



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Determinación de la conductividad hidráulica con fines de drenaje en suelos pertenecientes a las Quintas Experimentales “Punzara” y “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja.

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera Agrícola

AUTORA:

Paola Alexandra Tocto Flores

DIRECTOR:

Mg. Sc. Manuel Romel Ramón Hurtado

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 18 de agosto del 2023

Mg. Sc. Manuel Romel Ramón Hurtado

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Determinación de la conductividad hidráulica con fines de drenaje en suelos pertenecientes a las Quintas Experimentales “Punzara” y “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrícola**, de la autoría de la estudiante **Paola Alexandra Tocto Flores**, con **cédula de identidad Nro. 1104114127** 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.



Mg. Sc. Manuel Romel Ramón Hurtado

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Paola Alexandra Tocto Flores**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de identidad: 1104114127

Fecha: 21 de noviembre de 2023

Correo electrónico: paola.tocto@unl.edu.ec

Teléfono: 0981146882

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

Yo, **Paola Alexandra Tocto Flores**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Determinación de la conductividad hidráulica con fines de drenaje en suelos pertenecientes a las Quintas Experimentales “Punzara” y “La Argelia” de la universidad Nacional de Loja**, 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 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 Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los veintiún días del mes de noviembre de dos mil veintitrés.



Firma:

Autora: Paola Alexandra Tocto Flores

Cédula de identidad: 1104114127

Dirección: Sucre, Loja Ecuador

Correo electrónico: paola.tocto@unl.edu.ec

Teléfono: 0981146882

DATOS COPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Integración Curricular: Mg. Sc. Manuel Romel Ramón Hurtado.

Dedicatoria

Mi trabajo de investigación lo dedico a mi familia por todo su apoyo durante todo el proceso de formación. Sin su amor y aliento constante no habría sido posible llegar hasta aquí. Gracias por estar a mi lado en los momentos difíciles y celebrar conmigo en los buenos, su paciencia y comprensión han sido invaluable para mí. De manera muy especial se lo dedico a mi madre Jackeline, quien con paciencia y dedicación me brindó su apoyo y educó con amor y valores. A mis hermanos José y Fernanda, gracias por su apoyo incondicional, su paciencia y su constante motivación, han sido una fuente de inspiración para mí. A mi querido hijo Eduardo, quien ha sido una fuente constante de motivación en mi vida y en mi camino académico; su presencia ha sido un recordatorio constante de la importancia de trabajar duro y perseverar en la consecución de mis objetivos, espero que este trabajo sea un ejemplo para él.

No puedo dejar de mencionar particularmente a mi hermana Diana por su disposición para escucharme y brindarme su opinión en cada una de las etapas de este proyecto, sus comentarios y sugerencias han sido fundamentales para el desarrollo de mis ideas, sus palabras de aliento y motivación me han impulsado a seguir adelante en los momentos más difíciles, estoy agradecida por todo el apoyo que me has brindado en este proceso; gracias por tus consejos, por leer mis borradores incansablemente y por tus comentarios constructivos que me ayudaron a mejorar mi trabajo. Tu entereza y entusiasmo han sido fundamentales para que hoy pueda decir que he logrado mi objetivo, sé que no ha sido fácil, que has tenido que sacrificar tiempo y energía para estar presente en cada paso de este camino, así que este no es sólo mi logro, sino también tuyo.

Espero hacerles sentir orgullosos con mi logro y seguir contando con su apoyo en el futuro.

Paola Alexandra Tocto Flores

Agradecimiento

Quiero expresar mi agradecimiento especial y sincero a mi director de Trabajo de Integración Curricular Mg. Sc. Romel Ramón Hurtado por permitirme realizar este trabajo bajo su dirección, su ayuda y confianza brindados han sido invaluable para mejorar la calidad de este proyecto.

De igual manera agradezco a los profesores que contribuyeron con sus enseñanzas no solo en la elaboración de este trabajo de graduación, sino también durante toda mi carrera universitaria, por proporcionarme una perspectiva diferente para abordar diversos problemas que se presentan en el sector social, especialmente en el campo agrícola, donde se concentra la mayoría de la población de nuestra provincia y país, asegurando así una mejor calidad de vida.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento a la Mg.Sc. Diana Jumbo Flores, por acogerme y brindarme el espacio necesario para realizar la fase de laboratorio necesarias en este Trabajo de Integración Curricular.

Así mismo, agradezco a la Universidad Nacional de Loja, a la Carrera de Ingeniería Agrícola, profesores, y administrativos que contribuyeron a mi formación profesional. Finalmente, agradezco al Dr. Fabian Cango y a los técnicos de la Quinta Experimental “Punzara”, quienes con su disposición me acompañaron y asistieron en la fase de campo.

Paola Alexandra Tocto Flores

Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xi
1.Título.....	1
2.Resumen.....	2
Abstract	3
3.Introducción.....	4
4.Marco teórico.....	7
4.1.Relaciones suelo-planta-agua-atmósfera en el sistema agroproductivo.....	7
4.2.Suelo.....	8
4.2.1.Fases del suelo.....	9
4.2.2.Flujo de agua en el suelo.....	9
4.3.Propiedades fisicoquímicas del suelo.....	10
4.3.1.Textura	10
4.3.2.Estructura	12
4.3.3.Densidad aparente (Da).....	13
4.3.4.Densidad real.....	13
4.3.5.Porosidad.....	13
4.3.6.Color.....	14
4.3.7.pH.....	14
4.3.8.Materia Orgánica (MO).....	15
4.4.Propiedades hidrofísicas del suelo	15
4.5.Drenaje agrícola	17
4.6.Conductividad hidráulica	18
4.7.Métodos para determinar la conductividad hidráulica con fines de drenaje.....	20

4.7.1.Métodos de laboratorio	20
4.7.2.Métodos de campo	21
4.7.3.Métodos para determinar niveles freáticos	25
5. Metodología.....	27
5.1.Método de la investigación	27
5.2.Ubicación de las zonas de estudio.....	27
5.3.Materiales y equipos	28
5.4. Metodología para el primer objetivo.....	29
5.4.1. Caracterización de la zona de estudio	29
5.4.2. Conductividad hidráulica mediante el permeámetro de pared rígida.....	33
5.4.3. Conductividad hidráulica mediante los métodos de campo	34
5.5. Metodología para el segundo objetivo	37
6. Resultados.....	38
6.1. Determinación de la conductividad hidráulica con los métodos de laboratorio y campo	38
6.1.1. Caracterización de la zona de estudio	38
6.1.2. Conductividad hidráulica	45
6.2. Identificación del movimiento de agua y el nivel freático de las quintas experimentales “Punzara y La Argelia”	46
7. Discusión	50
7.1. Caracterización de la zona de estudio	50
7.2. Conductividad hidráulica	51
7.3. Identificación del movimiento de agua y el nivel freático de las quintas experimentales “Punzara y La Argelia”	53
8. Conclusiones.....	55
9. Recomendaciones.....	56
10. Bibliografía.....	57
11. Anexos.....	66

Índice de tablas:

Tabla 1. Textura según la granulometría del suelo	11
Tabla 2. Clasificación del pH para suelos determinados en agua	15
Tabla 3. Clasificación de materia orgánica	15
Tabla 4. Velocidades de conductividad hidráulica.....	19
Tabla 5. Valores de K según la textura del suelo	19
Tabla 6. Aplicabilidad de los diferentes métodos para determinar la conductividad hidráulica.	25
Tabla 7. Profundidades del nivel freático, mapa de isobatas.	26
Tabla 8. Clasificación topográfica con fines de riego y drenaje	31
Tabla 9. Métodos empleados en el análisis de suelo en esta investigación.....	32
Tabla 10. Climatología de la zona de estudio	38
Tabla 11. Balance hídrico anual de las Quintas Experimentales	39
Tabla 12. Descripción de los perfiles de suelo de la Quinta Punzara.	41
Tabla 13. Descripción de los perfiles de suelo de la Quinta Punzara.	42
Tabla 14. Descripción de los perfiles de suelo de la Quinta La Argelia.	43
Tabla 15. Valores de K mediante permeámetro de pared rígida en las Quinta Punzara y La Argelia.....	45
Tabla 16. Valores de K empleando métodos de campo en las Quinta Punzara y La Argelia.	45

Índice de figuras:

Figura 1. Componentes del suelo	8
Figura 2. Triángulo textural	12
Figura 3. Clasificación de la estructura según el movimiento del agua.....	13
Figura 4. Propiedades hidráulicas del suelo	16
Figura 5. Vista a microscopio del movimiento del agua en suelos gruesos y finos.....	18
Figura 6. Aplicación del permeámetro de laboratorio de carga constante y variable.	21
Figura 7. Esquema método Porchet	22
Figura 8. Método del piezómetro	22
Figura 9. Método de Lefranc para carga constante (izquierda) y carga variable (derecha)....	23
Figura 10. Método de Matsuo.	24
Figura 11. Método del pozo invertido.....	24
Figura 12. Funcionamiento hidráulico de un pozo de observación y un piezómetro	26
Figura 13. Mapa de ubicación del proyecto	28
Figura 14. Esquema del método de Auger-Hole en suelo estratificado.....	35
Figura 15. Balance hídrico de las Quintas Experimentales Punzara y La Argelia pertenecientes a la UNL.	39
Figura 16. Mapa de pendiente de la Quinta Punzara	44
Figura 17. Mapa de pendiente de la Quinta La Argelia	44
Figura 18. Mapa de isohipsas o curvas de igual cota del nivel freático en la Quinta Punzara	46
Figura 19. Mapa de isobatas o curvas de igual profundidad del nivel freático en la Quinta Punzara	47
Figura 20. Mapa de isohipsas o curvas de igual cota del nivel freático en la Quinta La Argelia	48
Figura 21. Mapa de isobatas o curvas de igual profundidad del nivel freático en la Quinta La Argelia.....	49

Índice de anexos:

Anexo 1. Tabla de R_0	66
Anexo 2. Tabla para el cálculo de escurrimiento medio (mm)	67
Anexo 3. Datos de campo tomados de los pozos de observación	67
Anexo 4. Determinación de las variables climáticas y ET_0	68
Anexo 5. Determinación del escurrimiento medio mediante el método del Numero de la Curva	68
Anexo 6. Cálculo de las propiedades fisicoquímicas.....	69
Anexo 7. Observaciones realizadas en campo	70
Anexo 8. Determinación de la conductividad hidráulica mediante el permeámetro de laboratorio	70
Anexo 9. Determinación de la conductividad hidráulica mediante métodos de campo	71
Anexo 10. Certificado traducción del resumen.....	72

1. Título

Determinación de la conductividad hidráulica con fines de drenaje en suelos pertenecientes a las Quintas Experimentales “Punzara” y “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja.

2. Resumen

Este trabajo evaluó la conductividad hidráulica (k) en las Quintas Experimentales “Punzara” (QEP) y “La Argelia” (QELA) de la Universidad Nacional de Loja, obteniendo información sobre el flujo del agua y nivel freático, para el diseño de riego y drenaje agrícola. Se analizaron diferentes métodos de campo (Auger-Hole y Porchet) y de laboratorio (permeámetro de pared rígida en suelo saturado) en función de la pendiente y profundidad de los estratos del suelo. En la QEP se establecieron 10 puntos de medición, para el primer estrato la k_1 fue de $2,92E-02$ m/día y para el segundo estrato la k_2 fue de $1,88E-02$ m/día en pendientes del 4-8 %; en pendientes del 8-16 % k_1 es de $1,32E-02$ m/día y k_2 $8,05E-02$ m/día; en pendientes del 16-30 % k_1 $1,67E-02$ m/día y k_2 $1,41E-02$ m/día. En la QELA se establecieron dos puntos de medición y se obtuvo k_1 $2,23E-01$ m/día y k_2 $1,23E-01$ m/día en pendientes del 0-4 %. En la QEP con el permeámetro se obtuvo k_1 $1,42E-05$ m/día y k_2 $1,74E-05$ m/día; y, en la QELA k_1 $4,637E-01$ m/día y k_2 $5,85E-01$ m/día; concluyéndose que la k en la QEP es muy lenta por ser suelos de texturas franco-arcillosas mal estructuradas y la dirección del flujo de agua es noreste con un caudal de descarga de 52,30 mm/día. En la QELA la k es moderadamente lenta correspondiente a suelos de texturas arenas finas y la dirección del nivel freático es norte con una descarga de 174,5 mm/día. El estudio ha sido crucial para determinar la velocidad de k a través del suelo la cual impacta directamente en la eficacia del drenaje, también esta información es esencial para el diseño y planificación de sistemas de drenaje, la cual permite prevenir inundaciones o daños en las Quintas e identificar las zonas de recarga y descarga de agua.

Palabras clave: drenaje agrícola, flujo de agua, nivel freático recarga y descarga de agua.

Abstract

This study assessed the hydraulic conductivity (k) in the Experimental Farms "Punzara" (QEP) and "La Argelia" (QELA) of the National University of Loja, gathering information on water flow and phreatic level for irrigation and drainage design. It was analyzed using field methods (Auger-Hole and Porchet) and laboratory methods (rigid wall permeameter in saturated soil) based on the slope and depth of the soil strata. In the QEP, 10 measurement points were established, for the first stratum k_1 was $2.92E-02$ m/day and for the second stratum k_2 was $1.88E-02$ m/day on slopes of 4-8%; on slopes of 8-16% k_1 is $1.32E-02$ m/day and k_2 $8.05E-02$ m/day; on slopes of 16-30% k_1 $1.67E-02$ m/day and k_2 $1.41E-02$ m/day. In the QELA, two measurement points were established and k_1 was obtained at $2.23E-01$ m/day and k_2 at $1.23E-01$ m/day on slopes of 0-4%. In the QEP with the permeameter, k_1 was $1.42E-05$ m/day and k_2 was $1.74E-05$ m/day; and in the QELA k_1 was $4.637E-01$ m/day and k_2 was $5.85E-01$ m/day; concluding that k in the QEP is very slow due to poorly structured clayey-sandy soils and the direction of water flow is northeast with a discharge flow of 52.30 mm/day. In the QELA, k is moderately slow corresponding to fine sandy soils and the direction of water table level is north with a discharge of 174.5 mm/day. The study has been crucial in determining the infiltration rate of the soil, which directly impacts the effectiveness of drainage. This information is also essential for the design and planning of drainage systems, allowing for the prevention of flooding or damage to the Farms.

Keywords: *agricultural drainage, water flow, water table level, water recharge and discharge.*

3. Introducción

La conductividad hidráulica, es un factor clave en la gestión del agua, esta describe la capacidad de un suelo para moverse sobre un medio permeable, lo que depende principalmente de humedad presente en el suelo y la textura (Filgueira *et al.*, 2006; Stuyt, 1985; Usón-Murillo *et al.*, 2010), así pues, su variabilidad es considerable dependiendo de la geología, el clima y la topografía de área geográfica.

En el mundo, es utilizada ampliamente en variedad de aplicaciones, desde la evaluación del potencial de acuíferos para el suministro de agua, la construcción de presas y la planificación de proyectos de gestión de aguas. En la agricultura se emplea para evaluar la capacidad del suelo de retener y distribuir el agua en el suelo, también es esencial para el diseño de sistemas de riego y drenaje (Pérez y García, 2015). En muchos países, la gestión del agua es un desafío importante, especialmente, los suelos más permeables se encuentran en zonas con clima húmedo y bien drenados, mientras que los suelos menos permeables se encuentran en zonas más áridas o con suelos arcillosos (Jaramillo-Jaramillo, 2002); sin embargo, es importante tener en cuenta que existen excepciones donde la conductividad hidráulica puede variar significativamente incluso dentro de una misma región. Por ello, es un factor crítico a considerar en la gestión del agua subterránea, ya que influye directamente en la capacidad de un acuífero para almacenar y transmitir agua; en zonas con alta conductividad hidráulica, el agua subterránea se mueve con mayor facilidad y rapidez, lo que permite una mayor recarga y descarga de los acuífero, por otro lado, en zonas con baja conductividad hidráulica, el agua subterránea se mueve con mayor lentitud, lo que puede dificultar la recarga y descarga de los acuíferos (Villón-Béjar, 2007).

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca MAGAP (2019) los valores de conductividad hidráulica presentan una gran variabilidad debido a la diversidad de climas, suelos y geología presentes en nuestro país, siendo muy bajos en zonas de alta montaña y relativamente altos en regiones costeras y amazónicas, esto debido a la poca presencia de materia orgánica y la textura del suelo, los mismos que son factores determinantes en la conductividad hidráulica. Sin embargo, las regiones de la Costa y Amazonía son las más vulnerables al anegamiento de sus áreas productivas por lo que en ellas el drenaje agrícola es un requerimiento inminente; además el uso de drenes en la Costa contrarresta los problemas de salinización y en la Amazonía soluciona los excesos de agua provocados por las precipitaciones constantes e intensas de la zona. Por otra parte, en la Sierra también existen requerimientos de

drenaje agrícola, pero están más localizados en las estribaciones de los Valles interandinos, pero la topografía de la región facilita un mejor drenaje, debido a las pronunciadas pendientes que presentan.

En la Sierra ecuatoriana, predominan suelos con alta cantidad de materia orgánica y texturas arcillosas, la conductividad hidráulica puede ser muy baja, lo que dificulta la infiltración de agua y puede generar problemas de erosión, deslizamientos y drenaje. De esta manera, este tema es de gran importancia en la provincia de Loja, dado que los problemas de drenaje siempre se complican cuando se dan en la superficie o en el subsuelo, donde la textura y estructura impiden la entrada de agua por infiltración o limitan su movimiento (Villón-Béjar, 2007). Por otro lado, la conductividad hidráulica, además de influir sobre la distribución del agua en el perfil del suelo y la facilidad de drenar los terrenos encharcados provoca un aumento significativo en la erosión al incrementar el flujo de agua superficial debido a la reducción en la capacidad de los suelos para absorberla (Ramírez-Pisco *et al.*, 2023). Por lo que, la erosión hídrica en el cantón de Loja es alta, cubriendo el 89 % de la superficie (Puglla-Puglla, 2017). En las zonas agrícolas bajo regadío, la estructura del suelo a menudo esta degradada y es inestable, asociada a problemas de alcalinidad y salinidad en el suelo o en el agua de riego (Amezketta-Lizárraga, 1992), donde la distribución del tamaño de poros sugiere problemas de drenaje y de flujo de nutrientes del suelo hacia la planta, esto debido a la composición textural del mismo (Volverás-Mambuscay y Amézquita-Collozos, 2009)

Por esta razón, la importancia de llevar a cabo estudios y análisis constantes para la determinación de k en el suelo y así poder tomar decisiones informadas en cuanto a su uso y manejo; por lo que es fundamental contar con información actualizada y precisa para garantizar un uso sostenible y eficiente de los recursos naturales en la provincia.

Objetivo general

- Conocer la conductividad hidráulica de los terrenos agrícolas de las quintas experimentales “Punzara” y “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja con fines de riego y drenaje.

Objetivos específicos

- Determinar la conductividad hidráulica con los métodos de campo (Auger-Hole Y Porchet) y laboratorio (Permeámetro).
- Identificar el movimiento del agua y el nivel freático de las quintas experimentales “Punzara y La Argelia”.

4. Marco teórico

4.1. Relaciones suelo-planta-agua-atmósfera en el sistema agroproductivo.

En la agricultura tradicional, el suelo constituye una fuente natural de agua para los cultivos, por lo que resulta crucial entender las propiedades del suelo que influyen en su capacidad de retención, así como las fuerzas que regulan el flujo de agua entre el suelo y el sistema hídrico. De esta manera, se puede garantizar un suministro adecuado de agua a los cultivos (Assan y Gorosito, 2018); comprender la relación entre el agua y las plantas es necesario dado que esta no se da aisladamente, si no que forma todo un sistema

Tanto el riego como el drenaje tienen como objetivo regular la humedad en el suelo, ya sea aportando agua en caso de que exista un déficit hídrico o eliminándola cuando hay un exceso de agua proveniente de la lluvia o del riego (Génova *et al.*, *s. f.*). Por esta razón, resulta crucial comprender las interacciones entre el suelo, el agua, la planta y el clima, ya que estas relaciones permiten evaluar la interacción de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el suelo; de esta manera, se puede garantizar un suministro adecuado de agua a los cultivos y evitar problemas de humedad.

- **Relación suelo-clima:** la formación de los suelos está estrechamente ligada al clima, ya que éste influye en la velocidad y el tipo de meteorización de la roca madre; la temperatura y la precipitación son los elementos climáticos más importantes en el proceso de formación de suelo, pues afectan directamente a su desarrollo (SensorGO MKT, 2022). Es interesante destacar que una misma roca madre puede dar lugar a suelos diferentes dependiendo de las condiciones climáticas en las que se encuentre, Además, es posible que distintos tipos de suelos se formen a partir del mismo lecho rocoso debido a las variaciones climáticas presentes en cada zona.
- **Relación suelo-planta:** el suelo es el principal proveedor de nutrientes para las plantas, pero la disponibilidad de estos nutrientes dependerá de su forma de presentación, el contenido de humedad en el suelo y la capacidad de intercambio catiónico. Sin embargo, el suelo también puede contener sales y sustancias tóxicas que pueden perjudicar el crecimiento de las plantas, así como capas compactadas que limitan su desarrollo; la vegetación puede mejorar la calidad del suelo al incorporar materia orgánica y protegerlo contra la erosión. Por otro lado, la planta solo puede obtener los minerales necesarios a través de la absorción del agua del suelo, lo que implica que necesita pasar grandes cantidades de agua para interceptar los nutrientes necesarios

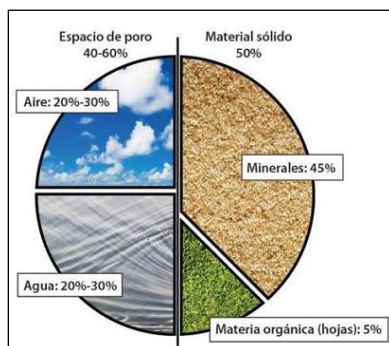
(Rojas, s. f. y Romero, 1996), es así que, la absorción del agua en el suelo es un proceso fundamental para que la planta pueda obtener los nutrientes necesarios y así crecer y desarrollarse de manera óptima.

- **Relación suelo-agua:** el agua presente en el suelo es altamente dinámica y fluye desde zonas de mayor potencial hacia aquellas de menor potencial. El movimiento o flujo del agua en el suelo puede ser saturado o no saturado, esto depende del potencial de agua presente en el suelo y de la conductividad hidráulica. Algunas de las relaciones más importantes en este sentido son la capacidad de retención de humedad, la infiltración, la redistribución, el ascenso capilar, la conductividad hidráulica y las curvas de drenaje en los suelos, cuando la tierra utilizada para la agricultura está completamente saturada, el agua ocupa entre el 40 % y el 60% del espacio disponible en los poros del suelo (López, 2000). Es fundamental que la capa de agua que ocupa estos espacios en el suelo sea continua, ya que esto permite que el agua y los nutrientes se desplacen hacia las raíces de las plantas.

4.2. Suelo

González-Parra (2007) define el suelo como “un cuerpo natural tridimensional constituido por cuatro componentes fundamentales: materia mineral, materia orgánica, aire y agua (Figura 1), estos componentes interactúan entre ellos determinando la naturaleza de un suelo” (p. 419); mientras que para Solís *et al.* (2015), los suelos “son complejos sistemas ecológicos en los que interactúan elementos minerales y orgánicos (agua, aire y gases) en armonía con una extensa comunidad de organismos vivos” (p. 3); entendiéndose que el suelo es una combinación compleja de elementos físicos, químicos y biológicos para el desarrollo de organismos, los mismos que influyen en su calidad y fertilidad.

Figura 1. Componentes del suelo



Fuente: Gamboa (2023)

El suelo cumple diversas funciones, tales como la producción y transformación de biomasa, la provisión de hábitat para la biota, la actuación como geomembrana y su capacidad para actuar como filtro y amortiguador, destacando principalmente su papel en la regulación del flujo y almacenamiento del agua en el medio ambiente, lo que permite la retención y suministro de agua necesaria para sostener la productividad de las plantas y animales (González-Parra, 2007 y Trujillo-González *et al.*, 2018).

El suelo se compone de diferentes fases y flujos, y su comprensión es especialmente relevante en el ámbito de la agricultura, es fundamental entender cómo el agua y los nutrientes se mueven en el suelo para poder optimizar el crecimiento de los cultivos.

4.2.1. Fases del suelo

El suelo se compone de tres fases principales: la fase sólida, la fase líquida y la fase gaseosa.

La **fase sólida** está conformada por partículas minerales, materia orgánica y organismos vivos del suelo. La **fase líquida** es el agua presente en los poros del suelo, que es esencial para la supervivencia de las plantas ya que es la principal fuente de nutrientes. Por último, la **fase gaseosa** está compuesta principalmente por oxígeno y dióxido de carbono, los cuales son esenciales para la respiración de las raíces de las plantas y para la actividad microbiana del suelo (Jaramillo-Jaramillo, 2002).

4.2.2. Flujo de agua en el suelo

El movimiento del agua en el suelo se produce de manera natural hacia abajo, desde las zonas con mayor potencial hídrico a las de menor potencial; estos gradientes de potencial hídrico son los que impulsan el transporte del agua. En el sistema suelo-planta-atmósfera, es importante tener en cuenta la existencia de membranas semipermeables, que son estructuras presentes en las células de las plantas que permiten el paso del agua, pero no de los solutos (Bustamante, 1986 y Gabriels *et al.*, 2006).

El movimiento del agua en el suelo está influenciado por diversos factores, tales como la textura del suelo, la topografía, la vegetación y las condiciones climáticas; en este sentido, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2009) y Gabriels *et al.* (2011) señalan que existen tres tipos de flujos de agua en el suelo, los cuales son determinados por la capacidad de succión que ejerce el suelo sobre el agua.

- **Flujo saturado:** el flujo va de 0 a 3 bares, en este el agua fluye por las fuerzas de gravedad llenando los poros de aire con agua. El principal parámetro para predecir el flujo saturado es la conductividad hidráulica saturada (K_s), que es la cantidad de agua por unidad de tiempo que fluye o pasa a través de una columna de suelo saturado.
- **Flujo no saturado:** este flujo debe ser mayor a 3 bares, condicionado por el porcentaje de sodio (Na) intercambiable, la textura y la materia orgánica; en este régimen dado que el transporte de agua se ve influenciado por la pérdida de continuidad de poros con agua, la conductividad hidráulica (k) deja de ser constante.
- **Flujo menor a 0 bares:** este es debido al bajo contenido de materia orgánica y alto contenido de sodio (Na) en suelos arcillosos. Una vez que los macroporos están llenos de aire, quedan solo los poros finos para que el agua se mueva; en estas condiciones las fuerzas que rigen el flujo de agua tienen diferencias en potencial de agua, siendo la diferencia en potencial mátrico la principal fuerza de movimiento.

4.3. Propiedades fisicoquímicas del suelo

Es crucial tener conocimiento sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, ya que estas determinan su comportamiento y función, resultado de la interacción de las diferentes fases del suelo. La velocidad a la que ocurren estos procesos no solo afecta la distribución del tamaño de las partículas del suelo, sino que también influye en factores como la capacidad de carga, la penetración de las raíces, la capacidad de retención de agua, la circulación del aire, el drenaje, entre otros (McCarty et al., 2016).

Es fundamental considerar que la conductividad hidráulica del suelo no solo está determinada por sus propiedades físicas, sino también por la capacidad de retención de agua, la compactación y la estructura del suelo. Por lo tanto, es crucial medirla, ya que tiene influencia en diversos campos y permite predecir el movimiento del agua a través del suelo, lo cual tiene implicaciones tanto en el drenaje como en el riego.

4.3.1. Textura

La textura del suelo se define como la proporción de partículas de diferentes tamaños presentes en la fase sólida del suelo, es una propiedad fundamental que influye en la estabilidad del suelo y en otras propiedades de este la cual es esencial medirla para comprender mejor el suelo. Esta propiedad determina la proporción de partículas con un tamaño inferior a 2 mm presentes en el suelo (Jaramillo-Jaramillo, 2002 y Vélez, 2010)

De manera general se agrupan en tres clases: arena, limo y arcilla (Tabla 1).

Tabla 1. Textura según la granulometría del suelo

Separado	Rango de diámetro de partícula (mm)		
	USDA	ISSS*	DIN y BSI**
Arena	2 – 0,05	2 – 0,02	2 – 0,08
Limo	0,05 – 0,002	0,02 – 0,002	0,08 – 0,002
Arcilla	< 0,002	< 0,002	< 0,002

* Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo

**DIN: Instituto Alemán de Estándares; BSI: Instituto Británico de Estándares

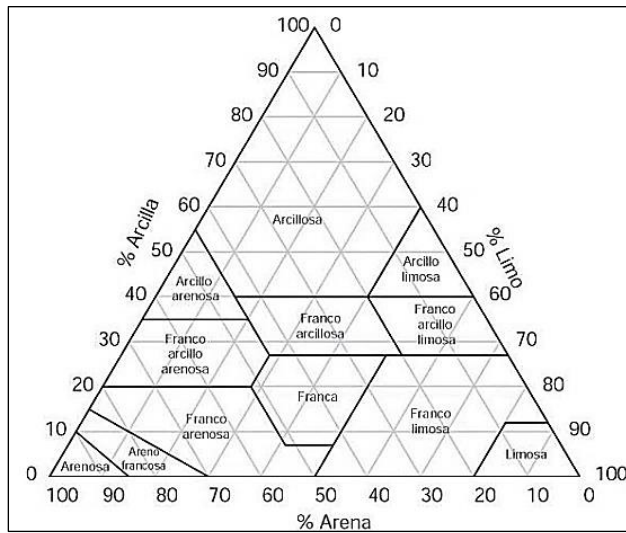
Fuente: Jaramillo-Jaramillo (2002)

Existen dos tipos de suelos: gruesos y finos. Los suelos gruesos tienen partículas con un tamaño superior a 1 mm, son fácilmente visibles y pueden tener una forma angular o redondeada; estos suelos no son cohesivos y tienen una permeabilidad muy alta, que puede superar los 10^{-2} cm/seg. Los suelos finos tienen partículas con un tamaño inferior a 1 mm, no son visibles a simple vista y pueden tener una forma laminar, angular o redondeada, pueden contener minerales arcillosos y su permeabilidad varía entre alta en arenas finas, media a baja en limos y muy baja o nula en arcillas, siendo menor a 10^{-2} cm/seg (Zapata, 2018)

Para Sandoval-E. *et al.* (2011) la textura del suelo influye en varios aspectos, como la capacidad de retener agua disponible para las plantas, la capacidad de infiltración de las aguas de lluvia o riego, el riesgo de erosión hídrica y eólica, la facilidad de laboreo, la capacidad de intercambio de gases y el movimiento de elementos contaminantes. Los suelos arenosos son más sueltos y requieren menos nutrientes para el crecimiento de las plantas, lo que los hace fáciles de manejar. Los suelos limosos, son fértiles, fáciles de trabajar, pero tienden a formar terrones y desmoronarse cuando están secos. Por último, los suelos arcillosos están compuestos por partículas finas y se vuelven pesados y lodosos cuando están saturados de agua, son difíciles de trabajar cuando están secos, pero contienen buenas reservas de nutrientes, sin embargo, no drenan ni se secan fácilmente.

Después de determinar el porcentaje de arena, limo y arcilla, el suelo puede clasificarse en una de las 12 categorías texturales (Figura 2) establecidas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1977).

Figura 2. *Triángulo textural*



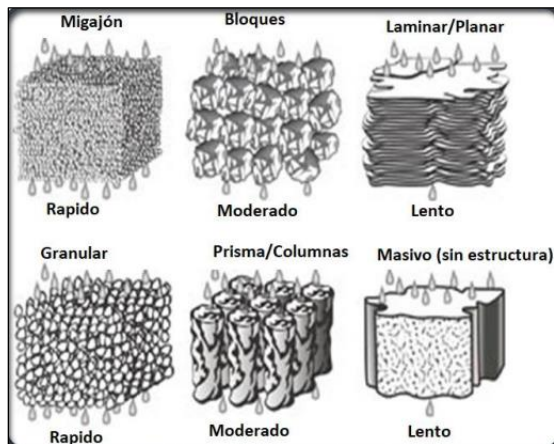
Fuente: USDA (1977)

4.3.2. Estructura

Las partículas minerales del suelo, como la arena, el limo y la arcilla, se combinan de forma natural para formar agregados con diferentes formas y tamaños. Este proceso es posible gracias a la presencia de sustancias coloidales, como la arcilla, el humus y los óxidos, que se denominan técnicamente "Ped" para identificar los agregados del suelo. La estabilidad de estos agregados es importante porque está relacionada con la dinámica del agua y, en particular, con la velocidad de penetración y la permeabilidad hidráulica del suelo. La estabilidad al agua de los agregados tiene una gran influencia en la capacidad del suelo para transmitir agua (Grassi, 1969 y Vélez, 2010)

En la Figura 3 se muestra la clasificación de la estructura en función del movimiento del agua en el suelo la cual puede ser: rápido, moderado y lento) (Ó. Fernández, comunicación personal, 25 de mayo de 2023).

Figura 3. Clasificación de la estructura según el movimiento del agua.



Fuente: Fernández (2023)

4.3.3. Densidad aparente (D_a)

La densidad aparente del suelo se define como la masa de suelo por unidad de volumen expresada en unidades como g/cm^3 o t/m^3 ; esta propiedad indica la compactación del suelo, ya que representa la relación entre los sólidos del suelo y el espacio poroso disponible. Además, se refiere a la densidad del sistema trifásico (agua, suelo, aire) y se calcula dividiendo la masa de las partículas del suelo por el volumen total del suelo, incluyendo los espacios porosos entre las partículas y está estrechamente relacionada con el contenido de humedad y el volumen de poros presentes en cada tipo de suelo (Hossne, 2008; Keller & Håkansson, 2010 y Sandoval-Estrada *et al.*, 2011)

4.3.4. Densidad real

Se define como la relación entre la masa y el volumen de todas las partículas sólidas del suelo. Se calcula dividiendo la masa de las partículas del suelo (M_s) por su volumen (V_s), excluyendo los espacios porosos entre las partículas (Blake & Hartge, 1986).

4.3.5. Porosidad

Según Gavilánez-Luna (2020) la porosidad del suelo es la suma de la fase líquida y la fase gaseosa del suelo, y se compone de dos de las tres fases que conforman el suelo la cual depende de la textura y estructura del suelo, y se obtiene a partir de las densidades

El espacio poroso del suelo se divide en macro y microporos, donde el agua, los nutrientes, el aire y los gases pueden circular o retenerse. Los macroporos no retienen agua contra la fuerza de la gravedad y son responsables del drenaje y la aireación del suelo, además,

que constituyen el espacio donde se forman las raíces de las plantas. Por otro lado, los microporos retienen agua y parte de ella está disponible para las plantas (FAO, 2009). En este sentido, los macroporos son importantes porque afectan el drenaje y la aireación del suelo, y son esenciales para la formación de raíces en diferentes cultivos.

4.3.6. Color

La composición del suelo es el principal factor que afecta al color. Esta característica puede variar según la cantidad de humedad, materia orgánica y grado de oxidación de los minerales presentes, además, el color del suelo se utiliza para identificar las capas en un perfil de suelo, determinar el origen del material parental, la presencia de materia orgánica, el estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato (FAO, 2009). Según Pellegrini (2019), el color del suelo cambia con el contenido de humedad, pero una vez que alcanza su punto óptimo, conocido como "capacidad de campo", ya no cambia más.

La descripción del color se realiza utilizando el sistema de especificación Munsell, el cual se basa en tres componentes principales: tono o matiz (color primario), intensidad (claridad) y saturación. Estas componentes se representan mediante letras y números, separados por una barra después de las letras del tono Navarro-García y Navarro-García (2013).

El color del suelo es importante porque puede indicar si hay más o menos materia orgánica presente, si hay procesos de oxidación-reducción y si el drenaje es adecuado.

4.3.7. pH

Es la propiedad que determina el grado de acidez, cediendo protones, o de alcalinidad, recibiendo protones, que el suelo presenta; se basa en la relación entre el contenido de protones e iones OH⁻. En 1909, Sørensen acuñó el término "pH" para expresar la actividad de los iones H⁺ en una función logarítmica; el cálculo del pH implica tomar el logaritmo del inverso de la concentración de H₃O⁺ presente en la solución (Jaramillo-Jaramillo, 2002), expresado:

$$pH = \log \frac{1}{[H_3O^+]} = -\log[H_3O^+]$$

Para su clasificación se tomará en cuenta la referenciada por la Soil Survey Division Staff (1993) que divide al pH en 11 categorías (Tabla 2) y según Jaramillo-Jaramillo (2002) lo clasifica en tres grupos: suelos ácidos (pH < 6,5), suelos neutros (pH entre 6,5 y 7,3) y suelos básicos (pH > a 7,3)

Tabla 2. *Clasificación del pH para suelos determinados en agua*

Clasificación	Valor
Ultra ácido	< 3,5
Extremadamente ácido	3,5 – 4,4
Muy fuertemente ácido	4,5 – 5,0
Fuertemente ácido	5,1 – 5,5
Moderadamente ácido	5,6 – 6,0
Ligeramente ácido	6,1 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,3
Ligeramente alcalino	7,4 – 7,8
Moderadamente alcalino	7,9 – 8,4
Fuertemente alcalino	8,5 – 9,0
Muy fuertemente alcalino	> 9,0

Fuente: (Soil Survey Division Staff, 1993)

4.3.8. Materia Orgánica (MO)

La materia orgánica del suelo no se limita a la fracción coloidal oscura y altamente descompuesta conocida como humus, también contiene otros materiales acumulados, como raíces, partes aéreas de plantas, cuerpos de microorganismos, lombrices, insectos y otros animales, que aumentan su fertilidad. El contenido total de materia orgánica del suelo suele ser del 3-5% en peso (Navarro-García & Navarro-García, 2013). En la Tabla 3 se puede observar su clasificación de acuerdo con su porcentaje.

Tabla 3. *Clasificación de materia orgánica*

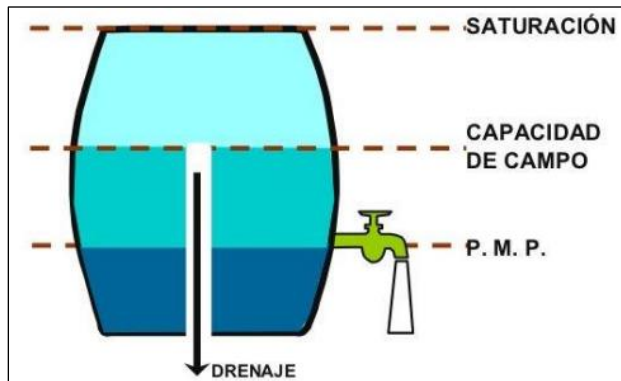
Interpretación	% Materia Orgánica
Extremadamente pobre	0,00 – 0,60
Pobre	0,61 – 1,20
Medianamente pobre	1,21 – 1,80
Mediano	1,81 – 2,40
Medianamente rico	2,41 – 3,00
Rico	3,01 – 4,20
Extremadamente rico	> 4,20

Fuente: AGRI nova Science (2017)

4.4. Propiedades hidrofísicas del suelo

Es fundamental comprender las propiedades hidrofísicas del suelo para entender cómo se mueve el agua y los solutos en él (Figura 4), la capacidad del suelo para retener y transmitir agua está directamente relacionada con sus propiedades hidráulicas (Adriani, 1999);

Figura 4. *Propiedades hidráulicas del suelo*



Fuente: A. Gamboa (2023)

La saturación del suelo ocurre cuando el agua llena todos los poros del suelo. En la superficie del suelo, este periodo es corto, ya que cuando el suministro de agua se detiene, el agua contenida en los poros se drena y los poros se llenan de aire; en suelos arenosos, el proceso de drenaje se completa en pocas horas, pero en suelos finos puede durar varios días. La saturación puede afectar la estructura del suelo debido a la salinización, que suele estar relacionada con un drenaje deficiente y puede provocar cambios estructurales que llevan a la degradación del suelo (CONGOPE, 2016 y González de Vallejo *et al.*, 2002).

La capacidad de campo se refiere al contenido de agua en el suelo después de haber sido abundantemente mojado y dejado drenar libremente, evitando las pérdidas por evapotranspiración; este contenido de agua del suelo se aproxima al contenido de agua a una tensión o potencial mátrico del agua a $\frac{1}{3}$ de atmósfera. Generalmente, se mide alrededor de 24 a 48 horas después de un riego o lluvia abundante, suelos arenosos retienen aproximadamente un 5% de humedad, mientras que los suelos arcillosos pueden retener hasta un 50%. Sin embargo, los valores porcentuales del volumen de agua pueden situarse en alrededor del 6% para suelos arenosos, entre 20-25% para suelos francos o medios, y entre 35-40% para suelos pesados o arcillosos (Silva *et al.*, 2015 y CONGOPE, 2016).

Se sabe que una planta está en punto de marchitez permanente cuando al exponerla a una atmósfera saturada de agua durante 12 horas no puede recuperar su turgencia debido a la pérdida de contenido de agua en el suelo, es decir, alcanza su máxima capacidad de succión (Silva *et al.*, 2015).

4.5. Drenaje agrícola

El conjunto de técnicas que se utilizan para eliminar el exceso de agua y sales que se encuentran en la superficie del suelo o en la zona radicular de los cultivos se define como drenaje agrícola, el objetivo es proporcionar a los cultivos un ambiente adecuado para su crecimiento normal y mantener el suelo en condiciones favorables. La capacidad máxima de retención de agua depende del tipo de suelo, su estructura y textura, y puede variar entre el 50% y el 80% del volumen total de los poros (Polón-Pérez *et al.*, 2011 y Villón-Béjar, 2007).

Existen dos tipos de drenaje: natural y artificial; el primero se refiere a la capacidad del suelo para eliminar el exceso de agua, ya sea en la superficie o dentro del suelo, independientemente de la cantidad de agua que provenga de fuentes externas debido a que los suelos son permeables, profundos o se encuentran en una posición topográfica favorable. Por otro lado, el segundo se produce cuando el hombre interviene para evacuar el exceso de agua, el cual se puede lograr mediante la construcción de zanjas abiertas o drenes cerrados (Villón-Béjar, 2007).

Un exceso de agua en suelos agrícolas puede tener varios efectos, como: afectar principalmente la aireación, la estructura, la capacidad de trabajo y el soporte del suelo; afectar el sistema radicular y la capacidad de asimilación de nutrientes y aumentar el riesgo de enfermedades en los cultivos (Rucks *et al.*, 2004).

Entre los beneficios del drenaje se puede mencionar que previene impactos ambientales, mejorar la productividad, aumentar la cantidad de oxígeno disponible en el suelo, prevenir enfermedades, facilitar el desarrollo de las raíces de las plantas, favorecer la actividad biológica contribuyendo a mejorar la estructura del suelo y mayor fertilidad. Entre algunas desventajas están, altos costos de inversión, aumenta la posibilidad de erosión y reduce el rendimiento de los cultivos, los drenes abiertos ocupan un mayor espacio, requieren obras de protección y mantenimiento, contribuye a la pérdida de agua y reducción de nutrientes (SEGARPA, s. f.).

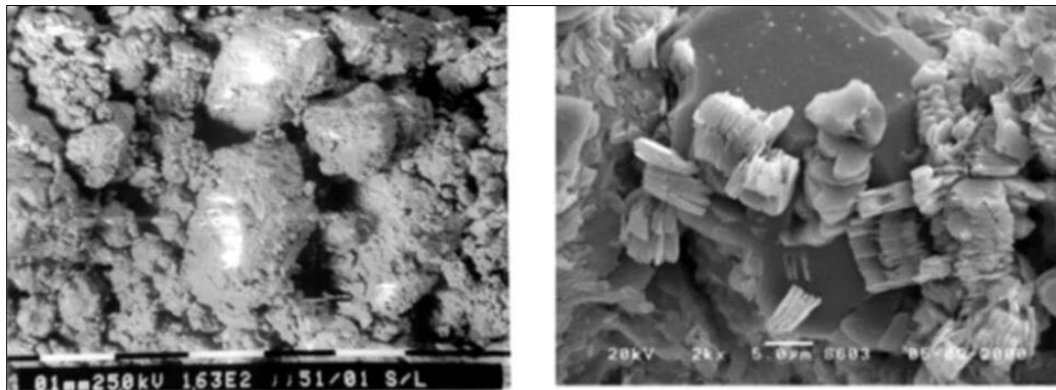
Los factores que se deben analizar para implementar un sistema de drenaje, Delgado-G. (1985) menciona tres aspectos principales: suelo con arcillas muy densas que tienen una lenta infiltración de agua, suelos de alta conductividad hidráulica y porosidad que sufren recarga del nivel freático con presencia de moteados; cultivos que requieren arraigamiento profundo y susceptibles a los excesos de agua; acumulación superficial de agua en depresiones o lugares bajos con altos niveles freáticos.

El drenaje agrícola se divide en dos tipos: subsuperficial y superficial. El drenaje subsuperficial ocurre debido a un exceso de agua subterránea debido a un nivel freático constante o cambiante a una profundidad que limita el desarrollo de las raíces y en el drenaje superficial se elimina el exceso de agua acumulada en el suelo debido a lluvias muy fuertes y frecuentes, superficies muy planas e irregulares y suelos poco permeables (Ortega & Sagado, 2001).

4.6. Conductividad hidráulica

Filgueira *et al.* (2006); Stuyt (1985); Usón-Murillo *et al.* (2010) definen la conductividad hidráulica como la capacidad de un medio poroso para transmitir agua, la cual depende principalmente del tamaño del poro, textura, estructura, contenido de humedad del suelo y de la temperatura del agua, todos estos relacionados con el arreglo de los granos en el terreno. Así, en la Figura 5 se muestra suelos gruesos con partículas redondeadas o angulares que tienen facilidad para el movimiento del agua y alta conductividad hidráulica, mientras que, en suelos finos con partículas laminares el movimiento de agua se dificulta y la conductividad hidráulica es baja.

Figura 5. Vista a microscopio del movimiento del agua en suelos gruesos y finos.



Fuente: (geo-webonline, s. f.)

La conductividad hidráulica se representa por la letra K , sus unidades más frecuentes son m/día o cm/día y su valor se emplea para calcular el espaciamiento entre drenes (Ortegón-V, 2004); si el fluido es agua y el suelo está saturado se denomina conductividad hidráulica saturada (K_s) y expresa la velocidad con la que circula el agua en un suelo saturado.

Es fundamental tener en cuenta que el movimiento del agua se produce desde un punto de mayor energía hacia otro de menor energía (Torres, 2014). Para calcular el gradiente de

energía (i) o gradiente hidráulico, se debe dividir la diferencia de potencial hidráulico entre puntos (H_1-H_2) y la distancia entre ellos (L).

La clasificación de la conductividad hidráulica según la velocidad de infiltración en el perfil del suelo se muestra en la Tabla 4, donde se incluye además la clasificación que hace la FAO (2022) de las velocidades en suelos para la agricultura y su conservación.

Tabla 4. *Velocidades de conductividad hidráulica*

Descripción	K (m/día)	K (cm/día)	K (cm/día)
Muy lenta	< 0,03	< 0,1	< 3
Lenta	0,03 – 0,12	0,1 -0,5	3 - 12
Moderadamente lenta	0,12 – 0,50	0,5 -2,0	12 - 48
Moderada	0,50 – 1,50	2,0 – 6,0	48 - 151
Moderadamente rápida	1,50 – 3,00	6,0 – 12,0	151 – 305
Rápida	3,00 – 4,50	12,0 - 18,0	305 – 600
Muy rápida	> 4,50	> 18,0	> 600

Fuente: (Grassi, 1969; Villón-Béjar, 2007 y FAO 2022)

La conductividad hidráulica, además de la clasificación según la velocidad, se puede clasificar según la textura del suelo, como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. *Valores de K según la textura del suelo*

Textura	K (m/d)
Arena con grava gruesa	10 – 50
Franco arenoso; arena fina	1 – 5
Franco, franco arcilloso bien estructurado	1 – 3
Franco arenoso muy fino	0,5 – 2
Arcillas con grietas	0,2 – 0,5
Arena muy fina	0,002 – 0,2
Franco arcilloso, arcilloso; mal estructurado	< 0,002
Arcilla compacta	

Fuente: Villón-Béjar (2007)

Relacionando la conductividad hidráulica con el medio permeable Grassi (1969, p. 39) y Gavilánez-Luna (2020, p. 109), mencionan los tipos de suelo según el movimiento del agua.

- **Suelo homogéneo:** el estrato presenta las mismas características físicas en una profundidad de más de cinco metros, dentro de esta profundidad se dan más o menos la misma textura y estructura

- **Suelo heterogéneo:** el estrato varía en sus características físicas presentándose estratificado dentro de los primeros cinco metros, existen diferentes clases texturales y estructurales dentro del perfil.
- **Suelo isotrópico:** la conductividad hidráulica es la misma en todas las direcciones (horizontal y vertical)
- **Suelo anisotrópico:** la conductividad hidráulica cambia según la dirección del flujo, es decir, la conductividad hidráulica horizontal es diferente a la vertical.
- **Suelo permeable:** la conductividad hidráulica es tal que el agua se mueve por efecto del gradiente a velocidad que hace posible el drenaje
- **Suelo impermeable:** el agua se mueve en el suelo tan lentamente que resulta imposible el drenaje

4.7. Métodos para determinar la conductividad hidráulica con fines de drenaje

Es posible calcular la conductividad hidráulica del suelo mediante muestras obtenidas en el campo o en el laboratorio y en función a ciertas características del suelo. Según González de Vallejo *et al.* (2002), las dos primeras formas implican establecer ciertas condiciones de flujo en la muestra de suelo, midiendo la descarga y usando una fórmula que relaciona este valor con las condiciones de flujo y la conductividad hidráulica.

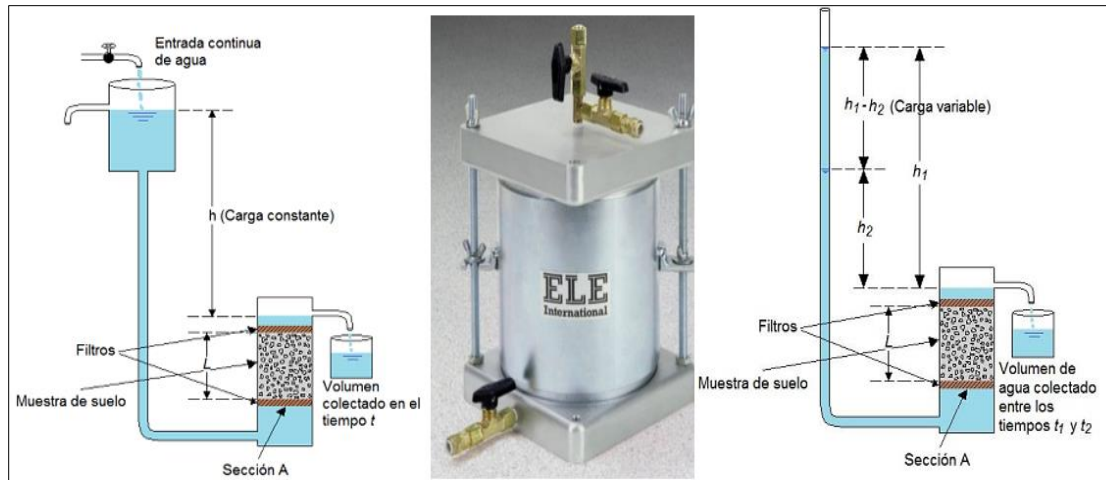
La conductividad hidráulica se puede medir tanto en el campo como en el laboratorio utilizando muestras alteradas o inalteradas; los métodos de laboratorio para medir la conductividad hidráulica pueden ser directos o indirectos. Según Montecinos *et al.* (2008) las pruebas en campo son útiles en situaciones donde es difícil obtener especímenes sin alterar, como en estratos de arena y grava; es por ello que la elección del tipo de prueba o ensayo para medir la conductividad hidráulica depende de varios factores como el tipo de material, tamaño del poro, ubicación del nivel freático y la homogeneidad o heterogeneidad de los estratos del suelo.

4.7.1. Métodos de laboratorio

Para medir las permeabilidades verticales y horizontales del suelo, se utiliza un dispositivo llamado permeámetro. Este método consiste colocar una muestra de suelo en un cilindro con soporte (Figura 6), que mantiene constante el nivel de agua utilizando una botella Mariotte, o mide su variación si el ensayo es a caudal variable para luego medir el flujo que

atraviesa el cilindro por unidad de tiempo, este ensayo es válido para valores superiores a 10^{-4} m/s (Moreno-Merino *et al.*, 2008).

Figura 6. Aplicación del permeámetro de laboratorio de carga constante y variable.



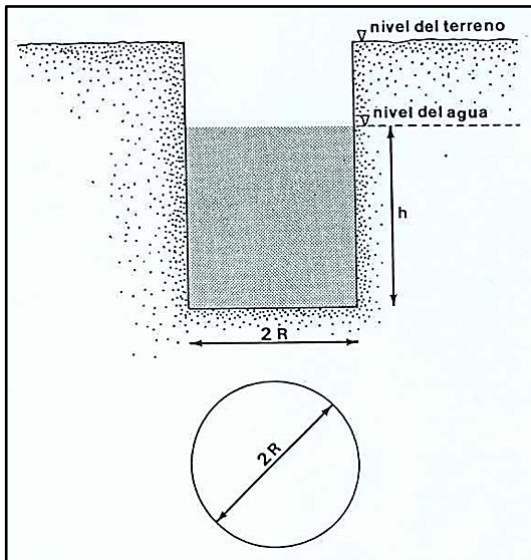
Fuente: (Gavilán-Luna, 2020 y Grupo Sait S.R.L., s. f.)

4.7.2. Métodos de campo

Estos ensayos permiten determinar la conductividad hidráulica in-situ, los cuales se pueden llevar a cabo en sondeos, pozos y excavaciones; son una forma precisa y confiable de medir la conductividad hidráulica, ya que se realizan directamente en el lugar donde se encuentra el suelo, esto permite obtener datos más precisos y relevantes. Hay diversas formas de calcular la conductividad hidráulica in situ, entre las que podemos mencionar:

- **Método del agujero de barrena o sondeo (Auger-Hole):** este método se basa en el hecho de que, en áreas inundadas la presión hidrostática puede superar la fuerza de la gravedad (Ibáñez-Asensio *et al.*, s. f.). Sin embargo, su uso está limitado a suelos con un nivel freático alto, al menos durante la medición, y que sean lo suficientemente estables como para sostener el pozo durante la prueba. Este procedimiento es principalmente útil para fines prácticos, ya que la conductividad hidráulica del suelo se puede determinar fácilmente mediante el uso de diagramas o fórmulas.
- **Método Porchet o del barreno invertido:** este método también se conoce como ensayo de nivel constante (ver Figura 7), el cual mide la velocidad con la que pasa el agua a través de un hoyo donde se realiza la prueba en suelos no saturados. Los hoyos varían en profundidad y la velocidad de infiltración se mide manteniendo un nivel de agua constante en el agujero (Geotechnical Consulting, s.f.).

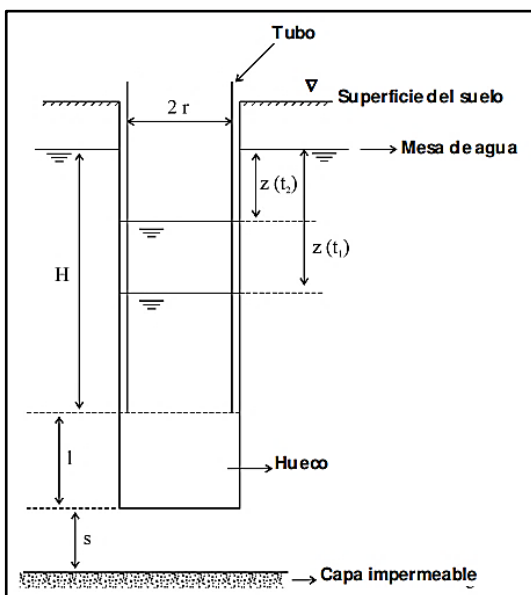
Figura 7. Esquema método Porchet



Fuente: Geotechnical Consulting (s. f.)

- **Método de Luthin & Kirkham o del piezómetro:** este método implica insertar un piezómetro debajo de la mesa de agua, con o sin una cavidad en la parte inferior (ver Figura 8); después de que el nivel de agua alcanza el equilibrio con la mesa de agua, se baja bombeando el agua y se observa la tasa a la que se alcanza nuevamente el equilibrio (Gabriels et al., 2011).

Figura 8. Método del piezómetro

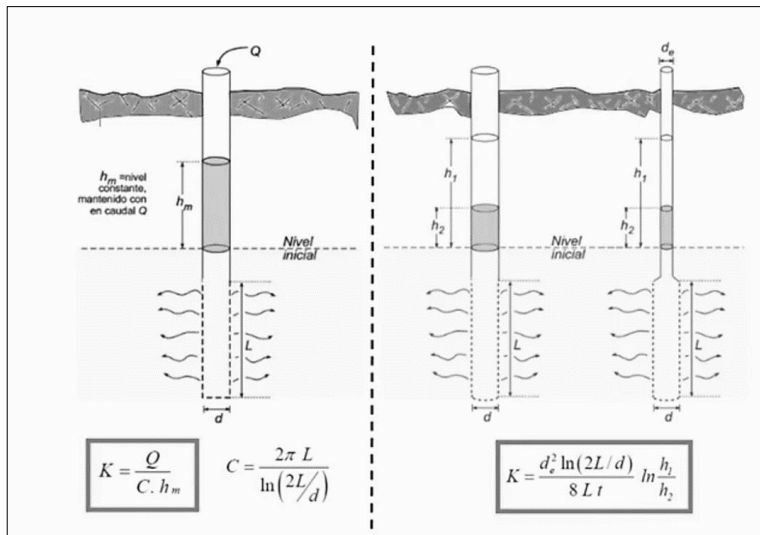


Fuente: Hartmann (2001)

- **Método de Lefranc:** la técnica consiste en inyectar agua en una cavidad del terreno (de forma geométrica definida) situada debajo del nivel freático, con una carga

constante de agua y al medir el gasto y la carga se puede calcular K ; puede realizarse a régimen constante o variable (Figura 9). Esta técnica se utiliza comúnmente para medir la conductividad hidráulica en suelos permeables o semipermeables debajo del nivel freático y se basa en la norma ASTM D-2573; este ensayo es especialmente recomendado para suelos aluviales o rocas muy fisuradas (González de Vallejo *et al.*, 2002; Sánchez-San Román, 2022).

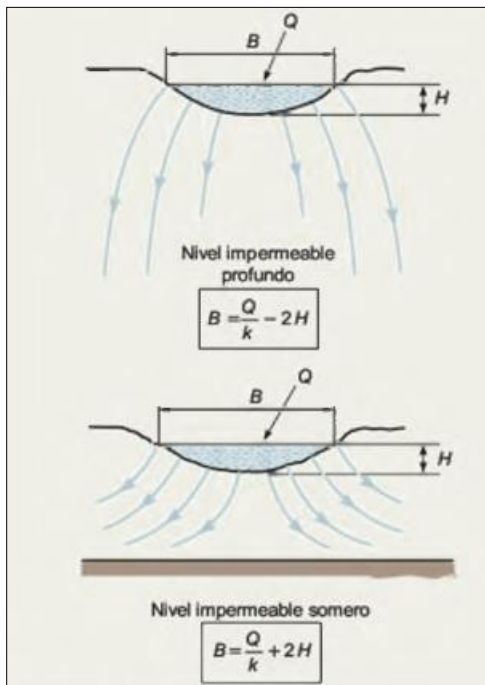
Figura 9. Método de Lefranc para carga constante (izquierda) y carga variable (derecha).



Fuente: (geo-webonline, s. f.)

- **Ensayo de Gilg-Gavard:** se realiza en suelos de conductividad media o baja, a carga constante manteniendo constante la carga y el caudal para mantener el mismo nivel de agua; o, a carga variable donde se introduce un pequeño volumen de agua en el sondeo hasta una altura conocida y luego se mide la posición del agua en tiempos sucesivos (González de Vallejo *et al.*, 2002; Sánchez-San Román, 2022)
- **Ensayo de Matsuo:** el método consiste en excavar una zanja rectangular en suelos secos o semisaturados y medir el caudal de agua necesario para mantener el nivel constante; luego, se extiende la zanja y se mide nuevamente el caudal de agua. La diferencia entre ambos caudales representa el caudal de absorción del terreno para la longitud adicional de la zanja y determinar el valor de K (González de Vallejo *et al.*, 2002). En la Figura 10 se puede observar el esquema de aplicación de este método.

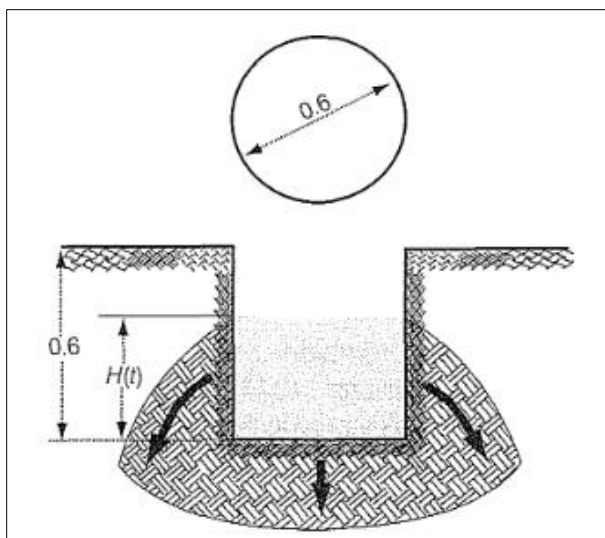
Figura 10. Método de Matsuo.



Fuente: (González de Vallejo *et al.*, 2002)

- **Método del pozo invertido por encima del nivel freático:** el método consiste en excavar un agujero cilíndrico, de radio y profundidad fija, en el cual se realizan ensayos de infiltración manteniendo la altura de agua y el caudal constante. Para mantener el nivel constante se utiliza el principio de Mariotte (Figura 11). Los valores medidos de altura y caudal se ajustan utilizando un modelo teórico que representa el funcionamiento del pozo de infiltración (Luna-Sáez *et al.*, 2005).

Figura 11. Método del pozo invertido



Fuente: Luna-Sáez *et al.* (2005).

Como se ha indicado, en campo o laboratorio, cada tipo de prueba se analiza mediante métodos de cálculo más o menos complejos; es importante prestar atención a la forma en que se realiza cada prueba, ya que los resultados pueden variar significativamente según los procedimientos utilizados. En la Tabla 6 se resume los tipos de prueba que se pueden realizar y la aplicabilidad de cada uno

Tabla 6. *Aplicabilidad de los diferentes métodos para determinar la conductividad hidráulica.*

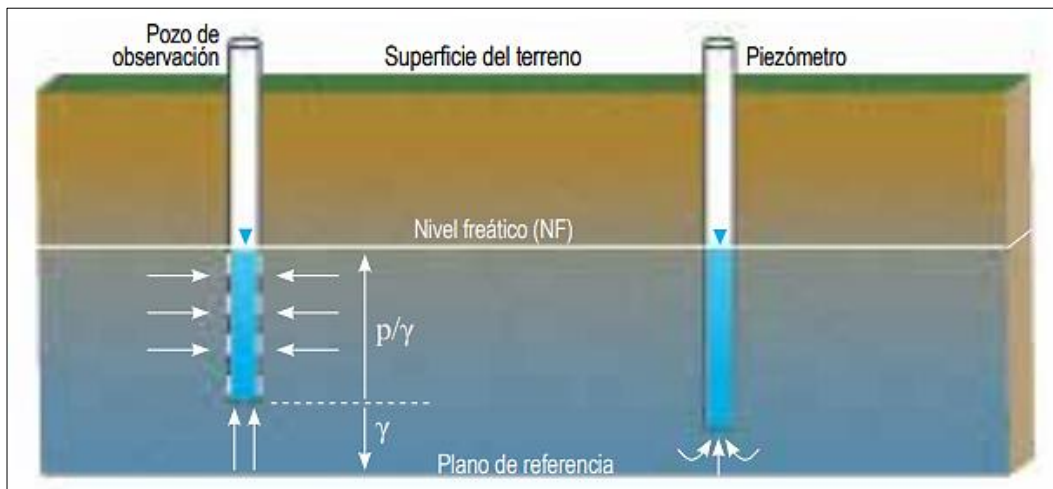
Método	Material		Nivel freático	
	Homogéneo	Heterogéneo	Por encima	Por debajo
Permeámetro de carga constante y variable	X	X	X	
Auger-Hole (pozo barrenado)	X	X	X	
Porchet (barreno invertido)	X	X	X	
Luthin & Kirkham (piezómetro)		X		X
Lefranc	X	X		X
Gilg-Gavard	X		X	
Matsuo	X		X	

4.7.3. Métodos para determinar niveles freáticos

Para determinar los niveles freáticos, la medición de la conductividad hidráulica se realiza mediante la observación directa en el sitio de ensayo, así mismo, se puede identificar los niveles freáticos por color del suelo o por ubicación de la capa freática. Entre ellos tenemos:

- **Pozos de observación:** de manera general se usan tubos de PVC, se instalan en perforaciones hechas con barreno de diámetro ligeramente superior al tubo, el espacio entre la pared del tubo y la pared del agujero se rellena con gravilla hasta aproximadamente 30 cm. de la superficie del terreno y posteriormente se rellena con arcilla compactada la parte superior, como se muestra en la Figura 12 (Ortegón, 2004).
- **Baterías de piezómetros:** se instalan para medir la carga hidráulica (H) en un punto (P) en el suelo saturado; con este fin se instalan tubos de hierro galvanizado de 2,5 a 5 cm de diámetro (Figura 9), es necesario enterrar los tubos de los piezómetros a una profundidad suficiente que penetre el nivel freático (Torres, 2014, p. 20).

Figura 12. *Funcionamiento hidráulico de un pozo de observación y un piezómetro*



Fuente: Torres (2014)

- **Mapas del nivel freático:** según Ortegón (2004), los mapas se generan utilizando la información obtenida de los freatómetros, los cuales pueden ser utilizados para crear dos tipos de mapas: el mapa de isohipsas o curvas de igual cota del nivel freático, y el mapa de isobatas o curvas de igual profundidad del nivel freático (ver Tabla 7). El primer tipo de mapa permite conocer la dirección del flujo, el gradiente hidráulico y las zonas de recarga y descarga en el área. El segundo tipo de mapa calcula las cotas para cada ubicación restando la profundidad del nivel freático respectivo a la cota de la superficie del terreno.

Tabla 7. *Profundidades del nivel freático, mapa de isobatas.*

Profundidades del nivel freático (m)	Color
0,0 a 0,5	Rojo
0,5 a 0,8	Anaranjado
0,8 a 1,0	Amarillo
1,0 a 1,5	Verde claro
1,5 a 2,0	Verde oscuro
Mayor de 2,0	Azul

Fuente: Ortegón (2004).

5. Metodología

A continuación, se describen los métodos utilizados para la obtención de resultados confiables y precisos realizados en esta investigación.

5.1. Método de la investigación

Puesto que el presente trabajo de investigación curricular tiene un sustento teórico, se desarrolló de manera transversal descriptiva, es decir, se recopiló datos que permitieron describir la relación o características de las variables en un momento determinado sin manipularlas en un corto periodo de tiempo, los cuales permitieron recopilar datos primarios a través de guías de observación.

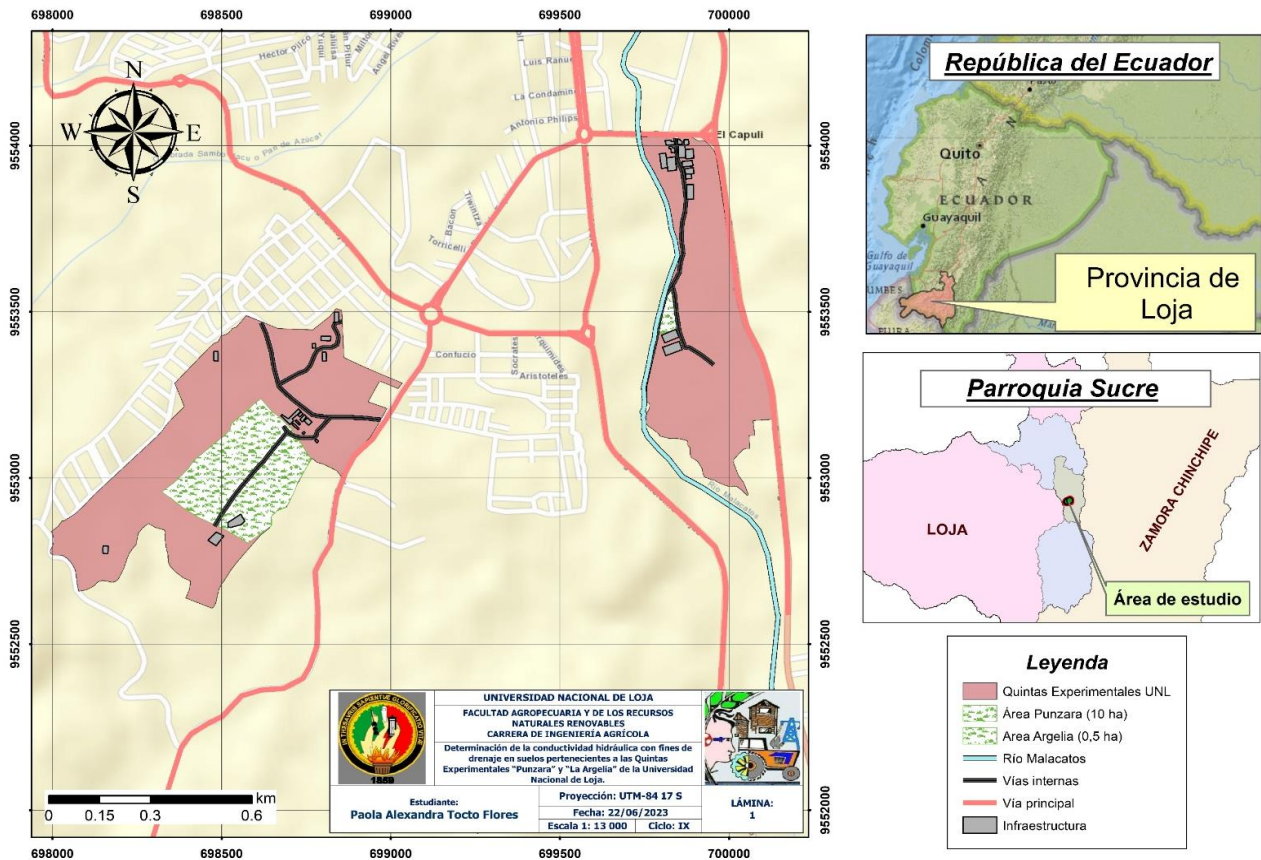
En este trabajo de investigación curricular se utilizó el método estadístico de la media aritmética para analizar los datos recolectados; este método es ampliamente utilizado en la estadística debido a su simplicidad y facilidad de cálculo proporcionando una idea general del valor promedio de los datos.

5.2. Ubicación de las zonas de estudio

El trabajo de integración curricular se realizó en las Quintas Experimentales “Punzara” y “La Argelia” pertenecientes a la Universidad Nacional De Loja; ubicadas en la parroquia Sucre del cantón y provincia de Loja, el periodo de campo para la toma de datos estuvo comprendidos entre los meses de marzo a junio.

El lugar de estudio se encuentra entre las coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S.: 698 000 – 700 180 Este y 9 552 700 – 9 554 100 Norte, tomadas con GPS GARMIN ETREX-VEN y referenciadas con la carta topográfica Loja Sur (Figura 10) a una altitud media de 2 140 m s.n.m.; el área de ejecución del proyecto en la quinta Punzara es de 10 ha y en La Argelia es de 0,5 ha.

Figura 13. Mapa de ubicación del proyecto



Los suelos que predominan en el cantón Loja son los Entisoles e Inceptisoles; es decir, corresponden a suelos jóvenes y poco desarrollados, con relieve colinado y montañoso; textura franco arcillosa con pH moderadamente ácido, donde la capacidad de uso de tierras corresponde a la categoría agrológica VII (tierras de protección con limitaciones fuertes) y VIII (limitaciones muy fuertes-conservación) (Municipio de Loja, 2014).

5.3. Materiales y equipos

Para dar cumplimiento con la ejecución de la investigación se emplearon muestras de suelo disturbadas y no disturbadas; *materiales de campo*: barreno, flexómetro, cuerda, regla graduada, recipiente de 6 l, flotador de 2 cm de diámetro, fundas Ziploc, cuchillo, tijera, recipiente pequeño, GPS, cámara fotográfica, cronómetro, libreta de campo, guías de observación, calculadora, bomba manual; *materiales de laboratorio*: tamiz No. 40, bureta, vasos de precipitación, pipeta Pasteur, probetas, erlenmeyer, vidrio de reloj, cápsulas, termómetro, cucharas, papel poroso, parafilm, brocha, embudos, frasco lavador, desecador,

termómetro, agitador manual; *Equipos*: equipo muestreador de suelos, cilindros Kopecky, molino eléctrico, balanza de precisión, estufa, picnómetro, agitador magnético, hidrómetro (ASTM-152 H), batidora eléctrica, pH-metro, espectrofotómetro UV, permeámetro de pared rígida, equipo de Casa Grande, placa de vidrio esmerilada, martillo para compactar, tabla Munsell; y, *reactivos*: hexametáfosfato de sodio, carbonato de sodio, dicromato de potasio 1N ($K_2Cr_2O_7$), ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), ácido fosfórico

5.4. Metodología para el primer objetivo

Determinación de la conductividad hidráulica con los métodos de campo (Auger-Hole, Porchet) y laboratorio (Permeámetro).

Se inició con el recorrido del terreno para delimitar el área del ensayo y reconocer el sector de trabajo. Además, se realizó previamente un análisis climático para conocer las variables climáticas existentes en la zona.

5.4.1. Caracterización de la zona de estudio

La caracterización del área de estudio se realizó a través de los anuarios meteorológicos del INHAMI de la Estación “La Argelia” en un periodo de 29 años (1 990 – 2 019), donde se estudiaron los principales meteoros que intervienen en la formación del clima (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación); con esta información se determinó la evapotranspiración potencial o de referencia (ET_o) propia de la zona empleando la fórmula de Hargreaves puesto que es la que mejor se adapta con los datos recopilados; al tener los datos mensuales de la ET_o se establecieron los meses lluviosos y de sequía de la zona.

Formula de Hargreaves presentada por Sanami (2000)

$$ET_o = 0,0135 (t_{med} + 17,78)R_s$$

Donde:

- ET_o evapotranspiración potencial diaria (m/día)
- t_{med} temperatura media ($^{\circ}C$)
- R_s Radiación solar incidente (mm/día), calculada mediante:

$$R_s = R_o * KT * (t_{m\acute{a}x} - t_{m\acute{i}n})^{0,5}$$

Donde:

- ET_o evapotranspiración potencial diaria (m/día)

- Ro*** Radiación solar extraterrestre (Anexo 1)
- KT*** coeficiente adimensional usado 0,162 para zonas de interior.
- t_{máx}*** temperatura máxima (°C)
- t_{mín}*** temperatura mínima (°C)

Conocido el valor de la ETo para cada mes, se procedió a determinar el valor del escurrimiento medio aplicando la metodología del “Numero de Curva o del SCS”, asignando un grupo hidrológico del suelo (grupo A, B, C, D), uso de tierra, tratamiento o práctica y tipo de cobertura (Anexo 2)

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

Donde:

- Q*** escurrimiento medio (mm)
- P*** precipitación (mm)
- S*** retención máxima potencial (mm)

Para calcular el valor de retención máxima potencial se lo determino con la siguiente ecuación:

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

Donde:

- S*** retención máxima potencial (mm)
- CN*** número de curva

El estudio de suelo se inició con el levantamiento topográfico proporcionado por el Centro de Investigación Territorial (CIT) perteneciente la Universidad Nacional de Loja trabajando con un Sistema de Información Geográfico (SIG) donde las herramientas y tecnologías permiten la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos geográficos y espaciales; para generar el mapa de pendientes de las Quintas y caracterizar los suelos se realizaron curvas de nivel cada 0,5 m las cuales permitieron establecer las zonas con la misma elevación y ordenarlas en función a la topografía (Tabla 8) con fines de riego y drenaje.

Tabla 8. Clasificación topográfica con fines de riego y drenaje

Clases Agrológicas	Pendiente (%)	Relieve
Clase 1	0 – 4	Plano a casi plano
Clase 2	4 – 8	Ondulado
Clase 3	8 – 16	Fuertemente ondulado
Clase 4	16 – 30	Colinado
Clase 6	> 30	Fuertemente socavado

Fuente: (Soil Survey Division Staff, 1993)

Generada la altimetría en función de la elevación y pendientes, se designó tanto los puntos donde se realizaron las calicatas, que sirvieron para la toma de muestras de los distintos estratos y describir los perfiles del suelo con el posterior análisis en laboratorio, como, los puntos de observación con dos tipos de profundidades debido a que los suelos presentan estratificación en el perfil; así, se establecieron 12 puntos de sondeo, 10 para Punzara y dos en La Argelia con dos barrenaciones por cada punto, dando un total de 24 pozos de observación.

En la Quinta Punzara se realizaron dos calicatas debido al área de estudio, la ubicación de la primera calicata se encuentra en las coordenadas: 698 714 m y 9 553 076 m, la segunda se encuentra ubicada en las coordenadas: 698 431 y 9 552 918 m; en la Quinta La Argelia la ubicación de la calicata está en las coordenadas: 699 801 m y 9 553 477 m. Para conocer las propiedades del suelo de las Quintas se tomaron muestras de suelo no disturbadas y disturbadas, los ensayos analíticos se realizaron en un Laboratorio habilitado de la localidad, aplicando la metodología descrita por Rucks *et al.* (2004), Sandoval-Estrada *et al.* (2011) y Gómez-Giraldo (2013), los ensayos fueron sobre las propiedades físico-químicas, hidrofísicas y conductividad hidráulica en laboratorio (Tabla 8); estos ensayos se orientaron para la utilización de riego y drenaje, realizados por triplicado para conseguir mayor robustez en los resultados obtenidos.

Los ensayos de laboratorio se realizaron tomando muestras de suelo de los distintos estratos presentes en las calicatas, se pusieron a secar en estufa a 105 °C por 24 h, se dejó enfriar y se procedió a pasar las muestras en el molino eléctrico para tamizarlos en el agitador magnético con el tamiz No. 40, con el pasante de este tamiz se inició el pesado de las muestras para realizar cada uno de los ensayos correspondientes; el proceso de cálculo se de algunas propiedades analizadas se presentan en el Anexo 6.

Ensayos de las propiedades físicas

1. Textura por el método del hidrómetro
2. Densidad aparente (Da) método del cilindro

3. Densidad real (Dr) método del picnómetro
4. Porosidad, relacionando las densidades
5. Color tabla Munsell
6. Estructura mediante observación directa

Ensayos de las propiedades químicas

1. pH relación 1:25 (M/V), para el primer y segundo estrato.
2. Materia orgánica espectrómetro, para el primer y segundo estrato.

Ensayos de las propiedades hidrofísicas

1. Saturación:
2. Capacidad de campo a través del ensayo de la textura
3. Punto de marchitez permanente

Ensayos Límites de Atterberg: para estos ensayos se realizaron con las muestras del segundo y tercer estrato

1. Límite líquido: Norma NTE INEN 691 - ASTM D 4318
2. Límite plástico: Norma NTE INEN 692 - ASTM D 4398
3. Índice de Plasticidad.

Tabla 9. *Métodos empleados en el análisis de suelo en esta investigación*

Variable	Método	Unidad de medida	Riego	Drenaje
Textura	Hidrómetro de Bouyucos	% arena, limo y arcilla	✓	✓
Da	Volumen conocido	g/cm ³	✓	✓
Porosidad	Gómez-Giraldo (2013)	%	✓	✓
Color	Gómez-Giraldo (2013)	Tabla Munsell	✓	✓
Estructura		Método de campo	✓	✓
pH _{agua}	Gómez-Giraldo (2013)	Rangos de pH	✓	✓
MO	Espectrofotómetro UV	Rangos de MO	✓	✓
Contenido de Humedad	Gravimétrico Gómez-Giraldo (2013)	%	✓	✓
Saturación		%	✓	
CC	Formula de Peele (Gavilanes-Luna, 2020)	%	✓	
PMP	Formula de Peele Gavilanes-Luna, 2020	%	✓	

Variable	Método	Unidad de medida	Riego	Drenaje
Límites de Atterberg (LL, LP, IP)	Norma NTE INEN 691 - ASTM D 4318	%	✓	✓
Conductividad Hidráulica	Laboratorio y Campo	m/día	✓	✓

5.4.2. Conductividad hidráulica mediante el permeámetro de pared rígida

Este ensayo se desarrolló con la metodología propuesta por Villón-Béjar (2007), se tomó muestras disturbadas del segundo y tercer estrato para el análisis de la conductividad hidráulica mediante el permeámetro de pared rígida, analizando cada muestra por triplicado y obtener el promedio de cada una; así, en la quinta Punzara con este método se analizaron 12 muestras en total y en La Argelia seis muestras. Adicional, se comprobó la densidad de campo mediante el principio de Arquímedes, el cual relaciona masa y volumen para simular las condiciones de campo, puesto que la finalidad era obtener la permeabilidad con fines de drenaje.

Se tomaron los pesos del permeámetro sin muestra, con muestra y luego de someterlo a saturación; para los suelos de texturas finas se empleó el permeámetro de carga variable, en el cual intervienen factores de tiempo, volumen de agua y carga hidráulica que se le da a la muestra, sin embargo para los suelos de textura arenosa se utilizó el permeámetro de carga constante, donde intervienen factores de tiempo, volumen de agua, carga hidráulica y el volumen de agua que se obtiene después del tiempo transcurrido en el ensayo.

Las fórmulas que se usaron para determinar la conductividad hidráulica en laboratorio, mediante el permeámetro, fueron:

$$k = \frac{Q * L}{A * \Delta h}$$

Donde:

k conductividad hidráulica (m/día)

Q caudal que se obtiene (ml)

L longitud del permeámetro (m)

A área del permeámetro o muestra de suelo (m²)

Δh es la carga hidráulica (m)

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

Donde:

K conductividad hidráulica (m/día)

- a área del tubo alimentador (m^2)
- L longitud del permeámetro (m)
- A área del permeámetro o muestra de suelo (m^2)
- t_1 tiempo en el que se inicia la prueba (s, min, h)
- t_2 tiempo en el que se termina la prueba (s, min, h)
- h_1 y h_2 cargas hidráulicas en los tiempos t_1 y t_2 (m)

El proceso de cálculo para el permeámetro de pared rígida, tanto de carga variable como de carga constante, constan en el Anexo 8.

5.4.3. Conductividad hidráulica mediante los métodos de campo

La determinación de la conductividad hidráulica se la realizó con los métodos de Auger-Hole y Porchet. El criterio para la utilización de estos métodos se realizó en función del nivel freático encontrado en cada punto de sondeo; así, para pozos donde el flujo de agua se encuentra en la superficie, o cerca de ella, se empleó el método de Auger-Hole (ocho pozos) y para pozos donde el nivel de agua se encontraba muy profundo, se empleó el método de Porchet (dos pozos).

Al presentar las quintas estratificación en el suelo, se trabajó con dos tipos de profundidades; se trabajó con dos niveles de profundidad: el primero, que abarcó de los 40 a los 50 cm, y el segundo, que se extendió de los 70 a los 100 cm con un diámetro de 10 cm cada uno. Se realizaron cinco repeticiones o mediciones para luego procesarlas y obtener un promedio de los valores de conductividad en cada estrato (k_1 y k_2).

Método de Auger-Hole (pozo barrenado)

Este método se utilizó para medir la conductividad hidráulica en campo, el método de aplicación se realizó bajo la metodología propuesta por Gavilánez-Luna (2020) y Villón-Béjar (2007) empleando las ecuaciones de Hooghoudt y Ernest (1950). En la asignación de los puntos donde se instalaron los pozos de observación, se tomó en cuenta el mapa de pendientes, realizando dos pozos en cada nivel permitiendo así abarcar toda el área en estudio, es importante decir que estos mismos pozos servirán para el monitoreo de los niveles freáticos del segundo objetivo planteado en esta investigación.

Para la ejecución de este método se empezó perforando el suelo y obtener la conductividad hidráulica en dos estratos, una vez hecha la perforación se esperó a que el agua de la capa freática se estabilice y empiece a inundar el hoyo, se registró la lámina de agua hasta

la profundidad del mismo pozo, a continuación, con la bomba manual se evacuó el agua siguiendo la recomendación de $Y_0 - Y_1 \leq Y_0/4$, luego se tomó la medida (regla graduada) con una nueva lectura en un tiempo conocido para saber cuál fue el ascenso o velocidad de recuperación de la lámina de agua.

El cálculo de la conductividad hidráulica se realiza bajo dos condiciones, donde el cálculo completo se presenta en el Anexo 9:

$$\text{Para } S \geq H/2 \quad K = \frac{4000 * r^2 * (Y_0 - Y_1)}{y * t * (H + 20r) * \left(2 - \frac{y}{H}\right)} * \frac{\Delta Y_1}{\Delta t_1}$$

$$\text{Para } S = 0 \quad K = \frac{3600 * r^2 * (Y_0 - Y_1)}{y * t * (H + 10r) * \left(2 - \frac{y}{H}\right)} * \frac{\Delta Y_1}{\Delta t_1}$$

Donde:

K conductividad hidráulica (m/día)

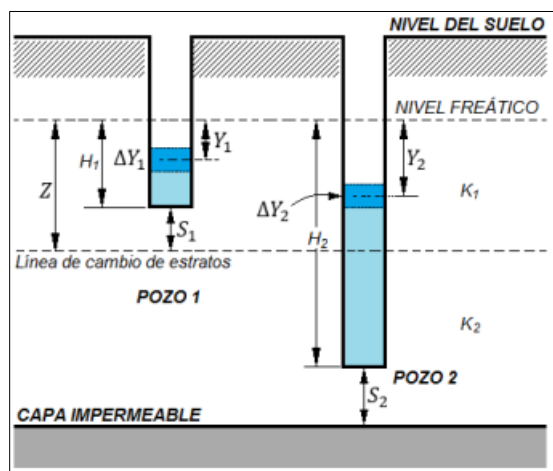
r radio hidráulico del pozo (m)

y $(Y_0 + Y_1) / 2$ que es la profundidad media entre la profundidad de inicio y la final de la prueba (m)

H profundidad desde el nivel freático hasta el fondo del pozo (m)

t tiempo efectivo empleado en la prueba ($Y_0 - Y_1 \leq Y_0/4$)

Figura 14. Esquema del método de Auger-Hole en suelo estratificado.



Fuente: (Gavilánez-Luna, 2020)

Conductividad hidráulica mediante el método Porchet (pozo invertido)

Este método es usado “cuando la tabla de agua se encuentra muy profunda cuyo principio es abrir un pozo a una profundidad deseada, llenarlo de agua y medir la velocidad del descenso” (Villón-Béjar, 2007, p. 166), se inició haciendo las perforaciones con dos profundidades, se llenó el pozo con agua para que percole a través del agujero, a continuación se procedió a hacer

las lecturas de velocidades de descenso del agua dentro del pozo en tiempos establecidos entre las lecturas

La conductividad se la obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

$$K = \frac{d}{t} \ln \left(\frac{4h_0 + d}{4h_1 + d} \right)$$

Donde:

K conductividad hidráulica (m/día)

r radio hidráulico del pozo (m)

h₀ y **h₁** profundidad del nivel de agua en el pozo, que se obtiene mediante **h₀** = H + Y - Y₀ y

$$h_1 = \frac{H + Y - Y_0}{2}$$

d diámetro del pozo (m)

5.5. Metodología para el segundo objetivo

Identificación del movimiento de agua y el nivel freático de las quintas experimentales “Punzara y La Argelia”.

Para identificar los niveles freáticos e identificar el movimiento del agua se emplearon los pozos de observación del objetivo 1, según lo descrito por Villón-Béjar (2007) y Gavilánez-Luna (2020), realizando cinco lecturas por pozo.

Con la información de los niveles de agua obtenidas de los pozos de observación (Anexo 3) se procedió a tabular los datos en una hoja electrónica agrupados en campos (número de pozo, cota, profundidad y cota de los niveles freáticos).

Esta información se subió a un SIG de uso libre; con los datos de las muestras existentes se generó la ubicación de los niveles freáticos en diferentes rangos de pendientes mediante el uso de la herramienta de interpolación; a continuación, se crea la dirección de los flujos para finalmente generar los mapas de isohipsas (cotas o elevaciones de cada pozo) y de isobatas (profundidades de los niveles freáticos) según la Tabla 7 y así determinar las áreas que requieren drenaje.

6. Resultados

6.1. Determinación de la conductividad hidráulica con los métodos de laboratorio y campo

6.1.1. Caracterización de la zona de estudio

Clima

La zona de investigación tiene un clima ecuatorial mesotérmico seco, la temperatura media mensual de 16 °C, humedad relativa de 76 %, evapotranspiración media de 103 mm/mes, precipitación media mensual de 85 mm donde el mes de mayor de precipitación corresponde a marzo con 146 mm de los cuales 88 mm y 86 mm se pierden por escurrimiento en la Quinta Punzara y La Argelia (Anexo 4 y 5) correspondiente

El análisis del clima se realizó utilizando los anuarios meteorológicos del INHAMI en un periodo de 30 años, debido a limitaciones para obtener información se realizó un solo estudio climático para las dos Quintas con la estación meteorológica La Argelia, por su influencia y cercanía.

Tabla 10. Climatología de la zona de estudio

T. Media (°C)	H.R. (%)	V. viento (m/s)	Precipitación (mm/año)	Eto (mm/año)
16,3	75,5	0,6	592	102,7

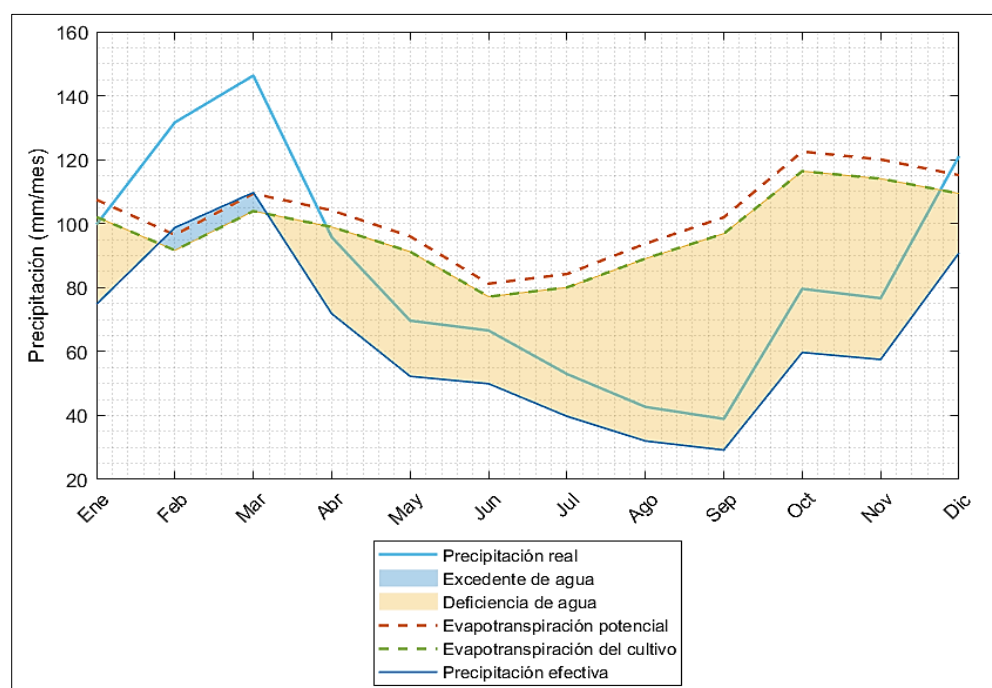
Con los datos obtenidos de la Tabla 10 se efectuó el balance hídrico para todo el año (Tabla 11), donde se tomó del manual de la FAO el valor del kc del pasto para las dos quintas para obtener finalmente dosis de riego necesarias para cada mes del año.

Tabla 11. Balance hídrico anual de las Quintas Experimentales

Datos	Precipitación	Eto	Kc (Pasto)	Etc	P-Etc	Pe	Balance Hídrico (Pe-Etc)	Dosis de Riego (l/s/ha)
Enero	101,6	107,5		3,3	98,3	61,3	37,0	0,4
Febrero	134,3	96,5		3,3	130,9	87,4	43,6	0,5
Marzo	148,2	109,4		3,4	144,8	98,6	46,3	0,6
Abril	94,2	104,1		3,3	90,9	55,4	35,5	0,4
Mayo	69,4	96,0		3,0	66,5	35,7	30,8	0,3
Junio	65,9	81,2	0,95	2,6	63,3	33,5	29,8	0,3
Julio	52,4	84,2		2,6	49,8	25,4	24,4	0,2
Agosto	42,4	93,7		2,9	39,5	19,4	20,1	0,2
Septiembre	39,7	102,0		3,2	36,5	17,8	18,7	0,2
Octubre	81,2	122,5		3,8	77,5	45,0	32,5	0,3
Noviembre	74,6	120,0		3,8	70,9	38,8	32,1	0,3
Diciembre	117,9	115,2		3,5	114,3	74,3	40,04	0,5
Promedio	85,2	102,7	0,95	3,2	81,9	49,4	32,6	0,33

De los resultados del balance hídrico de las Quintas se realizó el gráfico correspondiente (Figura 15), del cual se evidencia que los meses de febrero y marzo la precipitación cubre las necesidades de los cultivos, mientras que de abril a enero se precisa de un riego complementario para cumplir las demandas hídricas de los cultivos.

Figura 15. Balance hídrico de las Quintas Experimentales Punzara y La Argelia pertenecientes a la UNL.



Suelos

La Quinta Punzara según la clasificación de las dos calicatas estudiadas, presentan suelos estratificados, los suelos de la primera calicata tienen una profundidad de 73 cm distribuidos en tres horizontes, mientras que en la segunda calicata tienen una profundidad de 110 cm y se encontraron cuatro horizontes. Con los resultados obtenidos de las fracciones de suelo (arena, limo y arcilla), la textura del suelo se la determinó mediante el triángulo textural de la Figura 2, así, de forma general, de los resultados obtenidos los suelos son de textura que van de franco arcillosas a arcillosas, en ambas calicatas, predominando texturas finas de arcilla, la coloración se determinó conforme a la Tabla Munsell; la calicata uno presenta un tono marrón amarillento en el primer estrato y en el segundo y tercer estrato tonos grises, existen procesos de óxido-reducción, lo que se traduce en un desequilibrio en la cantidad de oxígeno y agua que se encuentra en el suelo, también se hace evidente que existen fluctuaciones en los niveles freáticos (ascenso y descenso del flujo de agua); en la calicata dos, todo el perfil presenta tonos grises demostrando que existen problemas de drenaje en todo el perfil del suelo.

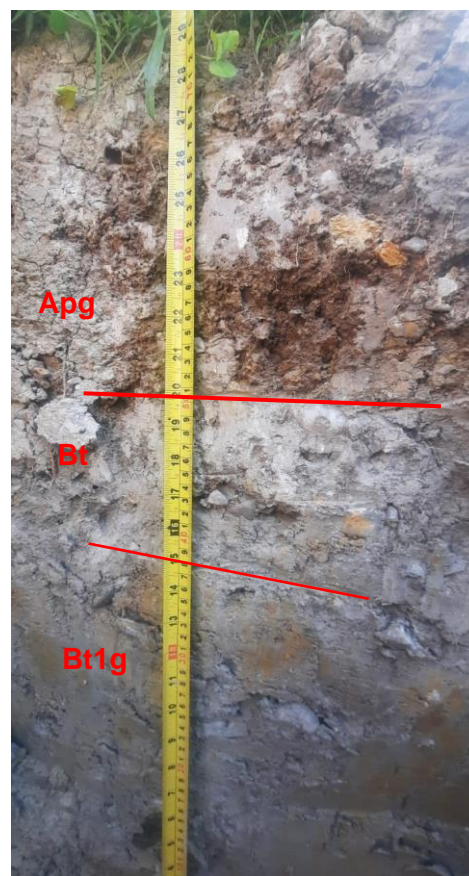
La clasificación del pH según la Tabla 2 muestra que la primera calicata (hasta los 23 cm de profundidad) y la segunda calicata (hasta los 19 cm de profundidad) presentan un pH fuertemente ácido. Estos valores son importantes ya que afectan la disponibilidad de nutrientes en los cultivos. De la Tabla 3 se clasifica la MO en pobre (calicata 1) hasta los 23 cm de profundidad y mediana (calicata 2) hasta los 19 cm de profundidad. Estos valores son relevantes para el diseño de los sistemas de riego, ya que influyen en la retención de agua o humedad en el suelo, así como en el diseño de los sistemas de drenaje para prevenir la falta de oxígeno en los cultivos y el encharcamiento en la superficie del suelo.

Las Tablas 12 y 13 muestran a detalle los resultados del análisis de suelos.

También con la densidad, porosidad, contenido de humedad del suelo y Límites de Atterberg se establece que existe compactación de suelo, estos suelos son propicios para retener agua.

Tabla 12. Descripción de los perfiles de suelo de la Quinta Punzara.

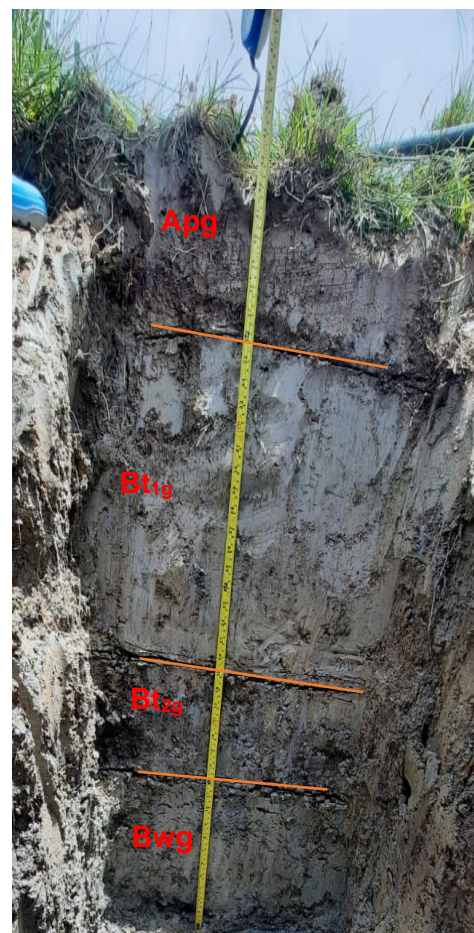
Parámetro	Muestra PC1		
	Horizonte		
	I	II	III
Espesor (cm)	23,0	12,0	38,0
Textura	Franco arcillosa	Arcillosa	Franco arcillosa
Da (g/cm³)	1,4	1,3	1,4
Porosidad (%)	47	51	47
Color	Marrón amarillento oscuro 10YR 4/4	Gris claro 2,5Y 7/1	Gris 5Y 6/1
Estructura	Bloque subangular	Bloque	Bloque
pH	5,5	5,7	5,7
MO (%)	1,6	0,7	-
Contenido de Humedad (%)	33,1	38,2	34,3
Saturación (%)	14,8	18,2	17,1
CC (%)	25	32	25
PMP (%)	14	18	13
Límite Líquido (%)	-	47,7	30,4
Límite Plástico (%)	-	37,8	14,5
Índice de Plasticidad (%)	-	9,8	15,9



- No se realizó ensayo

Tabla 13. Descripción de los perfiles de suelo de la Quinta Punzara.

Parámetro	Muestra PC2			
	Horizonte			
	I	II	III	IV
Espesor (cm)	19,0	42,5	17,5	31,0
Textura	Franco arcillosa	Arcillosa	Arcillosa	Arcillosa
Da (g/cm³)	1,4	1,3	1,3	1,3
Porosidad (%)	47	51	51	51
Color en húmedo (Munsell)	Marrón grisáceo 2,5Y 5/2	Gris muy oscuro 2,5Y 3/1	Gris 5Y 5/1	Oliva 5Y 5/3
Estructura	Bloque subangular fino	Granular fino	Bloque	Bloque
pH	5,2	6,3	6,1	6,4
MO (%)	2,4	1,1	-	-
Contenido de Humedad (%)	38,0	38,4	40,1	33,2
Saturación (%)	26,8	17,5	17,6	16,2
CC (%)	26	31	30	30
PMP (%)	14	17	16	16
L. Líquido (%)	-	42,6	43,1	-
L. Plástico (%)	-	39,3	18,4	-
Índice de Plasticidad (%)	-	3,3	24,7	-



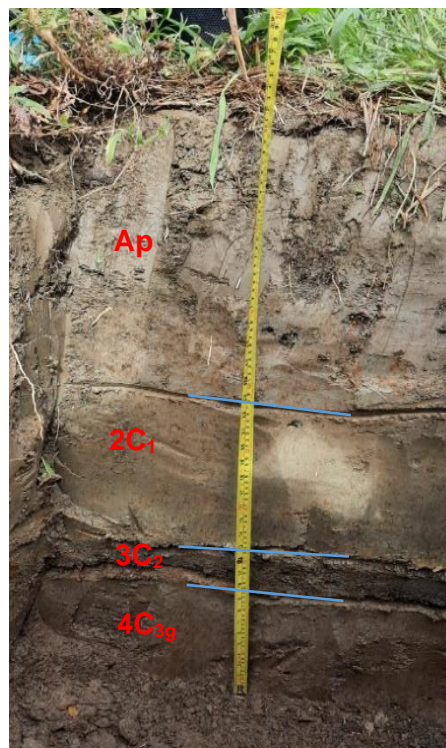
- No se realizó ensayo

Los suelos de la Quinta La Argelia son estratificados, dominados por partículas de **textura gruesa**, de acuerdo con la ubicación de la zona evaluada y la textura que presentan, se establece que estos suelos corresponden a suelos aluviales donde se hace evidente la discontinuidad litológica que presentan estos suelos (Tabla 14).

Analizando conjuntamente la textura, densidad, porosidad, contenido de humedad y color que presentan estos suelos, se establece que son suelos con buena capacidad de drenaje dado que la textura evita el encharcamiento del agua; sin embargo, existe una ligera compactación del suelo con una cantidad considerable de espacio poroso, lo que evita la retención del agua facilitando su infiltración.

Tabla 14. Descripción del perfil de suelo de la Quinta La Argelia.

Parámetro	Muestra AC1			
	Horizonte			
	I	II	III	IV
Espesor (cm)	34,5	25,5	9	26
Textura	Franco	Franco	Franco arenoso	Franco limoso
Da (g/cm³)	1,4	1,4	1,4	1,4
Porosidad (%)	47,0	47,0	47,0	46,0
Color en húmedo (Munsell)	Gris olivo 5Y 4/2	Gris olivo 5Y 3/2	Marrón 7.5YR 4/2	Olivo 5Y 4/3
Estructura		Migajón		
pH	5,8	5,8	6,0	6,6
MO (%)	0,93	0,71	-	-
Contenido de Humedad (%)	20,80	19,08	15,02	23,76
Saturación (%)	13,11	15,16	13,34	14,79
CC (%)	21	19	15	24
PMP (%)	11	10	8	13

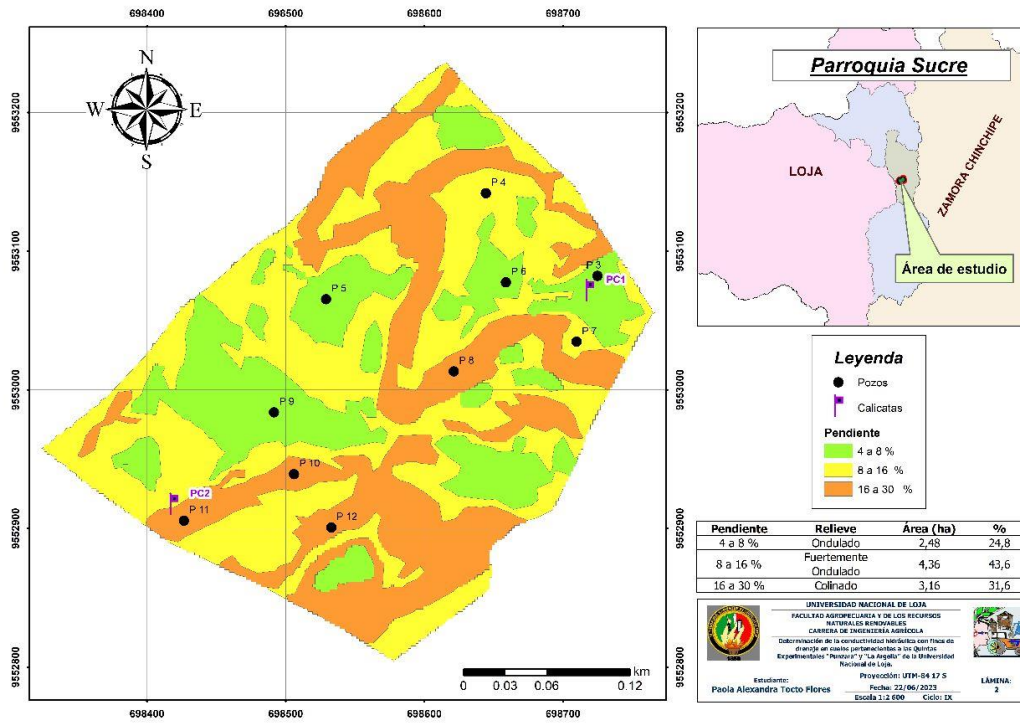


- No se realizó ensayo para esos estratos

Relieve

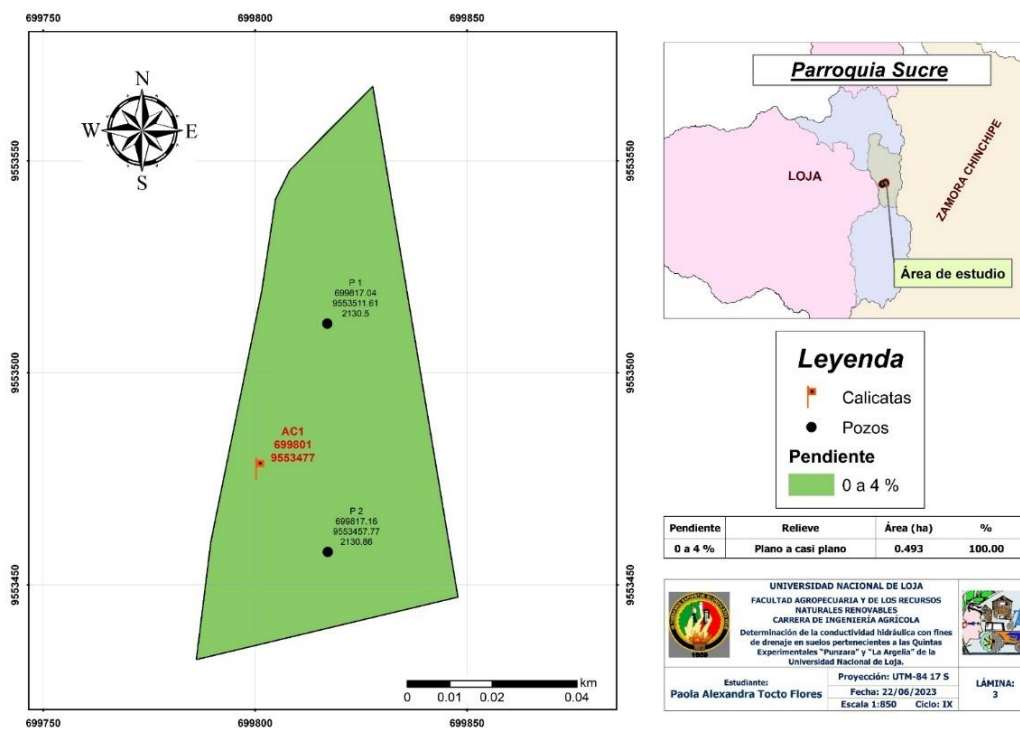
Analizada la topografía, la Quinta Punzara presenta tres tipos de relieve, siendo el relieve fuertemente ondulado el que domina en la Quinta con el 43,6 % del área total en la pendiente del 8 al 16 % (Figura 16) con elevación promedio de 2 232,5 m s.n.m.

Figura 16. Mapa de pendiente de la Quinta Punzara



En la Quinta La Argelia, sin embargo, el relieve es plano a casi plano en el 100 % del área investigada (Figura 17), pendiente del 0 al 4 % y elevación promedio de 2 130,7 m s.n.m.

Figura 17. Mapa de pendiente de la Quinta La Argelia



6.1.2. Conductividad hidráulica

De las observaciones realizadas en los pozos estudiados (Anexo 7), los valores obtenidos en la medición de la conductividad hidráulica, tanto con métodos de laboratorio como de campo se presentan en la Tabla 15; en el método de laboratorio con el permeámetro de pared rígida a carga constante la conductividad hidráulica en la Quinta La Argelia el k_1 es de 4,63E-01 m/día a una profundidad de 60 cm, mientras que para una profundidad de 69 cm el k_2 es de 5,85E-01 m/día, cuyos valores corresponden a texturas de arenas muy finas y velocidad moderadamente lenta. En la Quinta Punzara con el permeámetro de pared rígida a carga variable, a una profundidad de 54,5 cm el k_1 es de 1,42E-05 m/día y el k_2 es de 1,74E-05 m/día a una profundidad de 79,5 cm que corresponden a arcillas compactadas con velocidad muy lenta.

Tabla 15. Valores de K mediante permeámetro de pared rígida en las Quinta Punzara y La Argelia

Lugar	Muestra	K (m/día)	Profundidad (cm)	Método
La	II Horizonte	4,63E-01	60,00	Carga
Argelia	III Horizonte	5,85E-01	69,00	Constante
Punzara	II Horizonte	1,42E-05	54,50	Carga Variable
	III Horizonte	1,74E-05	79,50	

En la Tabla 16 se presentan los resultados de la conductividad hidráulica aplicando los métodos de campo (Auger-Hole y Porchet); en la Quinta La Argelia con una pendiente de 0 – 4 %, la conductividad hidráulica es moderadamente lenta, donde el k_1 es de 2,23E-01 m/día y el k_2 es de 1,23E-01 m/día, con profundidades de 42,75 y 101 cm respectivamente. En la Quinta Punzara la conductividad hidráulica es muy lenta, en el área con pendientes de 4 – 8 % la k_1 es de 2,92E-02 m/día y k_2 es de 1,88E-02 m/día, con profundidades de 42,9 y 77,8 cm; para la pendiente de 8 – 16 % la k_1 es de 1,32E-02 m/día y k_2 es de 8,05E-02 m/día, con profundidades de 42,5 y 80,0 cm; y en la pendiente de 16 – 30 % el k_1 es de 1,67E-02 m/día y el k_2 es de 1,41E-02 m/día, con profundidades de 45,6 y 79,3 cm, estos valores se encontraron en áreas con texturas franco arcillosas mal estructuradas y velocidad muy lenta.

Tabla 16. Valores de K empleando métodos de campo en las Quinta Punzara y La Argelia

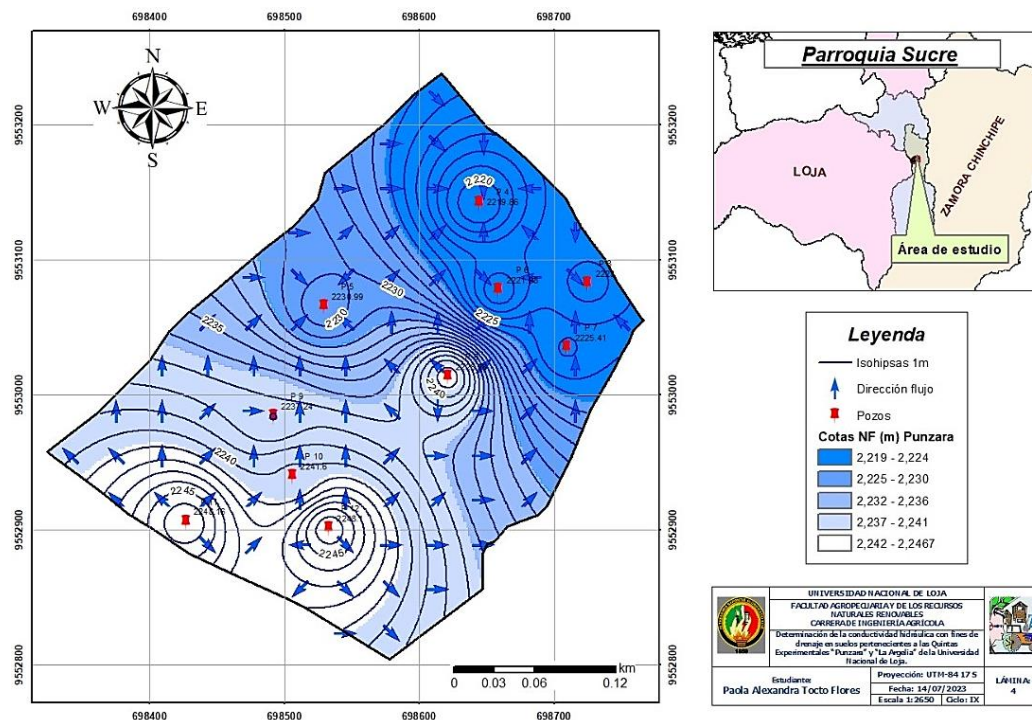
Lugar	Pendiente (%)	Área (ha)	No. Pozo	k (m/día)		Profundidad (cm)	
				k1	k2	k1	k2
Punzara	4 – 8	2,48	3-5-6-9	2,92E-02	1,88E-02	42,90	77,80
	8 – 16	43,60	4-7	1,32E-02	8,05E-03	42,50	80,00
	16 - 30	31,60	8-10-11-12	1,67E-02	1,41E-02	45,60	79,30
La Argelia	0 - 4	0,50	1 - 2	2,23E-01	1,23E-01	42,75	101

6.2. Identificación del movimiento de agua y el nivel freático de las quintas experimentales “Punzara y La Argelia”.

Una vez determinados los movimientos de agua en el suelo con el primer objetivo, se obtuvieron los mapas de isohipsas e isobatas, determinando las profundidades y cotas de los niveles freáticos.

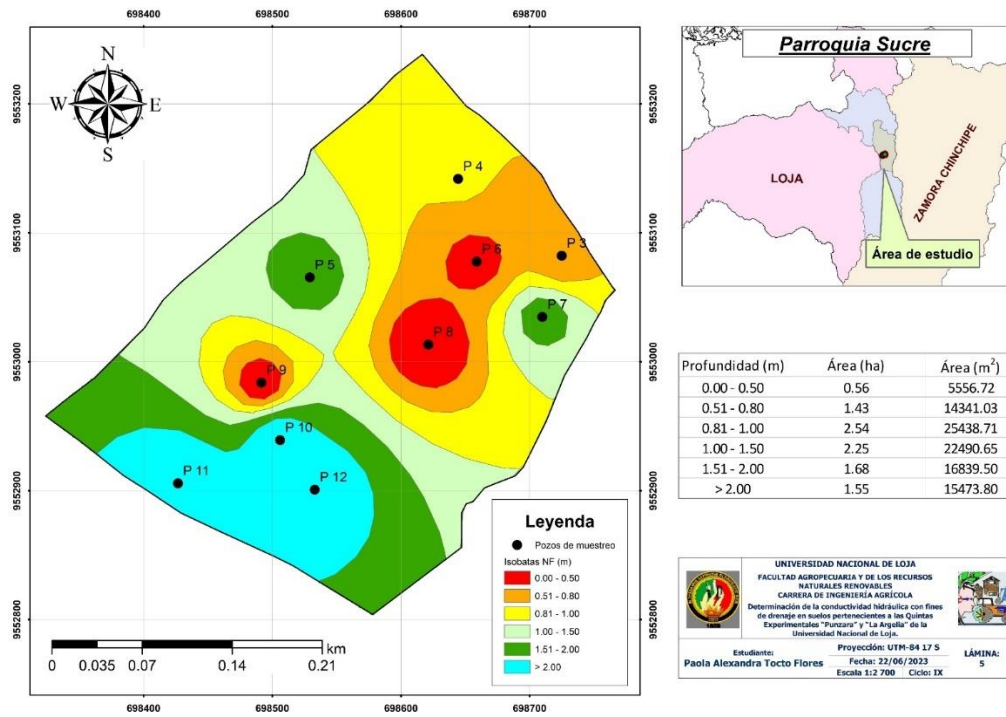
En la Figura 18 las isohipsas presentan una dirección del movimiento de agua que noreste, donde las elevaciones de los niveles freáticos oscilan entre los 2 219 a 2 246 m s.n.m.

Figura 18. Mapa de isohipsas o curvas de igual cota del nivel freático en la Quinta Punzara



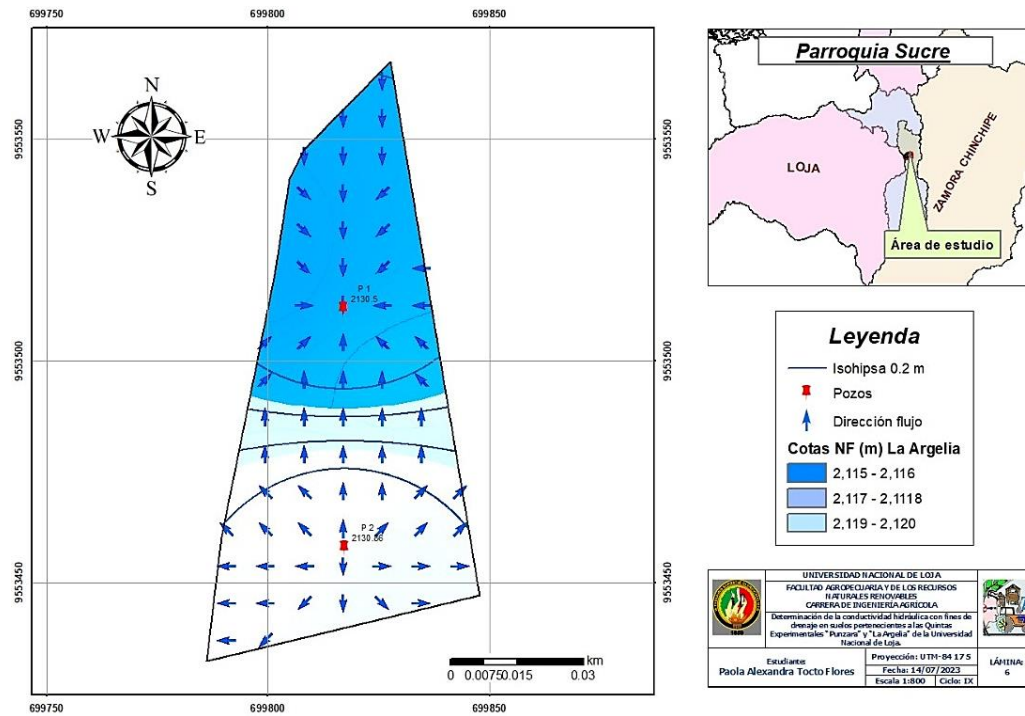
En la Figura 19 las isobatas demuestran que de las 10 ha analizadas el 25,4 % los niveles freáticos se encuentran en profundidades de 0,81 a 1 m; el 22,5 % los niveles freáticos se encuentran entre 1,01 a 1,5 m; el 16,8 % los niveles freáticos se ubican entre 1,51 a 2 m de profundidad; el 15,5 % es para profundidades mayores a 2,00 m; el 14,3 % es para profundidades de 0,51 a 0,80 m; y, finalmente las zonas donde existe mayor problema de drenaje con acumulación de agua hasta el nivel del suelo con profundidades de 0,00 a 0,50 m corresponden al 5,6 % de la superficie total.

Figura 19. Mapa de isobatas o curvas de igual profundidad del nivel freático en la Quinta Punzara



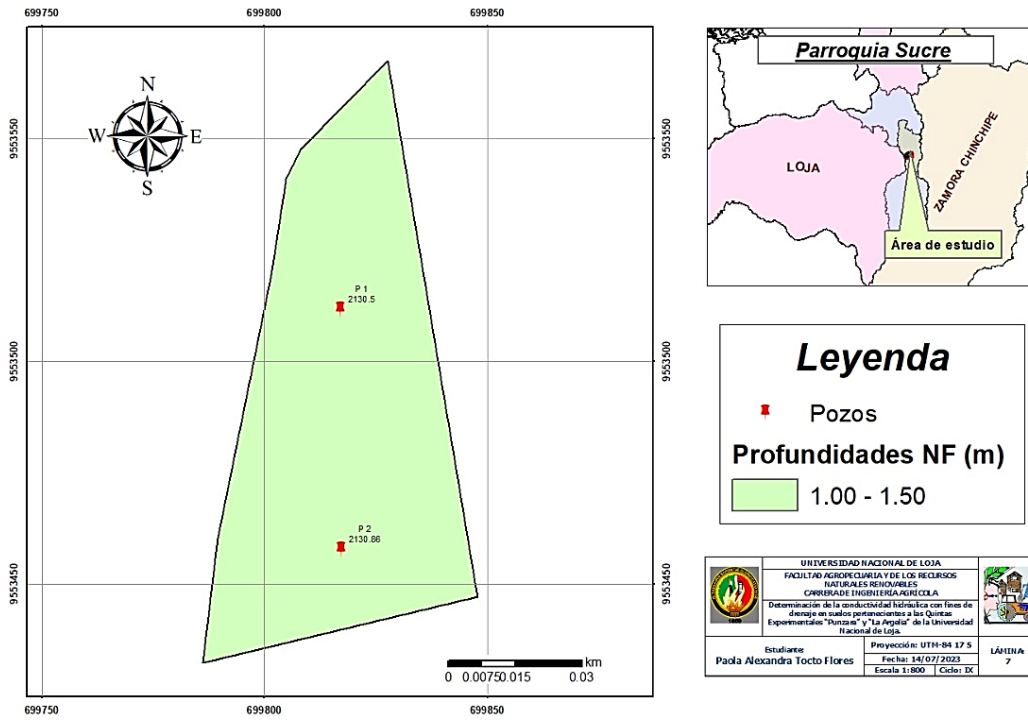
Así mismo, en la Quinta La Argelia el mapa de isohipsas o elevaciones de los niveles freáticos se presentan en la Figura 20, situándose entre los 2 119 a 2 120 m s.n.m con un movimiento del flujo del agua en dirección norte.

Figura 20. Mapa de isohipsas o curvas de igual cota del nivel freático en la Quinta La Argelia



En la Figura 21 se presenta el mapa de isobatas con las profundidades de los niveles freáticos, las cuales se sitúan entre el 1,0 y 1,5 m; en esta Quinta las profundidades de los niveles freáticos se encuentran a mayor profundidad debido al principalmente al tipo de textura que presentan estos suelos lo que facilita la infiltración y el movimiento de agua.

Figura 21. Mapa de isobatas o curvas de igual profundidad del nivel freático en la Quinta La Argelia



7. Discusión

7.1. Caracterización de la zona de estudio

Con los datos obtenidos del estudio climatológico el estudio correspondiente para el área de las quintas corresponde a un clima Ecuatorial mesodérmico seco, valores que corresponden al estudio realizado por Calvache-Ulloa (2014) en la Sierra del Ecuador, estos valores están dentro de los rangos que proporciona para elevación, temperatura y precipitación; también están dentro de los rangos que establece el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) establece al sector con las siguientes características: temperatura media de 17 °C, precipitación sobre los 1 031,4 mm/año, humedad relativa: 78 % y evapotranspiración potencial de 1 012 mm/año. Además, es importante mencionar que Holdridge (1978) e INERHI-PREDESUR-CONADE (1994) sitúan al cantón de Loja en la zona de vida: Bosque seco-montano bajo.

Los suelos estudiados de la Quinta Punzara son de textura arcillosa (40 % de arcilla) (Tabla 12 y 13), característica propia de suelos con textura fina (Tabla 12 y 13) lo que se corrobora con Jaramillo-Jaramillo (2002), donde establece rangos del 40 a 100 % de arcilla para ser considerado de esta clase textural; y, Bautista-Zúñiga *et al.* (1998) donde señalan que suelos con porcentajes mayores al 35 % se consideran de textura fina. En otro estudio realizado por Jumbo-Merino (2012) en el que analizó 19 950 ha de terreno en la hoya de Loja, determinó que existen nueve Unidades Litológicas, de las cuales, en siete hay presencia considerable de arcillas, corroborando una vez más los resultados obtenidos en esta investigación.

El análisis de los Límites de Atterberg y de acuerdo con Zapata (2018) podría tratarse de suelos con arcillas expansivas dentro del Grupo de las Esmectitas con un potencial de expansión medio donde el grupo de arcillas más representativo son la Mormorillonita y según el contenido mínimo de humedad óptima para trabajar el suelo sin enlodarse y realizar laboreo con maquinaria agrícola se sitúa entre un 36 – 38 %, esta humedad es importante controlar porque entre muchas razones afecta a la productividad agrícola y ganadera de la zona, si el contenido de humedad es alto puede provocar compactación del suelo dificultando el crecimiento radicular de los cultivos lo que se traduce en la reducción de la circulación del aire y el drenaje del agua, reduciendo la porosidad.

Referente al pH, son suelos moderadamente ácidos los que se verifican con los resultados obtenidos por Vásquez *et al.* (2023) para la parroquia Sucre, que lo determinaron en 5,95 correspondiente a moderadamente ácido. Además, estos resultados están dentro de los datos presentados en el PDOT de Municipio de Loja (2014), donde se determinó que en esta zona de

estudio los suelos son ácidos, por lo tanto, se coincide con Ginés y Mariscal-Sancho (2002) que en los suelos ácidos es necesario aumentar la cantidad de calcio (Ca) para disminuir o, en el mejor de los casos, eliminar la toxicidad por aluminio que es otro problema común en estos suelos donde la cantidad necesaria va a depender del grado de acidez. Además son suelos que tienen una capacidad alta para retener agua y nutrientes lo que es beneficioso para los cultivos, siendo importante tener en cuenta los datos de contenido de humedad y las propiedades hidrofílicas para la planificación del riego garantizando el crecimiento óptimo de cualquier cultivo.

En la Quinta La Argelia también presenta estratificación del suelo, donde según la descripción del perfil del suelo en la Tabla 14, donde la textura varía de acuerdo con la profundidad del suelo, desde textura franco, franco arenosas y franco limosas. El pH en el área de estudio a una profundidad de 60 cm es de 5,8 (moderadamente ácido) que de acuerdo con Soil Survey Division Staff (1993) es considerado ligeramente ácido y MO 0,71 %, resultados que difieren con los reportados por Vásquez y Espinosa-Palacios (2023) donde lo determinan en fuertemente ácido (5,1) el pH en este tipo de suelos determina que los nutrientes importantes como el calcio (Ca), magnesio (Mg) y fósforo (P) pueden estar menos disponibles para las plantas, así mismo, se debe considerar los niveles de aluminio y manganeso para evitar la toxicidad y asegurar que las plantas tengan acceso a los nutrientes.

Se está de acuerdo con la afirmación de Keller & Håkansson (2010) según la cual las propiedades físicas del suelo pueden ser estimadas de manera precisa a partir del análisis de la distribución del tamaño de las partículas del suelo, bajo este enfoque, puede ser una herramienta útil para comprender las características físicas del suelo y su comportamiento.

7.2. Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica en las áreas estudiadas de las Quintas, con los métodos empleados está dentro de los rangos establecidos por Grassi (1969), Villón-Béjar (2007) y FAO (2022) en función de la velocidad de infiltración en el suelo, del mismo modo están dentro de los rangos que establece Villón-Béjar (2007) en función a la textura y contenido granulométrico que presenta el suelo.

Al comparar los resultados que se obtuvieron en la Quinta La Argelia y considerando que son suelos estratificados, con el método de laboratorio a una profundidad de 60,0 cm el k_1 y el k_2 a 69,0 cm corresponden a arcillas limosas según Grassi (1969), mientras que para Villón-Béjar (2007) serían arenas muy finas; ahora bien, con los métodos de campo empleados

para una pendiente del 0 – 4 % y una profundidad de 42,75 cm el k_1 y el k_2 a 101 cm es de corresponden a arcillas limos de acuerdo con Grassi (1969), sin embargo para Villón-Béjar (2007) el k_1 corresponden a arenas muy finas y el k_2 a texturas franco arcillosas con un movimiento moderadamente lento según la Tabla 4.

Los valores de conductividad hidráulica obtenidos en la Quinta la Argelia mediante los métodos de laboratorio y de campo, se observa que los resultados difieren ligeramente entre sí, aunque se mantienen entre los valores expuestos por varios autores, sin embargo, Luna-Sáez *et al.* (2005) y García-Sinovas *et al.* (s. f.) concuerdan en que los valores de k están principalmente influenciados por la textura y estructura del terreno. Si una muestra es alterada en el laboratorio, el valor obtenido no es representativo del valor real del terreno. Esto se debe a que en el laboratorio la muestra se satura completamente, mientras que en el campo solo una pequeña porción cercana a la fuente de infiltración se satura, ya que no es posible saturar toda la zona

En la Quinta Punzara, al igual que la Quinta La Argelia, presenta un suelo estratificado y según la topografía se tiene tres tipos de pendientes, donde la conductividad hidráulica evaluada con los tres métodos de estudio se establece para cada uno de ellos, así tenemos que con el método de laboratorio (Tabla 15) el k_1 a una profundidad de 54,5 cm y el k_2 a 79,5 cm corresponden a arcilla; y, con los métodos de campo (Tabla 16) para la los tres tipos de pendientes las conductividades hidráulicas corresponden a arcillas mal estructuradas y franco limosas de acuerdo con FAO (2022); Grassi (1969) y Villón-Béjar (2007) donde el movimiento es lento a muy lento

Así pues, existe una relación directa entre la textura del suelo y el drenaje donde es común encontrar que las áreas con texturas arcillosas presenten problemas de drenaje y se coincide con la afirmación hecha por González de Vallejo *et al.* (2002) en donde se analiza la Ley de Darcy y su influencia en la conductividad hidráulica del suelo. Juárez-Badillo y Rico-Rodríguez (1973) y Soil Survey Division Staff (1993) establecieron los valores de conductividad hidráulica para diferentes tipos de suelo, relacionando la conductividad en función del porcentaje de finos que presentan los suelos. De acuerdo con sus estudios, los suelos de arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos y depósitos de arcilla tienen valores de conductividad hidráulica entre $8,64 \times 10^{-5}$ y 0,864 m/día; por otro lado, para arenas limpias y mezclas de grava, el rango se encuentra entre 0,864 y 864 m/día. Los resultados obtenidos en esta investigación se encuentran dentro de estos rangos establecidos.

Los suelos de la Quinta Punzara presentan una alta concentración de arcilla, lo cual se relaciona con lo establecido por Reynolds *et al.* (2002), quienes concluyeron que la conductividad hidráulica (k) varía constantemente en suelos arcillosos debido a la contracción y expansión del suelo. Además, la conductividad hidráulica saturada (k_{sat}) depende de la muestra debido al efecto de patrones de continuidad de macroporos y los flujos medidos en un horizonte. En otro estudio realizado por Novillo Espinoza *et al.* (2018), se encontró que los monocultivos de pasto, maíz, cacao y palma aceitera aumentan las concentraciones de arcilla en las capas superficiales del suelo lo que demostraría que los valores de k también van a estar en dependencia con el tipo y clase de cultivo, afectando negativamente el movimiento vertical del suelo y modificar su textura, lo que a su vez influye directamente en la D_a y k , puesto que la actividad ganadera y la presencia de pastos contribuyen en la compactación del suelo. Estos resultados concuerdan con la teoría de González de Vallejo *et al.* (2002), quienes establecieron que la conductividad hidráulica está directamente relacionada con la textura del suelo y el tamaño de grano.

Es importante aclarar la conductividad hidráulica de un suelo puede variar entre su estado natural y remoldeado debido a cambios en su estructura y estratificación, o a una combinación de ambos factores que fue demostrado por Juárez-Badillo y Rico-Rodríguez (1973); en donde además, estas variaciones pueden ser causadas por la liberación de partículas del suelo durante el remoldeo y el movimiento y reacomodo de estas partículas por el flujo de agua, lo que puede obstruir los canales. Se sugiere considerar estos factores al evaluar la conductividad hidráulica de un suelo.

7.3. Identificación del movimiento de agua y el nivel freático de las quintas experimentales “Punzara y La Argelia”.

Se identificaron las áreas por encima y por debajo del nivel freático de un metro de profundidad mediante el uso de un mapa de isobatas durante el mes más crítico de lluvias. Se relacionaron estas áreas con las precipitaciones registradas para evidenciar las que se vieron afectadas por cada milímetro de precipitación.

En la Quinta Punzara, se identificaron tres zonas donde el nivel freático llega hasta la superficie, dos corresponden a pendientes del 4 - 8% y una a la pendiente del 16 - 30%. En el resto de las áreas monitoreadas, los niveles de agua subterránea se ubican a profundidades

mayores a los 80 cm, lo que significa que los cultivos a estas profundidades no tendrían problemas de acumulación de agua tan perjudiciales para la producción agrícola.

Por otro lado, en la Quinta La Argelia, los niveles de agua subterránea se ubican a profundidades mayores a 1,5 m, asumiendo que estas diferencias tan marcadas entre las quintas se deben a las propiedades físicas del suelo.

Se coincide con Coras-Merino *et al.* (2017) los mapas de niveles freáticos son de gran importancia para identificar de manera estacional las áreas con mantos freáticos someros, debido a que, durante los meses críticos de precipitación, los niveles freáticos pueden ascender y provocar excesos de agua, por lo que es importante considerarlos para realizar un diagnóstico adecuado del problema de drenaje. Tal como señala Ortegón-V (2004), estos mapas permiten detectar las zonas afectadas por niveles freáticos superficiales, inundaciones o encharcamientos prolongados, así como identificar los factores que contribuyen a estos problemas. A partir de la información proporcionada por estos mapas, se pueden ofrecer recomendaciones para solucionar los problemas detectados en estos sectores.

En el caso específico de esta investigación, se ha observado que el mes más crítico es marzo, y se ha confirmado que los mantos freáticos afloran casi hasta el nivel del suelo en esta época.

8. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación se concluye:

- En las áreas estudiadas de las Quintas Experimentales, el balance hídrico indica que los meses de febrero y marzo presentan un exceso de agua, mientras que el periodo de abril a enero hay escasez de humedad. Por lo tanto, se requiere la aplicación de riego complementario para cubrir las demandas de agua de los cultivos durante este periodo; es importante destacar, en octubre se presenta el mayor requerimiento hídrico, con promedio de 0,33 l/s/ha.
- En la Quinta Punzara se identificaron tres tipos áreas con pendientes (4-8 %, 8-16 %, 16-30 %), en las cuales la conductividad hidráulica es muy lenta debido a la presencia de texturas franco-arcillosas mal estructuradas. Además, la pendiente en la Quinta La Argelia es del 0 – 4 % y conductividad hidráulica moderadamente lenta, lo que se debe a la presencia de texturas de arenas finas.
- En la Quinta Punzara el flujo del agua presenta dirección noreste. Las pendientes del 16-30 % actúan como zona de recarga, con un caudal de 48,4 mm/día. En la pendiente del 8-16 % el caudal es de 23,25 mm/día, mientras que en la pendiente del 4-8% el caudal de recepción es de 52,3 mm /día. En la Quinta La Argelia el caudal de descarga es de 174,5 mm/día en dirección norte.
- La conductividad hidráulica constituye un parámetro del suelo fundamental para la toma de decisiones en el diseño, construcción y operación de obras de riego y drenaje en la producción agrícola y ganadera.

9. Recomendaciones

- ✓ Monitorear y medir los niveles freáticos de forma continua por un año para conocer las variaciones que presentan las profundidades en todos los meses del año.
- ✓ Replicar los estudios para el área faltante de las Quintas para comprender el movimiento y flujo de agua y conocer la conductividad hidráulica en toda el área de las Quintas, los cuales son necesarios para el diseño de riego y drenaje.
- ✓ Realizar el estudio de la calidad del agua subsuperficial complementario, con miras a su uso en el riego.
- ✓ La investigación nos ha permitido comprender el movimiento del flujo de agua en la Hoya de Loja, siendo este trabajo un aporte al conocimiento de los suelos de las Quintas Punzara y la Argelia de la UNL.

10. Bibliografía

- Adriani, J. (1999). Crecimiento de las raíces de los principales cultivos extensivos en suelos Hapludoles de la provincia de Santa Fe. *Para mejorar la producción*, 13, 35-39.
- AGRI nova Science. (2017, junio 19). La utopía del 5% de la materia orgánica. *AGRI nova Science*. <https://agri-nova.com/noticias/la-utopia-del-5-de-la-materia-organica/>
- Álvarez-Solís, J. D., Mendoza-Vega, J., & Pool-Novelo, L. (2015). Suelo y tierra: Pautas para la vida. *Ecofronteras*, 19, 2-5.
- Amezketta-Lizarraga, E. (1992). *Físico-química, estabilidad estructural y técnicas de lavado de suelos salino-sódicos del sistema de riego Monegros-Flumen (Huesca)* [Tesis Doctoral]. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- Assan, M., & Gorosito, S. (2018). RELACION AGUA SUELO PLANTA (1). En *Serie Didáctica* (p. 16). Riego y Drenaje FCA UNCa.
- Bautista-Zúñiga, F., Rivas-Solórzano, H., Durán-De Bazúa, C., & Palacio, G. (1998). Caracterización y clasificación de suelos con fines productivos en Córdoba, Veracruz, México. *Investigaciones Geográficas*, 1(36), 21-33. <https://doi.org/10.14350/rig.59059>
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Particle density. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 377-382.
- Bustamante, H. (1986). Potencial del Agua del suelo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 39(2), Article 2.
- Calvache-Ulloa, M. (2014). *El suelo y la productividad agrícola en la Sierra del Ecuador*. XIV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45291138/XIV_SECS__Marcelo_Calvache__Productividad-libre.pdf?1462233352=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEL_SUELO_Y_LA_PRODUCTIVIDAD_AGRICOLA_EN.pdf&Expires=1696528193&Signature=gLQ5LKcngN7a6v7k759-8iKoGCMKVcaWIFt-Uyo7EOEvYeSYLN5alSqhWyNI97JqT0tHqrCFRPTuPajYQ4B8BaKZHi~l6m86hlzEradydmTHXqI4y-czjsLITMZIpmDBF6noJXKkcOF0YJL9YpH9zTKg1DfVgbb3KLKcElpSUCt5Bw5e6

SEmLo~~LlhT19tHfkGDy1pXj~Wl2hckCO6Dz9bv9lpbq-
X6ltEQ5ASnek1V6XK4wXBBBMtIVy3FWeC~gCp7TtX0dFQhT9Htdx-
Ay0LrArKcqngweizPy2dP-hu-6qIyBFe5zSlzTgnm6i-MEgp-
PIR~IICv8P1vkuQQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

CONGOPE. (2016). *Hablemos de riego. (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador)* (Segunda, Vol. 2). El Telégrafo EP. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>

Coras-Merino, P. M., Ontiveros-Capurata, R., & Diakite-Diakite, L. (2017). Movimiento del agua freática y concentración de sales en suelos agrícolas* Groundwater flow and concentration of salts in agricultural soils. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(4), 537-548.

Delgado, L. (1985). Drenaje predial. Aspectos generales. *IPA, Quilamapu*, 23, 23-27.

FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>

FAO. (2022). *Permeabilidad del suelo*. https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm

Fernández, Ó. (2023, mayo 25). *Movimiento del agua en el suelo y la absorción de nutrientes* [SMEAP].

Filgueira, R. R., Soracco, C., Sarli, G., & Fournier, L. (2006). Estimación de propiedades hidráulicas de suelos por mediciones a campo y el uso de modelos de flujo estacionario y transitorio. *Ciencia del suelo*, 24(1), 39-48.

Gabriels, D., Lobo-L, D., & Pulido-M., M. (2011). Métodos para determinar la conductividad hidráulica saturada y no saturada de los suelos. *Venesuelos*, 1(14), 7-22.

Gamboa, A. (2023, junio 1). *Lámina de riego: Consideraciones para un adecuado cálculo* [SMEAP].

García-Sinovas, G., Regalado, C., Muñoz-Carpena, R., & Álvarez-Benedí, J. (s. f.). *Comparación de los permeámetros de Guelph y Philip-Dunne para la estimación de la conductividad hidráulica saturada del suelo*. Temas de Investigación en Zona no Saturado. Eds. J.J. López, M. Quemada. Recuperado 23 de julio de 2023, de

https://abe.ufl.edu/faculty/carpenna/files/pdf/zona_no_saturada/temas_de_investigacion_v5/9.pdf

Gaviláñez-Luna, F. C. (2020). *El diseño agrícola y sus elementos de diseño* (1.^a ed.). Mawil Publicaciones de Ecuador.

Génova, L., Andraeu, R., & Etcheverry, M. (s. f.). *Relaciones agua-suelo-planta-atmosfera*. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35376/mod_resource/content/1/unidad%205%20TP5%20RASP.A.pdf

Geotechnical Consulting. (s. f.). *Ensayo Porchet—Geotecnia y Mecánica de Suelos*. Recuperado 15 de mayo de 2023, de <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/ensayo-porchet/>

geo-webonline. (s. f.). *La medición del coeficiente de permeabilidad in situ para suelos: El Método LEFRANC* -. Recuperado 26 de septiembre de 2023, de <https://geo-webonline.com/la-medicion-del-coeficiente-de-permeabilidad-in-situ-para-suelos-el-metodo-lefranc/>

Ginés, I., & Mariscal-Sancho, I. (2002). *Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo* [Fertiberia S.A]. https://oa.upm.es/3176/2/MARISCAL_MONO_2002_01.pdf

Gómez-Giraldo, J. C. (2013). *Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos*. Centro Agropecuario «La Granja». Espinal—Tolima—Colombia. Servicio Nacional de Aprendizaje. https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/2785/practicas_campo_laboratorio_suelos.pdf?sequence=1

González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. (1.^a ed.). Pearson Educación. https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro%20.pdf

González-Parra, J. (2007). El suelo: Integración de componentes minerales y orgánicos. *Dialnet*, 73(42), 419-439.

Grassi, C. J. (1969). *Manual de drenaje agrícola. Proyecto 213 del Programa de Cooperación Técnica de la Organización de los Estados Americanos* [Material de Enseñanza].

<https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/14406/1034.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Grupo Sait S.R.L. (s. f.). *Permeámetro de Compactación – Equipamiento y Mobiliarios Industrial para Laboratorio*. Recuperado 18 de mayo de 2023, de <https://www.gruposait.com.pe/producto/permeometro-de-compactacion/>

Hartmann, R. (2001). Lecture Notes: Soil Physics «College on Soil Physics» 12 March—6 April 2001. University Ghant. *The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics*. <https://indico.ictp.it/event/a0124/material/1/6.pdf>

Holdridge, L., R. (1978). *Ecología basada en zonas de vida*. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7936/BVE19040225e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hossne, A. (2008). La densidad aparente y sus implicaciones agrícolas en el proceso expansión/contracción del suelo. *Terra Latinoamericana*, 26(3), 195-202.

INERHI-PREDESUR-CONADE. (1994). *Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja*. <https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea02s/begin.htm#Contents>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2019). *Datos meteorológicos 2019*. Microsoft excel. <https://www.inamhi.gob.ec/>

Jaramillo-Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Juárez-Badillo, E., & Rico-Rodríguez, A. (1973). *Mecánica de suelos. Tomo I, Fundamentos de la Mecánica de Suelos* (Segunda). Editorial Limusa S.A. https://www.academia.edu/43300523/MECANICA_DE_SUELOS_TOMO_I_JUAREZ_BADILLO

Jumbo-Merino, Y. M. (2012). *Mapa de zonificación de la hoya de Loja*. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/4279>

- Keller, T., & Håkansson, I. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma*, 154(3-4), 398-406. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.013>
- López, Y. (2000). *Relaciones hídricas en el continuo agua-suelo-planta-atmósfera*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira - Facultad de Ciencias Agropecuarias. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51905>
- Luna-Sáez, D., Sánchez-Reyes, C., & Muñoz-Pardo, J. (2005). Métodos para medir la conductividad hidráulica saturada de campo. *Ingeniería hidráulica en México*, 20(2), Article 2.
- MAGAP. (2019). *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2012-2027* (p. 160). Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca.
- McCarty, L. B., Hubbard, L. R., & Quisenberry, V. (2016). *Applied Soil Physical Properties, Drainage, and Irrigation Strategies*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24226-2>
- Montecinos, A., Montalva, G., & Vargas, J. (2008). Comparación y proposición de métodos para determinar la conductividad hidráulica en arenas limosas. *Ingeniería hidráulica en México*, 23(2), 147-152.
- Municipio de Loja. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Actualización 2014-2022* (p. 547). <https://www.loja.gob.ec/files/image/LOTAIP/podt2014.pdf>
- Navarro-García, G., & Navarro-García, S. (2013). *Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas* (3.^a ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
- Novillo Espinoza, I. D., Carrillo Zenteno, M. D., Cargua Chavez, J. E., Nabel Moreiral, V., Albán Solarte, K. E., & Morales Intriago, F. L. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177-187. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301>
- Ortega, L., & Sagado, L. (2001). *Drenaje en suelos agrícolas*. Comisión Nacional de Riego. Gobierno de Chile. (p. 73). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/9696/CNR-0165.pdf?sequence=1>

- Ortegón, A. (2004). Metodología para la realización de estudios de drenaje a nivel predial. *Palmas*, 25(Especial. Tomo II.), Article especial.
- Ortegón-V, A. (2004). Metodología para la realización de estudios de drenaje a nivel predial. *Palmas*, 25(especial,), Article especial.
- Pellegrini, A. (2019). *Apuntes de Edafología. Tema 3: ·Textura y color del suelo". Universidad de La Plata. Departamento de Ambiente y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agraria y Forestal.*
https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42831/mod_resource/content/1/TEMA%203%20-%20TEXTURA%20Y%20COLOR.pdf
- Pérez, L., & García, G. (2015). *Evaluación de la conductividad hidráulica del suelo en un sistema agroforestal del café (Coffea arábica), en CENECOOP, Masaya, Nicaragua.* Universidad Nacional Agraria.
- Polón-Pérez, R., Ruiz-Sánchez, M., Dell'Amico-Rodríguez, J. M., Morales-Guevara, D., Jerez-Mompié, E., Ramírez-Arrebato, M. Á., & Maqueira-López, L. (2011). Principales beneficios que se alcanzan con la práctica adecuada del drenaje agrícola. *Cultivos Tropicales*, 32(2), 52-60.
- Puglla-Puglla, W. X. (2017). *Modelación de erosión hídrica en los cantones de Loja y Olmedo mediante sistemas de información geográfica* [Tesis de grado previa a la obtención del título de ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente., Universidad Nacional de Loja]. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/18973>
- Ramírez-Pisco, R., Carmona-M, A. M., & Pérez-A, G. A. (2023, agosto 1). *Cambios en La Conductividad Hidráulica y Su Relación Con Otras Variables Físicas de Un Andisol. Bajo Diferentes Sistemas de Manejo, en El Municipio de Marinilla Antioquia | PDF | Aluminio | Agua.* Scribd. <https://es.scribd.com/document/149449668/Cambios-en-La-Conductividad-Hidraulica-y-Su-Relacion-Con-Otras-VARIABLES-FISICAS-DE-UN-ANDISOL-Bajo-Diferentes-Sistemas-de-Manejo-En-El-Municipio-de>
- Reynolds, D., Elrick, D., Youngs, E., Amoozegar, A., Boutilik, H. W. G., & Bouma, J. (2002). Saturated and field-saturated water flow parameters. *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*, 797-878.

- Rojas, R. (s. f.). *Las Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera En Planificación, Diseño y Manejo de Proyectos de Aguas y Tierras*. Recuperado 14 de junio de 2023, de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/rojas.r/RASPA.PDF>
- Romero, R. (1996). Relaciones agua planta en el sistema suelo-planta-atmósfera. *INIA La Estanzuela*, 76, 10.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Facultad de Agronomía. Dpto. Suelos y Agua. *Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.*, 68.
- Sanami, Z. (2000). Estimación de radiación solar y evapotranspiración utilizando datos climatológicos mínimos. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(4), 265-267.
- Sánchez-San Román, F. J. (2022). *Hidrología superficial y subterránea*. Universidad de Salamaca. Dpto. Geología. Independently published. https://hidrologia.usal.es/temas/Slug_tests.pdf
- Sandoval-Estrada, M., Dorner-Fernández., J., Seguel-Seguel, O., Cuevas-Becerra., J., & Rivera-Salazar, D. (2011). Métodos de análisis físicos del suelo. *Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo*, 75.
- SEGARPA. (s. f.). *Drenaje superficial en terrenos agrícolas 2*. Recuperado 4 de junio de 2023, de https://www.academia.edu/5713500/Drenaje_Superficial_en_Terrenos_Agr%C3%ADcolas_2_DRENAJE_SUPERFICIAL_EN_TERRENOS_AGR%C3%8DCOLAS
- SensorGO MKT. (2022, septiembre 29). Importancia de la medición climática para los cultivos. *SensorGO*. <https://sensorgo.mx/medicion-climatica/>
- 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*. (Departamento de Producción Agrícola-Facultada de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile).
- Soil Survey Division Staff, (S. S. D.). (1993). *Soil survey manual*. USDA. (Handbook 18; p. 437).

- Stuyt, L. C. (1985). Land Drainage: Planning and Design of Agricultural Drainage Systems. *Soil Science*, 139(4), 378.
- Torres, J. S. (2014). *Principios básicos para identificar problemas de drenaje en el cultivo de la palma*. Cenipalma.
- Trujillo-González, J. M., Mahecha-Pulido, J. D., & Torres-Mora, M. A. (2018). El recurso suelo: Un análisis de las funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.22490/21456453.2095>
- USDA. (1977). *Guía de campo para muestreo y descripción de perfiles de suelos*. (Natural Resource Conservation Service U.S. Department of Agriculture). <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/field-book-spanish.pdf>
- Usón-Murillo, A., Boixadera-Llobet, J., Enrique-Martín, A., & Bosch-Serra, Á. (2010). *Tecnología de suelos: Estudio de casos* (1.^a ed.). Prensas Universitarias de Zaragoza. Edicions de la Universitat de Lleida. https://www.google.com.ec/books/edition/Tecnolog%C3%ADa_de_suelos_estudio_de_casos/b2h1gY9dPuoC?hl=es&gbpv=1
- Vásquez, E., Abad-Calva, G., Angamarca-Angamarca, C., & Calle-Herrera, Y. (2023). Generación de nitrógeno mediante la producción simbiótica Azolla-Anabaena en el cantón Loja. *Bosques latitud Cero*, 13(2), 91-103. <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1858>
- Vásquez, E., & Espinosa-Palacios, N. (2023). Efecto del Nitrógeno bien expresado en la fase inicial del cultivo de café Coffea arabica L. en La Argelia, cantón Loja. *Bosques Latitud Cero*, 13(2), 104-117. <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1867>
- Vélez, J. (2010). *Curso de Edafología. Facultad de Ciencias Agropecuarias*. Universidad Técnica de Machala. Ecuador.
- Villón-Béjar, M. (2007). *Drenaje* (Primera). Editorial tecnológica de Costa Rica. <https://es.scribd.com/book/282741162/Drenaje>

Volverás-Mambuscay, B., & Amézquita-Collozos, E. (2009). Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en las deras de Nariño, Colombia. *Palmira*, 58(1), 35-39.

Zapata, R. (2018). *Tipos de suelos: Caracterización de suelos arcillosos y limosos* [Universidad nacional de Rosario]. <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/TIPOS%20DE%20SUELO.pdf>

11. Anexos

Anexo 1. Tabla de R_o

Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998) (Original en MJ·m⁻²·día⁻¹ ; 1 mm/día = 2,45 MJ·m⁻²·día⁻¹)

Latitud	HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	15.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	4.6	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

Anexo 2. Tabla para el cálculo de escurrimiento medio (mm)

Uso de la tierra	Tratamiento o práctica	Cobertura*	Grupo hidrológico			
			A	B	C	D
Rastrojos	Hileras rectas		77	86	91	94
	Hileras rectas	Mala	71	81	88	91
Cultivos en hileras (tipo palma africana)	Hileras rectas	Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
	Curvas de nivel	Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
	Curvas de nivel y terrazas	Buena	62	71	78	81
	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
Cultivos con hileras estrechas (tipo maíz)	Hileras rectas	Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
	Curvas de nivel	Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
	Curvas de nivel y terrazas	Buena	59	70	78	81
	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
Leguminosas con hileras estrechas	Hileras rectas	Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
	Curvas de nivel	Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
	Curvas de nivel y terrazas	Buena	51	67	76	80
		Mala	68	79	86	89
Pastos de pastoreo		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	Mala	47	67	81	88
	Curvas de nivel	Regular	25	59	75	83
	Curvas de nivel	Buena	16	35	70	79
		Buena	30	58	71	78
Pasto de corte			45	66	77	83
Bosque		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
			77	85	90	92
Área residencial	65% impermeable		61	75	83	87
	38% impermeable		57	72	81	86
	30% impermeable		54	70	80	85
	25% impermeable		51	68	79	84
	20% impermeable		98	98	98	98
Parqueaderos			89	92	94	95
Áreas comerciales	85% impermeables		81	88	91	93
Área industrial	72% impermeable		98	98	98	98
Calle y carreteras	Pavimentados		74	84	88	90
	No pavimentados					

*Cobertura mala implica menos del 50% de la superficie cubierta, regular con 50 a 75% de cobertura de la superficie y buena con más del 75% de cobertura del área. Esta cobertura puede ser de plantas (incluye malezas) y/o rastrojos.

Grupos hidrológicos de suelo

El mismo SCS hace una clasificación del suelo en cuatro grupos hidrológicos de acuerdo al potencial de escurrimiento que presenta cada uno. Estos son los que se describen a continuación:

GRUPO A: (Bajo potencial de escorrentia). Son suelos arenosos profundos. Es el que ofrece menor escorrentia aun cuando están húmedos debido a su gran permeabilidad. Presentan predominancia de arena o grava y muy poco limo o arcilla.

GRUPO B: (Moderadamente bajo potencial de escorrentia). Son suelos poco profundos, de infiltración moderada. Comprenden suelos arenosos, menos profundos que los del grupo A, con presencia relativamente moderada de arcillas.

GRUPO C: (Moderadamente alto potencial de escorrentia). Son suelos de textura franco – arcillosa. Tienen poca permeabilidad y su infiltración es un poco difícil.

GRUPO D: (Alto potencial de escorrentia). Son suelos arcillosos, altamente plásticos. También se incluyen a ciertos suelos salinos, especialmente los que tienen una importante presencia de sodio. Presentan condiciones altamente impermeables.

Anexo 3. Datos de campo tomados de los pozos de observación

Punto	Cota	Prof	Cota NF
1	2130,50	0,4	2130,10
	2130,50	0,97	2129,53
2	2130,86	0,455	2130,41
	2130,86	1,05	2129,81
3	2223,00	0,455	2222,55
	2223,00	0,85	2222,15
4	2219,86	0,47	2219,39
	2219,86	0,8	2219,06
5	2230,99	0,47	2230,52
	2230,99	0,8	2230,19
6	2221,98	0,43	2221,55
	2212,98	0,81	2212,17
7	2225,41	0,4	2225,01
	2225,41	0,8	2224,61
8	2228,98	0,4	2228,58
	2228,98	0,8	2228,18
9	2237,24	0,36	2236,88
	2237,24	0,7	2236,54
10	2241,60	0,45	2241,15
	2241,60	0,7	2240,90
11	2248,16	0,52	2247,64
	2248,16	0,86	2247,30
12	2248,10	0,4	2247,70
	2248,10	0,81	2247,29

Anexo 4. Determinación de las variables climáticas y ETo

Meses	Precipitación (mm)	Precipitación Efectiva (mm)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (km/h)	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura Media (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Eto (mm/mes)
Enero	99,71	59,77	77,37	1,63	0,45	16,40	21,52	12,33	107,46
Febrero	131,66	85,33	78,37	1,49	0,41	16,38	21,39	12,65	96,48
Marzo	146,29	97,03	77,93	1,46	0,41	16,61	21,80	12,64	109,38
Abril	95,75	56,60	77,27	1,60	0,44	16,71	22,30	12,50	104,14
Mayo	69,64	35,79	76,73	1,85	0,51	16,47	21,63	12,39	96,02
Junio	66,56	33,94	75,80	2,86	0,79	15,79	20,35	12,31	81,21
Julio	52,97	25,78	74,20	3,31	0,92	15,43	20,06	12,02	84,24
Agosto	42,68	19,61	71,27	3,46	0,96	15,68	20,58	11,99	93,73
Septiembre	38,92	17,35	72,03	2,77	0,77	16,39	21,44	12,36	101,97
Octubre	79,60	43,68	73,67	1,83	0,51	16,94	23,04	11,76	122,53
Noviembre	76,66	40,00	74,90	1,42	0,39	16,79	23,25	11,28	120,05
Diciembre	121,10	76,88	76,40	1,65	0,46	16,73	22,63	12,15	115,15
Promedio	117,9	69,29	75,5	2,1	0,6	16,4	21,7	12,2	102,7
KT =	0,162								



Anexo 5. Determinación del escurrimiento medio mediante el método del Numero de la Curva

Volumen medio		
Mes	Precipitación (mm)	
Marzo	146,29	
Abril	95,75	
Mayo	69,64	
Junio	66,56	

PUNZARA	GH=	C	E (mm) = 88,03
	CN=	79	
	S =	67,52	

ARGELIA	GH=	B	E (mm) = 85,53
	CN=	78	
	S =	71,64	

Anexo 6. Cálculo de las propiedades fisicoquímicas

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA											
PROYECTO:		DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA CON FINES DE DRENAJE EN SUELOS PERTENECIENTES A LAS QUINTAS EXPERIMENTALES "PUNZARA" Y "LA ARGELIA" DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.											
PARROQUIA:		Quintas pertenecientes a la Universidad Nacional de Loja "Punzara y La Argelia"						OPERADOR: Paola Tocto					
BARRIO:								CODIGO: PC1					
FECHA:		05/04/2023						PROFUND.: 0,8					
Muestra/horizonte	40 seg arcilla + limo				2 horas limo				TEXTURA			Clase textural	
	Peso de suelo	T °C	U. hidrómetro	U. hidrómetro corr.	T °C	U. hidrómetro	U. hidrómetro corr.	% arcilla + limo	% arcilla	% limo	% arena		
Blanco		19,5	1	0,7	22,1	1	1,8						
1E	I	40,0045	20,4	27	27	21,6	15	15,4	65,74	34,00	31,75	34,26	Franco
	II	40,0015	19,8	27	26,7	21,4	16	16,4	65,00	36,50	28,50	35,00	Franco
	III	40,0017	20,4	27	27	21,5	15	15,4	65,75	34,00	31,75	34,25	Franco
2E	I	40,0025	20,3	30	30	21,4	21	21,4	73,25	49,00	24,25	26,75	Arcillosa
	II	40,0003	20,2	34	34	21,5	25	25,4	83,25	59,00	24,25	16,75	Arcillosa
	III	40,0007	20,1	32	32	21,5	21	21,4	78,25	49,00	29,25	21,75	Arcillosa
3E	I	40,0026	20,4	26	26	21,4	15	15,4	63,25	34,00	29,25	36,75	Franco
	II	40,0005	20,4	26	26	21,5	15	15,4	63,25	34,00	29,25	36,75	Franco
	III	40,0001	20,5	26	26	21,5	15	15,4	63,25	34,00	29,25	36,75	Franco
CILINDRO				SUELO									
Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Muestra/Horizonte	Réplica	Peso suelo + cilindro (g)		Peso suelo seco		Da (g/cm ³)			
						Húmedo		Seco					
95,22	4,777	5,083	76,283	1E	I	255,1	202,24	107,02	1,40				
					II	250,82	201,7	106,48	1,40				
					III	254,57	202,9	107,68	1,41				
						PROMEDIO TOTAL		1,40					
pH		MO											
Muestra	Repetición	Peso suelo (g)	Lectura 1	Lectura 2	Promedio	Muestra / H Réplica	Peso (g)	1ª Lectura	2ª Lectura	Promedio			
PC1 - 1ª Estrato	I	10,0062	5,527	5,518	5,52	1E	0,5061	1,75	1,65	1,70			
	II	10,0005	5,519	5,559	5,54			1,74	1,87	1,81			
	III	10,0004	5,533	5,548	5,54			1,47	1,59	1,53			
		PROMEDIO TOTAL				Promedio total		1,68					
LÍMITES DE ATTERBEG													
1. LIM. LIQUIDO / Norma NTE INEN 691 - ASTM D 4318 - Pasante del T #40		N. GOLPES	PESO HM SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO (%)	Resultado PC1 - 2ª Estrato						
		12	88,09	80,94	66,71	50,25	Límite Líquido: 47,65						
		21	70,45	66	56,72	47,95	Índice de plasticidad: 9,82						
		28	72,67	69,02	61,28	47,16	Descripción: Ligeramente plástico						
		38	70,71	66,26	56,69	46,50							
LÍMITE PLÁSTICO / Norma NTE INEN 692 - ASTM D 4398 - Pasante del T #		62,09	61,91	61,45	39,13	37,83	Potencial de Expansión: Bajo						
		50,63	50,44	49,92	36,54								
		56,12	55,95	55,6	48,57								

Anexo 7. Observaciones realizadas en campo

REGISTRO DE CAMPO PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA
Método: **Argelia**

Fecha: 9/06/2023
Lugar: Argelia P1
Profundidad paso (cm): 40
Profundidad nivel freático (cm): 36.8
Diámetro (cm): 10
Radio (cm): 5

Lectura	Hora	Temperatura (°C)	Nivel agua y (cm)	Extracción agua (cm)		
1	7:00	5	39			
2	7:05	5	4	36		
3	7:10	5	5	36		
4	7:15	5	8	32.8		
5	7:20	5	10	26		
6	7:25	5	10	26		
7	7:30	5	10	4	38	
8	7:35	5	10	8	39	
9	7:40	5	10	20	20	
10	7:45	5	10	20	13	
11	7:50	5	10	20	3	38
12	7:55	5	10	20	30	20.5
13	8:00	5	10	20	14	
14	8:05	5	10	20	15	35
15	8:10	5	10	20	14.5	

Observaciones: $C = 400 \times 10^{-2}$
 $k = C \left(\frac{h_1}{2L} \right)$
 $h_1 = 36.8$
 $h_2 = 4$
 $Q = 15.015 \text{ cm}^3$
 $Q_{paso} = 15$

REGISTRO DE CAMPO PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA
Método: **Argelia**

Fecha: 9/06/2023
Lugar: Argelia P1
Profundidad paso (cm): 40
Profundidad nivel freático (cm): 42
Diámetro (cm): 10
Radio (cm): 5

Lectura	Hora	Temperatura (°C)	Nivel agua y (cm)	Extracción agua (cm)
1	8:00	5	42	
2	8:05	5	84.5	
3	8:10	5	72.3	
4	8:15	5	59	
5	8:20	5	45	
6	8:25	5	30	
7	8:30	5	27	
8	8:35	5	20	
9	8:40	5	20	
10	8:45	5	20	
11	8:50	5	20	
12	8:55	5	20	
13	9:00	5	20	
14	9:05	5	20	
15	9:10	5	20	

Observaciones: $h_1 = 84.5$
 $h_2 = 20$
 $Q = 15.015 \text{ cm}^3$
 $Q_{paso} = 15$

REGISTRO DE CAMPO PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA
Método: **Argelia**

Fecha: 8/03/2023
Lugar: Punta Tocto
Profundidad paso (cm): 43
Profundidad nivel freático (cm): 16
Diámetro (cm): 10
Radio (cm): 5

Lectura	Hora	Temperatura (°C)	Nivel agua y (cm)	Extracción agua (cm)
1	16:11	36	0	0
2	16:16	28.5	5	
3	16:21	25.4	5	
4	16:26	23	5	
5	16:31	16	30	35
6	16:36	24	10	
7	16:41	25	10	
8	16:46	20	20	23
9	16:51	25	20	
10	16:56	20	20	23
11	17:01	20	20	
12	17:06	20	20	
13	17:11	20	20	
14	17:16	20	20	
15	17:21	20	20	

Observaciones: $h_1 = 35$
 $h_2 = 16$
 $Q = 15.015 \text{ cm}^3$
 $Q_{paso} = 15$

Anexo 8. Determinación de la conductividad hidráulica mediante el permeámetro de laboratorio

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ENSAYO PERMEÁMETRO CARGA VARIABLE PARA SUELOS FINOS

PROYECTO: DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA CON FINES DE DRENAJE EN SUELOS PERTENECIENTES A LAS QUINTAS EXPERIMENTALES

PARROQUIA: Quintas pertenecientes a la Universidad Nacional de Loja "Punzara y La Argelia"

FECHA: 27/03/2023 **OPERADOR:** Paola Tocto

$$K = \frac{\alpha \cdot L}{A(t_2 - t_1)} \cdot \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

$$k = \frac{Q \cdot L}{t \cdot A \cdot h}$$

Muestra / Horizonte	PC2 - 3º Estrato			AC1 - 2º Estrato		
	I	II	III	I	II	III
Textura	Arcillosa			Franco arenoso		
Método	Carga variable			Carga constante		
Fecha inicio	10/04/2023	02/05/2023	17/05/2023	17/04/2023	02/06/2023	05/06/2023
Hora inicio	10:53	11:50	14:35	10:35	9:06	8:13
Fecha final	17/04/2023	08/05/2023	19/05/2023	17/04/2023	02/06/2023	05/06/2023
Hora final	9:35	16:03	11:17	11:10	9:46	9:00
Tiempo total	6d 23h 18 min	6d4h10min	1d20h42min	0d 0h 35min	0d 0h 40min	0d0h47min
Días	6	6		0,0243	0,0278	0,0326
Tiempo total (día)	6,9708	6,1757	1,8625	0,0243	0,0278	0,0326
Tiempo (seg)	602277,12	533580,48	160920	2099,52	2401,92	2820,00
Vol. Inicial (ml)	1990	2000	2000	2000	2000	2000
Vol. Final (ml)	1890	1930	1880	1350	1440	
Vol. Obtenido (ml)	X	X	X	1350	1340	1470
Altura/ Carga (cm)	230	230	230	150	150	150
Ø Cilindro (cm)	10	10	10	10	10	10
H cilindro (cm)	11	11	11	11	11	11
Ø alimentador (cm)	1	1	1	1	1	1
Área cilindro (cm ²)	78,54	78,54	78,54	78,54	78,54	78,54
área alimentador (cm ²)	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
K (cm/s)	9,42E-09	7,34E-09	4,23E-08	6,00E-04	5,21E-04	4,87E-04
K (m/d)	8,14E-06	6,35E-06	3,65E-05	5,19E-01	4,50E-01	4,21E-01

Anexo 9. Determinación de la conductividad hidráulica mediante métodos de campo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		FACULTAD AGROPECUARIA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES		CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA														
MÉTODOS DE CAMPO. AUGER-HOLE (AGUJERO DE BARRENA O SONDEO)																		
PROYECTO: DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA CON FINES DE DRENAJE EN SUELOS PERTENECIENTES A LAS QUINTAS EXPERIMENTALES "PUNZARA" Y "LA ARGELIA" DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.																		
PARROQUIA: Quintas pertenecientes a la Universidad Nacional de Loja "Punzara y La Argelia"			OPERADOR: Paola Tacto															
FECHA: 27/03/2023																		
1º ESTRATO (43 cm)			2º ESTRATO (81 cm)															
Orden	Hora	Lectura (cm)	T. parcial (min.)	Extracción o Plleno (cm)	Diferencia a NA Y (cm)	T. acumulado (minutos)	ΔY acumulado (cm)	$\Delta Y/t$ (cm/min)	Orden	Hora	Lectura (cm)	T. parcial (min.)	Extracción o Plleno (cm)	Diferencia a NA Y (cm)	T. acumulado (minutos)	ΔY acumulado (cm)	$\Delta Y/t$ (cm/min)	
0	7:30	32,5	5	0	0	0	0	0	0	7:35	20	5	0	0	0	0	0	0
1	7:35	31	5		1,5	5	1,5	0,300	1	7:40	21	5		1	5	1	0,200	0,200
2	7:40	28,7	5		2,3	10	3,8	0,380	2	7:45	22	5		1	10	2	0,200	0,167
3	7:45	27	5		1,7	15	5,5	0,367	3	7:50	23	5		0,5	15	2,5	0,160	0,133
4	7:50	23,2	10		3,8	20	9,3	0,465	4	8:00	23	10		0,5	20	3	0,150	0,118
5	8:00	21	10		2,2	30	11,5	0,383	5	8:10	24	10		1	30	4	0,138	0,106
6	8:10	20	10		1	40	12,5	0,313	6	8:20	25	10		0,7	40	4,7	0,118	0,087
7	8:20	19,3	10		0,7	50	13,2	0,264	7	8:30	28	10		3,5	50	8,2	0,164	0,138
8	8:40	18	20		1,3	60	14,5	0,242	8	8:40	28	20		0,1	60	8,3	0,106	0,087
9	9:00	16,5	20		1,5	80	16	0,200	9	8:50	29	20		0,2	80	8,5	0,106	0,087
10	9:20	15,2	20		1,3	100	17,3	0,173	10	9:00	29	20		0,2	100	8,7	0,087	0,075
11	9:40	15	20		0,2	120	17,5	0,146	11	9:10	29	20		0,3	120	9	0,075	0,068
12	10:10	12	30		3	140	20,5	0,146	12	9:40	30	30		0,5	140	9,5	0,068	0,059
13	10:40	11,2	30		0,8	170	21,3	0,125	13	10:10	30	30		0,5	170	10	0,059	0,055
14	11:10	10,7	30		0,5	200	21,8	0,109	14	10:40	31	30		1	200	11	0,055	0,052
15	11:40	9,9	30		0,8	230	22,6	0,098	15	11:10	32	30		1	230	12	0,052	

OBSERVACIONES: 3a Lectura		OBSERVACIONES:	
Datos		Datos	
H	43 cm	H	81 cm
Δy	21,1 cm	Δy	11 cm
Δt	13800 seg	Δt	13800 seg
$\Delta Y/t$	0,00153 cm/seg	$\Delta Y/t$	0,0008 cm/seg
y_0	22,6 cm	y_0	12 cm
y_n	15 cm	y_n	1 cm
Y	12,05 cm	Y	6,5 cm
t	6900 seg	t	6900

C =	46,6985	C =	55,057
K =	0,0714 m/día Lenta	K =	0,04389 m/día Lenta

Anexo 10. Certificado traducción del resumen

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Loja, 20 de noviembre de 2023

Yo, **Ariana Gabriela Báez Feijóo**, con **CI: 1105753048**, en mi calidad de Licenciada de Pedagogía del Idioma inglés con capacidades que pueden ser probadas a través de la Certificación de conocimiento del inglés, nivel B2, certifico: que la traducción del Resumen (Abstract) del Trabajo de Titulación denominado: **“Determinación de la conductividad hidráulica con fines de drenaje en suelos pertenecientes a las Quintas Experimentales “Punzara” y “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja”**, de autoría de la estudiante: **Paola Alexandra Tocto Flores**. Con **CI: 1104114127**, es correcta y completa según las normas internacionales de traducción de textos.

Atentamente,



Lcda. Ariana Gabriela Báez Feijóo
Docente de Lenguas Extranjeras
Nro registro Senecyt 1031-2022-2416308