



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

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

**DETERMINACIÓN DE LA INFILTRACIÓN BÁSICA EN
DIFERENTES TIPOS DE SUELOS MEDIANTE EL MÉTODO DE
MINIDISCO EN EL RECINTO CERECITA, GUAYAS**

AUTOR

OROVIO CAICEDO MÁXIMA ALEJANDRA

TUTOR

ING. VÉLIZ PIGUAVE FREDDY FERNANDO, MSc.

**GUAYAQUIL - ECUADOR
2024**



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

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **VÉLIZ PIGUAVE FREDDY FERNANDO** docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DE LA INFILTRACIÓN BÁSICA EN DIFERENTES TIPOS DE SUELOS MEDIANTE EL MÉTODO DE MINIDISCO EN EL RECINTO CERECITA, GUAYAS**, realizado por la estudiante **OROVIO CAICEDO MÁXIMA ALEJANDRA**; con cédula de identidad N° **0953452513** de la carrera **AGRONOMÍA**, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Véliz Piguave Freddy Fernando, MSc.

Guayaquil, 05 de septiembre del 2024



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

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “DETERMINACIÓN DE LA INFILTRACIÓN BÁSICA EN DIFERENTES TIPOS DE SUELOS MEDIANTE EL MÉTODO DE MINIDISCO EN EL RECINTO CERECITA, GUAYAS”, realizado por la estudiante OROVIO CAICEDO MÁXIMA ALEJANDRA, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. JUAN MARTILLO GARCÍA, M.Sc.
PRESIDENTE

Ing. DARLYN AMAYA MARQUEZ, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. FREDDY VELIZ PIGUAVE, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Guayaquil, 16 de octubre del 2024

DEDICATORIA

Me dedico este trabajo a mí, por creer en mis capacidades, por mi esfuerzo, por no haber renunciado y por culminar esta meta propuesta que será un pilar fundamental en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Todo resultado del trabajo de un individuo es producto de la sinergia de esfuerzos. Por ello, quiero expresar mi gratitud a mi madre, mi padre y mi hermana Evelyn, quienes han estado presentes en cada proceso y etapa de mi vida, siendo un apoyo constante.

Agradezco también a la Universidad Agraria del Ecuador, por permitirme culminar esta etapa académica que, junto a los docentes, me proporcionaron herramientas y conocimientos para crecer en lo personal y en lo profesional.

A mi tutor de tesis por su paciencia, dedicación y guía, que han sido fundamental para la culminación de este trabajo. A mis amigos y grupo de compañeros de la carrera por su amistad y apoyo, por los momentos compartidos, tanto los gratos como los desafiantes, que enfrentamos en este viaje. Con ellos aprendí a equilibrar el estudio con la vida.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **OROVIO CAICEDO MAXIMA ALEJANDRA** en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “**DETERMINACIÓN DE LA INFILTRACIÓN BÁSICA EN DIFERENTES TIPOS DE SUELOS MEDIANTE EL MÉTODO DE MINIDISCO EN EL RECINTO CERECITA, GUAYAS**” para optar el título de **INGENIERA AGRÓNOMA**, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

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

Guayaquil, octubre 16 del 2024

OROVIO CAICEDO MAXIMA ALEJANDRA
C.I. 09534525213

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo determinar la tasa de infiltración básica en diferentes tipos de suelos que son franco arcilloso y areno franco arcilloso en el recinto Cerecita, Guayas, mediante el método de infiltrómetro minidisco, además de evaluar las características del suelo como conductividad hidráulica, conductividad eléctrica, compactación, porcentaje de humedad del suelo, pH y temperatura. Se aplicó un enfoque cuantitativo con diseño cuasi experimental a campo abierto, con una metodología de toma de muestras en zigzag, además se empleó un análisis basado en la prueba t de Student, donde se evaluó la tasa de infiltración básica de los dos suelos. Los resultados mostraron que T1 (suelo franco arcilloso) presentó una tasa de infiltración básica de 1.56 mm/hora, mientras que T2 (suelo areno franco arcilloso) una tasa de 2.65 mm/hora; los resultados muestran que hay diferencias significativas, sin embargo, las tasas de infiltración están debajo de lo normal para estos tipos de suelos, por otro parte, se observó correlaciones positivas bajas y muy bajas entre los suelos y las variables evaluadas, pero se observó una correlación positiva fuerte en ambos tipos de suelos con la conductividad hidráulica, sin embargo el suelo franco arcilloso presentó correlación negativa con la conductividad eléctrica, el porcentaje de humedad y la temperatura. El análisis de componentes principales mostró que las variables compactación y pH mostraron relación con la tasa de infiltración del suelo franco arcilloso, y en el suelo areno franco arcilloso, las variables de porcentaje de humedad, conductividad eléctrica, la infiltración básica y conductividad hidráulica.

Palabras clave: *Conductividad hidráulica, Infiltración básica, minidisco y suelo.*

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the basic infiltration rate in different types of clay loam and sandy clay loam soils in the Cerecita area, Guayas, using the minidisk infiltration meter method, in addition to evaluating soil characteristics such as hydraulic conductivity, electrical conductivity, compaction, soil moisture percentage, pH and temperature. A quantitative approach was applied with a quasi-experimental design in open field, with a zigzag sampling methodology, and a analysis based on Student's t-test, where the basic infiltration rate of the two soils was evaluated. The results showed that T1 (clay loam soil) presented a basic infiltration rate of 1.56 mm/hour, while T2 (sandy clay loam soil) a rate of 2.65 mm/hour; The results show that there are significant differences, however, the infiltration rates are below normal for these types of soils. On the other hand, low and very low positive correlations were observed between the soils and the variables evaluated, but a strong positive correlation was observed in both types of soils with hydraulic conductivity; however, the clay loam soil presented a negative correlation with electrical conductivity, the percentage of humidity and temperature. The principal component analysis showed that the compaction and pH variables were related to the infiltration rate of the clay loam soil, and in the sandy clay loam soil, the variables of moisture percentage, electrical conductivity, basic infiltration and hydraulic conductivity.

Keywords: *Hydraulic conductivity, basic infiltration, mini-disk and soil.*

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
Autorización de Autoría Intelectual	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
1. INTRODUCCIÓN	14
<i>1.1 Antecedentes del problema.....</i>	<i>14</i>
1.2 Planteamiento y formulación del problema	14
<i>1.2.1 Planteamiento del problema.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.2 Formulación del problema.....</i>	<i>15</i>
1.3 Justificación de la investigación	15
1.4 Delimitación de la investigación	16
1.5 Objetivo general	16
1.6 Objetivos específicos.....	16
1.7 Hipótesis	16
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Estado del arte.....	17
2.2 Bases teóricas	18
<i>2.2.1 Suelo.....</i>	<i>18</i>
<i>2.2.2 Características físicas del suelo.....</i>	<i>19</i>
2.2.2.1. Textura.....	19
2.2.2.2. Estructura.....	19
2.2.2.3. Porosidad y densidad.	20
2.2.2.4. Permeabilidad.	20
<i>2.2.2.4.1. Factores que afectan la permeabilidad.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.3 Características químicas</i>	<i>21</i>
2.2.3.1. pH del suelo.	21

2.2.3.2. Contenido de materia orgánica.....	21
2.2.3.3. Conductividad eléctrica.....	21
2.2.3.4. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	22
2.2.4 <i>Características hídricas del suelo</i>	22
2.2.4.1. Capacidad de campo.....	22
2.2.4.2. Punto de marchitez permanente.....	22
2.2.4.3. Infiltración básica (Ib).....	23
2.2.4.3.1. <i>Velocidad de infiltración</i>	23
2.2.4.3.2. <i>Factores que afectan la infiltración</i>	24
2.2.5 <i>Métodos para determinar la infiltración del suelo</i>	25
2.2.5.1. Infiltrómetro de doble anillo.....	25
2.2.5.2. Infiltrómetro de minidisco.....	26
2.3 <i>Marco legal</i>	26
2.3.1 <i>Constitución de la República del Ecuador</i>	26
2.3.2 <i>Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua</i>	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1 <i>Enfoque de la investigación</i>	28
3.1.1 <i>Tipo de investigación</i>	28
3.1.1.1. <i>Investigación aplicada</i>	28
3.1.1.2. <i>Investigación experimental</i>	28
3.1.2 <i>Diseño de investigación</i>	28
3.2 <i>Metodología</i>	28
3.2.1 <i>Variables</i>	28
3.2.1.1. <i>Variable independiente</i>	28
3.2.1.2. <i>Variable dependiente</i>	28
3.2.1.2.1. <i>Infiltración básica (Ib)</i>	28
3.2.1.2.2. <i>Conductividad hidráulica (K)</i>	28
3.2.1.2.3. <i>Conductividad eléctrica (Ce)</i>	28
3.2.1.2.4. <i>Compactación (psi)</i>	28
3.2.1.2.5. <i>Porcentaje de humedad del suelo %</i>	29
3.2.1.2.6. <i>pH del suelo</i>	29
3.2.1.2.7. <i>Temperatura del suelo (T°)</i>	29
3.2.2 <i>Tratamientos</i>	29

3.2.3 Diseño experimental	29
3.2.4 Recolección de datos	29
3.2.4.1. Recursos.	29
3.2.4.2. Métodos y técnicas.....	30
3.2.4.2.1. Métodos.	30
3.2.4.2.2. Técnicas.	30
3.3.2 Análisis estadístico.	32
3.2.5.1. Análisis funcional	32
3.2.5.2. Hipótesis estadística	33
4 RESULTADOS	34
4.1 Caracterización de los suelos en la zona de estudio.	34
4.2 Determinación de las tasas de infiltración mediante el infiltrómetro de minidisco en los diferentes tipos de suelo.	35
4.3 Análisis mediante la correlación de Pearson los datos de estudio.	36
5 DISCUSIÓN.	38
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	40
6.1 Conclusiones.....	40
6.2 Recomendaciones.....	40
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamiento a evaluar.....	29
Tabla 2.. Características del ensayo.....	29
Tabla 3. Parámetros de calidad de suelo para el cultivo de pitahaya	31
Tabla 4. Prueba t de Student.	33
Tabla 5. Características edáficas en los suelos de estudio	34
Tabla 6. Características edáficas <i>in situ</i> de los suelos de estudio.....	35
Tabla 7. Prueba t Student de la tasa de infiltración básica	36
Tabla 8. Análisis de correlación de Pearson de los suelos de estudio	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Análisis de componentes principales de las variables	37
Figura 2. Ubicación geográfica localidad 1	47
Figura 3. Ubicación geográfica localidad 2	47
Figura 4. Croquis del ensayo	48
Figura 5. Análisis de suelo localidad 1 realizado por INIAP.....	48
Figura 6. Análisis de suelo localidad 2 realizado por Yara Megalab.....	49
Figura 7. Medición de parámetros del suelo con Teros 12.....	50
Figura 8. Realización de la calicata localidad 1	50
Figura 9. Medición de Ph del suelo en localidad 1	51
Figura 10. Medición de pH muestra de suelo en localidad 1	51
Figura 11. Muestras para clasificar los horizontes localidad 1.....	52
Figura 12. Medición de la calicata en localidad 1	52
Figura 13. Realización de la calicata localidad 2	53
Figura 14. Medición de Ph del suelo en localidad 2.....	53
Figura 15. Muestra para clasificar los horizontes localidad 2	54
Figura 16. Medición de la calicata en localidad 2	54
Figura 17. Toma de muestras de infiltración localidad 1.....	55
Figura 18. Toma de muestras de suelo para la medición de pH	55
Figura 19. Toma de muestras de infiltración localidad 2.....	56
Figura 20. Medición de la compactación	56
Figura 21. Recolección de datos localidad 2	57
Figura 22. Indicaciones de la toma de datos con el tutor.....	57
Figura 23. Prueba T en la variable de infiltración básica	58
Figura 24. Prueba T en la variable de conductividad hidráulica (k)	58
Figura 25. Prueba T en la variable de conductividad eléctrica	59
Figura 26. Prueba T en la variable de compactación	59
Figura 27. Prueba T en la variable de porcentaje de humedad	60
Figura 28. Prueba T en la variable de temperatura	60
Figura 29. Prueba T en la variable de pH	61
Figura 30. Correlación de Pearson en el suelo franco arcilloso.....	61
Figura 31. Correlación de Pearson en el suelo areno franco arcilloso	62

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

En la producción agrícola sostenible además del agua, otro elemento de central importancia es la adecuada gestión del suelo, dado que este constituye el cimiento en el cual se sustentan las actividades agrícolas, ganaderas y forestales. La práctica de un manejo adecuado del suelo no solo preserva su salud y vitalidad, sino que también desempeña un papel crucial en la mitigación de las pérdidas de suelo, materia orgánica y nutrientes (Rosales et al., 2020).

La acumulación de agua en la superficie del suelo y la duración de su permanencia en esa área pueden servir como indicadores para evaluar la velocidad de infiltración del agua en el suelo y a través de él. Cuando el agua permanece en la superficie durante un período prolongado, se produce una disminución del oxígeno en el suelo, lo que genera condiciones anaeróbicas. Estas condiciones pueden ejercer un impacto negativo en el sistema radicular de las plantas, ocasionando estrés y limitando tanto la capacidad de respiración como el crecimiento de las raíces (Álvarez et al., 2021).

El estudio de la infiltración del agua en los suelos es de vital importancia en la gestión sostenible de los recursos hídricos y la planificación agrícola (Rosales et al., 2020). Mantener la calidad del suelo en buen estado es esencial para asegurar la sostenibilidad tanto ambiental como económica de los sistemas de producción agropecuarios.

Cuando las propiedades físicas y químicas del suelo se alteran, esto tiene un impacto significativo en la capacidad del suelo para permitir la infiltración del agua. Por lo tanto, es crucial reconocer y examinar cómo estas propiedades afectan la infiltración en áreas donde los suelos tienen desafíos en términos de infiltración y retención de agua. Esta necesidad surge debido a las dificultades inherentes en estos suelos en lo que respecta a la gestión del agua. Comprender el proceso de infiltración es fundamental para tomar decisiones informadas en la agricultura (Álvarez et al., 2021).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

En Ecuador, la problemática relacionada con el mal manejo de la infiltración del suelo tiene un impacto significativo en las propiedades físicas y químicas de este recurso. Los agricultores implementan sistemas de riego de manera empírica

debido a la falta de conocimiento sobre parámetros físicos del suelo (textura, estructura, porosidad, densidad y permeabilidad) sobre la infiltración, el diseño agronómico acorde a las zonas geográficas y la evaluación necesaria del sistema de riego para asegurar un riego uniforme.

La falta de prácticas adecuadas de infiltración y drenaje del agua en la agricultura y otras actividades humanas ha llevado a una compactación del suelo y a la pérdida de su estructura porosa natural. Esto reduce la capacidad del suelo para infiltrar el agua de manera eficiente, lo que a su vez afecta de forma negativa su porosidad y su capacidad de retención de agua.

La infiltración del agua en el suelo es un proceso que afecta de manera directa a la gestión de los recursos hídricos y a la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres, Por tanto, es esencial llevar a cabo una evaluación minuciosa de la infiltración en los suelos mediante la aplicación de métodos apropiados. Esta evaluación no solo contribuye a un mejor entendimiento de cómo el agua interactúa con el suelo, sino que también proporciona datos valiosos para la toma de decisiones informadas en la gestión de los recursos naturales y la planificación sostenible de actividades agrícolas.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo el infiltrómetro de minidisco puede contribuir a la obtención de información edáfica para determinar la infiltración básica en suelos para la eficiencia de la lámina de riego?

1.3 Justificación de la investigación

Este proyecto se propone proporcionar información para agricultores y técnicos que carecen de experiencia previa en la determinación de la infiltración básica mediante el empleo del método de campo minidisco. La falta de conocimiento sobre las propiedades físicas y químicas del suelo que influyen en el proceso de infiltración limita la capacidad de comprender y gestionar de manera eficaz los recursos hídricos. La necesidad de entender estas propiedades radica en que permiten estimar la velocidad con la que el agua penetra en el suelo, además, este conocimiento contribuirá no solo a una mejor comprensión de los procesos hidrológicos en el área, sino también a la implementación de prácticas agrícolas más efectivas y sostenibles.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** El presente estudio se realizó en el recinto Cerecita provincia del Guayas.
- **Tiempo:** Tuvo una duración de seis meses.
- **Población:** La información de este proyecto está dirigida a estudiantes, agricultores y comunidad que desee conocer sobre el tema para obtener conocimiento de las propiedades hidrofísicas del suelo.

1.5 Objetivo general

Determinar la tasa de infiltración básica en diferentes tipos de suelos en el recinto Cerecita, Guayas, mediante el método de minidisco.

1.6 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización de suelos en la zona de estudio.
- Determinar las tasas de infiltración mediante el método de minidisco en los diferentes tipos de suelos.
- Analizar mediante la correlación de Pearson cuál es el factor más importante en la infiltración del suelo.

1.7 Hipótesis

Habrán diferencias en las tasas de infiltración en los diferentes tipos de suelos en el recinto Cerecita.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

Barcenes (2023) llevo a cabo su estudio para evaluar las tasas de infiltración básica en varios tipos de suelos, franco arenoso, franco y franco arcillo arenosos, utilizando diferentes métodos como el doble anillo y minidisco. En los suelos franco arenosos, las tasas de infiltración fueron 28.13 mm/h (doble anillo) y 19.22 mm/h (minidisco), seguido del suelo franco con 7.05 mm/h (doble anillo) y 9.68 mm/h (minidisco), mientras que en suelos franco arcillo arenosos, las tasas fueron de manera significativa más bajas, registrando 3.73 mm/h (doble anillo) y 3.00 mm/h (minidisco). Además, se identificaron correlaciones negativas al método de infiltración entre las tasas de infiltración y variables del suelo como densidad aparente, materia orgánica y pH.

Reyes (2023) en el otro estudio paralelo en fincas cacaoteras y bananeras, encontro tasas de infiltración básica con el método del infiltrómetro de minidisco de 20.43 mm/h y 29.16 mm/h en suelos franco arenosos en la hacienda bananera Isabel María, mientras que en suelos franco arcillo arenosos en fincas cacaoteras, las tasas fueron más bajas, registrando 2.21 mm/h y 7.23 mm/h.

Lozano et al. (2020) investigaron la velocidad de infiltración en diversos suelos, desde bosques hasta áreas de cultivo en la cuenca del río Copalita en la Costa de Oaxaca, utilizando varios parámetros como la infiltración acumulada, la tasa de infiltración básica, la tasa de infiltración constante y el coeficiente de decaimiento. Realizaron un total de 38 experimentos de lluvia simulada con una intensidad promedio de 100 mm/h utilizando un simulador especial. Encontraron que las tierras de cultivo, en uso y en descanso, tenían tasas de infiltración más bajas y coeficientes de decaimiento más altos, mientras que el bosque mesófilo de montaña mostró una mayor capacidad de infiltración. Además, identificaron una correlación positiva significativa entre la infiltración y la densidad aparente del suelo, así como el contenido de limo y materia orgánica.

Rivera y Dolmos (2022) llevaron a cabo un estudio centrado en las características físicas del suelo y su relación con la infiltración. Realizaron 14 observaciones detalladas de perfiles de suelo y 42 pruebas de infiltración utilizando un infiltrómetro de doble cilindro hasta la estabilización del flujo. Los resultados revelaron una velocidad de infiltración máxima de 348 mm/h en el perfil 9, mientras que el perfil 3 registró una velocidad mínima de 19 mm/h debido a diferencias en la

textura del suelo, siendo el perfil 9 arcilloso y con abundantes macro poros, lo que facilitó una mayor infiltración acumulada de 1119 mm en un período superior a 300 minutos. Concluyendo, que la infiltración básica del agua en el suelo es un proceso en gran medida variable que depende de múltiples factores que influyen en su dinámica.

Rosales et al. (2020) utilizaron el método de doble anillo para determinar la infiltración del suelo Ferralítico Rojo compactado, la investigación se centró en el efecto de diversas prácticas del suelo y como estas afectan a la tasa de infiltración, concluyendo que cualquier intervención en el suelo que reduzca la tasa de infiltración limita la entrada de agua al suelo y, por tanto, disminuye la utilidad de la lluvia o el riego como fuente de agua para las plantas.

Urriola (2020) expuso la importancia de considerar las propiedades físicas en la evaluación del potencial del suelo. Las propiedades físicas del suelo afectan de manera significativa los factores como la capacidad de soporte, la facilidad de penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de retención de agua y la conservación de nutrientes. Concluyendo que incluir la evaluación de esas propiedades conduce a estudios y diagnósticos más integrales, lo que contribuye a un mejor manejo del suelo como recurso productivo.

Espinosa et al. (2023) emplearon infiltrómetro de minidisco para realizar setenta y dos pruebas de infiltración en diversos tipos de suelos caracterizados por variaciones en el contenido de materia orgánica, textura, estructura y cobertura vegetal en dos cantones de la provincia de Loja, Ecuador. Este estudio reveló una notable variabilidad espacial en las tasas de infiltración, destacando la influencia significativa del contenido de materia orgánica en el suelo, hallazgo consistente con estudios globales sobre permeabilidad. Se desarrolló un coeficiente de determinación R^2 de 0.78 para la función de pedotransferencia (FTP), lo cual indica una estimación satisfactoria de la permeabilidad utilizando las variables analizadas.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Suelo

El término suelo se puede definir como la capa superficial de la corteza terrestre, resultado de una serie de procesos que implican factores bióticos y abióticos. Estos procesos incluyen la descomposición de las rocas debido a cambios extremos de temperatura, la influencia del agua y el viento, así como la actividad de microorganismos (Rondón et al., 2020).

El suelo desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de la vida en el planeta. No solo actúa como el soporte vital para la vegetación, la infraestructura y el hábitat de la biodiversidad, sino que también es esencial para el funcionamiento de cualquier ecosistema. Este recurso, compuesto por una combinación de materia orgánica, minerales y nutrientes, es esencial para la vida de las plantas, microorganismos y seres humanos. Además, el suelo está en constante evolución y proporciona la base para el crecimiento de los cultivos y animales (Rodríguez et al., 2021). Su fertilidad está determinada por sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y sirve como el principal indicador de la calidad de este recurso natural tan vital.

Es crucial medir y monitorear de manera cuidadosa las características del suelo para evaluar su calidad, Báez et al. (2023) indican que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo tienen una estrecha conexión y juntas determinan su calidad. Estas propiedades, en su mayoría, son fáciles de medir y deberían realizarse evaluaciones periódicas de las mismas. Esta evaluación es fundamental para tomar decisiones informadas sobre la gestión del suelo y los cultivos, asegurando así la productividad óptima de las cosechas. Cuando el suelo no está alcanzando su máxima capacidad, se pueden detectar cambios en diversas propiedades físicas, químicas y biológicas.

2.2.2 Características físicas del suelo

2.2.2.1. Textura

La textura del suelo desempeña un papel crucial en su comportamiento y funcionalidad. La clase textural está relacionada con la distribución de tamaño de las partículas minerales presentes en el suelo, incluyendo arena, limo y arcilla. La proporción relativa de estas partículas minerales tiene un impacto significativo en diversas funciones del suelo. De manera puntual, afecta la retención y disponibilidad de agua, la estructura del suelo, su capacidad de aireación, drenaje, facilidad de trabajo y tránsito, así como la vida del suelo y su capacidad para suministrar y retener nutrientes. La textura del suelo, por lo tanto, desempeña un papel crucial en su comportamiento y funcionalidad (Álvarez et al., 2021).

2.2.2.2. Estructura

La composición del suelo influye de manera directa en varios aspectos como la oxigenación, el flujo del agua en el terreno, la transmisión del calor, el desarrollo de las plantas y su capacidad para resistir la erosión (Rondón et al., 2020). La

estructura del suelo se categoriza considerando factores como el tamaño, la forma, la firmeza, la cantidad de poros y la presencia de agregados de diferentes dimensiones. Los suelos que poseen una estructura adecuada son aquellos que son fáciles de desmenuzarse, tienen partículas finas y presentan una buena porosidad (Corbella, 2023).

2.2.2.3. Porosidad y densidad

Según Bautista (2020), la porosidad del suelo se refiere a los espacios vacíos entre las partículas del suelo en relación con su masa total. Si las partículas son más grandes o ásperas, el suelo tiende a tener una mayor porosidad, mientras que las partículas finas o suelos húmedos tienden a tener menos porosidad. Estos espacios vacíos pueden clasificarse como macroscópicos o microscópicos, y los suelos arenosos exhiben una mayor porosidad debido a la naturaleza de sus partículas. Además, la densidad del suelo se define como el peso del material sólido del suelo en su estado seco por unidad de volumen, conocido como densidad aparente. Sin embargo, dado que el suelo incluye porosidad, es necesario restar estos espacios vacíos del valor de densidad aparente para obtener la verdadera densidad del suelo.

2.2.2.4. Permeabilidad

La permeabilidad se refiere a la habilidad de un suelo para dejar pasar un fluido a través de su estructura porosa sin cambiar su disposición interna. Al determinar el coeficiente de permeabilidad, es factible identificar factores como humedad, densidad, porosidad, textura y viscosidad, entre otros, que influyen en esta propiedad del suelo. Comprender y cuantificar la permeabilidad del suelo es esencial para diversas aplicaciones, porque esta propiedad ejerce un impacto significativo en la hidrología del suelo, el transporte de sustancias a través de este y su capacidad de retención y filtración (Rondón et al., 2020).

2.2.2.4.1. Factores que afectan la permeabilidad.

La permeabilidad del suelo está influenciada por una variedad de factores, algunos de los cuales son localizados, como grietas y zonas erosionadas, lo que dificulta obtener valores de permeabilidad precisos a partir de mediciones directas. Para abordar esta complejidad, un análisis detallado de los perfiles del suelo es crucial, porque proporciona una verificación esencial de estas mediciones. Observaciones relacionadas con la textura del suelo, su estructura, coherencia, coloración y patrones de color, estratificación, presencia de poros visibles y la

profundidad de capas impermeables, como la roca madre y las capas arcillosas, se convierten en la base para evaluar la representatividad de las mediciones de permeabilidad (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020).

2.2.3 Características químicas

2.2.3.1. pH del suelo

El nivel de pH, conocido como potencial de hidrógeno, es determinante para la atracción de iones de hidrógeno (H^+) por las partículas del suelo, indicando si el suelo es ácido o alcalino. Según la FAO, (2023) el pH es un factor esencial porque juega un papel crucial en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, afectando la solubilidad, movilidad y accesibilidad de diversos constituyentes e incluso contaminantes inorgánicos en el suelo. El rango de valores de pH en el suelo varía desde 3.5 (muy ácido) hasta 9.5 (muy alcalino). Suelos muy ácidos (<5.5) tienden a contener altas concentraciones de aluminio y manganeso, lo que puede ser tóxico. Por otro lado, suelos muy alcalinos (>8.5) tienen la tendencia a dispersarse, lo que puede impactar de forma negativa en la estructura del suelo.

2.2.3.2. Contenido de materia orgánica

La materia orgánica del suelo desempeña una función crucial en la regulación de diversos procesos biológicos, químicos y físicos en el suelo, los cuales son determinantes para su salud general. Actúa como una fuente de nutrientes para las plantas, mejora la estructura del suelo y contribuye a la fertilidad. De manera general, se puede inferir el contenido de materia orgánica del suelo observando su color: a mayor oscuridad, mayor contenido de materia orgánica. Un cambio en el color del suelo puede indicar alteraciones en el nivel de materia orgánica, en concreto bajo un uso o manejo específico del suelo (Álvarez et al., 2021).

2.2.3.3. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del suelo representa de forma indirecta la concentración de sales presentes en él. Todos los suelos, por lo regular, contienen sales disueltas; por tanto, la conductividad eléctrica nunca es nula, aunque puede ser muy baja. Estas sales son beneficiosas para los organismos que las consumen en forma disuelta en el agua. Sin embargo, un exceso de sales puede afectar tanto el crecimiento de las plantas como la actividad de los microorganismos del suelo. La conductividad eléctrica varía de manera amplia y está influenciada por diversos

factores, como el tipo de material del que se origina el suelo y los procesos que han dado forma al suelo en cuestión (Cremona y Enriquez, 2020).

2.2.3.4. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

López et al. (2019) expresa que la capacidad de intercambio catiónico (CIC), se refiere a la carga eléctrica negativa presente en las arcillas y la materia orgánica del suelo. Esta carga puede ser constante o variar dependiendo del nivel de pH del suelo, y esto está relacionado con el tipo específico de arcilla presente. La relevancia de la CIC radica en su capacidad para indicar el porcentaje de saturación de bases, es decir, la cantidad relativa de bases presentes en el suelo. Este factor es crucial para determinar la fertilidad del suelo. Se ha confirmado que en suelos que contienen menos del 25% de arcilla, pero tienen un alto contenido de materia orgánica, el nivel de la CIC también se ve afectado por el pH del suelo (Cruz et al., 2021).

2.2.4 Características hídricas del suelo

En los suelos agrícolas, existen puntos específicos en cuanto a su contenido de humedad, desempeñando un papel vital en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, los cuales están vinculados tanto con las necesidades de las plantas como con su sistema de drenaje natural (Gavilánez, 2020).

2.2.4.1. Capacidad de campo

Cuando todos los espacios porosos del suelo están saturados de agua, de manera natural, se comienza a drenar, permitiendo que el agua se desplace desde la zona de las raíces hacia capas más profundas. El proceso de drenaje puede durar con proximidad un día en suelos arenosos y hasta tres días en suelos arcillosos. Después de que el agua ha sido drenada, queda una cierta cantidad en los poros que no puede eliminarse. En esta condición, los suelos alcanzan lo que se conoce como capacidad de campo. En este estado, existe un equilibrio adecuado entre aire y agua para las plantas. La humedad en la capacidad de campo representa el máximo nivel de humedad que el suelo retiene por acción capilar bajo condiciones de drenaje libre (Erazo, 2019).

2.2.4.2. Punto de marchitez permanente

El punto de marchitez permanente señala el nivel más bajo de humedad que los cultivos pueden acceder. Cuando el agua desciende por debajo de este punto, las plantas sufren un marchitamiento que es irreversible. Este estado crítico es conocido como humedad en el punto de marchitez permanente y se presenta como

un límite esencial que define la capacidad de supervivencia de los cultivos (Lince, 2021).

2.2.4.3. Infiltración básica (Ib)

La infiltración se refiere al proceso mediante el cual el agua penetra de forma vertical desde la superficie del suelo hacia su interior, influenciada por la gravedad y las fuerzas capilares entre el suelo y el agua. Esta propiedad es un fenómeno crucial en los suelos, que resulta de una interacción compleja entre sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La capacidad de infiltración del agua es muy variable y depende de numerosos factores que influyen en su dinámica (Campos y Cruz, 2018).

La tasa básica de infiltración se mide cuando el suelo está en contacto prolongado con el agua; este cálculo es esencial para planificar sistemas de riego, tanto superficiales como por aspersión. Cualquier actividad que reduzca esta tasa impide el acceso del agua al suelo, lo que a su vez disminuye los beneficios que la lluvia o el riego pueden ofrecer a las plantas. Provocando un aumento de escurrimiento, elevando así el riesgo de erosión en el área (Campos y Cruz, 2018; Dávila et al., 2020).

2.2.4.3.1. Velocidad de infiltración.

Ávila et al. (2019) mencionan que la habilidad del suelo para retener agua y el flujo del agua son influenciados por las características hidrodinámicas del suelo. La velocidad de infiltración se utiliza para determinar cómo el agua penetra en el suelo, y puede ser medida a través de una lámina de agua en relación con la profundidad y el tiempo.

La velocidad a la que ocurre este proceso, en comparación con la velocidad de suministro de agua, determina la cantidad de humedad que puede retenerse en la zona de raíces y cuánta de la precipitación o el riego podría convertirse en escurrimiento (Dávila et al., 2020).

La capacidad de absorción de agua de un suelo tiene una relación inherente con su nivel de humedad inicial. En suelos secos, el agua se infiltra más rápido, y esta tasa se conoce como la velocidad de infiltración inicial. A medida que el agua reemplaza al aire presente en los poros del suelo, la velocidad de infiltración disminuye de manera gradual, hasta que, al alcanzar la saturación del suelo, se estabiliza en una velocidad constante denominada velocidad de infiltración básica. La humedad inicial es un factor crítico al comparar las tasas de infiltración en suelos

distintos. Por lo tanto, en el proceso de caracterización y medición de la infiltración en los suelos, es fundamental asegurarse de que estos presenten niveles de humedad inicial similares (Palacios, 2020).

2.2.4.3.2. Factores que afectan la infiltración.

Ávila et al. (2019) indican que la velocidad de la infiltración está sujeta a la influencia de diversos factores, entre los cuales se incluyen aspectos como la textura del suelo, su porosidad, la estructura, la presencia de materia orgánica, la densidad aparente, el nivel de humedad, el contenido de sales, la cobertura vegetal, la compactación del suelo, la profundidad del nivel freático, entre otros.

La textura del suelo guarda una relación directa con la disposición y tamaño de sus poros, lo que influye en la velocidad de movimiento del agua tanto dentro de la matriz del suelo como en el proceso de infiltración. De manera general, en suelos con una textura arenosa, hay una mayor proporción de poros de mayor tamaño, a pesar de que la cantidad total de espacio poroso puede ser menor que en suelos de textura más fina. Por lo tanto, es lógico esperar que los suelos arenosos presenten tasas de infiltración más altas debido a esta mayor velocidad de paso del agua a través de sus poros (Osorio et al., 2022).

La porosidad, en particular la macroporosidad, que se refiere a los poros de mayor tamaño, desempeña un papel esencial en la circulación del agua en el suelo. Los suelos con una estructura bien desarrollada exhiben una alta porosidad tanto entre como dentro de los agregados del suelo. No obstante, los suelos que presentan una estructura deficiente pueden carecer de macroporos dentro de los agregados más grandes, lo que resulta en una limitación de su capacidad para drenar el exceso de agua (Corbella, 2023).

La influencia de la estructura en la infiltración está vinculada de forma directa a la estabilidad de dicha estructura. En suelos que han experimentado un excesivo laboreo o que presentan una alta concentración de sodio, la permeabilidad y la capacidad de infiltración se ven disminuidas. El sodio, en particular, provoca la dispersión de las partículas, lo que resulta en una homogeneización no deseada de la capa superficial del suelo (Gavilánez, 2020).

Cuanto más abundante es la materia orgánica en el suelo, mayor es la presencia de sales de calcio y menor es la cantidad de sales de sodio, lo que significa, favorece el proceso de infiltración del agua en el suelo. Además, una cobertura adecuada en la superficie no solo aumenta la rapidez del flujo horizontal,

sino que también crea espacios que mejoran la capacidad de infiltración del suelo, desempeñando una función crucial en la regulación de diversos procesos biológicos, químicos y físicos del suelo (Álvarez et al., 2021).

La densidad aparente es un indicador crucial de la capacidad de infiltración de un suelo. Los suelos arcillosos exhiben una mayor fuerza de retención del agua en comparación con los suelos arenosos. En contraste, en los suelos arenosos, estas fuerzas son de menor magnitud, lo que conduce a una microporosidad mayor y, por ende, a una mayor capacidad de infiltración del suelo (Gavilánez, 2020).

El nivel de humedad tiene una influencia parcial en la velocidad de infiltración del suelo. La capacidad del suelo para absorber agua está condicionada a su contenido de humedad inicial, siendo la velocidad de infiltración mayor cuando el suelo se encuentra en estado seco en comparación con suelos ya saturados de humedad. El nivel inicial de humedad es un factor crucial al comparar las tasas de infiltración entre suelos diversos (Campos y Cruz, 2018).

2.2.5 Métodos para determinar la infiltración del suelo

Existen diversas pruebas de infiltrometría destinadas a determinar las propiedades hidráulicas de los suelos. Una de estas herramientas es el infiltrómetro, utilizado en campo para evaluar la conductividad hidráulica del suelo. Este dispositivo se emplea por lo general en la caracterización de suelos y en la gestión de recursos hídricos. Consiste en uno o dos tubos de chapa con diámetros fijos, que se insertan en el suelo a profundidades variables. Después, se agrega una cantidad específica de agua para observar el tiempo que demora en infiltrarse, lo que proporciona datos cruciales sobre la capacidad de infiltración del suelo (Pikul et al., 1992).

2.2.5.1. Infiltrómetro de doble anillo

El método del doble anillo representa la prueba más frecuente utilizada en la estimación de las propiedades hidráulicas del suelo. Este método implica la inserción de dos anillos concéntricos, uno interior y otro exterior, en el suelo a una profundidad de 10 a 15 cm, asegurándose de que estén por completo enterrados y nivelados. Después, el espacio interno entre los anillos se llena con agua (Alvarado y Barahona, 2017). Su estructura, comprende dos anillos concéntricos con alturas de 25 cm y diámetros exteriores e interiores de 55 cm y 35 cm, de forma respectiva. Para la medición de los datos, se utiliza una regla que posee una escala graduada en centímetros y milímetros. En este procedimiento, permite que los anillos

penetren a una profundidad de 15 cm en el suelo. El método consiste en saturar un área limitada de suelo, marcada por los anillos concéntricos, y luego medir los cambios en el nivel del agua dentro del cilindro interior. El tiempo necesario para lograr la saturación del suelo depende de varios factores, incluyendo la humedad inicial del suelo, su textura y estructura, el grosor de la capa por donde fluye el agua y la altura del agua en el anillo interior (Reynolds y Elrick, 1991).

La utilización de infiltrómetros de doble anillo ofrece una ventaja notable en el estudio de la infiltración del suelo. En este enfoque, el agua se almacena en la superficie, y es el suelo mismo el que dicta su capacidad de infiltración. Esta metodología permite una evaluación de cómo las propiedades físicas y estructurales del suelo influyen de manera directa en su capacidad para absorber el agua, proporcionando datos valiosos para entender el proceso de infiltración en el contexto del comportamiento del suelo (Romay et al., 2023).

2.2.5.2. Infiltrómetro de minidisco

El infiltrómetro de minidisco (MDI) es un método empleado para la medición *in situ* de la permeabilidad bajo carga de presión negativa. La portabilidad y facilidad de uso del MDI, en especial en terrenos con pendientes, simplifican en gran medida la repetibilidad de las mediciones. Este método opera mediante el llenado de las cámaras superior e inferior del infiltrómetro con agua. La cámara superior, conocida como la cámara de burbujas, regula la succión, mientras que la cámara inferior contiene el volumen de agua cuya tasa de infiltración en el suelo está determinada por la succión seleccionada en la cámara de burbujas. El cilindro graduado marcado en la cámara inferior presenta el volumen medido en mililitros (Weninger et al., 2019).

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida. (p.29)

Art. 13.- Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales. (p.29)

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su

protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. (p.181)

Art. 410.- El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria. (p.182)

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. (Constitución de la República de Ecuador, 2008 [Art. 12, 13, 409, 410 y 411], p.182)

2.3.2 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

Art. 3.- Objeto de la Ley. El objeto de la presente Ley es garantizar el derecho humano al agua, así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el *sumak kawsay* o buen vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución. (p.3)

Art. 12.- Protección, recuperación y conservación de fuentes. El Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos, así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única del Agua de acuerdo con lo previsto en la Constitución y en esta Ley. (p.6)

DISPOSICIONES GENERALES

PRIMERA. - Corresponde a los gobiernos autónomos descentralizados provinciales planificar, construir, operar y mantener los sistemas de riego y drenaje en aplicación de las políticas nacionales y lineamientos de planificación, y parámetros técnicos definidos por la Autoridad Única del Agua. El servicio público de riego incluye también las actividades de drenaje agrícola. (p.40)

SEGUNDA. - La Autoridad Única del Agua expedirá la normativa que establezca los parámetros técnicos para la evaluación y determinación de las infracciones, sanciones y multas prescritas en esta Ley. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014, p.40)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, porque se recopiló y analizó los datos provenientes de las variables de evaluación.

3.1.1 Tipo de investigación

3.1.1.1. Investigación aplicada

Se utilizó el método de infiltración de minidisco en dos tipos de suelos para obtener la infiltración básica de los suelos en estudio.

3.1.1.2. Investigación experimental

El estudio se realizó a campo abierto, con una metodología de toma de infiltración básica en forma zigzag, además se empleó un diseño basado en la prueba t de Student, donde se evaluó la tasa de infiltración de los dos suelos.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es de tipo cuasi experimental, incluye la toma de muestras de las tasas de infiltración en los suelos de estudio.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente

Tipo de suelo:

Franco arcilloso y Areno franco arcilloso

3.2.1.2. Variable dependiente

3.2.1.2.1. Infiltración básica (Ib).

Para la medición de esta variable se usó el infiltrómetro de minidisco. Este infiltrómetro se colocó en las áreas donde se tomaron las muestras para las lecturas de la infiltración inicial hasta alcanzar la infiltración básica del suelo.

3.2.1.2.2. Conductividad hidráulica (K).

La herramienta usada fue el infiltrómetro, se utilizó en campo para evaluar la conductividad hidráulica del suelo.

3.2.1.2.3. Conductividad eléctrica (Ce).

Para llevar a cabo esta medición, se utilizó el equipo TEROS 12.

3.2.1.2.4. Compactación (psi).

Para medir la compactación del suelo en términos de psi, se utilizó un penetrómetro o un cono de penetración. Este instrumento aplica una fuerza controlada sobre el suelo y miden la resistencia que ofrece a esta fuerza.

3.2.1.2.5. Porcentaje de humedad del suelo %.

Para llevar a cabo esta medición, se utilizó el equipo TEROS 12.

3.2.1.2.6. pH del suelo.

Se determinó el pH usando un tester manual para medir pH en suelo, que es un instrumento que se usa para ese propósito.

3.2.1.2.7. Temperatura del suelo (T°).

Para llevar a cabo esta medición, se utilizó el equipo TEROS 12.

3.2.2 Tratamientos

En la presente investigación se evaluó dos tipos de suelos para determinar los parámetros de suelo mediante el método minidisco. A continuación, se indica la estructura del diseño:

Tabla 1.

Tratamiento a evaluar

Tratamiento	Tipo de suelo	Método de infiltración
T1	Franco arcilloso	Minidisco
T2	Areno franco arcilloso	Minidisco

Elaborado por: La Autora, 2024

3.2.3 Diseño experimental

En este estudio, se empleó el método de campo minidisco, para evaluar la infiltración básica del suelo en un total de 15 muestras.

Tabla 2.

Características del ensayo

Características	Descripción
Número de tratamientos	2
Número de repeticiones	15
Unidades experimentales	30
Área total del ensayo	10 ha
Forma de toma de muestra	Zig Zag

Elaborado por: La Autora, 2024

3.2.4 Recolección de datos

3.2.4.1. Recursos

Se utilizó los siguientes recursos:

Pala

Excavadora manual
Flexómetro
Infiltrómetro de minidisco
Libreta de campo
Análisis de suelo
Programa de Infostat
Aplicación Mussel color chart

3.2.4.2. Métodos y técnicas

3.2.4.2.1. Métodos.

- **El método inductivo:** Este trabajo se fundamenta en fuentes de información confiables y se llevó a cabo el método con el propósito de obtener resultados que permitan alcanzar los objetivos planteados y respaldar la hipótesis del proyecto.
- **El método deductivo:** Se empleó el método de minidisco, y luego se analizaron los datos recopilados con el fin de correlacionarlos de acuerdo con el objetivo de la investigación.
- **El método experimental:** La investigación consistió en medir la infiltración básica en dos tipos de suelos utilizando el método de minidisco, con el objetivo de determinar si se observan diferencias significativas en las tasas de infiltración en los suelos de estudio.

3.2.4.2.2. Técnicas.

Objetivo 1. Realizar la caracterización de los suelos en la zona de estudio.

Actividad 1. Se llevó a cabo el reconocimiento del área, para realizar las pruebas requeridas en este proyecto.

Actividad 2. En la fase de toma de muestras, se procedió a excavar un orificio con dimensiones de 25 x 25 cm y una profundidad de 20 cm. Luego, se retiraron 20 cm de la capa superior del suelo con el propósito de obtener una muestra representativa para su análisis en el laboratorio.

Actividad 3. Luego de efectuar el reconocimiento inicial del área, se procedió a la excavación de una calicata de un metro de ancho y un metro de profundidad. La calicata permitió la evaluación de aspectos como la textura del suelo, su color, la identificación de horizontes edáficos y la determinación del orden al que pertenece.

Actividad 4. Una vez completada la calicata, se realizó un estudio detallado del suelo. En esta etapa, se empleó la escala de Munsell, para esto se usó la aplicación Munsell Color Chart2, para determinar el color del suelo, además se determinó la cantidad de horizontes presentes. Asimismo, se midió parámetros específicos para cada horizonte:

- La conductividad eléctrica (us/cm)
- Porcentaje de humedad de suelo (%)
- Temperatura del suelo (T°)

Para llevar a cabo estas mediciones, se utilizó el equipo TEROS 12

Actividad 5. Se determinó el pH del suelo utilizando un tester para pH en suelo GroLine, que es una herramienta que se utiliza para este propósito.

Actividad 6. De los datos obtenidos se clasificó los suelos de estudio dentro de los parámetros de calidad de suelo para el cultivo de pitahaya.

Tabla 3.

Parámetros de calidad de suelo para el cultivo de pitahaya

Factor	Parámetro	Características			
		Óptima	Moderada	Marginal	No apta
Suelo	Textura	Franco, franco arenoso, franco arcilloso, franco arcilloso-arenoso	Franco limoso, franco arcilloso-limoso, arcillo-arenoso	Arena, areno francoso, limoso, arcilloso, arcillo-limoso	Arcilla pesada
	CE	CE < 2 dS/m	CE entre 2 - 4 dS/m	CE entre 4 - 8 dS/m	CE > 8 dS/m
	pH	Medianamente ácido (5.5 - 6.5), ligeramente ácido (6.0 - 6.5), prácticamente neutro (6.5-7.5), neutro (7)	Ácido (4.5 - 5.5)	Ligeramente alcalino (7.5 - 8.0)	Muy ácido (<4.5), medianamente alcalino (8.0 - 8.5), alcalino (>8.5)
Clima	Temperatura (°C)	18 - 22	22- 26	17 - 18	<17, >26

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020

Elaborado por: La Autora, 2024

Objetivo 2. Determinar las tasas de infiltración mediante el infiltrómetro de minidisco en los diferentes tipos de suelo.

Actividad 1. Se llevó a cabo la medición de la infiltración básica utilizando el método de minidisco. Para evaluar la infiltración del suelo con el método de minidisco, se utilizó un instrumento que se compone de un tubo de ensayo de 32.7 cm de longitud y 3.1 cm de diámetro. En la parte inferior del tubo, se encuentra un disco de 4.5 cm de diámetro y 3 cm de grosor. Este infiltrómetro se colocó en las áreas donde se tomaron las muestras para las lecturas de la infiltración inicial hasta alcanzar la infiltración básica del suelo. Cada punto de evaluación se sometió a un total de dos repeticiones para asegurar la precisión de las mediciones y obtener datos confiables sobre la infiltración del suelo.

Actividad 2. Se aplicó la fórmula del método de minidisco para medir la infiltración básica:

Fórmula propuesta por Zhang (1997) para la determinación de la infiltración con el minidisco, que se expresa como:

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t}$$

Donde:

C₁: Está relacionada con la conductividad Hidráulica

C₂: Está relacionada con el soporte del suelo

t: Está relacionada en función del tiempo

Objetivo 3. Analizar mediante la correlación de Pearson los datos de estudio.

Actividad 1. En caso de que los datos (Infiltración básica, Conductividad hidráulica, Conductividad eléctrica, Compactación, Porcentaje de humedad del suelo, pH del suelo y Temperatura del suelo) sigan una distribución normal, se usa la correlación de Pearson; de lo contrario, se recurrirá a la correlación de Spearman para analizar la relación entre los parámetros del suelo y la infiltración básica.

3.3.2 Análisis estadístico

3.2.5.1. Análisis funcional

En este estudio, se realizó una comparación entre las dos poblaciones, y para ello se empleó la tabla de t de Student para obtener datos que se introdujeron en el programa Infostat, permitiendo así la realización de una correlación de Pearson. Cuando el número de muestras es homogéneo, se aplica la siguiente fórmula:

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} < 1$$

Por otro lado, si el número de muestras es mayor, se utiliza la fórmula:

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} > 1$$

La fórmula de t de Student se define de la siguiente manera:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Los grados de libertad se calculan como:

$$gl = n_1 + n_2 - 2$$

$$gl = 15 + 15 - 2$$

$$gl = 28$$

Tabla 4.

Prueba t de Student.

Tratamiento	Toma de muestras en forma sinuosa	Comparación	t-Student
T1	15	$\mu 1 = \mu 2$	p valor > α
T2	15	$\mu 1 \neq \mu 2$	p valor < α

Elaborado por: La Autora, 2024

3.2.5.2. Hipótesis estadística

$$\mu 1 = \mu 2$$

Ho: No hay diferencia significativa entre las medias de las muestras obtenidas con el infiltrómetro de minidisco.

H1: Existe una diferencia significativa entre las medias de las muestras obtenidas con el infiltrómetro de minidisco.

4 RESULTADOS

4.1 Caracterización de los suelos en la zona de estudio

La primera localidad de estudio presenta un suelo franco arcilloso, compuesto por 24% de arena, 42% de limo y 34% de arcilla, una densidad aparente de 1.39 g/cm³, pH de 7.21 y un porcentaje de materia orgánica de 1.79%. La segunda localidad exhibe un suelo areno franco arcilloso, compuesto por un 14% de arena, un 54% de limo y un 32% de arcilla. La densidad aparente es de 1.35 g/cm³, además un pH de 6.8 y el contenido de materia orgánica alcanza el 1.9. Estos datos descritos de ambas localidades se detallan en la tabla 5 que presenta las características edáficas de los suelos de estudio con cultivo de pitahaya.

Tabla 5.

Características edáficas en los suelos de estudio

Variable	Localidad 1	Localidad 2
Cultivo	Pitahaya	Pitahaya
Tipo de suelo	Franco arcilloso	Areno franco arcilloso
Textura %	24-42-34	14-54-32
Densidad aparente g/cm ³	1.39	1.35
Materia orgánica %	1.79	1.90
pH	7.21	6.80
C.I.C. meq/100gr	28.72	51.20
Conductividad eléctrica mS/cm	0.498	0.910

Fuente: INIAP (2024); Yara Megalab (2024). Elaborado por: La Autora, 2024

La calicata realizada para la toma de datos *in situ*, en la primera localidad reveló dos horizontes: el primer horizonte de una profundidad de 73 cm de un color marrón rojizo oscuro, mientras que el horizonte B tuvo una profundidad de 27 cm, presentando una tonalidad marrón oscuro grisáceo. Los resultados obtenidos con el Teros 12 *in situ*, detallaron que el contenido de humedad oscila entre el rango de 32% a 52%, la temperatura se sitúa en el rango de 32 y 33 °C, y la conductividad eléctrica varía entre 0.547 mS/cm a 1.431 mS/cm. Por último, el pH oscila por los 7.8.

Los resultados de la segunda localidad obtenidos con el Teros 12 *in situ*, detalló un rango de porcentaje de humedad entre 34 a 37 °C, la temperatura oscila por los 30 °C y la conductividad eléctrica en un rango de 1.233 mS/cm a 1.315 mS/cm. La calicata realizada en esta localidad identificó dos horizontes: el primer

horizonte, con una profundidad de 60 cm, presentando una tonalidad marrón rojizo y el horizonte B, con una profundidad de 40 cm, presentando una tonalidad amarilla grisáceo. El pH tomado *in situ* oscila por los 7.4. En la tabla 6 se presenta las características edáficas *in situ* de ambas localidades.

Tabla 6.

Características edáficas in situ de los suelos de estudio

Variab les	Localidad 1	Localidad 2
Número de horizonte	2	2
Profundidad (cm) Horizonte A	0-73	0-60
Profundidad (cm) Horizonte B	74-100	61-100
Color horizonte A	2.5YR 3/6	7.5YR 5/6
Color horizonte B	5YR 3/2	5Y 5/3
% de humedad horizonte A	32.75	34.2
% de humedad horizonte B	52.6	37.5
Temperatura (°C) horizonte A	33.2	30.8
Temperatura (°C) horizonte B	32.55	30.7
C.E. horizonte A	0.547	1.233
C.E. horizonte B	1.431	1.315
pH	7.8	7.4

Elaborado por: La Autora, 2024

4.2 Determinación de las tasas de infiltración mediante el infiltrómetro de minidisco en los diferentes tipos de suelo

Se realizó la recopilación de los datos de la tasa de infiltración básica *in situ* en dos localidades distintas: la localidad uno, suelo franco arcilloso y la localidad dos, suelo areno franco arcilloso. La obtención de estos datos fue mediante el uso del infiltrómetro de minidisco y luego fueron analizados utilizando la fórmula propuesta por Zhang.

La tabla 7 describe los resultados del análisis de la tasa de infiltración básica en base a la prueba t de Student, utilizando un nivel de significancia del 5%. Se observa que la tasa de infiltración básica media para el suelo franco arcilloso fue de 1.56 mm/hora, mientras que para el suelo areno franco arcilloso fue de 2.65 mm/hora. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre ambos tipos de suelos, con un p-valor menor a 0.0001.

Tabla 7.**Prueba t Student de la tasa de infiltración básica**

Suelo	N°	Tasa de infiltración básica (mm/hora)
Franco arcilloso	15	1.56
Areno franco arcilloso	15	2.65
p-valor		<0.0001

Elaborado por: La Autora, 2024**4.3 Análisis mediante la correlación de Pearson los datos de estudio**

Con base al método de minidisco usado para la determinación de la tasa de infiltración básica, en la tabla 8 se describe la correlación de Pearson entre los suelos de estudio y sus tasas de infiltración básica con las variables. En el suelo franco arcilloso se observa que la infiltración básica muestra una correlación positiva fuerte con la conductividad hidráulica (0.97), sin embargo, presenta una correlación positiva muy baja con la compactación (0.05) y el pH (0.19). Por otra parte, presenta una correlación negativa con la conductividad eléctrica (- 0.06), el porcentaje de humedad (- 0.01) y la temperatura (- 0.11).

El suelo areno franco arcilloso detalla una correlación positiva fuerte con la conductividad hidráulica (0.96), presentó una correlación positiva baja con la conductividad eléctrica (0.28), el porcentaje de humedad (0.28) y la temperatura (0.26), asimismo presentó una correlación muy baja con la compactación (0.09) y el pH (0.08).

Tabla 8.**Análisis de correlación de Pearson de los suelos de estudio**

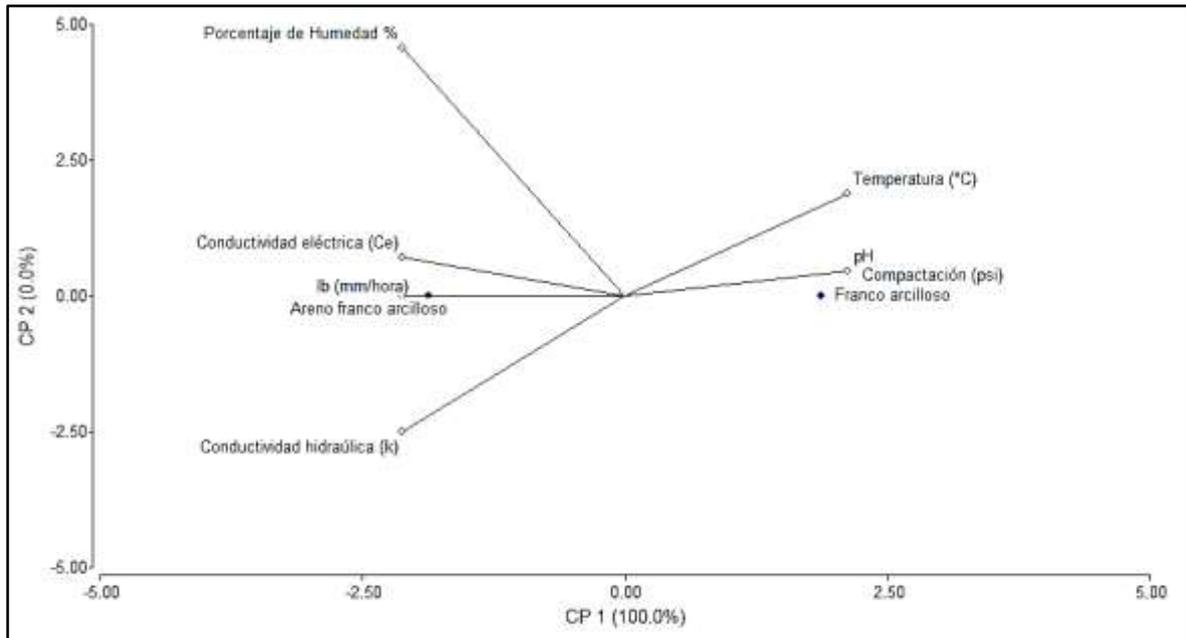
Variables	Infiltración básica (mm/h)			
	Franco arcilloso		Areno franco arcilloso	
	Pearson	p-valor	Pearson	p-valor
Conductividad hidráulica (k)	0.97	<0.0001	0.96	<0.0001
Conductividad eléctrica (CE)	- 0.06	0.8303	0.28	0.3093
Compactación (PSI)	0.05	0.8528	0.09	0.7469
Porcentaje de humedad (%)	- 0.01	0.9590	0.25	0.3756
Temperatura (°C)	- 0.11	0.6984	0.26	0.3469
pH	0.19	0.4894	0.08	0.7791

Elaborado por: La Autora, 2024

El análisis de componentes principales de las variables refleja en la figura 1, que la compactación y pH están relacionadas con la tasa de infiltración del suelo franco arcilloso, mientras que, en el suelo areno franco arcilloso están asociados el porcentaje de humedad y conductividad eléctrica, además muestra más influencia por la infiltración básica y conductividad hidráulica.

Figura 1.

Análisis de componentes principales de las variables



Elaborado por: La Autora, 2024

5 DISCUSIÓN

Mediante los análisis de laboratorio de suelo y mediciones *in situ* a través de la elaboración de una calicata se caracterizaron los suelos, y se determinaron los parámetros edáficos. El suelo de la primera localidad un suelo con textura franco arcillo y profundidad del horizonte A de 73 cm y horizonte B de 27 cm, en cambio, la segunda localidad presenta suelo con textura areno franco arcilloso y profundidad del horizonte A de 60 cm y horizonte B de 40 cm, ambas localidades presentan bajo contenido de materia orgánica con densidad aparente que oscilan en un rango de 1.35 a 1.39 gr/cm³, contenidos de sales menores a 1.5 mS/cm y pH en un rango de 6.80 a 7.21, estos parámetros de suelo son aptos en la producción de pitahaya por lo que se concuerda con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2020) con la clasificación agroecológica del cultivo de pitahaya en condiciones naturales en el Ecuador continental, por otra parte Urriola (2020) expuso la importancia de considerar las propiedades físicas en la evaluación del potencial del suelo, para diagnósticos más integrales, lo que contribuye a un mejor manejo del suelo como recurso productivo.

La tasa de infiltración básica en el suelo franco arcilloso es de 1.56 mm/hora, y en suelos areno franco arcilloso registró una tasa de infiltración de 2.65 mm/hora, los datos de parámetros de infiltración en suelos para la producción de pitahaya son escasos, sin embargo otros estudios de suelos en cultivos de banano y cacao en tipo de suelos similares, se concuerda con la investigación de Reyes (2023), que encontró tasas de infiltración con valores 2.21 mm/hora en el suelo franco arcilloso arenoso. Por otra parte, se difiere con Barcenas (2023) que determinó la tasa de infiltración básica en el suelo franco arcilloso arenoso con el método de minidisco con un valor de 3.00 mm/hora.

Una vez obtenidos los datos de los suelos en estudio, se analiza la correlación de Pearson de las tasas de infiltración y los parámetros del suelo. De los resultados obtenidos, se observa que la conductividad hidráulica destaca su papel en la infiltración básica, en contraste, la conductividad eléctrica, la compactación, el porcentaje de humedad, la temperatura y el pH no muestran una correlación significativa con la infiltración básica. Sin embargo, en el análisis de componentes principales, las variables compactación y pH muestran relación con la tasa de infiltración del suelo franco arcilloso. En cambio, el suelo areno franco arcilloso, está asociado con el porcentaje de humedad, conductividad eléctrica, la

infiltración básica y conductividad hidráulica, concordando con Rivera y Dolmos (2022) que concluyen que la infiltración básica del agua en el suelo es un proceso en gran medida variable que depende de múltiples factores que influyen en su dinámica.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Las localidades en estudio presentan dos tipos de suelos y son suelos aptos para la producción de pitahaya acorde a la clasificación agroecológica del cultivo de pitahaya en condiciones naturales del MAG, con niveles óptimos de pH y bajo contenidos de sales, sin embargo, son suelos que poseen bajo contenido de materia orgánica.

Se estimaron tasas de infiltración de 1.56 mm/hora en el suelo franco arcilloso y 2.65 mm/hora en suelo areno franco arcilloso, mediante el método de minidisco con toma de muestras en zigzag, los resultados muestran que hay diferencias significativas, por lo que se concluye que se acepta la hipótesis de que hay diferencias en las tasas de infiltración en los diferentes tipos de suelos en el recinto Cerecita, sin embargo, las tasas de infiltración están debajo de lo normal para estos tipos de suelos, donde los rangos suelen estar entre 10 a 30 mm/hora.

El análisis de correlación de Pearson de los suelos en estudio muestra que, en ambos suelos la conductividad hidráulica se mantiene como un factor relevante, destacando su papel en la infiltración básica. La compactación y el pH no mostraron una correlación significativa con la infiltración básica, mostrando una influencia mínima. Por otro lado, el análisis de componentes principales mostró variabilidad en los dos tipos de suelo y como cada uno responde a las variables ambientales y físicas.

6.2 Recomendaciones

Es fundamental llevar a cabo una caracterización detallada del suelo en cada área específica, realizar monitoreos, análisis de suelos y evaluar los parámetros hidrofísicos antes de establecer cualquier cultivo, para ver la calidad del recurso edáfico en las zonas establecidas y garantizar así un manejo y diseño agronómico más eficiente y sostenible, adaptado a las condiciones particulares.

Se recomienda realizar otros estudios con el método de minidisco en suelos agrícolas con distintas características y en diferentes condiciones de succión, puesto que las tasas de infiltración entre diferentes tipos de suelo varía y se debe ajustar para obtener resultados más precisos y confiables.

Se recomienda correlacionar las propiedades del suelo físico y químicas que afecten de manera significativa el movimiento del agua, y evaluar otros posibles

parámetros que pueden estar modulando la relación entre la infiltración y las características del suelo en diferentes contextos agronómicos para examinar cómo cada una influye en la velocidad de infiltración.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, C., y Barahona, M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *UNED Research Journal*, 9(1), 23-33. <https://doi.org/10.22458/urj.v9i1.1674>
- Álvarez, L., Leizica, E., y Gómez, F. (2021). *Guía para la evaluación visual de la calidad del suelo*. (N. M. Muñoz, Ed.) Santa Rosa, La Pampa: Universidad Nacional de La Pampa.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2014, 06 de agosto). Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento. Registro Oficial Suplemento N° 305: <http://www.regulacionagua.gob.ec/>
- Ávila, L., Soler, M., Madrona, P., Ruiz, A., Bautista, C., González, J., y Molina, J. (2019). Análisis de la velocidad de infiltración del agua en suelos saturados mediante lisímetros de pesada. *X Congreso Ibérico de Agroingeniería*, 2-7. https://doi.org/10.26754/c_agroing.2019.com.3370
- Báez, M., López, G., y Grajales, M. (2023). Mejoramiento de las propiedades hidráulicas del suelo en el cultivo de soya mediante el subsuelo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(5), 78-85. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i5.3102>
- Barcenas, M. (2023). *Determinación de la infiltración básica mediante dos métodos de campo en diferentes tipos de suelos* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Centro de Información Agraria. <https://cia.uagraria.edu.ec/>
- Bautista, N. N. (2020). *Propiedades físicas del suelo, factor de prioritaria atención dentro de la productividad agrícola* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/>
- Campos, A., y Cruz, D. (2018). *Riego por goteo en el cultivo de la caña de azúcar*. Cali, Colombia: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar. <https://www.cenicana.org/>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). [Art. 12, 13, 409, 410 y 411], p.182) Registro Oficial Suplemento 449 de 20 de octubre del 2008. <https://www.asambleanacional.gob.ec/>

- Corbella, R. D. (2023). *Guía de estudio: Física del suelo*. Facultad de Agronomía, Zootecnia y Veterinaria.
- Cremona, M. V., y Enriquez, A. S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, 5-8. <https://ri.conicet.gov.ar/>
- Cruz, W., Rodríguez, L., Salas, M., Hernández, V., Campos, R., Chávez, M., y Gordillo, A. (2021). Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 475-480. <https://www.redalyc.org/>
- Dávila, L., Méndez, M., Parras, D., González, J., Ruiz, A., y Molina, J. (2019). Análisis de la velocidad de infiltración del agua en suelos no saturados empleando lisimetría de pesada. *X Congreso Ibérico de Agroingeniería*, 86-90. https://doi.org/10.26754/c_agroing.2019.com.3370
- Dávila, L., Méndez, M., Parras, D., González, J., Ruiz, A., y Molina, J. (2020). Gestión del riego por medio de la velocidad de infiltración del agua en suelo. *AGRICULTURA 4.0*, 93-97. <https://www.researchgate.net/>
- Erazo, C. E. (2019). *Principio de riego "Cuando regamos, la regamos"*. Universidad Luterana Salvadoreña. <https://uls.edu.sv/>
- Espinosa, J., Rivera, D., y Haro, R. (2023). Generación de mapas de permeabilidad de suelos. Estudio de caso en dos cantones de la provincia de Loja, Ecuador. *Siembra*, 10(1), 12. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/siembra.v10i1.4321>
- Gavilánez, F. (2020). *El drenaje agrícola y sus elementos de diseño* (Primera ed.). Quito: Mawil Publicaciones de Ecuador. <https://doi.org/10.26820/978-9942-826-38-1>
- Kostiakov, A. N. (1932). *On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration*. (Vol. 6). Moscow: Transactions Congress International Society for Soil Science.
- Lince, L. A. (2021). Capacidad de almacenamiento de agua en suelos cultivados en café y otras propiedades edáficas relacionadas. *Revista Cenicafe*, 71(1), 7-20. <https://doi.org/10.38141/10778/72101>

- López, W., Reynoso, R., López, J., Villar, B., Camas, R., y García, J. (2019). Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(4), 897-909. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>
- Lozano, S., Olazo, J., Pérez, M., Castañeda, E., Díaz, G., y Santiago, G. (2020). Infiltración y escurrimiento de agua en suelos de una cuenca en el sur de México. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 57-66. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.443>
- Millán, S., Campillo, C., Vivas, A., y Moñino, M. P. (2020). Evaluación de diferentes medidas de planta para identificación y caracterización de la respuesta al riego del ciruelo japonés para gestión del riego. *II Simpósio Ibérico de Engenharia Hortícola*, 79-90. <https://www.researchgate.net/>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2020). *Zonificación agroecológica del cultivo de pitahaya en condiciones naturales en el Ecuador continental*. http://geoportal.agricultura.gob.ec/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=e3e4da59-1710-42a0-9acf-dfe213ab3361&fname=mt_zae_pitahaya_2020.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). *Permeabilidad del suelo*. <https://www.fao.org/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2023). *Portal de Suelos de la FAO*. <https://www.fao.org/>
- Osorio, M., Haro, J., Carrillo, W., y Negrete, J. (2022). *Suelos: Caracterización e Importancia* (Primera ed.). La Plata: Puerto Madero. <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/>
- Palacios, L. (2020). *Relación entre las propiedades del suelo y la diversidad de las plantas arvenses y el rendimiento de Theobroma cacao L. en el Valle del Bolsón Inka Cuchara - Huánuco* [Tesis de pregrado,. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Agronomía]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/>
- Pikul, J., Zuzel, J., y Wilkins, D. (1992). Infiltration into frozen soil as affected by ripping. *Transactions of the ASAE*, 35(1), 83-90. <https://doi.org/10.13031/2013.28573>
- Reyes, F. (2023). *Propuesta para el manejo del riego en fincas cacaoteras y bananeras mediante el análisis de las tasas de infiltración de suelo* [Tesis

- de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Centro de Información Agraria. <https://cia.uagraria.edu.ec/>
- Reynolds, W. D., y Elrick, D. E. (1991). Determination of Hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. *USA: Soil Science Society of America Journal*, 55(3), 633-639. <https://doi.org/10.2136/sssaj1991.03615995005500030001x>
- Rivera, S., y Dolmos, Y. (2022). *Efecto de las propiedades físicas del suelo en la infiltración del agua en la finca el plantel UNA 2020-2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional UNA. <https://repositorio.una.edu.ni/>
- Rodríguez, I., Pérez, H., y García, R. (2021). Degradación del suelo en sustenas agrícolas de la granja Sanra Inés, provincia de El Oro, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(2), 557-564. <https://rus.ucf.edu.cu/>
- Romay, C., Sainato, C., Iseas, M., y Lemeillet, F. (2023). Comportamiento del proceso de infiltración del agua en un suelo bajo riego complementario. *Ciencia del suelo*, 41(1), 22 pp. <https://ojs.suelos.org.ar/>
- Rondón, S., Peña, M., y Ortiz, D. (2020). Diseño de un prototipo para medir la conductividad hidráulica en los suelos. *SENA*, 12 pp. <https://revistas.sena.edu.co/>
- Rosales, L., Pérez, M., Herrera, J., González, J., y Lazo, G. (2020). Efecto del manejo del suelo sobre la infiltración en un suelo Ferralítico Rojo compactado. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(4), 12 pp. <https://www.redalyc.org/journal/>
- Soria, P., y Pannunzio, A. (2020). Gestión del agua para riego en la provincia de Buenos Aires. *Agronomía&ambiente*, 40(1), 77 - 87. <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/>
- Urriola, L. (2020). ¿Por qué estudiar las propiedades físicas del suelo? *Revista Científica Semilla del Este*, 1(1). <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/343/34313703431370003/index.html>
- Weninger, T., Filipović, V., Mešić, M., Clothier, B., y Filipović, L. (2019). Estimating the extent of fire induced soil water repellency in Mediterranean environment. *Geoderma*, 338, 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.008>

Zhang, R. (1997). *Infiltration Models for the Disk Infiltrometer* (Vol. 61). Soil Science Society of America Journal. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100060008x>

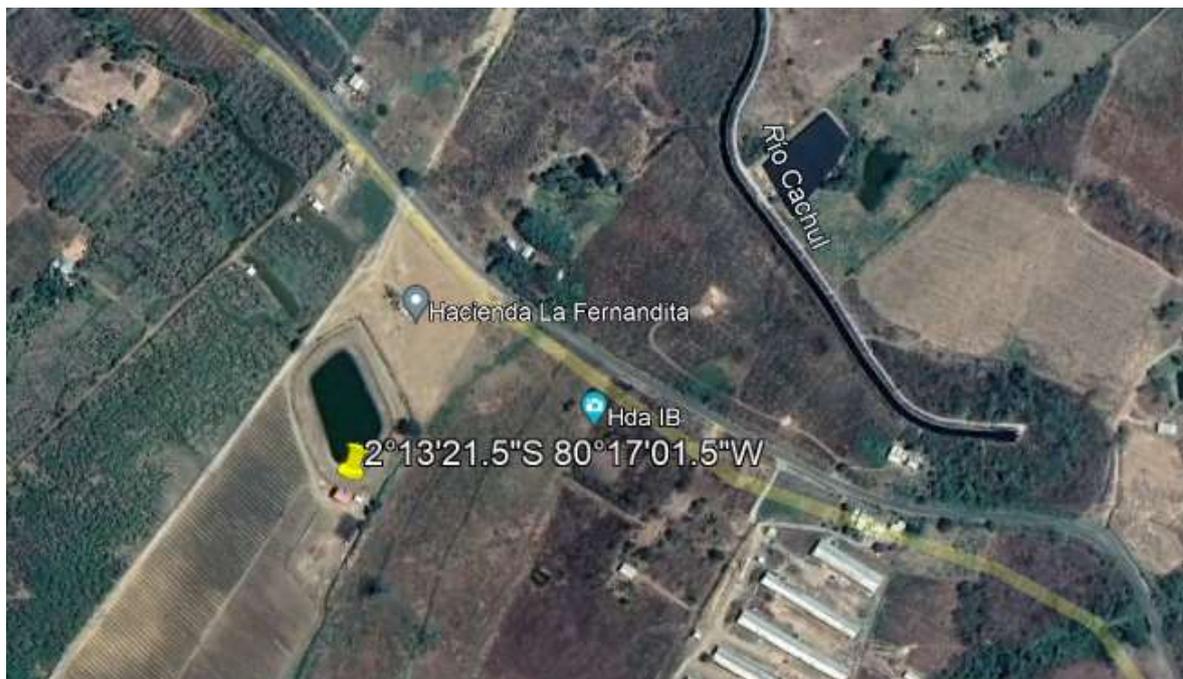
ANEXOS

Figura 2.

Ubicación geográfica localidad 1

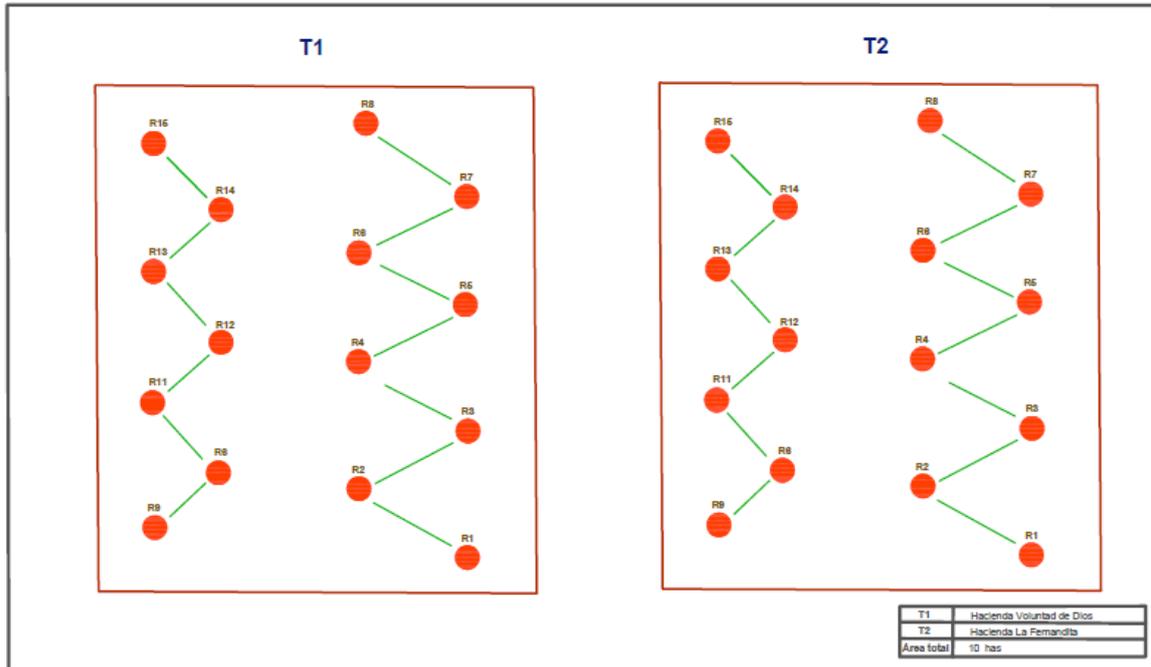
Fuente: Google Earth, 2024 Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 3.

Ubicación geográfica localidad 2

Fuente: Google Earth, 2024 Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 4.
Croquis del ensayo



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 5.
Análisis de suelo localidad 1 realizado por INIAP

MO-LASPA-2201-01

INIAP INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutugaqui
Tfno. (02) 3007284 / (02)2604240
Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec

INFORME DE ENSAYO No: 24-0238

NOMBRE DEL CLIENTE: Romero Hernandez Dionisio
PETICIONARIO: Romero Hernandez Dionisio
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Romero Hernandez Dionisio
DIRECCIÓN: Guayas

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 11/07/2024
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 11:25
FECHA DE ANÁLISIS: 15/07/2024
FECHA DE EMISIÓN: 30/07/2024
ANÁLISIS SOLICITADO: S4

Análisis	pH	N	P	S	B	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Co	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Base	MO	CO ₂	Textura (%)			IDENTIFICACION																
Unidad		ppm	ppm	ppm	ppm	mg/100g	mg/100g	mg/100g	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm			mg/100g	%	%	Arena	Limo	Arilla	Clase Textural																
24-0905	7,21	P N	37,15	M	52,76	A	47,00	A	1,71	M	0,94	A	25,13	A	2,75	A	2,2	B	6,5	A	10	B	49,8	A	9,15	5,27	33,24	38,71	1,79	M				24	42	34	FRANCO-ARCILLOSO	MUESTRA 1

Análisis	Al ⁺⁺⁺	Al ⁺	Na ⁺	C.E. *	N. Total*	N-NO3*	K H2O*	P H2O*	Cl ⁻	pH KCl*	IDENTIFICACION
	ppm	ppm	mg/100g	%	%	ppm	mg/100g	ppm	ppm	ppm	

OBSERVACIONES: * Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGIA USADA

pH = Suelo Agua (2:2.5) P & Ca Mg = Clasen Modificado

N = Analisis de Galdo Cu N M S Zn = Clasen Modificado

S = = Conductivida

INTERPRETACION

pH	Elemento
Ac = Acido	B = Bajo
LAC = Liger. Acido	LAI = Liger. Alcalino
PN = Poca Nastro	Al = Alcalino
RC = Reaccion Cal	T = Total (Borde)

ABREVATURAS

C.E. = Conductividad Eléctrica

M.S. = Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA

C.F. = Pasta Saturada

M.S. = Difractometria de Polvo

Alm = Trubacion Textu

INTERPRETACION

Al(H4) y Na	C.E.	MO y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino
T = Total		A = Abn

LABORATORISTA

Esta documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados escritos indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este comprobante o foto no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

* Opiniones de interpretación, etc, que se indican en este informe constituye una guía para el cliente.

Fuente: INIAP, 2024

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 6.

Análisis de suelo localidad 2 realizado por Yara Megalab**SERVICIO MEGALAB (Suelo)**

Cliente	CEUSKY S.A.	Distribuidor	YARA ECUADOR
Referencia	A1	Fecha recibido	20/06/2024 (Date Issued: 02/07/2024) (Date Sampled: 07/06/2024)
Núm. de muestra	DAI29/05		
Cultivo	PITAHAYA		

Análisis	Resultado	Rango Ideal	Comentarios
Base Sat. (%)	83.3		
pH	6.8	6.5 - 7.4	Extractante - Agua
Org. Matter - DUMAS (%)	1.9	3 - 7.9	Analytical technique - Dumas combustion
C.I.C. (meq/100g)	51.2	15 - 29.9	
Respiración del Suelo (mg/kg)	51		
Relacion C:N	7.6		
Clase de Textura	FArL		
Org. Carbon Stock (t/ha)	21.5		
Potasio(meq/100g)	0.80	0.4 - 0.79	Extractante - Nitrato de Amonio 1M
Calcio(meq/100g)	34.87	8 - 13.99	Extractante - Nitrato de Amonio 1M
Magnesio(meq/100g)	6.68	1.5 - 2.49	Extractante - Nitrato de Amonio 1M
Sodio(meq/100g)	0.29	0.25 - 0.74	Extractante - Nitrato de Amonio 1M
Al Intercambiable (meq/100g)	< 0.01	0.5 - 0.01	Extractante-Sulfato de Calcio
Fósforo (ppm)	14	26 - 70	Extractante - Nitrato de Amonio 1M
Fósforo (ppm)	28		
Potasio (ppm)	305	181 - 400	Extractante - Nitrato de Amonio 1M
Magnesio (ppm)	> 600	120 - 399	Extractante - Nitrato de Amonio 1M
Calcio (ppm)	6900	2000 - 5999	Extractante - Nitrato de Amonio 1M
Azufre (ppm)	11	8 - 18	Extractant - calcium tetrahydrogen diorthophosphate
Boro (ppm)	1.32	0.15 - 0.59	Extractante - Nitrato de Amonio 1M
Cobre (ppm)	3.5	1 - 3.9	Extractante - Sal Disódica de EDTA 0,05M
Hierro (ppm)	188	20 - 49	Extractante - Sal Disódica de EDTA 0,05M
Manganeso (ppm)	80	20 - 39	Extractante - Acetato de Amonio 1M con Quinol
Molibdeno (ppm)	0.07	0.1 - 0.19	Extractante - Reactivo de Tamms
Zinc (ppm)	2.1	1.2 - 5.9	Extractante - Sal Disódica de EDTA 0,05M

Fuente: Yara, 2024

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 7.

Medición de parámetros del suelo con Teros 12



Elaborado por: La Autora, 2024.

Figura 8.

Realización de la calicata localidad 1



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 9.

Medición de Ph del suelo en localidad 1



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 10.

Medición de pH muestra de suelo en localidad 1



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 11.

Muestras para clasificar los horizontes localidad 1



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 12.

Medición de la calicata en localidad 1



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 13.

Realización de la calicata localidad 2

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 14.

Medición de Ph del suelo en localidad 2

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 15.

Muestra para clasificar los horizontes localidad 2



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 16.

Medición de la calicata en localidad 2



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 17.

Toma de muestras de infiltración localidad 1

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 18.

Toma de muestras de suelo para la medición de pH

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 19.

Toma de muestras de infiltración localidad 2

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 20.

Medición de la compactación

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 21.

Recolección de datos localidad 2



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 22.

Indicaciones de la toma de datos con el tutor



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 23.

Prueba T en la variable de infiltración básica

Prueba T para muestras Independientes		
Variable:Ib (mm/hora) - Clasific:TIPO DE SUELO - prueba:Bilateral		
	Grupo 1	Grupo 2
	Areno franco arcilloso	Franco arcilloso
n	15	15
Media	2.65	1.56
Varianza	0.17	0.14
Media (1) -Media (2)	1.09	
LI (95)	0.79	
LS (95)	1.38	
pHomVar	0.7545	
T	7.49	
gl	28	
p-valor	<0.0001	

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 24.

Prueba T en la variable de conductividad hidráulica (k)

Prueba T para muestras Independientes		
Variable:Conductividad hidráulica (k) - Clasific:TIPO DE SUELO - prueba:Bilateral		
	Grupo 1	Grupo 2
	Areno franco arcilloso	Franco arcilloso
n	15	15
Media	7.3E-05	4.4E-05
Varianza	1.4E-10	1.3E-10
Media (1) -Media (2)	2.9E-05	
LI (95)	2.1E-05	
LS (95)	3.8E-05	
pHomVar	0.8630	
T	6.99	
gl	28	
p-valor	<0.0001	

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 25.

Prueba T en la variable de conductividad eléctrica

Prueba T para muestras Independientes		
Variable: Conductividad eléctrica (Ce) - Clasific: TIPO DE SUELO - prueba: Bilateral		
	Grupo 1	Grupo 2
	Areno franco arcilloso	Franco arcilloso
n	15	15
Media	0.97	0.74
Varianza	0.03	0.03
Media (1) - Media (2)	0.22	
LI (95)	0.09	
LS (95)	0.36	
pHomVar	0.8791	
T	3.52	
gl	28	
p-valor	0.0015	

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 26.

Prueba T en la variable de compactación

Prueba T para muestras Independientes		
Variable: Compactación (psi) - Clasific: TIPO DE SUELO - prueba: Bilateral		
	Grupo 1	Grupo 2
	Areno franco arcilloso	Franco arcilloso
n	15	15
Media	51.33	133.53
Varianza	1726.67	384.12
Media (1) - Media (2)	-82.20	
LI (95)	-106.94	
LS (95)	-57.46	
pHomVar	0.0081	
T	-6.93	
gl	20	
p-valor	<0.0001	

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 27.

Prueba T en la variable de porcentaje de humedad

Prueba T para muestras Independientes			
Variable: Porcentaje de Humedad % - Clasific: TIPO DE SUELO - prueba: Bilateral			
	Grupo 1		Grupo 2
	Areno franco arcilloso	Franco arcilloso	
n		15	15
Media		47.03	44.73
Varianza		20.10	26.05
Media (1) - Media (2)		2.29	
LI (95)		-1.30	
LS (95)		5.89	
pHomVar		0.6341	
T		1.31	
gl		28	
p-valor		0.2014	

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 28.

Prueba T en la variable de temperatura

Prueba T para muestras Independientes			
Variable: Temperatura (°C) - Clasific: TIPO DE SUELO - prueba: Bilateral			
	Grupo 1		Grupo 2
	Areno franco arcilloso	Franco arcilloso	
n		15	15
Media		26.28	26.77
Varianza		1.74	6.98
Media (1) - Media (2)		-0.49	
LI (95)		-2.07	
LS (95)		1.10	
pHomVar		0.0137	
T		-0.64	
gl		21	
p-valor		0.5307	

Elaborado por: La Autora, 2024

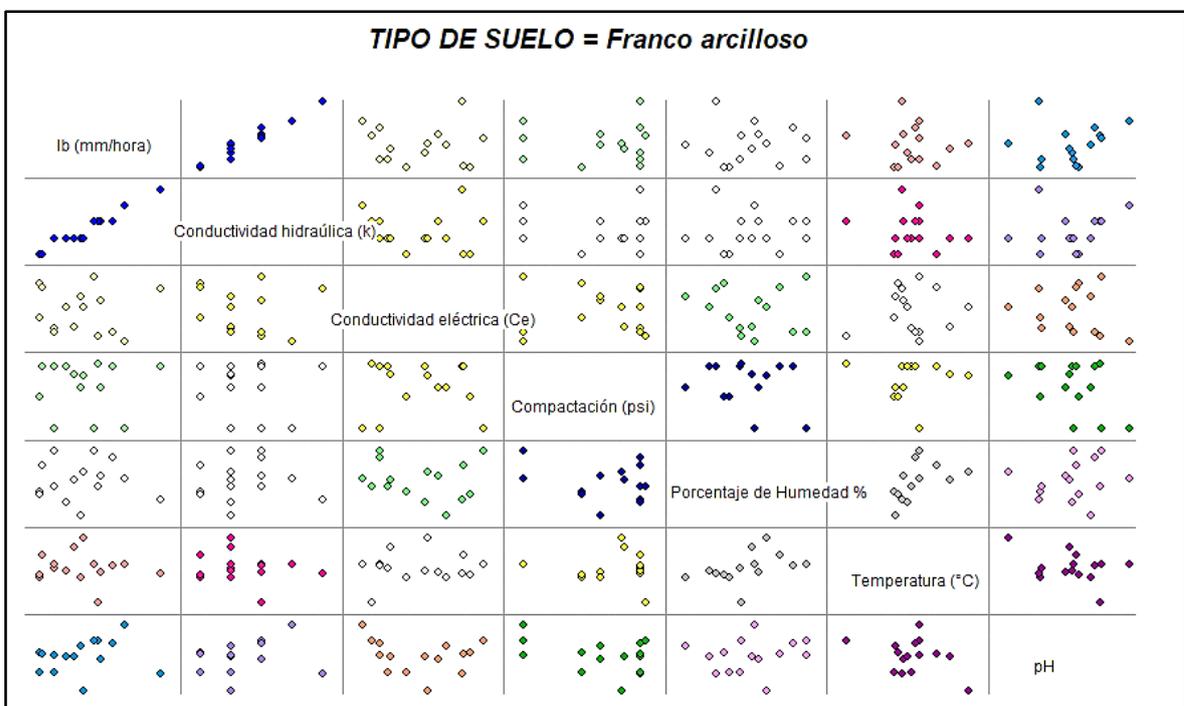
Figura 29.

Prueba T en la variable de pH

Prueba T para muestras Independientes		
Variable:pH - Clasific:TIPO DE SUELO - prueba:Bilateral		
	Grupo 1	Grupo 2
	Areno franco arcilloso	Franco arcilloso
n	15	15
Media	6.25	6.43
Varianza	0.14	0.15
Media (1) -Media (2)	-0.18	
LI (95)	-0.47	
LS (95)	0.10	
pHomVar	0.9343	
T	-1.31	
gl	28	
p-valor	0.2013	

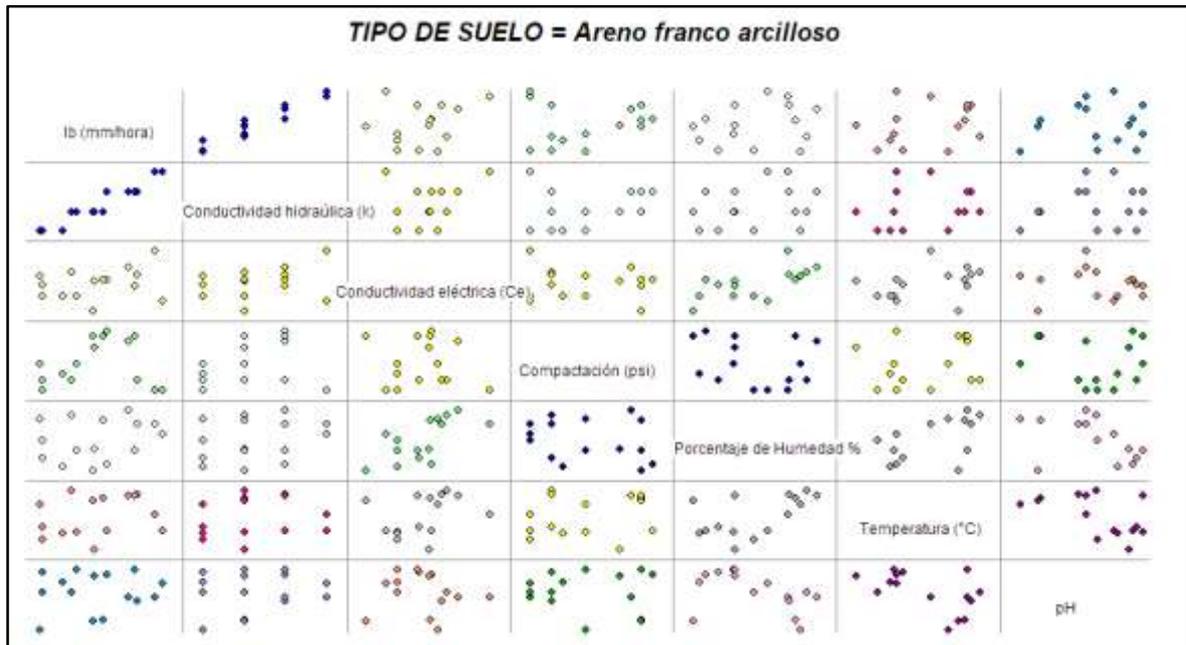
Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 30.

Correlación de Pearson en el suelo franco arcilloso

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 31.

Correlación de Pearson en el suelo areno franco arcilloso

Elaborado por: La Autora, 2024