### **4.4.6.1. Capacidad de campo $H_{cc}$**

Es el contenido de agua de un suelo, después que ha sido mojado abundantemente y se ha dejado drenar libremente, evitando las pérdidas por evapotranspiración. Corresponde aproximadamente al contenido de agua del suelo a una tensión o potencial matricial del agua de -0.33 bares. Normalmente este contenido de agua se toma alrededor de 24 a 48 horas después de un riego o lluvia abundante, teniendo la precaución de cubrir el suelo con un plástico para evitar la evapotranspiración (Silva et al., 2015).

##### **4.4.6.2. Punto de marchitez permanente $H_{PMP}$**

El punto de marchitez permanente es el potencial hídrico más negativo del suelo donde las hojas de las plantas no pueden recuperar su turgencia. De hecho, el valor del punto de marchitez permanente depende de las condiciones climáticas del suelo y de la conductividad hidráulica

(Singer & Munns 1999; citado por Mariño et al., 2006). Para este caso se plantea la hipótesis de que el suelo en este estado alberga humedad con un potencial matricial equivalente a 15 atm (15000 cm), lo que la mayoría de las plantas no podrían extraer” (Gavilánez, 2021).

#### 4.4.7. Agua disponible para las plantas ADP

El estudio del agua disponible para las plantas (ADP) es fundamental en la agricultura, ya que proporciona información del contenido de agua disponible para ser extraído a través de sus raíces para realizar la fotosíntesis y continuar con su crecimiento. Normalmente, el ADP se estima con la diferencia entre la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente. (González-Zamora et al., 2017).

De acuerdo con Gavilánez, (2021), expresa que generalmente la humedad, ya sea en los estados de  $H_{CC}$ ,  $H_{PMP_0}$  de cualquier otro estado, se expresan porcentualmente en base al peso de suelo seco. Si la forma porcentual se expresa en base a volumen la relación es la siguiente:

$$\theta = W * d_a$$

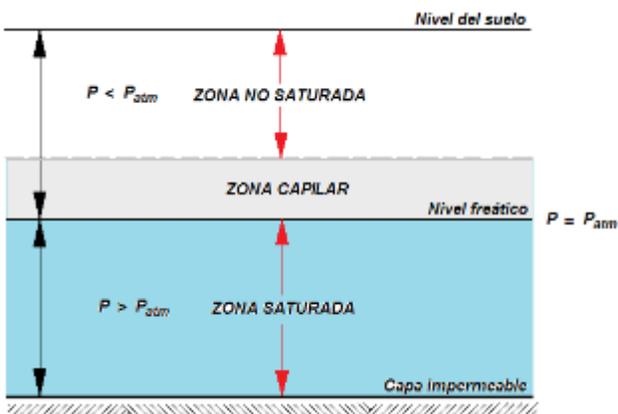
Dónde:  $\theta$ : Humedad en base a volumen (%); W: Humedad en base al peso del suelo seco (%);  $d_a$ : Densidad aparente

#### 4.4.8. Movimiento del agua en zona saturada

Debido a la importancia de la zona saturada del suelo en el drenaje y la profundidad que requieren las raíces para su normal desarrollo, se debe realizar franjas identificativas en el suelo donde requieren aireación (Gavilánez, 2021)

**Figura 4.**

*Esquema de un perfil de suelo donde se indica las zonas saturada, capilar y no saturada*



Fuente: Gavilánez, 2021

#### **4.4.9. Ley de Darcy en el estudio de la conductividad hidráulica**

La ley de Darcy, propuesta hace más de 155 años, establece que la relación entre la tasa de descarga y el gradiente hidráulico del flujo de agua en la arena es más constante para un material llamado coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica. Luego, esta regla de ingeniería se aplica para predecir y evaluar el flujo de fluidos no acuosos a través de materiales de diferentes tamaños de partículas y propiedades, incluidas fracturas de rocas, lodos y suelos arcillosos, grava o una combinación de muchos materiales diferentes (Romaña-García, 2014).

#### **4.4.10. Nivel freático**

Según Gavilánez (2021), La profundidad del nivel freático está relacionada con la ventilación de las raíces del cultivo y es información básica para el diseño de un sistema de drenaje. Si bien lo más importante de esta profundidad es que es un parámetro que determina el nivel de aireación suficiente en la zona de rizósfera de los cultivos; es un factor necesario para determinar la profundidad de los drenes, la distancia entre ellos, y su sección o diámetro (en caso de tuberías). La determinación de esta profundidad es difícil debido a los muchos factores involucrados. Técnicamente, la profundidad de nivel freático debe mantenerse a un nivel que no afecte significativamente la productividad de los cultivos.

Uno de los factores directamente involucrados en la relación freática - productividad tiene que ver con la textura del suelo y los consecuentes efectos físicos. Considerando los efectos de capilaridad en la manutención de la napa freática en niveles que no afecten a un cultivo, la profundidad de este nivel deberá estar relativamente cercana al sistema radicular en suelos arenosos y más profunda en suelos arcillosos.

Osorio et al., (2022) menciona que es importante considerar que, la profundidad de la freática que deberá estimarse es aquella que se produce en la mitad de la distancia entre dos drenes. Esta profundidad está representada por  $P_f$  y según lo indicado en el párrafo precedente, puede obtenerse por:

$$P_f = P_R + h_{cap}$$

Donde  $P_R$  es la profundidad radicular y  $h_{cap}$  es la altura adicional debido al efecto capilar.

#### 4.4.11. Conductividad hidráulica

Se puede considerar como una de las propiedades del suelo más importantes debido a que existen muchos problemas relacionados con el riego y el drenaje, para los cuales estos parámetros también conocidos como coeficientes de filtración, son necesarios para obtener soluciones satisfactorias. Esta es información básica para determinar la distancia entre los drenes y el suministro de agua subterránea que causa problemas en las áreas receptoras (Soubannier, 1985).

Gavilánez (2021), menciona que la estimación dependen de la magnitud de los valores de  $K$ . Los suelos pueden clasificarse con conductividades hidráulicas desde muy lentas hasta muy rápidas. Estas clasificaciones son las que se indican en la Tabla 4.

**Tabla 4.**  
*Clasificación de suelos de acuerdo a distintos valores de  $K$*

<b>Clasificación</b>	<b>Conductividad hidráulica (m/día)</b>
Muy lenta	< 0.03
Lenta	0.03 – 0.12
Moderadamente lenta	0.12 – 0.5
Moderada	0.5 – 1.5
Moderadamente rápida	1.5 – 3.0
Rápida	3.0 – 4.5
Muy rápida	> 4.5

Fuente: Villón, 2004

Existen varios métodos de campo y de laboratorio para determinar la conductividad hidráulica del suelo. Estos métodos son: parámetros de cabezas constante y variable, y el método del pozo barrenado. Los dos primeros son métodos de laboratorio y el tercero es de medición directa *in situ* (Forero, 2000).

##### 4.4.11.2. Métodos de campo

###### *Método del pozo barrenado (auger- hole)*

Es la alternativa de mayor uso en el diseño y estudio de los sistemas de drenaje agrícola debido a su alto nivel de confiabilidad, cuya bondad reside en el hecho de que no perturba en lo absoluto las condiciones de operatividad de los parámetros que influyen en el flujo de agua a través del perfil del suelo, tales como la estructura, la porosidad, entre otros. Trae consigo la ventaja de

utilizar la misma agua de la solución del suelo, lo que le confiere ser una alternativa con resultados posiblemente más cercanos a la realidad de la conductividad hidráulica de un determinado tipo de suelo, pues lleva implícito los efectos de la temperatura, de la viscosidad y de la densidad aparente *in situ* (Gavilánez, 2021).

#### *Método de barreno invertido*

Este método se usa cuando la tabla de agua se encuentra muy profunda, consiste en abrir un pozo a una profundidad deseada, llenarlo de agua y medir la velocidad del descenso del nivel de ésta.

#### **4.4.11.1. Métodos de laboratorio**

##### *Permeámetro de carga constante*

Para estudios de drenaje agrícola, conviene que las determinaciones de conductividad hidráulica por medio de permeámetros, se efectúen con muestras de suelo no disturbadas.

El empleo de permeámetro de cabeza constante, no se recomienda para suelos pesados puesto que se necesitaría considerable tiempo para observar los incrementos en el volumen de agua que pasa a través de ña muestra de suelo (Forero, 2000).

Para hallar el valor de la conductividad hidráulica por medio de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{VL}{tAH}$$

Donde K es la conductividad hidráulica, cm/h, V es el volumen promedio de agua recolectada cm<sup>3</sup>; L es el espesor de la muestra de suelo cm; t es el tiempo promedio; A es el área de la sección transversal de la muestra de suelo cm<sup>2</sup>; H es la pérdida de cabeza hidráulica cm (Forero, 2000).

##### *Método del permeámetro de carga variable*

Este método se usa para medir la conductividad hidráulica cuando esta es pequeña, consiste en medir diferentes cargas hidráulicas para diferentes tiempos (CONGOPE, 2018). En cuanto al procedimiento, éste es el mismo que se realiza en los permeámetros de carga constante a excepción de la variabilidad de carga, debido a que no hay una entrada continua de agua (Gavilánez, 2021).

$$K = \frac{a \times L}{A (t_2 - t_1)} * \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right)$$

La unidad de *K* estará determinada por las unidades empleadas para *L* y los tiempos *t*<sub>1</sub> y *t*<sub>2</sub>; si éstos últimos están en cm y en horas, respectivamente, *K* tendrá la unidad de cm/h. Las secciones *a* y *A* corresponden a las del conducto en donde se mueve la carga *h* y al de la muestra de suelo, respectivamente, cuyas unidades se anulan en la expresión. Las unidades empleadas en las cargas serán independientes de la unidad de medida de *K* (Gavilánez, 2021).

## **4.5. Diseño de drenes superficiales**

### **4.5.1. Trazado de la red**

Los drenes colectores deben trazarse por los puntos más bajos, por lo que es necesario examinar cuidadosamente la topografía del terreno. Deben evitarse trazados arquitectónicos que adapten al drenaje del parcelamiento; por el contrario, debe ajustarse a las vías de drenaje (CONGOPE, 2018).

### **4.5.2. Tiempo de drenaje**

El tiempo de drenaje es el tiempo de inundación que el cultivo tolera sin que se reduzca significativamente su producción. Este tiempo de inundación permite un nivel de daño pre-establecido para una cierta combinación de cultivo-suelo-clima, que se denomina "daño permisible", y se obtiene de consideraciones agronómicas (Cuchillo, 2015).

Cuando ocurre una precipitación, se inicia el proceso de infiltración y los poros del suelo comienzan a llenarse de agua. A medida que el tiempo transcurre, la velocidad de infiltración disminuye y al cabo de un cierto tiempo es menor que la intensidad de la lluvia y en ese momento, se inicia la acumulación de agua en la superficie del terreno, y consecuentemente, la inundación y la escorrentía (CONGOPE, 2018).

### **4.5.3. Estimación de lluvia de diseño**

Existen muchos procedimientos para calcular la escorrentía, pero la mayoría de ellos han sido diseñados para estimar crecidas máximas; entre estos se puede citar la fórmula Racional, el método de Cook y la fórmula de Mac Math. Como el drenaje superficial en el ámbito parcelario, lo importante es evacuar el agua en un tiempo razonable de acuerdo a la sensibilidad del cultivo,

lo que más interesa no es la crecida máxima, sino la escorrentía superficial, de esta manera parte de la cuenca puede estar inundada durante algunas horas. Sólo en el caso de diseño de algunas estructuras como alcantarillas, será necesario el conocimiento de las crecidas máximas (Arias et al., 2023).

Para el cálculo de la lluvia de diseño, se utilizará las curvas intensidad – duración y frecuencia, definidas en el Estudio de Lluvias Intensas, desarrollado por el INAMHI en el 2015. En estos gráficos, se selecciona un valor de H (mm), para valores de duración D igual a td (hr), y período de retorno T (años), siendo la lluvia de diseño el valor de H seleccionado (Villón, 2007).

#### ***4.5.4. Cálculo del caudal de diseño***

Villón (2007), menciona que cuando se calcula el caudal de diseño para un solo dren, los cálculos son directos, utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = Cd * A^{5/6}$$

Los drenes se colocan en las partes más bajas de las áreas y van recogiendo la escorrentía producida. Para evacuar el agua de la parcela, los drenes de las diferentes áreas se van uniendo entre sí, por lo que su tamaño aumenta en sentido a la dirección del flujo. En este caso para calcular el caudal de diseño de un dren aguas debajo de la intersección de otros dos, se utiliza la regla del 20-40, propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Ortega & Sagado, 2001)

#### ***4.5.6. Cálculo para el espaciamiento de drenes***

Aguirre Contreras (2009) afirma que para el cálculo del espaciamiento entre drenes (L) según las hipótesis establecidas se las agrupa en fórmulas de régimen permanente y no permanente” (p.18).

##### ***Régimen permanente***

En las fórmulas de régimen permanente, se supone que la recarga de agua (R) a una área es constante, e igual a la salida de agua (Q) por el sistema de drenaje, permaneciendo la tabla de agua en forma estacionaria es decir que no asciende ni desciende, en la cual se utiliza la fórmula de Hooghoudt (Aguirre Contreras, 2009).

$$L^2 = \frac{8K_2 hd + 4k_1 h^2}{R}$$

Donde:

L = Espaciamiento de drenes (m);  $K_1$  = Conductividad hidráulica arriba del nivel de los drenes (ml/día);  $K_2$  = Conductividad hidráulica abajo del nivel de los drenes (ml/día); h = Carga hidráulica en el punto medio entre drenes (m); d = Espesor del estrato equivalente de Hooghoudt, R = recarga o descarga normativa (m/día)

Con el parámetro d, espesor del estrato equivalente, Hooghoudt introdujo en su fórmula el factor de resistencia radial que ocurre en la zona del dren, además asume que los dos tipos de flujo, el horizontal y radial pueden ser considerados y calculados con una fórmula para cada uno de ellos (Aguirre Contreras, 2009).

$$d = \frac{D}{\frac{8}{\pi} * \frac{D}{L} * \ln\left(\frac{D}{p}\right) + 1}$$

d = Espesor del estrato equivalente de Hooghoudt (m); D = Espesor del segundo estrato o altura del agua en los drenes con respecto al estrato impermeable (m); (D = PEI - PD + r, para dren entubado y D = PEI - PD + y, para zanjas); donde PEI = profundidad del estrato impermeable, PD = profundidad del dren, r = radio del dren entubado, y = tirante; L = Espaciamiento de drenes (m); p = Perímetro mojado del dren (m).

*Régimen no permanente.*

En zonas regables y en aquellas en que las precipitaciones son de gran intensidad no se justifica la suposición de una recarga constante. Por ello Glover-Dumm en su ecuación describe el descenso de la tabla de agua inmediatamente después de su súbito ascenso como consecuencia de una recarga instantánea (Aguirre Contreras, 2009).

Coras-Merino (2006) para el cálculo del espaciamiento de drenes utilizó la ecuación propuesta por Glover- Dumm:

$$L^2 = \frac{\pi^2 k D t}{\mu \ln\left(1.16 \frac{h_o}{h_t}\right)}$$

dónde: L = espaciamiento entre drenes (m); K = conductividad hidráulica saturada (m d<sup>-1</sup>); D = valor medio de nivel freático en un tiempo determinado (m); t = tiempo (días); m = porosidad drenable (adimensional); h<sub>o</sub>= altura máxima del NF sobre los drenes (m); h<sub>t</sub>= altura mínima del NF sobre los drenes (m).

#### 4.5.7. Descarga de drenes

La descarga en los drenes Q, está representado por la recarga normativa (R), la que es expresada en m/día, mm/día. Además, si se tratan de drenes subcolectores o drenes principales, se debe considerar la descarga de los drenes de campo; en ese sentido, el caudal de un dren aumenta proporcionalmente en la dirección del flujo (Aguirre Contreras, 2009).

El Consorcio de Gobiernos Autónomos Provincias del Ecuador (2018) expresa que a descarga de los drenes varían en función del tiempo, esto debido a que en un régimen no permanente, la carga h varía en función del tiempo. La descarga en los drenes, se expresa mediante la siguiente ecuación.

$$q_t = \frac{2\pi K D_h h_t}{L^2} \quad \text{ó} \quad q_t = \frac{2\pi K \left(d + \frac{h_o + h_t}{4}\right) h_t}{L^2}$$

Donde:

q<sub>t</sub>= descarga en los drenes en el tiempo (m/día); K= conductividad hidráulica (m/día); D<sub>h</sub>= espesor del estrato donde ocurre el flujo horizontal (m)

$$D_h = d + \frac{h_o + h_t}{4}$$

d= estrato equivalente de Hooghoudt; h<sub>o</sub>= altura inicial sobre el nivel de los drenes, producida por la carga instantánea (m); L= espaciamiento de drenes (m)

## 5. Metodología

### 5.1. Localización geográfica

La investigación se desarrolló en el barrio Guambime, parroquia Chicaña, cantón Yantzaza, a 20km de la cabecera cantonal. La parroquia está situada al sur de la provincia de Zamora Chinchipe (Minga, 2014). La zona de estudio se encuentra entre las coordenadas planas (UTM): Norte 9 594 175,861 m, Este: 752 266,228 m y altitud: 1252,483 m.s.n.m.

#### Figura 5.

Mapa de ubicación de la zona de estudio a nivel provincial, cantonal y parroquial



#### 5.1.1. Datos climáticos de la zona

Para la descripción de los promedios anuales climáticos de la zona de estudio fue de 21 °C (Galarza, 2014), los datos de heliofanía tiene un promedio de 3,4 horas, cuenta con una temperatura de 10 A 22 °C, precipitación de 2000 a 2100 mm, humedad relativa de 89% y una evaporación de 1126,9 mm ( PDOT de Chicaña 2014-2019).

## **5.2. Materiales**

### ***5.2.1. Materiales de campo***

- Cartografía del área de estudio
- Estación total
- GPS diferencia
- Cámara fotográfica
- Barreno extractor de muestras
- Cilindros
- Materiales de descripción
- Pala
- Barreta
- Libreta de apuntes
- Botes
- Tubo PVC
- Tabla Munsell

### ***5.2.2. Materiales de laboratorio***

- Materiales para determinación de constantes físicas:  $H_{CCP}$ ,  $H_{PMP}$ , AA
- Materiales para determinación de textura
- Materiales para determinación de materia orgánica

### ***5.2.3. Materiales de oficina***

- Computadora
- Calculadora
- Libreta de campo
- Softwares topográficos

## **5.3. Metodología para primer objetivo**

*“Identificar las características hidrológicas y físicas del suelo con fines de drenaje para el área de estudio”*

### **5.3.1. Características físicas**

Como punto de partida, se realizó una calicata en base a la normativa de la FAO (2014), con dimensiones de 1.5 de ancho por 1.0 de largo y 0.60 m de profundidad debido a que se halló el nivel freático; con esto se pudo identificar tres horizontes, el primero de 0 a 20 cm, el segundo de 20 a 35 cm y el último de 35 a 60 cm. Con la elaboración de la calicata también se pudo continuar haciendo los análisis correspondientes los cuales se utilizará para el diseño de drenaje.

#### **5.3.1.1. Densidad aparente**

Para determinar la densidad aparente, se siguió el método establecido por la FAO (2009). El procedimiento se llevó a cabo tomando tres muestras no disturbadas de cada horizonte utilizando los cilindros Kopecky de 100 cm<sup>3</sup>, de las cuales dos representaron repeticiones. Posteriormente, estas muestras se trasladaron al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja.

Una vez en el laboratorio, se procedió a saturar las muestras con agua destilada siguiendo los estándares de laboratorio. Luego, se colocaron en la estufa a una temperatura constante de 105 °C durante aproximadamente 24 horas para asegurar la eliminación de la humedad. Finalizado este período, se pesó los cilindros, tanto con las muestras como sin ellas, permitiendo calcular la densidad aparente mediante la siguiente ecuación (Sánchez et al., 2010).

$$d_a \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{peso del cilindro con suelo seco (105}^\circ) - \text{Peso del cilindro}}{\text{volumen del cilindro}}$$

#### **5.3.1.2. Densidad Real**

Se ejecutó por medio de los datos tomados en el cálculo de la densidad aparente, se la obtuvo por medio de la ecuación expresada por Ingaramo et al. (2007):

$$p_s = \frac{M_s}{V_s}$$

Donde  $M_s$  es la muestra seca y  $V_s$  es el volumen de sólidos de un suelo.

#### **5.3.1.3. Porosidad**

Se realizó en función a lo expuesto por Gavilán Luna (2021) donde se considera los resultados de densidad aparente y real, y se aplicó la siguiente fórmula:

$$P_T = 100 \left( 1 - \frac{Da}{Dr} \right)$$

#### **5.3.1.4. Textura**

La determinación de la textura se realizó siguiendo el protocolo que maneja el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja, el cual es el método de Bouyoucus, Norambuena et al. (2002). Este proceso consistió en pesar una muestra de 50 gr de suelo, a la cual se le añadieron 100 ml de agua destilada con 5 ml de hidróxido de sodio 1 N y 5 ml de oxalato de sodio saturado. Dejándola reposar por 30 minutos, luego se agitó con ayuda de una vaqueta y se colocó en el vaso de dispersión del agitador por un tiempo de 5 min. Una vez transcurrido este periodo de tiempo, se pasó la muestra con mucho cuidado a una probeta de vidrio de Bouyoucus la cual se complementó con agua destilada hasta los 1000 ml.

Posteriormente, se realizó una agitación manual, seguidamente se introdujo el hidrómetro, haciendo la primera lectura a los 40 segundos para la obtención del material de suspensión y la temperatura; se dejó reposar por dos horas y se hizo la segunda lectura, siguiendo el mismo procedimiento anterior. Con estos datos, se calculó la proporción de arena, limo y arcilla, los cuales se ubicaron en el triángulo textural para definir la textura del suelo.

#### **5.3.2. Características hidrofísicas**

Las características hidrofísicas se las realizó tanto en campo como en laboratorio, a continuación, se describen los procesos correspondientes:

##### **5.3.2.1. Contenido de humedad del suelo**

Se tomó *in situ* una muestra disturbada de 1 k, posteriormente se las secó y tamizó para ser analizadas por el método de centrífuga, en los laboratorios de Agrocalidad en Quito, determinando así la Capacidad de Campo, Puto de Marchitez Permanente y Agua Aprovechable.

##### **5.3.2.2. Conductividad hidráulica**

La determinación de la conductividad hidráulica del suelo se realizaron tres pozos de observación debido a que eran los puntos más críticos de exceso de humedad, se utilizó el método del barreno invertido, tal como se describe en el trabajo de Torres y Urgilez (2013). Este procedimiento consistió en excavar un pozo con la ayuda de un barreno, se llenó de agua hasta el

límite superior del pozo y se hicieron lecturas a intervalos de 2 min, 5 min, 10 min y 15 min hasta que las tres últimas lecturas sean constantes. Además, se programaron lecturas semanales durante un mes para recopilar datos a lo largo del tiempo. El cálculo de la conductividad hidráulica (K) se aplicó la ecuación de Darcy, que se expresa como:

$$K = \frac{r}{2(t_2 - t_1)} * \ln \frac{y_1 + \frac{r}{2}}{y_2 + \frac{r}{2}}$$

La profundidad del nivel freático se obtuvo mediante pruebas de campo, que consistió en excavar hoyos en el suelo con ayuda del barreno hasta encontrar agua, o identificar en el suelo oxidación o reducción del hierro mediante la observación del color del suelo.

Además, se considerarán indicadores adicionales para evaluar las condiciones del suelo como el estado del cultivo de pasto, caracterizado por problemas de color amarillento, esto sirvió también como un indicador de problemas de drenaje.

### **5.3.2.3. Precipitación**

La obtención de datos de precipitación se basó en el método de triangulación, que implicó la utilización de tres estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio. Estas estaciones fueron seleccionadas de manera que encerrarán la zona de interés. Se recopilaron datos disponibles de precipitación desde el año 2004 hasta 2013 de los anuarios meteorológicos del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). Para rellenar los datos faltantes de cada estación, se utilizó el método de dispersión lineal.

El procedimiento consistió en comparar los datos completos de una estación con los datos faltantes de otra estación, mes a mes. Se generó una gráfica con estos datos y se ajustó una línea de tendencia, acompañada de su correspondiente fórmula. Con esta información, se reemplazaron los valores ausentes en los registros.

Para calcular la precipitación media en la zona de estudio, se consideró los datos de precipitación media de las tres estaciones. Estos datos se ingresaron en el programa GIS, y se hizo un procedimiento de análisis mensual para obtener los valores de precipitación media mensual. Esta metodología permitió obtener una representación precisa de los patrones de precipitación de la zona de estudio en el período investigado.

#### **5.3.2.4. Temperatura**

La temperatura se determinó por medio del método de gradiente térmico establecido por (Dodson y Marks, 1997), el cual consistió tomar los datos de la estación de Yantzaza de los años 2004 hasta 2013, debido a que era la estación con información más completa sobre tempera, con ello, se obtuvo por medio de las altitudes los datos de temperatura media mensual de la zona de estudio.

#### **5.3.2.5. Evapotranspiración**

La determinación de la evapotranspiración se realizó empleando el método de Hargreaves, este procedimiento considera las temperaturas máximas, medias y mínimas de la estación base de cada mes, lo que permitió calcular los datos de la radiación solar incidente mensual utilizando formula:

$$R_S = R_O * KT * (T_{max} - T_{min})^{0.5}$$

Una vez que se obtuvieron los datos de incidencia de radiación solar, se aplicó la siguiente fórmula para calcular la evapotranspiración:

$$ET_O = 0.0135(T_{media} + 17.78)R_S$$

Este procedimiento permitió estimar la evapotranspiración por la falta de datos, en función de los datos climáticos de la estación Yantzaza, permitiendo así comprender y cuantificar la pérdida de agua en el área de estudio.

#### **5.3.2.6. Tiempo de drenaje**

La determinación del tiempo de drenaje se basó en una tabla que proporciona información sobre diferentes cultivos y sus respectivos tiempos de drenaje en horas, como se muestra en la Tabla 5, fue elaborada a partir de investigaciones previas, y es una herramienta esencial para el presente estudio, debido a que generó orientación para la comprensión y estimación de los tiempos de drenaje requeridos para el cultivo de pastos en el área de estudio. Según la fuente consultada, Villón (2007), los cultivos se clasifican en tres categorías:

**Hortalizas y cultivos delicados:** Se estimó que requerían un tiempo de drenaje de 6 a 8 horas.

**Cultivos anuales:** Se indicó un rango de tiempo de drenaje de 12 a 24 horas.

**Pastos:** Se consideró que necesitaban un tiempo de drenaje más prolongado, en un rango de 48 a 72 horas.

**Tabla 5.**

*Tiempo de drenaje para diferentes cultivos*

<b>Cultivos</b>	<b>Tiempo de drenaje (horas)</b>
<b>Hortalizas y cultivos delicados</b>	6-8
<b>Cultivos anuales</b>	12-24
<b>Pastos</b>	48-72

Fuente: Villón (2007)

### **5.3.2.7. Lluvia de diseño**

El cálculo de la lluvia de diseño se realizó utilizando el tiempo de retorno (2, 5, 10 años) obtenido en la estación meteorológica "El Pangui". Estos datos se extrajeron del libro de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de emisión proporcionado por el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). Para determinar la lluvia de diseño, se generó una Curva Profundidad-Duración-Frecuencia (PDF), multiplicando los tiempos de retorno, que se presentan en el anexo 15, por el tiempo en horas. A continuación, se derivaron las ecuaciones necesarias para el cálculo de la lluvia de diseño directamente de esta curva, trazando una línea de tendencia y obtener las ecuaciones correspondientes (CONGOPE, 2018).

Finalmente, la lluvia de diseño se calculó sustituyendo el valor del tiempo de drenaje en las ecuaciones. Esta es una herramienta facilita estimar la intensidad de la lluvia que se espera en función de la duración y la frecuencia, que es fundamental para el diseño y la planificación de sistemas de drenaje adecuados.

### **5.3.2.8. Escorrentía**

La estimación de la escorrentía, al igual que la lluvia de diseño, se basó en un cálculo considerando el período de retorno. Este cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S}$$

Donde "P" representa la lluvia de diseño y "S" simboliza la infiltración potencial. La escorrentía es un componente fundamental, ya que proporciona información sobre la cantidad de agua superficial que debe ser gestionada. Este procedimiento nos permitió cuantificar con precisión la escorrentía en función de la lluvia de diseño y la capacidad de infiltración en el área de estudio.

#### **5.3.2.9. Infiltración potencial**

Villón (2007) recomienda que para la determinación de la infiltración potencial utilizar el método del número de curva. Este procedimiento comprendió en obtener el número de curva por medio de la tabla que se presenta en el Anexo 16, se evaluó el al que pertenecían las condiciones hidrológicas del suelo, y se aplicó la siguiente formula:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde "N" representa el número de curva obtenido de la tabla de referencia. La infiltración potencial proporciona información sobre la capacidad del suelo para absorber y retener el agua de las precipitaciones.

#### **5.3.2.10. Escorrentía en periodo de 24 horas**

La estimación de la escorrentía en un período de 24 H se la obtuvo por medio del cálculo de escorrentía y el tiempo de drenaje, este método fue propuesto por Villón (2007), como se indica en la ecuación:

$$E_{24} = \frac{E \times 24}{T_d}$$

Donde "E" representa la escorrentía y "Td" el tiempo de drenaje. Esta metodología permitió obtener estimaciones precisas de la escorrentía en un período de 24 horas para diversos períodos de retorno, brindando la información para la toma de decisiones en la gestión del agua en la zona de interés.

#### **5.3.2.11. Coeficiente de drenaje**

La estimación del coeficiente de drenaje se basó en la aplicación de la metodología propuesta por Stephen y Mills en 1965 (citado por Villón, 2007). Este procedimiento considera

para cada periodo de retorno y así comprender la capacidad del área de estudio para gestionar y drenar el exceso de agua de lluvia. La fórmula empleada en este proceso es la siguiente:

$$C = 4.573 + 0.162 * E_{24}$$

Donde "C" representa el coeficiente de drenaje y "E<sub>24</sub>" es la esorrentía para un período de 24 horas.

#### **5.3.2.12. Caudal de diseño**

El cálculo del caudal de diseño se basó en el análisis detallado de las áreas identificadas en la zona de estudio, lo que implicó considerar el flujo de agua según las curvas de nivel y planificar la disposición de los drenajes. Para determinar el caudal específico de cada área, se empleó la relación de áreas siguiendo la regla 20-40, establecida por Villón (2007). La fórmula utilizada para este cálculo se expresa como:

$$R_A = \frac{A_1}{A_T} * 100$$

Esta relación de áreas permitió identificar el "Caso 1" de la regla 20-40 y desarrollar el estudio utilizando la ecuación de caudales de diseño aplicando la ecuación:

$$Q_d = C * A1^{5/6} + C * A2^{5/6}$$

Este procedimiento se aplicó a los caudales de diseño que involucraban dos áreas distintas. Sin embargo, para calcular los caudales de diseño en general, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q_1 = C * A^{5/6}$$

Estas ecuaciones proporcionarán una base sólida para calcular los caudales de diseño de manera precisa, teniendo en cuenta las áreas y características específicas de la zona de estudio. Esto es fundamental en la planificación y diseño de sistemas de drenaje adecuados para la gestión del agua en el área considerada.

#### **5.4. Metodología para segundo objetivo**

*“Proponer un sistema de drenaje de acuerdo a las características del suelo topografía y cultivos del área de estudio”*

#### ***5.4.1. Levantamiento Topográfico***

Se realizó el levantamiento topográfico del área de estudio, mediante el empleo de una estación total, obteniendo puntos de relieve y accidentes del terreno, los cuales posteriormente se transfirieron a una hoja de cálculo para su organización y procesamiento de la información. Finalmente, se importaron los datos a un software de diseño de ingeniería para continuar con el diseño de drenaje.

#### ***5.4.2. Diseño de los drenes***

Para el proceso de diseño de los drenes superficiales, se siguió el modelo propuesto por Ortega (1997). Para definir la dirección del flujo de agua, se utilizó el plano topográfico posteriormente levantado. La ubicación de los canales de drenaje se trazó siguiendo la pendiente natural del terreno de la zona de estudio. Los canales se diseñaron con una pendiente mínima del 1,5%, de acuerdo con los parámetros propuestos por Villón (2007), para el diseño se manejó un software de diseño de ingeniería.

El diseño de los canales de drenaje se realizó mediante el uso del software Hcanales. Este proceso involucró la asignación de caudales específicos que se recogerían en cada dren, tomando en consideración factores como el ancho de la solera de 0,30 m debido a que existe un caudal de 0,00428 m<sup>3</sup>/s, el talud con una relación de 1,5:1 ya que son canales poco profundos y cuentan con una textura limo arenoso, la rugosidad de 0,025 ya que las condiciones del dren son limpias y la pendiente que se calculó utilizando el software de ingeniería de acuerdo con los rangos que van de 1,5 a 2,5 % en la metodología de Villón (2007). Lo que proporcionó como resultados los detalles para cada uno de los drenes.

## 6. Resultados

### 6.1. Descripción del perfil del suelo

La Tabla 6 indica los resultados obtenidos del perfil del suelo, junto a sus características físicas y morfológicas de los suelos del área de estudio, según las profundidades de los estratos. Dentro de los hallazgos se presentan claramente tres horizontes, las características texturales del suelo van de Franco arenosos hasta arcillosos; existe presencia de actividad biológica, raíces en estado de descomposición en el primer horizonte, presencia de oxidación, el cual es un indicador de que existen secuelas de inundación. Suelos poco profundos con una profundidad de 60 cm, en el cual se encuentra el nivel freático.

**Tabla 6.**  
*Descripción de perfiles del suelo*

Profundidad (cm)	Características físicas y morfológicas	
0-20 cm <b>Ap</b>	Color en húmedo presenta (10 YR 4/3) café, color en seco presenta (10 YR 5/4) café amarillento; sin presencia de manchas; textura Franco Arenoso; bloques subangulares medios y finos moderados; consistencia plástica, ligeramente adherente y friable; poros medios pocos y finos frecuentes, no presenta fragmentos rocosos; carbonatos ligeros y sin reacción al HCl; presencia de raíces medias comunes, finas comunes y muy finas comunes; límite de horizonte neto plano.	
20-35 cm <b>Bt</b>	Color húmedo presenta (10 YR 5/6) café amarillento, color en seco presenta (10 YR 6/6) amarillo pardo; manchas de color	

	(7,5 YR 5/6) café intenso, de tamaño medianos, frecuentes, definidos y nitidez neta; textura Franco Arcillo Arenoso; bloques subangulares, medios y finos moderados; consistencia plástica, adherente y friable; poros medios pocos y finos poco; raíces medias comunes, finas pocas y muy finas pocas.
<b>35-60 cm</b> <b>Bw</b>	Color húmedo presenta (10 YR 5/6) café amarillento, manchas de color (7,5 YR 5/6) café intenso, de tamaño medianos, frecuentes, definidos y nitidez neta; textura Arcillosa; bloques angulares, medios y finos moderados; consistencia muy plástica, muy adherente y friable; poros medios pocos y finos frecuentes; raíces medias pocas, finas pocas y muy finas muy pocas.

## 6.2. Características físicas

La Tabla 7 muestra la textura de cada horizonte dando Franco Arenoso a Franco Arcilla Arenosa, presentan una densidad aparente de 1.23 g/cm<sup>3</sup> y 1,27 g/cm<sup>3</sup> correspondientes a cada estrato.

**Tabla 7.**  
*Características físicas de la zona de estudio*

Descripción	da dr		Saturación (%)	Partículas (%)			Textura
	(g/cm <sup>3</sup> )			Arena	Limo	Arcilla	
<b>H1: Ap</b> <b>0-20 cm</b>	1,23	1.29	55,3	72	20,36	7,64	Franco Arenosa

<b>H2: Bt</b> <b>20-35 cm</b>	1,27	1.66	61,3	48	22,36	29,64	Franco Arcilla Arenosa
----------------------------------	------	------	------	----	-------	-------	------------------------

### 6.3. Características hidrofísicas

#### 6.3.1. Capacidad de Campo, Punto de Marchitez permanente y Agua Aprovechable

Los resultados que se muestran en la Tabla 8 son porcentajes de cada componente hidrofísico, siendo que, los cálculos arrojan que la capacidad de retención del agua en el suelo es para el primer horizonte de 27,98 % y el segundo es de 32,13 %, el agua no aprovechada por las plantas es del 15,20 y 12,17 % para cada horizonte respectivamente y el agua aprovechable es de 12,77 % para el primer estrato y 14,67 % el segundo.

**Tabla 8.**  
*Características hidrofísicas*

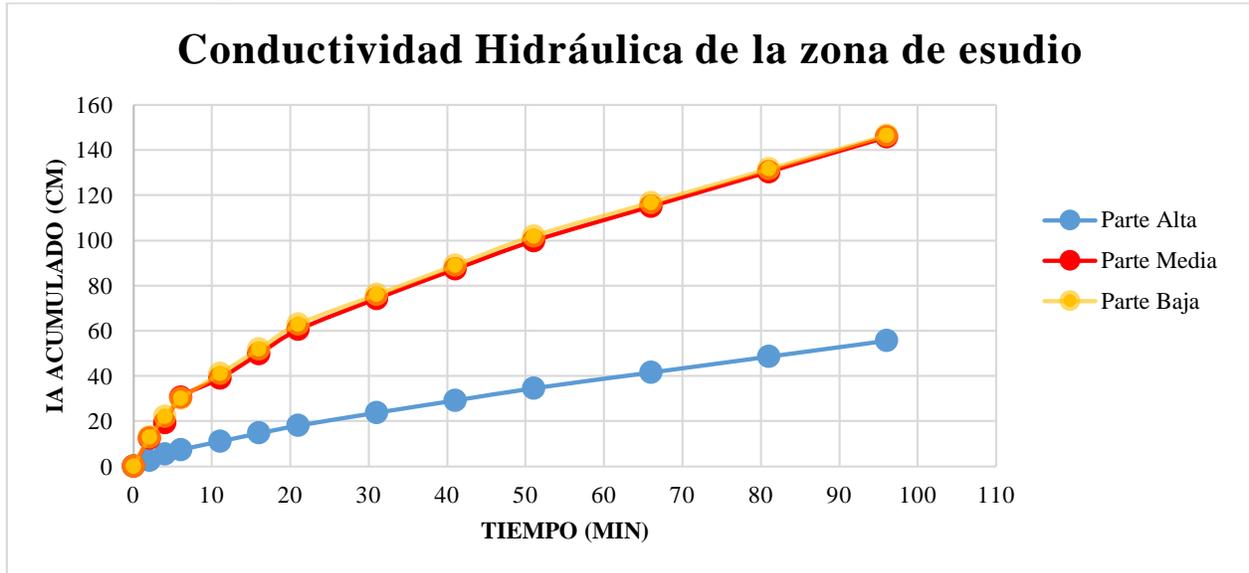
Descripción	CC	P.M.P	AA
	(%)		
<b>H1</b> <b>0-20 cm</b>	27,98	15,20	12,77
<b>H2</b> <b>20-35 cm</b>	32,13	17,45	14,67

#### 6.3.2. Conductividad Hidráulica

Los datos obtenidos en la Figura 6 muestran los datos de infiltración acumulada frente al tiempo, dando un promedio de 3.33 en la parte alta del terreno, esto se considera como una conductividad hidráulica moderada; la parte media 9.67 cm/día, clasificándose como moderadamente rápida y por último la parte baja presenta una conductividad hidráulica de 0.33 cm/día, considerándose como lenta.

**Figura 6.**

*Curva de K de la zona de estudio*



### **6.3.3. Profundidad del nivel freático**

El nivel freático se lo identifico en dos zonas, la parte alta que se la obtuvo por medio de la coloración del suelo, ya que este presentaba manchas de oxidación color naranja rojizo y moteados, se presentó a los 75 cm de profundidad, esto corresponde al tercer horizonte; la parte baja se presentó el nivel freático a los 60 cm, esto se lo obtuvo debido a que se realizó la calicata en temporada de lluvia y se pudo encontrar la lámina de agua.

### **6.3.4. Precipitación**

En la Tabla 9 se presentan la precipitación media mensual, lo cual indica que los meses con mayor precipitación se presentan en los meses de marzo con 244,51 mm y julio con 205,82 mm, mientras que los meses con menor precipitación son en noviembre con 112,44 mm y diciembre con 148.44 mm.

**Tabla 9.**

*Precipitación media mensual de zona de estudio*

Mes	Media mm
Enero	168,19
Febrero	197,88
<b>Marzo</b>	<b>244,51</b>
Abril	205,37

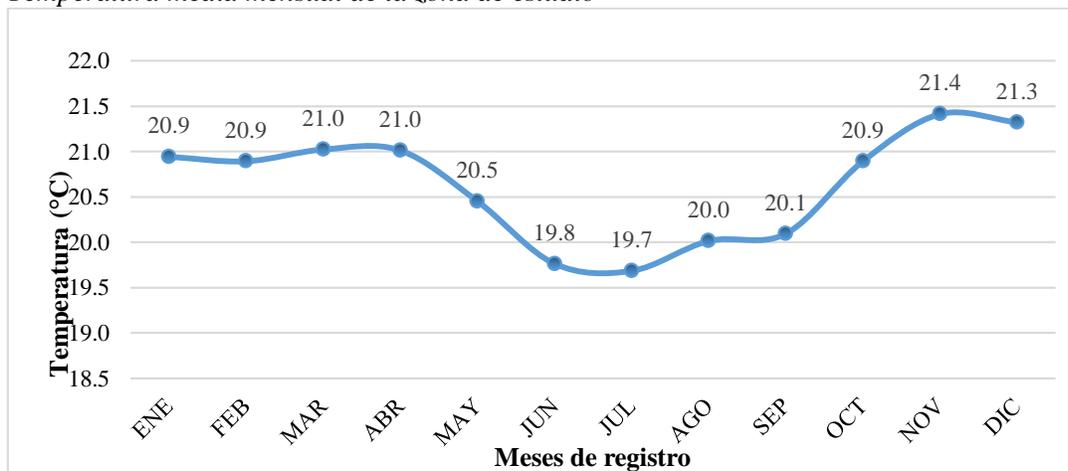
Mayo	201,87
Junio	204,45
<b>Julio</b>	<b>205,82</b>
Agosto	156,20
Septiembre	151,08
Octubre	200,30
Noviembre	112,44
Diciembre	148,44
<b>Promedio</b>	<b>183,05</b>
<b>Anual</b>	<b>2196,5</b>

### 6.3.5. Temperatura

La temperatura media anual de la zona de estudio es de 20,6 °C, sin embargo, los meses más frescos del año va desde junio con 19,8 °C hasta septiembre con 20.1 °C, en donde ya empieza a aumentar la temperatura y a partir del mes de octubre con una temperatura de 20.9 °C hasta mayo con 20.5 °C.

**Figura 7.**

*Temperatura media mensual de la zona de estudio*



### 6.3.6. Evapotranspiración

En la Tabla 13 demuestra que los meses con mayor evapotranspiración son marzo, octubre y noviembre con 4,2 mm/día. Mientras que menor ETo reportan los meses de junio y julio, con 3.1 y 3.2 mm/día respectivamente.

**Tabla 10.***Datos de Evapotranspiración*

<b>MES</b>	<b>ETo (mm/día)</b>	<b>ETo (mm/mes)</b>
<b>Enero</b>	3.73	115,50
<b>Febrero</b>	3.96	110,98
<b>Marzo</b>	4.21	130,65
<b>Abril</b>	3.94	118,11
<b>Mayo</b>	3.51	108,68
<b>Junio</b>	3.12	93,58
<b>Julio</b>	3.23	100,12
<b>Agosto</b>	3.69	114,33
<b>Septiembre</b>	3.93	117,94
<b>Octubre</b>	4.21	130,57
<b>Noviembre</b>	4.25	127,49
<b>Diciembre</b>	4.09	126,91

### **6.3.7. Componentes agronómicos**

#### **6.3.7.1. Tiempo de drenaje**

El tiempo de drenaje según la Tabla 11 se obtuvo el dato de 48 h, este se consideró debido a que en la zona de estudio se encuentra el cultivo de pastos, por ende, se toma el valor establecido por Villón (2007).

**Tabla 11.***Tiempo de drenaje*

<b>Cultivo</b>	<b>Tiempo de drenaje (h)</b>
<b>Pasto</b>	48

Fuente: Villón, 2007

### **6.3.8. Componente hidrológico**

#### **6.3.8.1. Lluvia de diseño**

En la Tabla 12 muestra los datos de lluvia de diseño para cada periodo de retorno, el cual se tomó en cuenta el periodo de retorno de 10 años, dando así una lluvia de diseño de 97.49 mm, esto se hizo para mayor seguridad.

**Tabla 12.**

*Lluvia de diseño por cada periodo de retorno*

<b>Cultivo</b>	<b>Periodo de retorno (años)</b>	<b>Textura del suelo</b>	<b>Tiempo de drenaje Td (h)</b>	<b>Lluvia de diseño P (mm)</b>
<b>Pasto</b>	2	Franco arenoso	48	73,91
<b>Pasto</b>	5	Franco arenoso	48	86,91
<b>Pasto</b>	10	Franco arenoso	48	<b>97,49</b>

### **6.3.8.2. Escorrentía**

En la Tabla 13 presenta los datos de escorrentía, dando una escorrentía de 37.56 mm para un periodo de función de 10 años, es decir, que para un diseño de drenaje se toma un periodo de 10 años para mayor seguridad de la obra.

**Tabla 13.**

*Escorrentía*

<b>Periodo de retorno</b>	<b>Escorrentía (mm)</b>
<b>2</b>	21,63
<b>5</b>	30,13
<b>10</b>	<b>37,56</b>

### **6.3.8.3. Infiltración potencial**

En la Tabla 14 se muestra el dato de la infiltración, es importante ya que brinda información acerca de la capacidad que tiene el suelo para retener las aguas obtenidas por la precipitación, obteniendo así una infiltración potencial de 89,24 mm, esto quiere decir que es el agua que se infiltra por textura del suelo, que sucede después de llover.

**Tabla 14.**

*Infiltración potencial*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
<b>Infiltración Potencial</b>	mm	89,24

#### 6.3.8.4. Escorrentía 24H

La Tabla 15 presenta los tiempos de retorno para la escorrentía, se puede observar cómo va aumentando la escorrentía al pasar los años, es por ello que se tomó la escorrentía de 10 años, dando un valor de 18.78 mm, lo cual se considera como buena para un sistema de drenaje.

**Tabla 15.**  
*Escorrentía 24H*

Periodo de retorno	Escorrentía 24H (mm)
2	10,82
5	15,06
10	18,78

#### 6.3.8.5. Coeficiente de drenaje

En la Tabla 16 revela el coeficiente de drenaje para los diferentes periodos de retorno, sin embargo, para la investigación se trabajó con 10 años, dando así un valor de 7.62 l/s/ha, se determina que es bueno ya que ya a extraer más agua de la estimada.

**Tabla 16.**  
*Coeficiente de drenaje*

Periodo de retorno	Coeficiente de drenaje (l/s/ha)
2	6,33
5	7,01
10	7,62

#### 6.3.8.6. Caudal de diseño y velocidades

En la Tabla 17 se muestran los diferentes caudales del diseño de los drenes, lo cual se determinaron cinco caudales, el Q5 es el que descarga todas las aguas acumuladas de cada dren y cuenta con un caudal de 4,28 l/s, siendo la descarga de todo el terreno; con los caudales ya determinados se pudo calcular las velocidades, sabiendo que están dentro de los rangos establecidos que van de 0.30 hasta 0.90 m/s, y se consideran para el buen funcionamiento de los drenes. Mientras que en la Figura 8, representa el diseño del trazado de los drenes para su establecimiento.

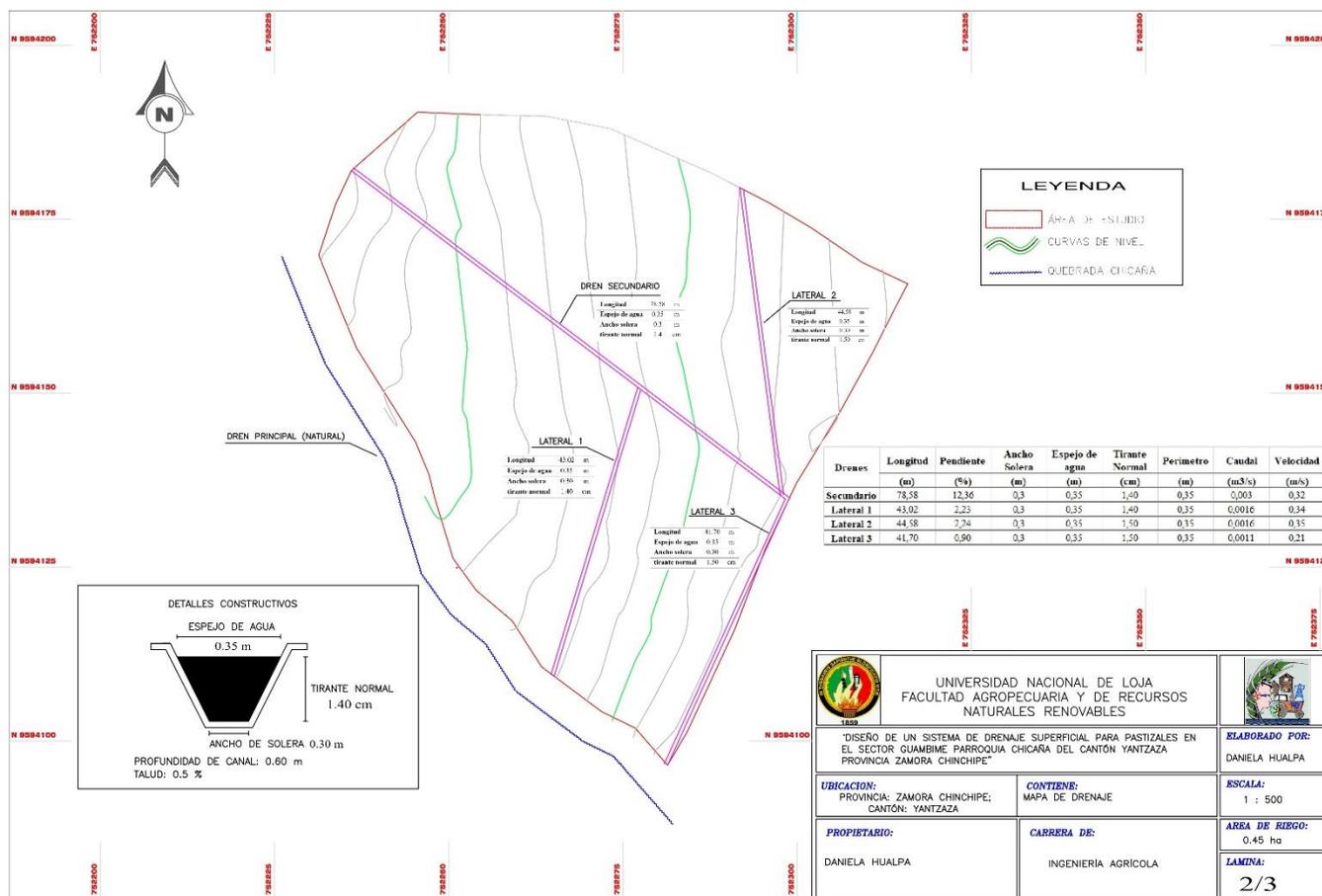
**Tabla 17.**

*Caudal de diseño*

No	Caudal (l/s)	Dren	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidades (m/s)
Q1	1,57	Lateral 1	0,0016	0.34
Q2	1,64	Lateral 2	0,0016	0.35
Q3	3,2	Secundario	0,003	0.32
Q4	1,08	Lateral 3	0,0011	0.21
Q5	4,28	Principal	0,0043	0.35

**Figura 8.**

*Diseño de los drenes*



### 6.3.8.7. Diseño de drenaje

La tabla 18 muestra las dimensiones de los drenes laterales y secundario, dando que el ancho de la solera es de 0.3 m, un tirante normal de 0.014 m aproximadamente para todos los drenes, el perímetro es de 0.35 m.

**Tabla 18.**  
*Dimensiones del sistema de drenaje*

<b>Drenes</b>	<b>Longitud</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Ancho</b>	<b>Espejo de</b>	<b>Tirante</b>	<b>Perímetro</b>
	<b>(m)</b>	<b>(%)</b>	<b>Solera</b> <b>(m)</b>	<b>agua</b> <b>(m)</b>	<b>Normal</b> <b>(cm)</b>	<b>(m)</b>
<b>Secundario</b>	78,58	12,36	0.3	0.35	0,013	0,35
<b>Lateral 1</b>	43,02	2,23	0.3	0.35	0,014	0,35
<b>Lateral 2</b>	44,58	2,24	0.3	0.35	0,015	0,35
<b>Lateral 3</b>	41,7	0,9	0.3	0.35	0,015	0,35

## 7. Discusión

*“Identificar las características hidrológicas y físicas del suelo con fines de drenaje para el área de estudio”*

### 7.1. Perfiles del suelo

En los perfiles de suelo de la zona de estudio, se observó una actividad biológica significativa, destacada por la presencia de lombrices. El primer perfil presenta una coloración oscura con escasas manchas grises y rojizas, mientras que el segundo y tercer perfil revelan manchas anaranjadas, rojas y grises, indicando claramente la presencia de anegamiento en la capa superficial del suelo. Este fenómeno se vincula estrechamente con el grado de aireación, ya que las manchas grises señalan suelos anegados y carentes de oxigenación (Valdivia et al., 2019). Además, los indicios de manchas rojizas o anaranjadas, según la FAO (2009), indican procesos de oxidación en el suelo. Estas observaciones son decisivas para comprender el estado del suelo en la zona de estudio, y dan la orientación para el diseño del sistema de drenaje superficial destinado a mejorar las condiciones de aireación y evitar problemas asociados con el anegamiento del suelo, esto es corroborado por el Gobierno Autónomo Descentralizado provincial de Zamora Chinchipe (2016) ya que expresa que en provincia existe problemas de drenaje, es por ello que no han logrado incrementar la producción y productividad de esta zona.

### 7.2. Cultivo

En la parroquia de Chicaña existen extensas áreas de cultivos de pastos, cubriendo una superficie de aproximadamente 4998,82 ha según el PDOT *de la parroquia Chicaña* (2014), esto refleja la importancia de la ganadería del sector, donde la población se dedica principalmente a la cría de ganado. Sin embargo, al abordar el diseño del sistema de drenaje superficial es esencial considerar el cultivo de pasto como un factor clave para el establecimiento del drenaje, además, el pisoteo del ganado que llega a generar compactación de suelos por exceso de agua. La adecuada gestión del agua en el suelo es crucial para evitar problemas de encharcamiento que podrían afectar negativamente a la sanidad del cultivo.

Un aspecto crítico a considerar en este contexto es la profundidad de las raíces, ya que su desarrollo óptimo es fundamental para el bienestar del cultivo. El estudio *in situ* reveló que, en los dos últimos horizontes del suelo, las raíces son escasas, a pesar que llegan a una profundidad de 0,6 m. Esta situación puede tener implicaciones significativas, dado que, según Ortegón (2004),

los cultivos de pastos en condiciones óptimas de humedad del suelo deberían tener raíces que penetre hasta una profundidad media de 0,6 m. La discrepancia entre la profundidad real y la esperada destaca la importancia de implementar un sistema de drenaje efectivo para mejorar las condiciones de humedad y garantizar un desarrollo saludable de las raíces en el área de estudio.

### **7.3. Características físicas**

La textura del suelo en el área de estudio revela características franco arenosas en el primer horizonte, mientras que el segundo presenta una textura franca arcillo arenosa, al igual que Curipuma (2012), indica que en suelos de Yantzaza tienen una clase textural de franco arenosa y franco arcilla arenosa; al tener esta textura en la zona de estudio se dio un resultado de  $1,23 \text{ g/cm}^3$  de densidad aparente para el primer horizonte y de  $1,27 \text{ g/cm}^3$  para el segundo, siendo que Pritchett, (1990) menciona que los suelos francos tienen una densidad de 1,3 a  $1,4 \text{ g/cm}^3$ ; sin embargo Peñafiel (2016) expresa que los suelos vírgenes o no cultivados varía entre 1,0 y  $1,6 \text{ g/cm}^3$ , y en los suelos francos arcillosos pueden ser de  $1,1 \text{ g/cm}^3$

### **7.4. Características hidrofísicas**

#### ***7.4.1. Capacidad de campo***

La capacidad de campo (CC), que representa contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente, es un factor decisivo para el rendimiento agrícola. En este estudio, se determinó que la capacidad de campo para el primer horizonte es del 27,98 %, mientras que para el segundo horizonte alcanza un valor del 30,13 %. Estos resultados, de acuerdo con la textura del suelo, se consideran aceptables para el desarrollo óptimo de las raíces. Según Ortegón (2004), los porcentajes ideales para la capacidad de campo en suelos franco-arenosos oscilan entre el 15% y el 30%. Esta observación sugiere condiciones favorables para el crecimiento de las raíces en el área de estudio. La capacidad de campo adecuada es un indicador positivo para el éxito del cultivo, respaldando la importancia de considerar factores como la textura del suelo al diseñar estrategias de drenaje superficial.

#### ***7.4.2. Punto de Marchitez permanente***

Según FAO (2009), el PMP representa el agua no disponible para el cultivo, lo que significa que el cultivo se encuentra permanentemente marchito. En este estudio se establece un valor de

15,20 % para el primer horizonte y de 17,45 % para el segundo horizonte del suelo en el área de estudio. Comparando estos valores con las referencias proporcionadas por Datta et al (2017), se observa que para suelos con textura franco-arenosa y franco-arenosa arcillosa, se tiene valores que son de 9% y 16%, respectivamente. Estos resultados indican que en la zona de estudio existe capacidad de retención de agua, ya que Cherlinka (2022) presenta que el PMP está estrechamente relacionado con el tipo de suelo, en suelos con texturas arcillosas los valores oscilan el 15 al 20 % y estos van reduciendo a medida que las partículas del suelo son más finas, debido a que estas tienen mayor retención de agua.

#### ***7.4.3. Conductividad hidráulica***

La evaluación de la conductividad hidráulica del suelo mediante tres pozos de observación reveló variaciones significativas en la zona de estudio. En la parte baja, se registró un valor de 0,08 m/día, indicativo de una permeabilidad lenta. Por otro lado, la parte media mostró una permeabilidad moderadamente rápida, con un valor de 2,31 m/día, mientras que la parte alta exhibió una permeabilidad moderada, registrando 0,80 m/día. Estos resultados, interpretados a través de la Tabla 4 establecida por Villón (2007), ofrecen una visión detallada de las propiedades hidráulicas del suelo en diferentes altitudes de la zona de estudio.

Resulta interesante observar que los datos obtenidos en la investigación guardan similitudes con un estudio realizado por Peñafiel (2016) en la provincia de Zamora. Este estudio, que utilizó el método del barreno invertido, presenta datos comparables, respaldando la consistencia de los resultados obtenidos en la investigación actual. La similitud de los datos sugiere que los componentes físicos del suelo ejercen una influencia significativa en la conductividad hidráulica. Estos hallazgos respaldan la importancia de considerar la variabilidad del suelo al diseñar un sistema de drenaje superficial, ya que la topografía de los suelos genera comportamientos hidráulicos distintos.

#### ***7.4.4. Nivel Freático***

La determinación del nivel freático, es necesario para comprender la hidrología local, se abordó de manera singular en el diseño del sistema de drenaje para los pastizales en el sector Guambime. A diferencia de la metodología convencional que emplea varios pozos de observación, aquí se optó por una aproximación más directa mediante la elaboración de una calicata. Utilizando este procedimiento se encontró a una profundidad de 0,60 m, la presencia de considerable agua,

identificado como la napa freática. Este procedimiento se alinea con la propuesta de López (2018), quien sugiere que la detección de agua a cierta profundidad puede considerarse un indicador confiable del nivel freático; además SENAGUA (2016) expresa que en la provincia de Zamora existen suelos con un nivel freático profundo y superficiales, es decir, que existen suelos con un nivel freático menos a un metro.

Es relevante destacar que la altura del nivel freático no solo está determinada por la presencia de agua en el subsuelo, sino que diversos factores como la topografía, la geología y el clima ejercen una influencia significativa en su variación. En este contexto, la elección de una metodología adaptada a las condiciones específicas de la zona de estudio permitió una caracterización más precisa del nivel freático. Este conocimiento profundo contribuirá a la implementación de un sistema de drenaje eficaz, adaptado a las particularidades hidrológicas del sector Guambime en la parroquia Chicaña.

#### ***7.4.5. Precipitación/Evapotranspiración***

La relación entre la precipitación y la evapotranspiración tienen una función decisiva en la gestión del drenaje, ya que determina la presencia de excesos de agua en el suelo. En el presente estudio, se observó una consistente superioridad en los valores de precipitación durante todos los meses. En donde la precipitación media anual es de 183,05 mm y la evapotranspiración media anual de 116,24 mm, esto se corrobora con Curipuma (2012) ya que al igual que el estudio realizado por el autor los datos de precipitación son mayores que los de evapotranspiración. Este desequilibrio entre precipitación y evapotranspiración se destaca la necesidad de implementar un sistema de drenaje que permita evacuar eficientemente los excesos de agua presentes en el suelo.

La decisión de aplicar un sistema de drenaje se respalda en la afirmación de CONGOPE (2018), que señala las condiciones particulares de la Amazonía ecuatoriana, caracterizada por una precipitación significativamente mayor que la evapotranspiración. Además, la topografía desfavorable de la región subraya la importancia crucial de un diseño de sistema de drenaje efectivo. Estos resultados resaltan la relevancia de abordar las condiciones climáticas y topográficas específicas de la zona de estudio al implementar estrategias para el drenaje, garantizando así un manejo adecuado de los excesos de agua en el suelo y favoreciendo un óptimo desarrollo de los pastizales.

*“Proponer un sistema de drenaje de acuerdo a las características del suelo, topografía y cultivos del área de estudio”*

### **7.5. Diseño de un sistema de drenaje**

El proceso de diseño del sistema de drenaje comenzó con la ubicación de los drenes, guiada por la topografía del terreno y el análisis del movimiento del agua en función de la pendiente. En concordancia con las características de los suelos de la zona de estudio, se implementaron zanjas colectoras parcelarias (laterales), una secundaria y se aprovechó de un drena natural existente que funcionara como componente principal del sistema. Se optó por zanjas abiertas con pendientes de 2,23 %, 2,24 %, y 0,9 %. Las dos primeras pendientes fueron diseñadas conforme a límites establecidos en el anexo 21, mientras que la tercera es natural y representa el límite del terreno. Siguiendo la sugerencia de Torres (2014), se utilizó un diseño tipo espina de pescado en pendientes leves a moderadas para que el flujo del agua se mueva y hacer una posición estratégica de los drenes colectores.

En cuanto a la lluvia de diseño, se tomó como referencia los periodos de retorno de la estación "El Pangui", cercana a la zona de estudio, para calcular ecuaciones específicas mediante la curva Profundidad-Duración-Frecuencia (PDF). Con un periodo de retorno de 10 años, la lluvia de diseño se estimó en 97,46 mm, buscando así maximizar la seguridad de la obra, como sugiere Gavilánez (2021). Este enfoque, respaldado por SAGARPA (2020), resalta la importancia de considerar la estación más cercana para obtener datos precisos en el diseño de drenaje.

La determinación del coeficiente de drenaje también se estableció en función del periodo de retorno de 10 años, obteniendo un valor de 7,62 l/s/ha mediante la ecuación de Stephen y Mills. Este valor, según Ortega (2018), está influenciado por la precipitación media anual y las condiciones de drenaje.

El caudal de diseño se estructuró considerando el área de cobertura de cada dren colector, obteniendo cinco caudales específicos. El dren secundario, abarcando el 61,60 % del área de estudio, con una velocidad de 0,34 m/s, valores que están dentro de los rangos permisibles propuestos por Villón (2007), quien manifiesta que las velocidades mayores a los 0,6 m/s crean dificultades al funcionamiento de las estructuras que tenga el dren, las velocidades menores a 0,30 m/s se consideran muy bajas. En cambio, demandan mayores gastos debido a que disminuye la

capacidad de conducción y SAGARPA (2020) manifiesta que para evitar el deslave en las paredes de las zanjas abiertas se debe considerar una velocidad máxima de 0,58 m/s para suelos franco arenosos y una velocidad mínima debe ser mayor a 0,25 m/s. Estos parámetros garantizan un adecuado funcionamiento del sistema, evitando problemas de sedimentación o deslave. La atención a estos detalles, desde la ubicación de los drenes hasta la consideración de las características de los suelos y las condiciones del clima, respaldan al diseño y la eficacia del sistema de drenaje para el cultivo de pastizales del sector Guambime de la parroquia Chicaña.

## 8. Conclusiones

La topografía fue un factor importante para el diseño de drenaje, ya que, se evaluó las pendientes y desniveles existentes en la zona de estudio. Asimismo, se determinó el cultivo para el diseño, debido a que influye en el desarrollo de los canales de evacuación de agua, además de que las raíces del cultivo de pasto son sensibles al anegamiento, presentando así un pasto débil y amarillento.

El estudio de las características físicas del suelo brindaron información acerca de la textura y estructura de la misma, se observó manchas rojizas, la cual indicaron presencia de agua en el suelo; además, se encontró el nivel freático a los 0.6 m

Se realizó un sistema de drenaje superficial para la eliminación del exceso de agua presente en el suelo, causadas por las intensas lluvias y la baja evapotranspiración existentes *in situ*, dando así, como logrado los objetivos planteados por el proyecto de estudio, siendo una alternativa para el aprovechamiento de las tierras agrícolas.

## **9. Recomendaciones**

Para optimizar el beneficio del drenaje superficial a implementar en Guambime, parroquia Chicaña, se proponen una serie de recomendaciones fundamentales:

Se sugiere buscar asesoramiento técnico especializado para el uso y aprovechamiento eficiente del suelo. Este enfoque implica llevar a cabo un exhaustivo estudio de drenaje, permitiendo una comprensión más precisa de las necesidades específicas de la zona y proporcionando las bases necesarias para un manejo del suelo acorde con las características locales.

Es importante explorar y aplicar diversas teorías y métodos en la resolución de problemas que puedan surgir durante el desarrollo del proyecto. La versatilidad en la selección de enfoques garantizará respuestas efectivas y adaptadas a la diversidad de desafíos que puedan presentarse, consolidando así la eficacia del sistema de drenaje.

Se recomienda la utilización de datos provenientes de estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio. La obtención de información precisa sobre las condiciones climáticas locales es esencial para el diseño y la operación efectiva del sistema de drenaje, garantizando la fidelidad de los datos y, por ende, una planificación más precisa.

Para lo que es el movimiento del agua en el suelo se recomienda la utilización de pozos de observación que cubra toda el área a estudiar.

Por último, es necesario enfatizar la importancia de llevar a cabo labores de limpieza periódicas en los canales del sistema de drenaje. Este mantenimiento regular contribuirá a prevenir la acumulación de sedimentos y posibles obstrucciones, asegurando así un funcionamiento continuo y eficiente del sistema a lo largo del tiempo.

Al implementar estas recomendaciones de manera integral, se fortalecerá la efectividad y la durabilidad del sistema de drenaje, consolidando su contribución al manejo hídrico sostenible y al desarrollo agrícola en el sector Guambime de la parroquia Chicaña.

## 10. Bibliografía

- Aguirre Contreras, E. J. (2009). PARAMETROS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN LOS CAMPOS JUAN PABLO II Y PABLO VI, EN LA ADMINISTRACION VERACRUZ - EMPRESA CASA GRANDE S.A.A. [Universidad Nacional de Trujillo].  
file:///C:/Users/Usuario/AppData/Local/Temp/Aguirre%20Contreras%20Elar%20Javier.pdf
- Arias, D., Rodríguez, M., Pérez, Á., & Gómez, P. (2023). Diseño del sistema de drenaje y control de inundaciones de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Técnica de Babahoyo [Text.Chapter]. Portal de Libros Universidad Técnica de Babahoyo.  
<https://libros.utb.edu.ec/index.php/utb/catalog/view/111/77/285>
- Blanquer, G., Manuel, J., Asensio, I., & Ramón, M. (2010). LA TEXTURA DE UN SUELO. 8.
- Castillo, C. (2005). SELECCIÓN Y CALIBRACIÓN DE INDICADORES LOCALES Y TÉCNICO PARA EVALUAR LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS LADERAS, EN LA MICROCUENCA CUSCAMÁ EL TUMA - LA DALIA MATAGALPA, 2005 [Universidad Nacional Agraria]. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp35c352.pdf>
- Consortio de Gobiernos Autónomos Provincias del Ecuador. (2018). Manual técnico para el diseño de sistemas de drenaje en suelos agrícolas del Ecuador. CNC.  
<http://www2.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/12-MANUAL-TE%CC%81CNICO-PARA-EL-DISEN%CC%83O-DE-SISTEMAS-DE-DRENAJE-EN-SUELOS-AGRI%CC%81COLAS-DEL-ECUADOR-1.pdf>
- Coras-Merino, P. M. (2006). MODELO MATEMÁTICO PARA ESTIMAR EL ESPACIAMIENTO ENTRE DRENES SUBTERRÁNEOS EN RÉGIMEN TRANSITORIO. 24, 9.

- Cuchillo, O. (2015). SISTEMA DE DRENAJE. CivilGeeks.com.  
<https://civilgeeks.com/2015/05/26/sistema-de-drenaje/>
- FAO. (2009). GUÍA PARA LA DESCRIPCIÓN DE SUELOS.  
<https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- FAO. (2017, diciembre 5). Apreciar el suelo sobre el que caminamos. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1071075/>
- Flores, L. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos (p. 56). Universidad Nacional Autónoma de México.  
<https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>
- Forero, J. A. (2000). Conductividad hidráulica para drenaje de campos agrícolas. Univ. Nacional de Colombia.  
[https://books.google.com.ec/books?id=aa5nDyr5UR4C&printsec=frontcover&dq=Conductividad+hidraulica+en+suelos&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Conductividad%20hidraulica%20en%20suelos&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=aa5nDyr5UR4C&printsec=frontcover&dq=Conductividad+hidraulica+en+suelos&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Conductividad%20hidraulica%20en%20suelos&f=false)
- Galarza, A. (2014). Plan estratégico de desarrollo turístico sostenible de la parroquia Chicaña del cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe. [Universidad Técnica Particular de Loja].  
[https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/10703/1/Galarza\\_Guerrero\\_Andres\\_Xavier.pdf](https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/10703/1/Galarza_Guerrero_Andres_Xavier.pdf)
- Gavilánez Luna, F. C. (2021). EL DRENAJE AGRÍCOLA Y SUS ELEMENTOS DE DISEÑO (1.<sup>a</sup> ed.). MAWIL. <https://mawil.us/wp-content/plugins/pdfjs-viewer-shortcode/pdfjs/web/viewer.php?file=/wp-content/uploads/2021/03/el-drenaje->

agricola.pdf&dButton=true&pButton=true&oButton=false&sButton=true#zoom=auto&pagemode=none

Gobierno Autónomo Descentralizado provincial de Zamora Chinchipe. (2016). Construcción del sistema de drenaje superficial en terrenos potencialmente productivos, afectados por exceso de saturación de agua, para incorporarlos a la producción agropecuaria provincial en la parroquia Chicaña, cantón Yanzatza.

González-Zamora, Á., Martínez-Fernández, J., Sanchez, N., & Pablos, M. (2017). Estimación del agua disponible para las plantas en la zona radicular: Aproximación a partir de estadísticos de las series de humedad del suelo SMOS (p. 551).

Ingaramo, O., Paz, J., Mirás, J., & Vidal, E. (2007). Caracterización de las propiedades generales del suelo en una parcela experimental con distintos sistemas de laboreo. CAD. LAB. XEOL. LAXE, 32, 11.

Jiménez, A. S., & Khalajabadi, S. S. (2005). LA DENSIDAD APARENTE Y SU RELACIÓN CON OTRAS PROPIEDADES EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA. 17.

Llerena, F. A. (2015). Drenaje Superficial en Terrenos Agrícolas. 15.

Mariño, Y. A., Rodríguez, M. A., & Ramírez, C. (2006). POTENCIALES DE PLANTACIÓN. [Pontificia Universidad Javerina].  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8947/tesis93.pdf?sequen>

Norambuena, P., Luzio L., W., & Vera E, W. (2002). Comparación entre los métodos de la pipeta y bouyoucos y su relación con la retención de agua en ocho suelos de la zona altiplánica de la provincia de parinacota, chile. Agricultura Técnica, 62(1), 150-157.  
<https://doi.org/10.4067/S0365-28072002000100015>

Ortega, L. (2018). DISEÑO DRENAJE SUPERFICIAL. 48.

- Ortega, L., & Sagado, L. (2001). DRENAJE DE SUELOS AGRICOLAS. 74.
- Ortegón, A. (2004). Metodología para la realización de estudios de drenaje a nivel predial. Palmas, 25, 11.
- Osorio, M. A., Haro, J. P., Carrillo-Barahona, W. E., & Negrete, J. H. (2022). Suelos: Caracterización e importancia. Puerto Madero. <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-01-18-140934-L2022-031.pdf>
- Peñañiel, P. (2016). “EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CARBÓN VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES MINERALES SOBRE LAS CONDICIONES FÍSICAS DEL SUELO; EN UNA ÁREA REFORESTADA CON MELINA (Gmelina arborea), EN LA PARROQUIA PANGUINTZA, CANTÓN CENTINELA DEL CÓNDOR, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17756/1/PABLO%20ANDR%C3%89S%20PE%C3%91AFIEL%20JUMBO.pdf>
- PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA CHICAÑA. (2014). 241.
- Pritchett, W. (1990). Suelos Forestales: Propiedades, Conservación y Mejoramiento.
- Román, F., Bleuze, S., Juan, G., Doornbos, B., Mosquera, T., Rivera, H., Naranjo, V., Bernal, F., Cedeño, Y., Nogales, N., Sánchez, O., León, J., Silva, J., Jaramillo, D., Carrión, P., & Quilambaqui, M. (2011). PLAN NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE 2011-2026. zappza
- Romaña García, J. F. (2014). Los Límites de la Ley de Darcy [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/51282/200722150.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, Á. L., Herrera, M., Recarey, C., López, E., & González, O. (2010). Determinación del desgaste de los aperos de labranzas de suelo en condiciones de campo. 19(4).

Silva, P., Silva, H., Garrido, M., & Acevedo, E. (2015). MANUAL DE ESTUDIO Y EJERCICIOS RELACIONADOS CON EL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO Y SU USO POR LOS CULTIVOS. 86.

Soubannier, J. S. L. (1985). Riego Y Drenaje. EUNED.

Thompson, L. M. (1982). Los suelos y su fertilidad. Reverte.  
<https://books.google.com.ec/books?id=VpIUEAAAQBAJ&pg=PA23&dq=textura+del+suelo&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjs-pP14ov1AhUDRzABHUOHBFQQ6AF6BAgHEAI#v=onepage&q=textura%20del%20suelo&f=false>

Torres, J. (2014). Principios básicos para identificar problemas de drenaje en el cultivo de la palma.  
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi878bU6Yb1AhWpSTABHWCYAP0QFnoECA0QAw&url=https%3A%2F%2Fpublicaciones.fedepalma.org%2Findex.php%2Fboletines%2Farticle%2Fdownload%2F10966%2F10953%2F&usg=AOvVaw1UMK3cTGL7rlGAB8cZzv61>

Valdivia, R., Pilarte, F., & Espinoza, A. (2019). Evaluación Visual de Suelos (Primera). Catholic Relief Services. [https://asa.crs.org/wp-content/uploads/2020/05/Instructivo-2-Evaluacio%CC%81n-Visual-de-Suelos\\_c.pdf](https://asa.crs.org/wp-content/uploads/2020/05/Instructivo-2-Evaluacio%CC%81n-Visual-de-Suelos_c.pdf)

Villaseñor Ortiz, D. (2016). Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo (1era edición).  
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10690/1/FUNDAMENTOS%20Y%20PROCEDIMIENTOS.pdf>

Villón, M. (2007). Drenaje. Editorial Tecnológica de CR.

Zapatta, A., Ramos, A., Rodríguez, G., Valdivieso, S., Calero, J. J., Zapata, E., Acuña, J., Arteaga, M., Espinel, F., Galarza, J., Urresta, V., Cárdenas, E., Ocaña, J., Haro, G., & Argüello, A. (2019). PLAN NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE 2019—2027. 160.

## 11. Anexos

### Anexo 1.

*Elaboración de calicata*



### Anexo 2.

*Perfiles del suelo in situ*



**Anexo 3.**  
*Identificación de los perfiles*



**Anexo 4.**  
*Medición de horizontes*



**Anexo 5.**  
*Muestras saturadas para Da*



**Anexo 6.**  
*Muestras en estufa para Da*



**Anexo 7.**  
*Análisis de textura*



**Anexo 8.**  
*Análisis de suelo de CC, PMP y AA para primer horizonte*

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	<b>PGT/SFA/09-F001</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Rev. 5</b>  <b>Hoja 1 de 1</b>

Informe N°: LN-SPA-223-1427  
 Fecha emisión Informe: 13/16/2023

**DATOS DEL CLIENTE**

**Persona o Empresa solicitante<sup>1</sup>:** Daniela Geovanna Hualpa Jaen  
**Dirección<sup>1</sup>:** Ciudad Alegría **Teléfono<sup>1</sup>:** 0967865186  
**Provincia<sup>1</sup>:** Zamora Chinchipe **Cantón<sup>1</sup>:** Yantzaza **Correo Electrónico<sup>1</sup>:** daniela.gualpa@unl.edu.ec  
**N° Orden de Trabajo:** 11-2023-123  
**N° Factura/Documento:** 012-001-1734

**DATOS DE LA MUESTRA:**

<b>Tipo de muestra<sup>1</sup>:</b> Suelo	<b>Conservación de la muestra:</b> Lugar fresco y seco	
<b>Cultivo<sup>1</sup>:</b> ----		
<b>Provincia<sup>1</sup>:</b> Zamora Chinchipe	<b>Coordenadas<sup>1</sup>:</b>	<b>X:</b> 9594132,71
<b>Cantón<sup>1</sup>:</b> Yantzaza		<b>Y:</b> 752271,173
<b>Parroquia<sup>1</sup>:</b> Chicaña		<b>Altitud:</b> 1252,33
<b>Muestreado por<sup>1</sup>:</b> Daniela Hualpa		
<b>Fecha de muestreo<sup>1</sup>:</b> 24-03-2023	<b>Fecha de inicio de análisis:</b> 31-05-2023	
<b>Fecha de recepción de la muestra:</b> 31-05-2023	<b>Fecha de finalización de análisis:</b> 13-06-2023	

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS**

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA <sup>1</sup>	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-23-1493	Horizonte 2	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	29,31
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	27,98
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	15,20
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	12,77

**Analizado por:** Edison Vega, Paulina LLive, Katty Pastás

**Observaciones:**

- Informe revisado por: Katty Pastás
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.



**Quim. Katty Pastás**  
**Analista de Suelos, Foliar y Aguas 3**  
**Responsable Técnico del Laboratorio de Suelos, Foliar y Aguas**

**Note:** El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

<sup>1</sup> Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

## Anexo 9.

### Análisis de suelo de CC, PMP y AA para el segundo horizonte

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14M y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02 3828860 Ext. 2080	<b>PGT/SFA/09-FO01</b>
		<b>Rev. 5</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Hoja 1 de 1</b>

Informe N°: IAF-SFA-023-1426  
 Fecha emisión Informe: 13/06/2023

#### DATOS DEL CLIENTE

**Persona o Empresa solicitante<sup>1</sup>:** Daniela Geovanna Hualpa Jaen  
**Dirección<sup>1</sup>:** Ciudad Alegría **Teléfono<sup>1</sup>:** 0967865186  
**Correo Electrónico<sup>1</sup>:** daniela.gualpa@uni.edu.ec  
**Provincia<sup>1</sup>:** Zamora Chinchipe **Cantón<sup>1</sup>:** Yantzaza **N° Orden de Trabajo:** 11-2023-123  
**N° Factura/Documento:** 012-001-1794

#### DATOS DE LA MUESTRA:

<b>Tipo de muestra<sup>1</sup>:</b> Suelo	<b>Conservación de la muestra:</b> Lugar fresco y seco	
<b>Cultivo<sup>1</sup>:</b> ---		
<b>Provincia<sup>1</sup>:</b> Zamora Chinchipe	<b>Coordenadas<sup>1</sup>:</b>	<b>X:</b> 9594132,71
<b>Cantón<sup>1</sup>:</b> Yantzaza		<b>Y:</b> 752271,179
<b>Parroquia<sup>1</sup>:</b> Chicafra		<b>Altitud:</b> 1252,39
<b>Muestreado por<sup>1</sup>:</b> Daniela Hualpa		
<b>Fecha de muestreo<sup>1</sup>:</b> 24-09-2023	<b>Fecha de inicio de análisis:</b> 31-05-2023	
<b>Fecha de recepción de la muestra:</b> 31-05-2023	<b>Fecha de finalización de análisis:</b> 13-06-2023	

#### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA <sup>1</sup>	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-23-1492	Horizonte 1	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	34,12
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	32,13
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	17,46
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	14,67

Analizado por: Edison Vega, Paulina Llave, Katty Pastás

#### Observaciones:

- Informe revisado por: Katty Pastás
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.



Quím. Katty Pastás  
 Analista de Suelos, Foliar y Aguas 3  
 Responsable Técnico del Laboratorio de  
 Suelos, Foliar y Aguas

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.  
 Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

<sup>1</sup> Datos suministrados por el cliente; el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

**Anexo 10.**  
*Elaboración de pozos para k*



**Anexo 11.**  
*Datos de los pozos*

PARTE BAJA	Tiempo en minutos				Infiltración en cm				
	LECTURA	Hora	Diferencia	Acumulado	Nivel	Relleno	Diferencia	ia Acumulado	Conductividad
0	9:00	0	0	77					
1	9:02	2	2	76		1	1	0.031	
2	9:04	2	4	75.6		0.4	1.4	0.012	
3	9:06	2	6	75.1		0.5	1.9	0.016	
4	9:08	5	11	74.9		0.2	2.1	0.003	
5	9:13	5	16	74.9		0	2.1	0.000	
6	9:18	5	21	74.5		0.4	2.5	0.005	
7	9:24	10	31	73.3		1.2	3.7	0.008	
8	9:34	10	41	73.2		0.1	3.8	0.001	
9	9:44	10	51	73.2		0	3.8	0.000	
10	9:54	15	66	72.7		0.5	4.3	0.002	
11	10:09	15	81	72.7		0	4.3	0.000	
12	10:24	15	96	72.7		0	4.3	0.000	
								<b>0.0864</b>	

## Anexo 12.

### Datos de las estaciones

#### PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)

Estación: <b>EL PANGUI</b>														Latitud: 758 218.58	
Código: H1582														Longitud: 3364 512.8	
Institución: INAMHI														Altitud: 828 msnm	
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA	
2004	74.9	79.3	185.9	175	159.8	148	163.5	94.2	118	152.2	188.1	125.3	1670.2	139.18	
2005	44.6	165.5	126	265	152.4	164.9	159.3	42.9	93.8	147.05	83.8	171.8	1617.05	134.75	
2006	147.9	158.2	166	166.8	101.4	222.3	155.3	89.8	86.4	65.7	116.7	239.4	1715.9	142.99	
2007	176	55.7	216	335.1	230.9	282.6	142.7	188.3	100.4	262.7	193.4	112.8	2296.6	191.38	
2008	132.8	120.7	145.7	159	198.4	205.7	198.2	82	239.2	196.3	264.2	122.6	2064.8	172.07	
2009	190.7	138.56	145.8	225.2	143.2	140.4	228.7	136.9	143.5	141.3	102	211.5	1948.36	162.36	
2010	55.4	103.8	35.8	217.5	290.6	149.4	292.8	94.2	93	147.05	116.7	123.95	1780.2	148.35	
2011	69.9	156.6	113.9	289.6	190.9	197.1	205.4	87.9	131.2	47.7	0	123.95	1553.55	129.46	
2012	128.6	138.56	145.7	237.9	199.1	182	181.1	184.7	97.8	71	124.9	106.7	1798.06	149.84	
2013	128.6	207.4	118.9	149.9	226.6	247.7	189.8	100.6	177	166.4	84.5	121.9	1919.3	159.94	
<b>SUMA</b>	<b>1149.4</b>	<b>1324.3</b>	<b>1459.7</b>	<b>2221</b>	<b>1892.7</b>	<b>1880.1</b>	<b>1922.8</b>	<b>1101.5</b>	<b>1280.3</b>	<b>1398</b>	<b>1274.3</b>	<b>1459.9</b>	<b>18364</b>	<b>1530.3</b>	
MAX	190.7	207.4	216	335.1	290.6	282.6	292.8	188.3	239.2	262.7	264.2	239.4	2296.6	191.38	
MED	128.6	138.56	145.7	221.35	194.35	173.45	185.45	94.2	109.2	147.05	116.7	123.95	1789.13	149.034	
MIN	44.6	55.7	35.8	149.9	101.4	137.1	142.7	42.9	86.4	47.7	0	106.7	1553.55	129.46	
DESV	51.0	44.4	35.9	61.4	53.4	50.0	43.7	46.2	48.2	65.0	72.7	45.8	225.6	18.8039	

#### PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)

Estación: <b>PAQUISHA</b>														Latitud: 03° 54' 40" S	
Código: M0506														Longitud: 78° 38' 26" W	
Institución: INAMHI														Altitud: 650 msnm	
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA	
2004	82	98.6	225.1	208.8	292.3	288.8	349.4	80	134.7	147.6	96.4	76.5	2080.2	173.35	
2005	37.1	137.7	198.5	383.2	227.4	473.8	226.4	177.6	172.6	236.2	128.1	289.3	2687.9	223.99	
2006	261.3	270.5	192.9	269.3	181.4	223.7	187.8	190.4	229.1	226.4	284.7	341	2858.5	238.21	
2007	249.4	96.1	287.7	560.8	308.5	402	231.8	376.7	290.2	272.8	277.9	160.8	3514.7	292.89	
2008	198.6	632	282.6	141.7	154.5	100.6	297.7	162.1	229.6	260.4	237.1	151.8	2848.7	237.39	
2009	274	251.3	288.5	208.8	203.7	225.8	309.6	289	172.6	129.1	200.8	97.7	2376.9	216.08	
2010	175.9	275.5	316.3	203	182.7	167.7	79.7	78.3	34.2	226.4	55.1	91.8	1886.6	157.22	
2011	58.9	99.6	285.15	208.3	215.55	46.6	160.7	26.1	55.9	81	63	160.8	1461.6	121.80	
2012	156.9	193.5	375.5	208.8	319.2	314.1	202.3	223.2	154.8	199	41	164	2952.3	212.69	
2013	324.5	289.5	285.15	208.8	215.55	226.8	226.4	274.9	184.8	228.5	101.9	218.3	2784.1	232.01	
<b>SUMA</b>	<b>1818.6</b>	<b>2344.3</b>	<b>2737.4</b>	<b>2601.5</b>	<b>2300.8</b>	<b>2468.9</b>	<b>2271.8</b>	<b>1878.3</b>	<b>1658.5</b>	<b>2007.4</b>	<b>1486</b>	<b>1752</b>	<b>25051.5</b>	<b>2105.63</b>	
MAX	324.5	632	375.5	560.8	319.2	473.8	349.4	376.7	290.2	272.8	284.7	341	3514.7	292.8917	
MED	187.25	222.4	285.15	208.8	215.55	225.8	226.4	184	172.6	226.4	115	160.8	2620.1	220.0367	
MIN	37.1	96.1	192.9	141.7	154.5	46.6	79.7	26.1	34.2	81	41	76.5	1461.6	121.8	
DESV	98.15	160.26	55.26	122.99	57.17	129.54	78.22	108.16	77.81	61.82	93.55	85.74	581.58	48.36	


PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)														
Estación: <b>YANTZAZA</b>							Latitud: 749844.27547							
Codigo: M190							Longitud: 9575506.17487							
Institución: INAMHI							Altitud: 810 msnm							
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
2004	59	111.5	157	181.5	104	68.2	55.1	13.5	65.5	133	116.2	97.1	1161.6	96.80
2005	49.7	89.4	156.4	147.9	25.8	81.5	28.3	9.8	25.2	72.5	72.5	73.7	832.7	69.39
2006	97.5	174.6	201.5	78.5	32	156.8	134.4	143.5	97.9	131.3		206.5	1454.5	132.23
2007	205.9	39	205.4	216.3	121.9	296.3	126	155.6	179.3	199.7	285.6	156.7	2187.6	182.30
2008	140.5	330.6	311.7	154.8	255.5	184.1	180.5	150.2	163.1	243.3	104.7	148.7	2373.7	197.81
2009	213.6	147.9	261.9	221.6	188.6	211.4	270.8	101.4	144.1	153.4	258.1	139.5	2098.7	190.79
2010	126.1	165.5	124.9	298.3	337.6	194.	270.9	64.5	143.7	96.1	129.1	156.2	2107	175.58
2011	147.7	172.9	204.8	327.5	194.6	130.3	227	61.6	200.2	154.6	64.2	196.7	2082.1	173.51
2012	487.5	162.5	324.1	237.2	265.5	75.7	19.6	30.1	36.9	114.1	175.8	84.8	2013.8	167.82
2013	103.6	164.4	184.9	94.3	208.4	61.	85.2	50.7	82.6	179	45.6	99.8	1359.6	113.30
<b>SUMA</b>	<b>1631.1</b>	<b>1558.3</b>	<b>2132.6</b>	<b>1957.9</b>	<b>1733.8</b>	<b>1459.5</b>	<b>1397.8</b>	<b>780.9</b>	<b>1144.5</b>	<b>1477</b>	<b>1251.8</b>	<b>1359.7</b>	<b>17671</b>	<b>1499.5</b>
MAX	487.5	330.6	324.1	327.5	337.6	296.3	270.9	155.6	200.2	243.3	285.6	206.5	2373.7	197.8083
MED	133.3	163.45	203.15	188.9	191.6	143.55	130.2	63.05	120.8	143.2	116.2	144.1	2047.95	170.6625
MIN	49.7	39	124.9	78.5	25.8	61.	19.6	9.8	25.2	72.5	45.6	73.7	832.7	69.39167
DESV	126.17	75.64	66.35	80.89	101.84	77.00	94.79	56.15	61.41	50.37	84.83	45.94	520.03	44.11

**Anexo 13.**  
*Balance hídrico*

Parámetros	EN E	FE B	MA R	AB R	MA Y	JU N	JU L	AG O	SE P	OC T	NO V	DI C
<b>P(mm)</b>	168. 19	197. 88	244. 51	205. 37	201. 87	204. 45	205. 82	156. 20	151. 08	200. 30	112. 44	148. 44
<b>evapotranspiración</b>	115. 50	110. 98	130. 65	118. 11	108. 69	93.5 9	100. 12	114. 33	117. 94	130. 57	127. 50	126. 91
<b>P-ETP (mm)</b>	52.6 9	86.9 0	113. 85	87.2 6	93.1 9	110. 86	105. 70	41.8 6	33.1 4	69.7 2	- 15.0 6	21.5 3
<b>R (reserva)</b>	14.6 7	14.6 7										
<b>ETR (evapotranspiración real)</b>	115. 50	110. 98	130. 65	118. 11	108. 69	93.5 9	100. 12	114. 33	117. 94	130. 57	127. 50	126. 91
<b>E (Escorrentía)</b>	52.6 9	86.9 0	113. 85	87.2 6	93.1 9	110. 86	105. 70	41.8 6	33.1 4	69.7 2	- 15.0 6	21.5 3
<b>D (deficit)</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.0 6	0.00
<b>exceso</b>	0.00	86.9 0	200. 75	288. 01	381. 20	492. 06	597. 76	639. 62	672. 76	742. 49	727. 42	748. 95

**Anexo 14.***Tiempo de retorno*

Tiempo		Período de retorno (años)		
t (min)	t (horas)	2	5	10
5	0.08	7.66	8.96	10.52
10	0.17	12.82	14.99	16.57
15	0.25	16.38	19.18	21.63
20	0.33	19.60	22.94	26.1
30	0.5	26.40	30.70	34.45
60	1	34.00	39.50	44.3
120	2	43.40	50.40	56.6
360	6	52.20	60.60	67.8
1440	24	64.80	76.80	86.4

**Anexo 15.***Curva PDF*

**Anexo 16.**

*Número de curva para el cálculo de escorrentía*

Cobertura			Número de Curva			
Uso de la tierra	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
Descuidado, en descanso, sin cultivos	Surcos rectos	---	77	86	91	94
Cultivos	Surcos rectos	pobre	72	81	88	91
	Surcos rectos	buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	pobre	70	79	84	88
	Curvas de nivel	buena	65	75	82	86
	Curv de nivel y en terrazas	pobre	66	74	80	82
	Curv de nivel y en terrazas	buena	62	71	78	81
Pequeños granos	Surcos rectos	pobre	65	76	84	88
	Surcos rectos	buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	pobre	63	74	82	85
	Curvas de nivel	buena	61	73	81	84
	Curv de nivel y en terrazas	pobre	61	72	79	82
	Curv de nivel y en terrazas	buena	59	70	78	81
Sembrios cerrados, legumbres o sembrios en rotación	Surcos rectos	pobre	66	77	85	89
	Surcos rectos	buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	pobre	64	75	83	85
	Curvas de nivel	buena	55	69	78	83
	Curv de nivel y en terrazas	pobre	63	73	80	83
	Curv de nivel y en terrazas	buena	51	67	76	80
Pastizales o similares		pobre	68	79	86	89
		regular	49	69	79	84
		buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel	regular	25	59	75	83
	Curvas de nivel	buena	6	35	70	79
Pradera		buena	30	58	71	78
		pobre	45	66	77	83

**Anexo 17.**  
*Levantamiento topográfico*



**Anexo 18.**  
*Ancho de la solera*

Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	Solera b (m)
Menor de 0.100	0.30
Entre 0.100 y 0.200	0.50
Entre 0.200 y 0.400	0.75
Mayor de 0.400	1.00

**Anexo 19.**  
*Taludes para diferentes tipos de suelo*

Características de los suelos	Canales poco profundos	Canales profundos
Roca en buenas condiciones	Vertical	0.25 :1
Arcillas compactas o conglomerados	0.5 :1	1 :1
Limos arcillosos	1 :1	1.5 :1
Limos arenosos	1.5 :1	2 :1
Arenas sueltas	2 :1	3 :1

**Anexo 20.***Valores de coeficiente de rugosidad*

Condición del dren	Valor de n
Muy limpio	0,022 – 0,030
Limpio	0,029 - 0,050
Con poca vegetación	0,040 - 0,067
Con moderada vegetación	0,050 - 0,100
Con exceso de vegetación	0,067 - 0,200


**Anexo 21.***Pendiente admisible en función del tipo de suelo*

Típos de suelos	Pendiente (S) ‰
Suelo sueltos	0.5 - 1.0
Suelos francos	1.5 - 2.5
Suelos arcillosos	3.0 - 4.5


**Anexo 22.***Velocidades máximas recomendadas en función de las características de los suelos*

Velocidades máximas recomendadas en función de las características de los suelos	
Características de los suelos	Velocidades máximas (m/s)
Canales en tierra franca	0.60
Canales en tierra arcillosa	0.90
Canales revestidos con piedra y mezcla simple	1.00
Canales con mampostería de piedra y concreto	2.00
Canales revestidos con concreto	3.00
Canales en roca:	
Pizarra	1.25
areniscas consolidadas	1.50
rocas duras, granito, etc.	3 a 5


**Anexo 23.**  
*Topografía de la zona de estudio*



## Anexo 24. Diseño de los drenes



## Anexo 25. Líneas de flujo del agua



**Anexo 26.**  
*Certificado de inglés*

**Certificado**

Loja 09 de febrero del 2024

**Felipe David Ulloa Tinoco**  
**DOCENTE DE INGLÉS**

**CERTIFICA**

Que, la traducción del documento adjunto por la Srta. DANIELA GEOVANNA HUALPA JAÉN con cedula de ciudadanía No. 1150414868, cuyo tema de tesis se titula: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL PARA PASTIZALES EN EL SECTOR GUAMBIME PARROQUIA CHICAÑA DEL CANTÓN YANTZAZA PROVINCIA ZAMORA CHINCHIPE**, ha sido realizado por Felipe Ulloa, docente de inglés.

Lo certifico en honor a la verdad, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

Atentamente. –



---

Felipe David Ulloa T.

**DOCENTE DE INGLÉS**