



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS – HIDROLÓGICOS DEL
SUELO A PARTIR DE ECUACIONES DE PEDOTRANSFERENCIA DEL CANTÓN
PUJILÍ.

PROYECTO DE INVESTIGACION PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO HIDRAULICO.

AUTOR:

Steeven Fernando Pruna Panchi.

TUTOR:

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza. M.Sc.

LATACUNGA – AGOSTO 2025

Latacunga, 28 de Julio del 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Pruna Panchi Steeven Fernando declaro ser autor del proyecto de titulación “Determinación de parámetros hidráulicos – hidrológicos del suelo a partir de ecuaciones de pedotransferencia del cantón Pujilí”, siendo el Ing. Andy Miguel Giler Ormaza Msc. Tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Pruna Panchi Steeven Pruna

CC: 0550430920

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **STEEVEN FERNANDO PRUNA PANCHI** identificado con cédula de ciudadanía No.055043092-0 de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS – HIDROLÓGICOS DEL SUELO A PARTIR DE ECUACIONES DE PEDOTRANSFERENCIA DEL CANTÓN PUJILÍ”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Abril 2025 – Agosto 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 29 de Julio

Tutor: Ing. Andy Miguel Giler Ormaza MSc

Tema: **“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS – HIDROLÓGICOS DEL SUELO A PARTIR DE ECUACIONES DE PEDOTRANSFERENCIA DEL CANTÓN PUJILÍ”**,

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

G) La publicación del trabajo de grado.

h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. – **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare. En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 29 días del mes de julio del 2025.



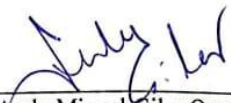
Pruna Panchi Steeven Fernando
LA CEDENTE

Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph.D.
LA CESIONARIA

Latacunga, 28 de Julio del 2025

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “Determinación de parámetros hidráulicos – hidrológicos del suelo a partir de ecuaciones de pedotransferencia del cantón Pujilí”, propuesto por el estudiante Pruna Panchi Steeven Fernando de la carrera de hidráulica, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. Andy Miguel Giler Ormaza Msc.
C.C. 131282032-5
TUTOR

Latacunga, 29 de Julio del 2025

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título “Determinación de parámetros hidráulicos – hidrológicos del suelo a partir de ecuaciones de pedotransferencia del cantón Pujilí”, propuesto por el o la estudiante Pruna Panchi Steeven Fernando de la Carrera de ingeniería hidráulica, me permito indicar que el o la estudiante ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad proyecto de investigación en virtud de lo cual el postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,



Lector 1 (Presidente)
Ing. Xiomara Alejandra
Zambrano Navarrete M.Sc.
CC: 1313058453



Lector 2
Ing. Rudys Rafel
Cusme Intriago M.Sc.
CC: 1313770891



Lector 3
Ing. Marco Antonio
Riofrio Guevara M.Sc.
CC: 1600682916

AGRADECIMIENTO

Hay momentos en la vida que marcan para siempre. Este, sin duda, es uno de ellos. Y no puedo continuar sin detenerme a agradecer, con el alma completamente abierta, a quienes fueron mi motor y mi refugio en cada paso de este largo y desafiante camino.

A mis padres, Luis Pruna y Beatriz Panchi. No hay palabras que puedan abarcar todo lo que han hecho por mí. Gracias por cada sacrificio silencioso, por cada desvelo no dicho, por cada día que se levantaron con el cansancio en el cuerpo solo para darme lo mejor.

A toda mi familia y a quienes me acompañaron con el alma, gracias. Gracias por cada mensaje, cada abrazo y cada “tú puedes” que llegó cuando justo lo necesitaba.

A la universidad técnica de Cotopaxi, gracias por acogerme, formarme y enseñarme que el conocimiento no solo se trata de números o fórmulas, sino también de humanidad, de esfuerzo y compromiso. Y al Ing. Andy Giler, mi tutor, gracias por su paciencia, por su guía oportuna, por cada corrección que me impulsó a ser mejor.

Esta tesis no es solo un trabajo escrito. Es la historia viva de mis desvelos, mis miedos, mis caídas y mis pequeñas victorias. Es la memoria de un viaje que no recorrí solo, y por eso, lleva en su esencia el amor y el corazón de todos ustedes.

Fernando Pruna

DEDICATORIA

A veces las palabras no alcanzan, y sin embargo, aquí estoy, intentando escribir con el corazón lo que tantas veces sentí en silencio. Esta tesis no solo es un trabajo. Es el reflejo de noches en vela, de días de cansancio acumulado, de miedos, tropiezos y momentos donde pensé en rendirme. Pero también es el reflejo de amor, de apoyo y de personas que me sostuvieron cuando mis fuerzas ya no alcanzaban.

A ustedes, mamá y papá, Luis Pruna y Beatriz Panchi. Ustedes han sido mi faro cuando todo se oscurecía, mis cimiento cuando todo temblaba, mis alas cuando ya no podía avanzar. Gracias por cada sacrificio que jamás reclamaron, por cada lágrima que escondieron, por cada sonrisa que me ofrecieron cuando ni yo tenía fuerzas para sonreír. A mis hermanos Maria Eugenia y Alejandro, por ser parte de mi historia desde el principio, por crecer conmigo, por sus palabras, por su fe tranquila y constante.

A mi Familia, en su amplio y querido sentido. Gracias por sus gestos sencillos, por el amor que se siente aunque a veces no se diga.

A mi mejor amigo, que la vida me dio sin lazos de sangre, gracias por demostrarme que un hermano no siempre nace en la misma casa, sino en el alma. Este logro es una pequeña parte de todos ustedes. De su amor, de su paciencia, de su fe. Hoy, mientras escribo estas líneas, me tiembla un poco el alma, porque al recordar también duele. Porque esta etapa termina, pero cada uno de ustedes queda tatuado en mi historia.

Fernando Pruna

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y
APLICADAS

TEMA: “DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS – HIDROLÓGICOS DEL SUELO A PARTIR DE ECUACIONES DE PEDOTRANSFERENCIA EN EL CANTÓN PUJILÍ.”

Autor:

Pruna Panchi Steeven Fernando

RESUMEN

El objetivo general de esta investigación fue determinar parámetros hidráulicos e hidrológicos de los suelos del cantón Pujilí mediante técnicas de muestreo distribuido en diferentes zonas de estudio y análisis cuantitativo. La investigación aborda temas de problemática del manejo del recurso hídrico; la escasa información que se tiene sobre infiltración, retención de humedad, la capacidad fértil que posee el suelo, esto afectaría a la productividad agrícola correspondiente a las zonas de estudio. Para el desarrollo del estudio se determinaron doce sitios representativos del área de estudio, se realizaron calicatas donde se tomaron muestras de suelo pertenecientes a cuatro horizontes. Las muestras de suelo fueron analizadas en laboratorio para desarrollar ecuaciones de pedotransferencia y conocer específicamente parámetros como la conductividad hidráulica saturada (K_{sat}), la conductividad hidráulica no saturada (K_s), la capacidad de campo (θ_{33}), el punto de marchitez permanente (θ_{1500}), el contenido de carbono orgánico (OC); los resultados obtenidos fueron posteriormente comparados con los rangos establecidos por la FAO, MAG, Hansen y Valero. Los resultados para conductividad hidráulica (k_s) fueron de 22,54 y 26,86 cm/h, con valores muy por encima de las máximas referenciales que proporciona FAO para suelos arenosos (2-20 cm/h), por lo que ello indica una buena permeabilidad y poca capacidad de retener agua para estos suelos. Por otro lado los resultados mostraron que los valores promedio de K_{sat} se encontraban entre 2,37 y 2,46 cm/h, categorizados dentro de la clase moderada según MAG y arcilloso-limosa según FAO, lo cual indica una adecuada capacidad para el proceso de infiltración, por su parte los valores promedios de capacidad de campo (θ_{33}) dan que estos valores llegaron a un rango de 0,1441 y 0,1501 g/g estos resultados demostraron que tienen un comportamiento de francos - arenosos, basado según Hansen y suelos francos basado según Valero por lo que ello indica tener una capacidad suficiente para mantener agua en cultivos agrícolas. Por su parte el punto de marchitez permanente (θ_{1500}) tuvo un promedio entre 0,0396 y 0,0485 cm³/cm³, evidenciando un comportamiento de retención de agua moderada para condiciones de sequías en suelos típicos de textura ligera. Se obtuvieron valores de carbono orgánico (OC) que se encuentran en un rango de 0,4065% y 0,4885%, según la FAO y MAG estos vendrían a encontrarse en un rango alto, quiere decir que estos contendrían buena fertilidad y potencial productivo de los suelos. Finalmente, fue posible concluir que los suelos que fueron sometidos a evaluación, poseen alta permeabilidad, buena capacidad de retención hídrica y excelente contenido de materia orgánica, componentes favorables para la productividad agrícola, sin embargo, que requieren prácticas específicas de manejo hídrico y conservación del suelo para alcanzar la sostenibilidad productiva.

Palabras clave: Pedotransferencia, carbono orgánico, conductividad hidráulica, suelos agrícolas

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y
APLICADAS

TOPIC: “DETERMINATION OF SOIL HYDRAULIC-HYDROLOGICAL PARAMETERS FROM PEDOTRANSFER EQUATIONS IN THE PUJILÍ CANTON”.

Author:

Pruna Panchi Steeven Fernando

ABSTRACT

The general objective of this research was to determine hydraulic and hydrological parameters of Pujilí canton soils through sampling techniques distributed in different study areas and quantitative analysis. The research addresses problematic issues of water resource management; the scarce information on infiltration, moisture retention, and the fertile capacity of the soil, which would affect agricultural productivity in the study areas. For the development of the study, twelve representative sites of the study area were determined, and soil samples were taken from four horizons. The soil samples were analyzed in the laboratory to develop pedotransfer equations and specifically to determine parameters such as saturated hydraulic conductivity (K_{sat}), unsaturated hydraulic conductivity (K_s), field capacity (θ_{33}), permanent wilting point (θ_{1500}), organic carbon content (OC); the results obtained were later compared with the ranges established by FAO, MAG, Hansen and Valero. The results for hydraulic conductivity (k_s) were 22.54 and 26.86 cm/h, with values well above the maximum reference values provided by FAO for sandy soils (2-20 cm/h), which indicates good permeability and low water retention capacity for these soils. On the other hand, the results showed that the average K_{sat} values were between 2.37 and 2.46 cm/h, categorized within the moderate class according to MAG and clayey-loamy according to FAO, which indicates an adequate capacity for the infiltration process. The average values of field capacity (θ_{33}) show that these values reached a range of 0.1441 and 0.1501 g/g. These results showed that they have a sandy loam behavior, based on Hansen and loamy soils based on Valero, which indicates a sufficient capacity to maintain water in agricultural crops. The permanent wilting point (θ_{1500}) averaged between 0.0396 and 0.0485 cm³/cm³, showing a moderate water retention behavior for drought conditions in typical light-textured soils. Organic carbon (OC) values were obtained in a range of 0.4065% and 0.4885%, according to FAO and MAG, these would be in a high range, meaning that they would contain good fertility and productive potential of the soils. Finally, it was possible to conclude that the soils that were evaluated have high permeability, good water retention capacity and excellent organic matter content, which are favorable components for agricultural productivity, but require specific water management and soil conservation practices to achieve productive sustainability.

Key words: Pedotransfer, organic carbon, hydraulic conductivity, agricultural soils.

INDICE

1. INFORMACIÓN GENERAL.	1
1.1. Título del proyecto:	1
1.2. Modalidad de Titulación:	1
1.3. Trabajo de titulación Vinculado al proyecto:	1
1.4. Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:	1
1.5. Área de Conocimiento:.....	2
1.6. Línea de investigación:	2
1.7. Sub líneas de investigación:	2
1.8. Lugar de ejecución	2
2. INTRODUCCIÓN.	3
2.1. Situación Del Problema	4
2.2. Formulación Del Problema.....	4
2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	4
2.3.1. Objeto de Investigación.	4
2.3.2. Campo de Acción	5
2.4. BENEFICIARIOS	5
2.4.1. Beneficiarios directos	5
2.4.2. Beneficiarios indirectos	5
2.5. JUSTIFICACIÓN	5
2.6. HIPOTESIS	6
2.7. OBJETIVOS	6
2.7.2. General.	6
2.7.3. Especifico.	6
2.7.4. Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.....	7
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
3.1. ANTECEDENTES	8

3.1. MARCO REFERENCIAL.....	10
3.1.1. Introducción a las ecuaciones de pedotransferencia	10
3.1.2. Fundamentos teóricos de los parámetros hidráulicos-hidrológicos del suelo.....	11
3.1.3. Fundamentos del suelo como medio poroso.....	11
3.1.4. Propiedades físicas e hidráulicas del suelo	11
3.1.5. Conductividad hidráulica saturada (k_s)	12
3.1.6. Conductividad hidráulica no saturada $k(\theta)$	13
3.1.7. La capacidad de campo (CC).....	13
3.1.8. Punto de marchitez permanente (PMP)	13
3.1.9. Capacidad de agua disponible (CAD).....	14
3.2. Importancia en hidrología y manejo de recursos hídricos.	14
3.2.1. Gestión del riego.....	14
3.3. Aplicaciones regionales específicas	14
3.3.1. Ecuaciones de pedotransferencia para suelos tropicales.....	14
3.4. Calicatas y caracterización física del suelo	15
3.4.1. Definición y aplicaciones.....	15
3.4.2. Principales objetivos en la realización de calicatas	15
3.4.3. Importancia en estudios edáficos, ambientales	15
3.5. Obtención de Calicatas.....	15
3.5.1. Selección del sitio para calicatas	15
3.5.2. Métodos de excavación.....	16
3.5.3. Metodología de calicatas de dimensiones 1,5x1,5x1 metros.....	16
3.5.4. Profundidad y dimensiones recomendadas	16
3.5.5. Herramientas y equipos utilizados	17
3.5.6. Documentación del proceso	17
3.6. Descripción y muestreo de calicatas	18
3.6.1. Identificación y registro de horizontes y capas de suelos	18
3.6.2. Parámetros morfológicos	18

3.7. Técnicas de muestreo	19
3.7.1. Muestras simples.....	19
3.7.2. Muestras compuestas	19
3.7.3. Etiquetado y almacenamiento de muestras	19
3.7.4. Estimación de la recarga de acuíferos.....	20
4. METODO Y PROCEDIMIENTO.....	20
4.1. Metodología.....	20
4.2. Descripción del proyecto	21
4.3. Diagrama de flujo	21
4.4. Área de estudio	21
4.5. Selección y ubicación de las calicatas	23
4.6. Obtención de información in situ.....	23
4.6.1. Flujograma para el procedimiento de las calicatas.....	23
4.6.2. Flujograma para determinar la textura existente en el campo.	24
4.7. Datos de Pedotransferencia.	26
4.7.1. Pedotransferencia.	26
4.7.2. Ecuaciones de Pedotransferencias (EPT) aplicadas a la investigación.....	26
4.7.2.1. Conductividad hidráulica.....	26
4.7.2.2. Conductividad hidráulica saturada.....	27
4.7.2.3. Capacidad de campo.	27
4.7.2.4. Punto de marchitez permanente.....	27
4.7.2.5. Contenido de carbono orgánico.	28
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	29
5.1. COORDENADAS DE LAS CALICATAS.....	29
5.2. TEXTURAS DEL SUELO REPORTADO POR LABORATORIO	30
5.3. RESULTADOS DE ECUACIONES DE PEDOTRANSFERENCIA	32
5.4. Tabla de recomendaciones para tipo de cultivos aptos para cada zona de estudio	62

5.5. Discusión de resultados	63
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
6.1. Conclusiones.....	64
6.2. Recomendaciones.....	66
7. BIBLIOGRAFIA.....	67
8. ANEXOS	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema metodológico.....	21
Figura 2. Delimitación del cantón Pujilí	22
Figura 3. Mapa de ubicación de calicatas	23
Figura 4. Flujograma de elaboración de calicatas	24
Figura 5. Flujograma para determinar la textura del suelo USDA-NRCS [46]	25

TABLA DE ANEXOS

Anexo 1. Excavación de la calicata en el sector Apagua.....	72
Anexo 2. Visualización de los horizontes en la calicata N°1	73
Anexo 3. Medición de los horizontes en la calicata N°1	74
Anexo 4. Medición de separación de cada horizonte en la calicata N°1	75
Anexo 5. Coordenadas de la calicata ubicada en la zona de Apagua	76
Anexo 6. Medición de la calicata N°2 en la zona de Apagua.....	77
Anexo 7. Medición de los horizontes observados en calicata N°2 en Apagua.....	78
Anexo 8. Visualización de los horizontes en la calicata N°2 en el sector Apagua.....	79
Anexo 9. Visualización y medición entre horizontes de la calicata N°2 en el sector Apagua	80
Anexo 10. Observación de los horizontes de la calicata N°2 en el sector Apagua.....	81
Anexo 11. Coordenadas de la calicata N°2 en el sector Apagua	82
Anexo 12. Calicata número 3 en el sector de Llallachanchi	83
Anexo 13. Medición entre horizontes en la calicata N°3 en el sector Llallachanchi	84
Anexo 14. Medición de los horizontes de la calicata N°4 en el sector Llallachanchi	85
Anexo 15. Observación y medición de horizontes de la calicata N°4 ubicada en el sector Llallachanchi.....	86
Anexo 16. Toma de muestras y observación de los horizontes encontrados en la calicata N°4 en Llallachanchi	87
Anexo 17. Medición de la calicata N°5 ubicada en el sector 3 de Mayo - Pujilí	88
Anexo 18. Medición de la profundidad en la calicata N°5 en el sector 3 de Mayo - Pujilí.....	89
Anexo 19. Medición entre horizontes en la calicata N°5 en el sector 3 de Mayo - Pujilí	90
Anexo 20. Observación calicata N°6 en el sector 3 Mayo - Pujili	91

Anexo 21. Excavación de la calicata N°6 en el sector 3 de Mayo - Pujilí.....	92
Anexo 22. Observación calicata N°7 en el sector Chaupi	93
Anexo 23. Medición de calicata N°7 en el sector Chaupi	94
Anexo 24. Medición de los horizontes encontrados en la calicata N°7 en el sector Chaupi	95
Anexo 25. Datos informativos de la calicata N°8 en el sector Chaupi	96
Anexo 26. Medición de la calicata N°8 en el sector Chaupi	97
Anexo 27. Información general de la calicata N°9 en el sector Guangaje	98
Anexo 28. Medición de horizontes en la calicata N°9 en el sector Guangaje	99
Anexo 29. Medición de profundidad en la calicata N° 9 en el sector Guangaje	100
Anexo 30. Medición profundidad calicata N°9 en el sector Guanje.....	101
Anexo 31. Información general sobre la calicata N°10 en el sector Guangaje.....	102
Anexo 32. Visualización de los horizontes en la calicata N°10 en el sector Guangaje	103
Anexo 33. Medición de la profundidad de la calica N°10 en el sector Guangaje	104
Anexo 34. Medición entre horizontes en la calicata N°10 en el sector Guangaje	105
Anexo 35. Información general de la calicata N°11 en el sector La Victoria	106
Anexo 36. Vista de horizontes localizados en la calicata N°11 en el sector La Victoria	107
Anexo 37. Medición de la profundidad de la calicata N°11 en el sector La Victoria	108
Anexo 38. Medición entre horizontes en la calicata N°11 ubicado en el sector La Victoria	109
Anexo 39. Información general de la calicata N°12 en el sector La Victoria	110
Anexo 40. Medición de profundidad de calicata N°12 en el sector La Victoria	111
Anexo 41. Medición de la calicata N°12 en el sector Guangaje.....	112
Anexo 42. Medición de los horizontes encontrados en la calicata N°12 en el sector La Victoria	113
Anexo 43. Análisis recibidos de Apagua y Llallachanchi por parte del laboratorio INIAP	114
Anexo 44. Análisis recibidos del sector 3 de Mayo - Pujilí y Chaupi proporcionadas por el laboratorio INIAP	115
Anexo 45. Análisis recibidos del sector Guangaje y la Victoria proporcionados por el laboratorio INIAP	116
Anexo 46. Análisis proporcionados por el laboratorio INIAP del sector Apagua.....	117
Anexo 47. Análisis proporcionados por el laboratorio INIAP del sector Llallachanchi	118
Anexo 48. Análisis proporcionados por el laboratorio INIAP del sector 3 de Mayo - Pujilí	

.....	119
Anexo 49. Análisis proporcionados por el laboratorio INIAP del sector Chaupi	120
Anexo 50. Análisis proporcionados por el laboratorio INIAP del sector Guangaje.....	121
Anexo 51. Análisis proporcionados por el laboratorio INIAP del sector La Victoria.....	122
Anexo 52. Subclase textura MAG	123

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO[1].....	2
Tabla 2. Tabla de tareas	7
Tabla 3. Tabla de diferencia de tamaños de textura según su diámetro en mm [19].....	12
Tabla 4. Coordenadas de las calicatas A.....	29
Tabla 5. Coordenadas de las calicatas B	30
Tabla 6. Textura de los suelos presentes en diferentes zonas del cantón Pujilí A.....	30
Tabla 7. Textura de los suelos presentes en diferentes zonas del cantón Pujilí B	31
Tabla 8. Comparaciones de texturas del laboratorio INIAP vs MAGAP	31
Tabla 9. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 1 A.....	32
Tabla 10. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 1 B	33
Tabla 11. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 2.....	34
Tabla 12. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 3 A.....	35
Tabla 13. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 3 B	36
Tabla 14. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 4 A.....	36
Tabla 15. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 4 B	37
Tabla 16. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 5 A.....	38
Tabla 17. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 5 B	38
Tabla 18. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 6.....	39
Tabla 19. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 7.....	40
Tabla 20. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 8.....	41
Tabla 21. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 9.....	42
Tabla 22. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 10 A.....	43
Tabla 23. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 10 B	44
Tabla 24. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 11 A.....	45
Tabla 25. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 11 B	45
Tabla 26. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 12.....	46

Tabla 27. Tabla de rangos permisibles para conductividad hidráulica (Ks) FAO [41]	47
Tabla 28. Resultado de la conductividad hidráulica (Ks) por cada calicata tomada A	48
Tabla 29. Resultado de la conductividad hidráulica (Ks) por cada calicata tomada B.....	48
Tabla 30. Tabla rangos permisibles para conductividad hidráulica (Ks) MAG[42].....	49
Tabla 31. Tabla comparativa de valores promedios de Ks por horizonte según FAO Y MAG	50
Tabla 32. Tabla de rangos permisibles para conductividad hidráulica saturada (Ksat) FAO[43]A.....	51
Tabla 33. Tabla de rangos permisibles para conductividad hidráulica saturada (Ksat) FAO[43]B	51
Tabla 34. Resultado de la conductividad hidráulica saturada (Ksat) por cada calicata tomada.....	51
Tabla 35. Tabla de rangos permisibles para conductividad hidráulica saturada (Ksat) MAG[42].....	52
Tabla 36. Tabla comparativa de los valores promedios de Ksat por horizonte según FAO Y MAG	53
Tabla 37. Tabla de rangos permisibles para capacidad de campo según Israelsen y Hansen 1979[44].....	54
Tabla 38. Resultado del contenido de humedad a 33 kPa, capacidad de campo	54
Tabla 39. Tabla de rangos permisibles para capacidad de campo según Olalla y Valero 1992[45].....	55
Tabla 40. Tabla comparativa de capacidad de campo promedios vs rangos Olalla y Valero (1992).....	56
Tabla 41. Tabla de rangos permisibles de punto de marchitez permanente según Israelsen y Hansen 1979[44].....	57
Tabla 42. Resultado de contenido de humedad a 1500 kPa, punto de marchitez permanente	57
Tabla 43. Tabla de rangos permisibles para punto de marchitez permanente según Olalla y Valero 1992[45].....	58

Tabla 44. Tabla comparativa de punto de marchitez permanente promedios Israelsen y Hansen (1979) vs Olalla y Valero (1992)	59
Tabla 45. Tabla de rangos permisibles para contenido de carbono orgánico MAG Y FAO[46].....	60
Tabla 46. Resultados del contenido de carbono orgánico (OC)	60
Tabla 47. Tabla comparativa de carbono orgánico promedio (%) por horizonte vs rangos MAG y FAO	61
Tabla 48. Tabla de recomendación de tipo de cultivos aptos recomendados según el MAG	62

1. INFORMACIÓN GENERAL.

1.1. Título del proyecto:

“Determinación de parámetros hidráulicos – hidrológicos del suelo a partir de ecuaciones de pedotransferencia del cantón Pujilí.

1.2. Modalidad de Titulación:

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	
Proyecto de investigación	Informe de Proyecto de investigación	X
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
Exámen de indicadores de RDA		

Carrera: Ingeniería Hidráulica.

1.3. Trabajo de titulación Vinculado al proyecto:

AguaQuest: Potenciando la investigación en recursos hídricos aplicados a la solución de problemas reales del medio

1.4. Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Alumno: Steeven Fernando Pruna Panchi

Tutor: Ing. Andy Miguel Giler Ormaza M.Sc.

1.5. Área de Conocimiento:

Tabla 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO[1]

25. Ciencias de la Tierra y del Espacio	2511 ciencias del Suelo (Edafología)	2508.13 Humedad del suelo
		2511.05 Clasificación de Suelos
		2511.12 Física de Suelos
		2511.07 Ingeniería de Suelos

1.6. Línea de investigación:

Meteorología, hidrología, mecánica de fluidos, sistemas y obras hidráulicas.

1.7. Sub líneas de investigación:

Gestión y manejo sostenible y/o sustentable del recurso hídrico.

1.8. Lugar de ejecución

Provincia: Cotopaxi – Zona 3. Cantón: Pujilí.

2. INTRODUCCIÓN.

La calibración de los parámetros hidrológicos e hidráulicos del suelo es esencial para la correcta administración de los recursos hídricos. El cantón Pujilí de la provincia de Cotopaxi, en la zona central andina del Ecuador, es considerado un lugar con elevada diversidad de suelos, así como también de condiciones climáticas que inciden en el comportamiento del agua. Esta zona también padece el problema crónico de la escasez de agua, reafirmando la necesidad de contar con herramientas técnicas que sean capaces de generar información con calidad sobre la relación agua - suelo para un buen manejo de los recursos . Por lo mismo, las propiedades hidráulicas como por ejemplo la conductividad hidráulica , la conductividad hidráulica saturada o la capacidad de campo son estudios que requieren un alto precio y gran costo de ejecución pero serán utilizados para la toma de decisiones.

En el plano internacional, muchos estudios han mostrado la eficiencia de ecuaciones de pedotransferencia (EPT) para estimar propiedades hidráulicas e hidrológicas a partir de propiedades, en cierto modo, fundamentales de los suelos. Así, por ejemplo, las funciones de pedotransferencia se pueden definir como una función de predecir una cierta propiedad de suelo complicada de medir o que puede ser costosa, En la materia orgánica decimos que es una propiedad muy importante para la fertilidad del suelo y el desarrollo de cultivos, aunque este presentaría cierta dificultad en su determinación porque requiere de la gestión de la información, de la aplicación administrativa de las diferentes metodologías, de la utilización de una serie de equipos en los laboratorios de los centros de análisis[2]. Del mismo modo, las propiedades hidráulicas cuentan con una solución para predecir variables del suelo que presentan relaciones como las propiedades hidráulicas a partir de propiedades fundamentales de suelos[3].

En Ecuador, las fórmulas en los estudios para determinar las funciones de pedotransferencia son un recurso útil para estimar el comportamiento del agua en relación con valores de entrada[4].

Los suelos en el cantón Pujilí, conlleva que se deba de desarrollar y validar las fórmulas de pedotransferencia que reflejen las relaciones existentes entre las propiedades básicas y los parámetros hidráulicos-hidrológicos de la zona; los estudios realizados en la investigación se orienta a la determinación de los parámetros hidráulicos e hidrológicos del suelo mediante la formulación y validación de las funciones de pedotransferencia y para ello se hace uso de una metodología en la que se incorpora una muestra de los diferentes horizontes del suelo, el análisis en el laboratorio de estos horizontes para conocer sus propiedades físicas, se realizaría un análisis para el desarrollo de las ecuaciones de pedotransferencia Esto hace posible la obtención de

datos reales en la estimación de las propiedades hidráulicas del suelo.

2.1. Situación Del Problema

En Pujilí, el sustento de miles de familias se basa en la agricultura; sin embargo, los pequeños productores utilizan hoy los métodos tradicionales en lo que respecta a la implantación del ciclo del agua, existe la falta de herramientas que ayuden en medir la capacidad del suelo para la retención o la absorción del agua[5]. Como consecuencia se concluye que el uso del agua para la producción es ineficiente y se ha afectado directamente la productividad de cultivos de papa o maíz, determinando en gran medida la economía de Pujilí.

Los páramos, además, cumplen un rol esencial en la hidrología de todo el continente. Muchos de los afluentes mayoritarios de la cuenca del Amazonas tienen sus cabeceras en el páramo y al mismo tiempo es la principal fuente de agua para las tierras altas andinas y una extensa área de tierras bajas áridas y semiáridas, donde el agua del páramo es utilizada para el consumo doméstico, el riego agrícola, la actividad industrial, y la generación de electricidad hidroeléctrica, entre otros[6].

Así, el riego excesivo queda determinado por la acelerada erosión y degradación del suelo y, por ello, por el riesgo de la sostenibilidad de la agricultura y el desarrollo agrario. En este sentido, las ecuaciones de pedotransferencia también funcionarían como una posibilidad para tener de forma rápida y simple una solución alternativa para poder evaluar propiedades hidráulicas de la información básica, proporcionando a los agricultores una información que pueda ayudar a la toma de decisiones[7].

2.2. Formulación Del Problema

¿De qué forma pueden las ecuaciones de pedotransferencia ayudar a los pequeños agricultores del cantón Pujilí a conocer mejor las propiedades del suelo y así optimizar el uso del agua y disminuir también la necesidad de estudios costosos para contribuir, de esta manera a una agricultura más sostenible y eficiente?

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.

2.3.1. Objeto de Investigación.

Este estudio se enfoca en encontrar una forma más sencilla y accesible para que los agricultores

de Pujilí conozcan las propiedades de su suelo, especialmente en lo que respecta a la retención y movimiento del agua. A través del uso de ecuaciones de pedotransferencia, buscamos ofrecer una herramienta que les ayude a tomar mejores decisiones sobre el riego, optimizando el uso del agua y contribuyendo a una agricultura más sostenible.

2.3.2. Campo de Acción

2508.13 Humedad del suelo

2511. Ciencias del Suelo (Edafología)

2511.05 Clasificación de Suelos.

2511.12 Física de Suelos.

2511.07 Ingeniería de Suelos.

2.4. BENEFICIARIOS.

2.4.1. Beneficiarios directos

Profesionales en ingeniería hidráulica y ambiental, Agricultores y comunidades locales de la zona del cantón Pujilí, instituciones educativas y centros de investigación.

2.4.2. Beneficiarios indirectos

Organismos gubernamentales y no gubernamentales, empresas del sector construcción y tecnología hidráulica, la comunidad científica.

2.5. JUSTIFICACIÓN

El agua constituye la base de la vida en el cantón Pujilí, de forma particular, para las millas de familias que dependen de la agricultura. Sin embargo, muchos agricultores hoy toman decisiones de riego calculando en torno a la tradición y la intuición, sin actividades que les permitan conocer realmente las características del suelo, lo que no sólo lo representa un riego ineficiente, sino que también conlleva reducir la productividad de los cultivos y acelerar la degradación del suelo. Por otra parte, el clima ha cambiado, volviendo las lluvias más impredecibles, peor indicando un mayor riesgo de sequías y, evidentemente, una menor disponibilidad del agua. Este trabajo se plantea como una solución sencilla y práctica mediante ecuaciones, en donde las

pedotransferencias tienen la intención de estimar propiedades del suelo sin tener que recurrir a equipamientos costosos o a tener estudios muy complejos. Por lo tanto, el uso de esta implica que los agricultores pueden optimizar el riego, no desperdiciar y mejorar sus cosechas, garantizando la sostenibilidad de su tierra y manteniendo su estabilidad económica. Pujilí conserva cuencas hidrográficas que son claves, como las que dan lugar a los ríos Cutuchi y Toachi. Por consiguiente, los suelos volcánicos de la zona tienen un efecto sobre la retención de agua y en la capacidad de los ríos, pero el hecho de que no existen estudios detallados sobre ello hace que sea difícil poder predecir inundaciones o sequías.

2.6. HIPOTESIS.

La utilización de ecuaciones de pedotransferencia permite determinar los parámetros hidráulicos e hidrológicos del suelo tomando en cuenta las propiedades a analizarse como, textura.

2.7. OBJETIVOS.

2.7.2. General.

Determinar parámetros hidráulicos – hidrológicos del suelo a partir de ecuaciones de pedotransferencia e información in situ en el cantón Pujilí.

2.7.3. Especifico.

- Determinar el área de estudio para la toma de muestras de suelo de forma distribuida en el cantón Pujilí para la estimación de parámetros hidráulicos – hidrológicos.
- Calcular parámetros hidráulicos – hidrológicos a partir de las muestras recolectadas.
- Comparar los parámetros del suelo obtenidos in situ versus los reportados por las instituciones públicas del sector y país.

2.7.4. Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

Tabla 2. Tabla de tareas

Objetivos Específicos	Actividades (Tareas)	Resultados Esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Recolectar muestras del suelo de forma distribuida en el cantón Pujilí para la estimación de parámetros hidráulicos.	Planificación y Muestreo en el cantón Pujilí	Cronograma de toma de muestras.	Gps para la localización precisa de los puntos de muestreo.
	Identificación de lugares para el muestreo en el cantón Pujilí	Datos de las muestras a analizarse.	
Obtener parámetros del suelo hidrológicos – hidráulicos a partir de las muestras del laboratorio.	Recolección de muestras del suelo: Uso de equipo de muestreo para extraer muestras de suelo a diferentes profundidades en cada punto.	Muestras de suelo por medio de calicatas en diferentes áreas del cantón Pujilí.	Técnicas de muestreo aleatorio y sistemático.
	Registro y etiquetado de muestras: Documentación precisa de la ubicación y características de cada muestra recolectada.	Base de datos de muestras de suelo bien organizada y etiquetada.	Equipos de muestreo de suelo como pico, pala y barra.
	Análisis de laboratorio de las muestras de suelo: Determinación de parámetros hidráulicos como la conductividad hidráulica, capacidad de campo, etc.	Parámetros hidráulicos precisos de las muestras de suelo recolectadas.	Resultados proporcionados por el laboratorio
	Recolección y revisión de datos secundarios: Obtención de datos de parámetro de suelo de instituciones públicas.	Conjunto de datos secundarios para comparación.	Base de datos y publicaciones de instituciones públicas como MAG Y FAO
Comparar los parámetros del suelo obtenidos in situ versus los reportados por las instituciones públicas del sector y el país.	Interpretación de los rangos reportados por instituciones públicas	Análisis detallado entre la variación de datos in situ y los datos reportados por instituciones públicas.	Software Excel estadístico para cálculo.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

Recientes investigaciones han trasladado este conocimiento a la práctica, a partir de los estudios que se han aplicado en el área de varios países de América Latina. En México, este tipo de estudios también han puesto en evidencia que el cambio de uso del suelo tiene una relación directa con el comportamiento de la retención de agua del suelo, así como las FPT desarrolladas permiten identificar que se están produciendo estos cambios de una forma bastante fidedigna. "La investigación que se describe tuvo como objetivos conocer el comportamiento de la retención de humedad de un Andosol en diferentes usos de suelo: forestal y agrícola. Los resultados indicaron que la FPT que mostró el mayor potencial de predicción para la estimación del contenido de agua fue la de Rawls y Brakensiek. El cambio de uso del suelo de terrenos forestales a cultivos agrícolas cambia la capacidad de un Andosol para retener humedad[8]". Las investigaciones reconocen que tras aplicar cambios de usos de suelo en tierras forestales a usos agrícolas los suelos pierden mucho de su capacidad de retención de humedad, lo que influye, a su vez, en la disponibilidad del agua del suelo para cultivos agrícolas.

Por otro lado, la consistencia entre el contenido en carbono orgánico y el espacio poroso del suelo, se ha evaluado también como una variable que forma parte de las FPT; que permiten inferir indirectamente la funcionalidad del suelo desde una perspectiva ecosistémica. "Las FPT, por lo general, se encontraron con los suelos más profundos (sistemas de páramos y bosque nativo), presentaron coloraciones más oscuras, y pueden ser la evidencia de la mayor acumulación de carbono orgánico en el suelo. El carbono orgánico del suelo es un indicador útil para estimar aspectos cuantitativos del sistema poroso del suelo que permiten inferir los servicios ecosistémicos de regulación de agua, aire y nutrientes de los Páramos[9]". Este tipo de aproximación es de interés en el contexto de la restauración ecológica porque las FPT no sólo lo que valen como instrumentos técnicos sino como instrumentos que valoran los servicios ambientales más importantes vinculados a la retención de agua, la infiltración y la resiliencia del ecosistema a sequías.

También han enfatizado a partir de los estudios que hicieron del país la importancia de las FPT para elaborar ya que a partir de las FPT construir índices de calidad de suelo fáciles de administrar los cuales al ser aplicados para modelos de sistemas agroforestales y de producción de cultivos permiten el reconocimiento de patrones logrando establecer decisiones más específicas para el uso del agua de riego. "las funciones de pedotransferencia estiman la curva de retención de agua, utilizando funciones de pedotransferencia (FPT) obtenidas a partir de un

suelo derivado de cenizas volcánicas bajo un cultivo de arándano, utilizando la aplicación Rosetta del programa RETC. La FPT que presenta la mejor estimación de la curva de retención de agua del Andisol estudiado es la que se basa en la textura y densidad aparente utilizada implícitamente en los cálculos[10]”. Por ende, esta forma de entender las ecuaciones de pedotransferencia como una tecnología que integra la investigación con la realidad del campo, construye el puente entre la ciencia y la producción agropecuaria sustentable.

Por otra parte, también han destacado a partir de los estudios realizados sobre la importancia de las FPT sobre el suelo nacional, a construir indicadores de calidad de los suelos, los cuales se habrían aplicado modelos de sistemas agroforestales y en la producción de cultivos, esto se podrá establecer para la toma de decisiones, la conservación de suelo y mantenimiento de cultivos. “El objetivo de este trabajo fue la estimación de la curva de retención de agua a través de funciones de pedotransferencia (FPT) obtenidas de un suelo derivado de cenizas volcánicas cultivadas en arándano mediante aplicación Rosetta del programa RETC. La FPT que presenta mejor estimación de la curva de retención de agua del Andisol estudiado es la FPT que combina textura+densidad aparente[10].” De tal manera que este enfoque entiende las ecuaciones de pedotransferencia como una tecnología integradora de la investigación con la realidad del campo, puesto que construye el puente entre la ciencia y la producción agropecuaria sustentable.

Desde el estudios colombianos, en la Universidad de los Llanos ha hecho uso de dichas funciones como alternativa de éxito para el estudio de suelos tropicales en los que hay escasa infraestructura técnica que facilite el acceso a los laboratorios. “Las funciones de pedotransferencia se han convertido en una herramienta útil para estimar indirectamente y a bajo costo una propiedad del suelo que es compleja o costosa de medir, en función de otra(s) de menor complejidad y coste en su determinación. La microporosidad es propiedad de interés agronómico gracias a su relación con el crecimiento de las plantas, pero como otras propiedades presenta complejidad en su determinación por el uso de equipos y/o metodologías costosas, el manejo difícil de la información y las diversas metodologías[11]”. Este tipo de avances es importante en áreas vulnerables o en las que el Estado no ha apostado, donde las FPT permiten el análisis, la democratización del conocimiento científico y en general permiten a agricultores, técnicos y comunidades el acceso a información valiosa acerca de sus recursos naturales.

Hacer un correcto ajuste de sus parámetros hidrológicos e hidráulicos del suelo permitiría optimizar el recurso hídrico en las aplicaciones para los sistemas agrícolas y para los sistemas naturales. Dichos parámetros son los que determinan la forma en que el agua penetra en el suelo, cómo se almacena, cómo se desplaza. "Se han utilizado los diferentes procedimientos para

estimar propiedades hidráulicas de suelos limosos representativos de un sector de la llanura argentina, junto a las ecuaciones de regresión entre parámetros hidráulicos y parámetros físicos dados por un conjunto de autores. En la totalidad las 136 muestras analizadas, la aplicación de los procedimientos permitió observar una importante dispersión de resultados[12]". Dicha afirmación da cuenta del valor que pueden tener las PTF en contextos de escasez de recursos porque perfeccionan la posibilidad de poder prescindir de los análisis de laboratorio, llegando a suponer que el previo conocimiento del suelo podría ser suficiente para permitir predecir el comportamiento hidráulico del suelo con cierta precisión. En este sentido, las PTF democratizan la información hidrológica de base, favoreciendo a las comunidades locales rurales y los territorios agrícolas que son incapaces de acceder a la infraestructura científica.

La dificultad de estimar la heterogeneidad del suelo con el fin de establecer adecuadamente la conductividad hidráulica fue un reto que tratamos de resolver mediante la aplicación de una técnica de agregación que contempla la variabilidad espacial del suelo. "La consideración de una representación más realista del perfil del suelo, que integre la heterogeneidad del mismo, puede mejorar significativamente la estimación de flujos y almacenamiento hídrico[13]." De este modo, se posibilita extender el uso de las PTF a escenarios que resulten más próximos a la realidad, con un carácter más específico que permita avanzar en la planificación de riego. En este sentido, el modelo agregado representó un avance metodológico que comienza a restablecer la conexión entre la ciencia del suelo y el ámbito de la gestión del recurso hídrico.

Así mismo, la utilización de satélites podría llegar a transformar dicha tecnología en un recurso útil para complementar y mejorar los modelos basados en la predicción del uso del regadío del agua. "El actual y el futuro escenario del déficit hídrico de la zona central de Chile prevé un contexto en el que el riego de las explotaciones frutales debe ser llevado a cabo de manera óptima, sobre todo por las de un alto requerimiento hídrico, como es el caso del palto[14]". A partir de este objetivo, podemos mirar cómo las nuevas tecnologías pueden combinarse con los modelos de pedotransferencia para facilitar la optimización de la toma de decisiones que llevan al riego y al agua por los espacios agrícolas. Así se va conformando un enfoque interdisciplinario de fusión de sensores remotos, simulación y edafología aplicada para abordar el reto del cambio climático y el agua.

3.1. MARCO REFERENCIAL.

3.1.1.Introducción a las ecuaciones de pedotransferencia

Para que la simulación de los procesos del suelo basada en la computadora sea realista, los datos

básicos del suelo deben estar fácilmente disponibles, dado el uso de sistemas de información del suelo. Obtener datos básicos que sean adecuados para las condiciones del campo es uno de los retos principales que la ciencia del suelo va a tener que afrontar en los próximos años y es una de las cuestiones en las que se hace mayor énfasis aquí[15].

Los PTFs son los procedimientos en la actualidad, los sistemas más baratos y eficientes de proporcionar modelos hidrológicos, estimando parámetros hidráulicos a partir de datos básicos de suelos que están disponibles y son aún más fáciles de observar, existen métodos comunes usados para desarrollar las PTFs para la correcta estimación de parámetros y para puntos vendría a ser los métodos de regresión lineal y múltiple y de muchas ANNs, muchas PTFs han sido desarrolladas para la determinación de propiedades hidráulicas, pero ninguna de ellas tiene buen comportamiento en el rango de circunstancias y casos de suelos[16].

Las relaciones de la tensión del agua del suelo y la conductividad hidráulica con el contenido de agua del suelo son necesarias, de una parte, para poder cuantificar el agua de la planta que está disponible para que la absorba la planta y, de la otra, para modelar el movimiento del agua y solutos en y a través de los suelos. La determinación de estas propiedades hidráulicas del suelo en campo y en laboratorio es complicada, laboriosa y costosa[17].

3.1.2. Fundamentos teóricos de los parámetros hidráulicos-hidrológicos del suelo

3.1.3. Fundamentos del suelo como medio poroso

Al estudiar el flujo de fluidos en medios porosos como son los suelos, podemos analizar el comportamiento de los fluidos en el nivel molecular, microscópico o macroscópico. En el nivel microscópico, partimos de la idea de que solo hay presente una fase en un punto físico P y en un instante determinado, esto es, que en P solo está presente la fase sólida o uno de los fluidos. Esto, a su vez, contrasta con el nivel macroscópico, en el que sí asumimos que en un punto físico sí pueden estar presentes todas las fases y, al mismo tiempo[18].

Los fluidos que ocupan los espacios porosos de los suelos son fluidos humectantes, fluidos no humectantes o fluidos de tipo intermedio; si bien este comentario es aplicable a cualquier conjunto de fluidos, en este trabajo se limita solo a la presencia de agua (fluido humectante) y/o aire (fluido no humectante). Así, si sólo el agua ocupa los espacios porosos se considera que el suelo se halla en un estado de saturación; en el caso de que sólo tengamos aire podemos decir que el suelo está en estado de sequedad completa[18].

3.1.4. Propiedades físicas e hidráulicas del suelo

El suelo se podrá definir como la mezcla tanto entre materiales inorgánicos, orgánicos, aire y

agua. Vendría a ser la parte superior denominada como corteza en la cual crecen las plantas[19].

- **Textura**

La textura vendría hacer referencia a la diferente fracción mineral del suelo, estos vendrían separados de la siguiente manera[19].

Tabla 3. Tabla de diferencia de tamaños de textura según su diámetro en mm [19]

Arenas	Si sus tamaños son de 2,00 a 0,05 mm de diámetro.
Limos	Si sus tamaños son de 0,05 a 0,002 mm de diámetro.
Arcillas	Si sus tamaños son menores de 0,002 mm de diámetro.

En las propiedades del suelo existen algunas que puede ser afectadas ya sea por su textura, estas pueden ser el laboreo o preparación, la susceptibilidad a la erosión, la facilidad de la germinación de las semillas y la penetración de las raíces[19].

- **Permeabilidad**

Dicha propiedad hace referencia a la rapidez que puede presentar el agua en ser transferida a través de los poros del suelo. También incluye el movimiento del agua desde la superficie del suelo hacia el interior del mismo. La permeabilidad depende principalmente de la textura, de la estructura y del espacio poroso. Tiene efecto especialmente en la aireación y en la capacidad del suelo para poder retener agua[19].

Densidad y Porosidad total

Sin embargo, en el caso de los suelos se suele considerar la realidad de densidad y la densidad aparente. La densidad real se obtiene dividiendo el peso de las partículas sólidas de las muestra de un suelo determinado por el volumen del agua desalojada por las partículas sólidas de la muestra usada. La densidad aparente es variable y depende de la textura del suelo, de su estructura, del contenido de materia orgánica y del grado de compactación de un suelo. La mayoría de los suelos tienen una densidad aparente que varía entre 1,2 y 1,5 g/cm³. Una densidad aparente baja del suelo superficial normalmente significa una buena estructura[19].

3.1.5. Conductividad hidráulica saturada (ks)

Cuando el suelo se encuentra saturado, todos los poros se encuentran saturados de humedad y

son conductores, de manera que la conductividad hidráulica es máxima. Por el contrario, cuando el suelo se hace insaturado, los poros empiezan a estar ocupados por aire y por consiguiente la porción conductora de la superficie de la sección transversal del suelo va disminuyendo. Además, cuando comienza a desarrollarse la succión, por los poros más grandes es por donde primero empieza a desaparecer la humedad, ya que son los más conductores, de manera que el agua ahora tiende a fluir solamente por los poros más pequeños[20].

3.1.6. Conductividad hidráulica no saturada $k(\theta)$

El flujo transitorio no saturado es significativamente diferente del flujo saturado y del flujo estacionario no saturado. Al progresar el flujo transitorio no saturado, el agua va ocupando poros que anteriormente eran ocupados por otro líquido. Este otro líquido normalmente es aire; y más comúnmente se asume que la seguridad del desplazamiento del aire atrapado no bloquea la llegada del agua a la cavidad de un poro[21].

Puntos críticos de humedad

3.1.7. La capacidad de campo (CC)

La propuesta de capacidad de campo es un aspecto fundamental en el ámbito de la edafología, la agricultura y la gestión ambiental. Capacidad de campo, es decir, aquella cantidad de humedad o contenido de agua que contiene el suelo tras drenar el exceso de agua y una disminución de la velocidad de movimiento descendente. El suelo adquiere la capacidad de campo en el instante en que se encuentra saturado, sin llegar a tener el suficiente contenido de agua para drenar[22]. La capacidad de campo es la cantidad de agua que retiene el suelo.

Eso sí, para interiorizar el significado de la capacidad de campo lo mejor es imaginar el suelo como una esponja. La esponja queda muy empapada tras un riego importante o tras una lluvia, y de este modo, el agua empieza a gotear. Cuando deja de gotear, la esponja todavía retiene un volumen significativo de agua entre sus poros, esto sería análogo al suelo a capacidad de campo[22].

3.1.8. Punto de marchitez permanente (PMP)

El punto de marchitez permanente se refiere al fallo total de la planta en disponer de agua. Este umbral es dependiente de la variedad de la planta, pero se encuentra próximo a los 1500 kPa (15 bares). En esa etapa el suelo aún contiene agua, pero a las raíces, éstas les resulta difícil obtenerla ya que necesitan conseguir tensiones de casi 15 bares para poder extraerla. En este límite, si no se da agua al suelo, la mayoría de las plantas mueren[23].

El contenido de humedad a dicho punto de marchitez permanente será intensidad de la textura del suelo. Los suelos de texturas finas retendrán más agua (aproximadamente entre el 26 % y el 32 % v/v) que aquellos de texturas gruesas (entre el 10 % y el 15 % v/v) a ese punto[23].

3.1.9.Capacidad de agua disponible (CAD)

La infiltración y la permeabilidad presentan la forma en la que el agua transcurre hacia el suelo así como por el suelo. El agua que está retenida dentro del suelo se muestra mediante el término contenido de agua. El contenido de agua se puede expresar tanto gravimétricamente (g de agua/g de suelo) como volumétricamente (ml de agua/ml de suelo). La expresión volumétricamente del contenido de agua es una de las más habituales[24].

3.2. Importancia en hidrología y manejo de recursos hídricos.

3.2.1.Gestión del riego.

Vuelven una y otra vez los nuevos métodos de riego para disminuir el riego por inundación. Hoy en día, el riego por goteo con sistemas integrados es el más empleado en la agricultura de precisión, en la que se reduce el uso del agua mediante la explotación de parámetros como el suelo, las plagas, la velocidad del viento, la radiación solar, la humedad, la densidad de plantas, etc [25].

La gestión del riego buscar satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos a través de una gestión del tiempo y de la aplicación del agua, sin hacerlo de forma que se incurra en el desperdicio de agua, de suelo, de nutrientes de las plantas, ni en la energía. Nuevos métodos de riego han sido introducidos una y otra vez buscando el riego por inundación. Actualmente, el riego por goteo con sistemas integrados es el más extendido en agricultura de precisión, que es donde se tiene un menor uso del agua a partir de la explotación de parámetros como el suelo, las plagas, la velocidad del viento, la radiación solar, la humedad, la densidad de plantas, etc[25].

Predicción y gestión de inundaciones

Las inundaciones pueden durar sólo unas pocas horas y pueden producir grandes daños y tal vez un peligro para la vida. La predicción de inundaciones requiere conocimiento cuantitativo de la dinámica de infiltración y escorrentía, que se obtiene generalmente a escala local[26].

3.3. Aplicaciones regionales específicas

3.3.1. Ecuaciones de pedotransferencia para suelos tropicales

Los especialistas de la ciencia del suelo han hecho un uso frecuente de las funciones de pedotransferencia (PTF) con el objetivo de estimar las propiedades de los suelos en regiones de

carácter templado debido a la ausencia en dichas regiones de datos propios de suelos. Diversos autores mencionaron que se ha dedicado poca atención a la predicción de las propiedades del suelo en los trópicos húmedos, dado que la demanda de información acerca de las propiedades del suelo presenta una urgencia aún más acuciante[27].

3.4. Calicatas y caracterización física del suelo

3.4.1. Definición y aplicaciones

Se busca, con el muestreo por calicatas, la recolección de muestras representativas de cada uno de los horizontes que componen el perfil de suelo; el muestreo es para conocer las propiedades a cada una de las profundidades para la finalidad de la clasificación o la especificación de estudios de carbono almacenado en el suelo. Se persigue identificar procesos de formación de suelos y las propiedades de diagnóstico que afecta la productividad de una u otra plantación o cultivo; de este modo se genera información del perfil del suelo, incidiendo el número de muestras, por la escala de trabajo de los estudios de suelo y la complejidad de la geomorfología y el paisaje[28].

3.4.2. Principales objetivos en la realización de calicatas

El valor de un suelo. Puede llegar a determinar la textura, la estructura, el color y hasta la (composición del suelo en los diferentes estratos. Estudio de capacidad de soporte. Permite conocer la capacidad de carga del terreno, punto muy importante para la realización de proyectos de construcción. Detección de problemas. Permite detectar problemas como la existencia de agua subterránea o de capas de suelos poco estables. Planificación agraria. Permite a los agricultores descubrir mejor el tipo de suelo y la adecuación de este para los cultivos[29].

3.4.3. Importancia en estudios edáficos, ambientales

El suelo es el soporte de la vida en nuestro planeta, va a permitir el crecimiento de las plantas, la base de los ecosistemas y el pilar de la agricultura. En el estudio de los suelos podemos identificar a la edafología que este vendría a ser un campo de múltiples disciplinas en complejas y básicas[30].

3.5. Obtención de Calicatas

3.5.1. Selección del sitio para calicatas

La ubicación o distribución de las probables calicatas se realiza in situ basándose en el mapa

fisiográfico preliminar; que se obtiene en función de la fotografía de satélite que interpreta mediante el método de análisis fisiográfico y facilita de otras disciplinas como, geología/litológica y geomorfología, pero en la fase in situ, se empezará a verificar y a corregir los puntos delimitados en la fase de selección de puntos, puesto a lo que se establecerá los puntos definitivos para la apertura de calicatas[31].

3.5.2. Métodos de excavación

Calicatas para el análisis estándar del terreno. Con anterioridad a los trabajos a realizar en un terreno, es necesario analizar las condiciones del mismo y comprobar que las condiciones del terreno sean las más adecuadas al propósito del proyecto. Se empezaría realizando un reconocimiento del terreno para proceder a excavar los puntos en los lugares adecuados para la investigación. Calicatas para el análisis del caso. Se realizan en función de buscar un aspecto concreto: por esta razón se realizan en un terreno concreto. Las calicatas deben ser firmadas en el lugar por un técnico competente en la investigación geotécnica, el cual informará de la maquinaria utilizada para su excavación y, además un corte a lo largo que podría evidenciar más de un horizonte, indicaría el nivel de humedad o dureza en cada horizonte de las paredes del terreno[32].

3.5.3. Metodología de calicatas de dimensiones 1,5x1,5x1 metros

Excavar un pozo con la longitud, profundidad y ancho de 1.50 m, 1.5 m y 1.0 m respectivamente, donde se describe la tierra, estratos u horizontes, así como las diversas muestras de cada estrato que se analizan posteriormente en laboratorio para conocer sus características y posteriormente clasificarlas utilizando un sistema taxonómico[31].

El monitoreo del carbono almacenado en el suelo requiere de un estudio a diversas profundidades, por horizonte de suelo. Para determinar las profundidades considera: 0 a 5 cm; 5 a 15; 15 a 30; 30 a 60; 60 a 100 cm. Para los levantamientos de suelos, el Soil Survey Manual considera tomar una muestra de suelo para laboratorio por cada horizonte que se describe[31].

3.5.4. Profundidad y dimensiones recomendadas

El nivel al que debemos excavar puede ser muy variable en función del objeto de estudio. Por ejemplo, para trabajos agronómicos es conveniente excavar, como muy poco, hasta 1 m o 1,20

m desde la línea de superficie del suelo[33].

Podríamos decir que el agujero debe ser de tal forma que se exponga al aire una pared vertical que muestre el perfil del suelo. Para ello, debemos hacer un agujero lo suficientemente grande como para que quepa una persona y que presente unas condiciones relativamente favorables para poder extraer muestras desde dentro, de forma segura y cómoda[33].

3.5.5. Herramientas y equipos utilizados

Contaremos con varios útiles que nos servirán para realizar una buena toma de muestras.

Herramienta para tomar tierra: Tendremos suficiente con una pequeña azada, con un rastrillo o con la pala adecuada de acuerdo al tipo de terreno que tengamos. Un recipiente para poder ir colocando la tierra que se irá recogiendo para poder preparar la mezcla[33].

Bolsa o recipiente plástico: La utilizaremos para preparar la muestra final y hacerla enviar al laboratorio. Material para etiquetar muestras: Cualquier procedimiento que nos permita escribir, y de forma permanente, en las bolsas de las muestras: rotulador indeleble, etiquetas, bolígrafo[33].

3.5.6. Documentación del proceso

Documentación en Extensión

Los puntos elegidos para llevar a cabo la excavación deben documentarse convenientemente, preferentemente en un plano en papel de la finca; hay que intentar que las catas estén bien espaciadas[33].

Documentación en Profundidad

Y, del mismo modo, deberemos referenciar y anotar los datos de profundidad de todos y cada uno de los horizontes de suelo que hayamos identificado antes, anotando también la referencia respecto a: color, textura, densidad, nivel de heterogeneidad, granularidad, ... Es muy conveniente recopilar abundante material fotográfico y archivarlo, junto con las anotaciones y las referencias, teniendo en cuenta los puntos de calicata que nos habrá dejado al final la realización del plano de la finca. Este material fotográfico nos puede ser muy útil en un futuro, a

la hora de consultar con algún técnico o argumentar toma de decisiones respecto a aspectos diversos[33].

3.6. Descripción y muestreo de calicatas

3.6.1. Identificación y registro de horizontes y capas de suelos

En primer lugar, la explotación debe dividirse en áreas teniendo en cuenta las características generales de los suelos, como: inclinación, color, contenido de arena o arcilla, aspecto del crecimiento de las plantas, uso (fertilización, riego, etc.). Las distintas secciones deberán ser designadas por medio de números en un croquis o mapa de la propiedad. En cada una de las parcelas que surgen de la división antedicha (se recomienda que no excedan de dos hectáreas), se realizarán muestreos de suelo, que abarcarán los primeros 20 cm, se podría utilizar ya sea una barra de metal o algún instrumento agrícola adecuada para la excavación. Se procedería a la limpieza de la superficie. Cuando se trata de una pala o instrumento comparable se debe abrir un hueco u hoyo en forma de V a una profundidad adecuada; se corta una tajada de espesor uniforme (2 o 3 cm de grueso)[34].

3.6.2. Parámetros morfológicos

- **Color**

En la generalidad de los perfiles de suelo la cualidad más destacada para discernir los horizontes es el color. Todos los perfiles de suelo que se caractericen en el terreno deberán ofrecer un cuadro más o menos completo de los colores de todos sus horizontes[35].

- **Textura**

La textura hace referencia a la proporción relativa en peso en la que se hallan, en el seno de una masa de suelo, las distintas fracciones granulométricas inferiores a 2 mm de diámetro, agrupadas en clases de tamaño[35].

- **Estructura**

La estructura del suelo implica las unidades originadas a partir de la asociación de las partículas primarias del suelo, ya que la cohesión es mayor que la adherencia entre unidades[35].

- **Consistencia**

Se entiende por consistencia las cualidades que puede tener el material a partir del grado y calidad de cohesión y adherencia o por la resistencia a la deformación, ruptura, etc[35].

- **Fragmentos Gruesos**

Los fragmentos gruesos son fragmentos libres de tamaños mayores a los de la arena muy gruesa (> 2 mm), muy cimentados o con destino a la rotura mayor. Pueden tener importancia en el almacenamiento del agua, en la infiltración, en el agua de escorrentía, en el volumen efectivo del suelo, en el crecimiento de raíces, etc. y son o no removidos durante las prácticas de labranza[35].

3.7. Técnicas de muestreo

3.7.1. Muestras simples

El muestreo de suelo es la actividad de la recogida de las muestras de suelo (representativas), que permiten caracterizar el suelo en estudio. En la muestra definida se determina una parte de las características o propiedades que se encuentran en el estudio. Y, las muestras enviadas al laboratorio corresponden a las muestras elegidas para ser analizadas en función de los objetivos que se tengan. En la muestra simple: es la muestra extraída de una sola extracción del suelo. Son las muestras utilizadas en trabajos de investigación, de extensión, o en suelos muy homogéneos[31].

3.7.2. Muestras compuestas

En las muestras compuestas se refiere al término de la muestra del suelo, este resulta de la suma de una o varias extracciones realizadas, estas se dispondrían en un recipiente que llegará a estar codificado por profundidad, en su caso, y a partir del cual se obtienen bien mezcladas y del que luego se retira un kg de suelo. Es el muestreo más empleado para los planes de fertilización. Se aconseja entre seis y doce submuestras por unidad de muestreo[31].

3.7.3. Etiquetado y almacenamiento de muestras

El muestreo es la actividad mediante la que se toman las muestras representativas que permiten

caracterizar el suelo estudiado, entendiendo por muestra aquella parte representativa que posee las mismas características o propiedades que el material que se estudia y que las muestras a ser enviadas al laboratorio, son las muestras elegidas para el análisis y según los objetivos pautados[36].

La etiqueta tiene que estar ubicada en un sitio visible y no exceder su tamaño en el recipiente al que se encuentra adherida de forma eficaz con el fin de no perderla. La etiqueta que seguirá a la muestra tiene que tener como mínimo los siguientes datos lugar de la toma de muestra, señalamiento de que muestra se tomaría, hora de la fecha de extracción, altitud de la muestra y también podría incluirse las coordenadas[36].

3.7.4. Estimación de la recarga de acuíferos

La recarga artificial de acuíferos se ha presentado en los últimos años como un instrumento de gestión del agua económica y bastante efectiva en comparación a las grandes obras hidráulicas, convirtiéndose en una actividad de primerísimo orden para algunos países del mundo (Holanda, USA, Australia, etc.) En el ámbito español está infrautilizada, en un estado primario o experimental, y hasta el momento ya no ha recibido un tratamiento muy importante por parte de la administración hidráulica del país[37].

4. METODO Y PROCEDIMIENTO.

4.1. Metodología

En este proyecto de investigación tendremos un enfoque cuantitativo, se intentará en obtener los parámetros hidráulicos e hidrológicos del suelo ubicados en el cantón Pujilí, se implementará las ecuaciones de pedotransferencia. En este sentido, dicha técnica debe basarse en los datos numéricos obtenidos de forma directa y en relación a las propiedades físicas de los suelos, tales como la textura, el contenido de materia orgánica, etc. Es entonces cuando dichos datos pasan a transformarse a través de una técnica estadística que permita llegar a resultados certeros y confiables que sean aplicables a la zona de estudio. Intentar con este enfoque la consecución de un mejor uso del agua y contribuir a solucionar así los problemas hídricos locales. Así mismo, esta técnica, como puede ser de suponer, claramente establece un carácter orientador hacia las orientaciones de las necesidades prácticas de las comunidades que gestionan los mismos recursos agrícolas y medioambientales del cantón, buscando intentar llevar a cabo una reducción del riesgo ante la escasez de agua utilizando ya herramientas muy concretas en la planificación del

agua por las comunidades y por tanto del mismo territorio.

4.2. Descripción del proyecto

La finalidad de la presente consiste en relacionar mediante ecuaciones de pedotransferencia los parámetros hidráulicos e hidrológicos del suelo del cantón Pujilí, de la provincia de Cotopaxi, Ecuador, centrándose en la recogida de datos físicos del suelo como son la textura, la materia orgánica para el posterior uso de ecuaciones que permiten estimar los parámetros hidráulicos.

Igualmente, el presente trabajo tiene como objetivo producir información técnica esmerada y relevante para las circunstancias de la zona, por la idiosincrasia de su heterogeneidad climática, geológica y agrícola; los resultados obtenidos serán fundamentación para la gestión sustentable del recurso hídrico, entendiendo esto como una forma para explotar el recurso hídrico y mejorar las prácticas agrícolas y ambientales, y a su vez coadyuvar en la planificación del territorio y en la prevención del peligro ante eventos climáticos en la región.

4.3. Diagrama de flujo

El diagrama de flujo ilustra todo el proceso llevado a cabo en la investigación, desde la recolección de los datos del suelo hasta el resultado final de su análisis. Las distintas fases del proceso están organizadas de forma lógica al ser definidas la zona de estudio (área de estudio), muestras de datos recogidas y analizadas, cálculos a realizar y el resultado último.

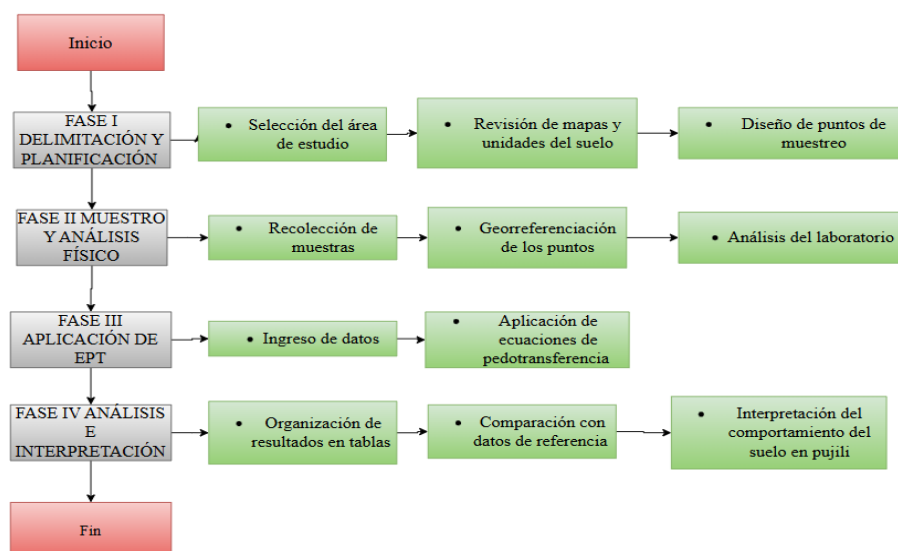


Figura 1. Esquema metodológico

4.4. Área de estudio

El terreno en el cual está fundamentado el estudio que se tiene entre manos se ubica en el cantón

Pujilí de la provincia de Cotopaxi, que reviste una importancia tanto agrícola como ambiental. Este sitio es sede de una riqueza en el tipo de sus suelos, en la casi totalidad volcánicos, y de las condiciones del clima, las cuáles tienen variaciones en función de la altitud y el uso del suelo. En el caso del presente trabajo de investigación, varios puntos han sido elegidos de acuerdo a criterios de representatividad de las muestras físicas de suelo y tomando como criterio la accesibilidad, la cobertura vegetal y el relieve, lo cual nos dio a la selección de los puntos adecuados para la obtención de las muestras. Las muestras recolectadas se constituyen en el punto de partida para la aplicación de las ecuaciones de pedotransferencia para la obtención de los parámetros hidráulicos del suelo que se puede apreciar en la **figura 2**.

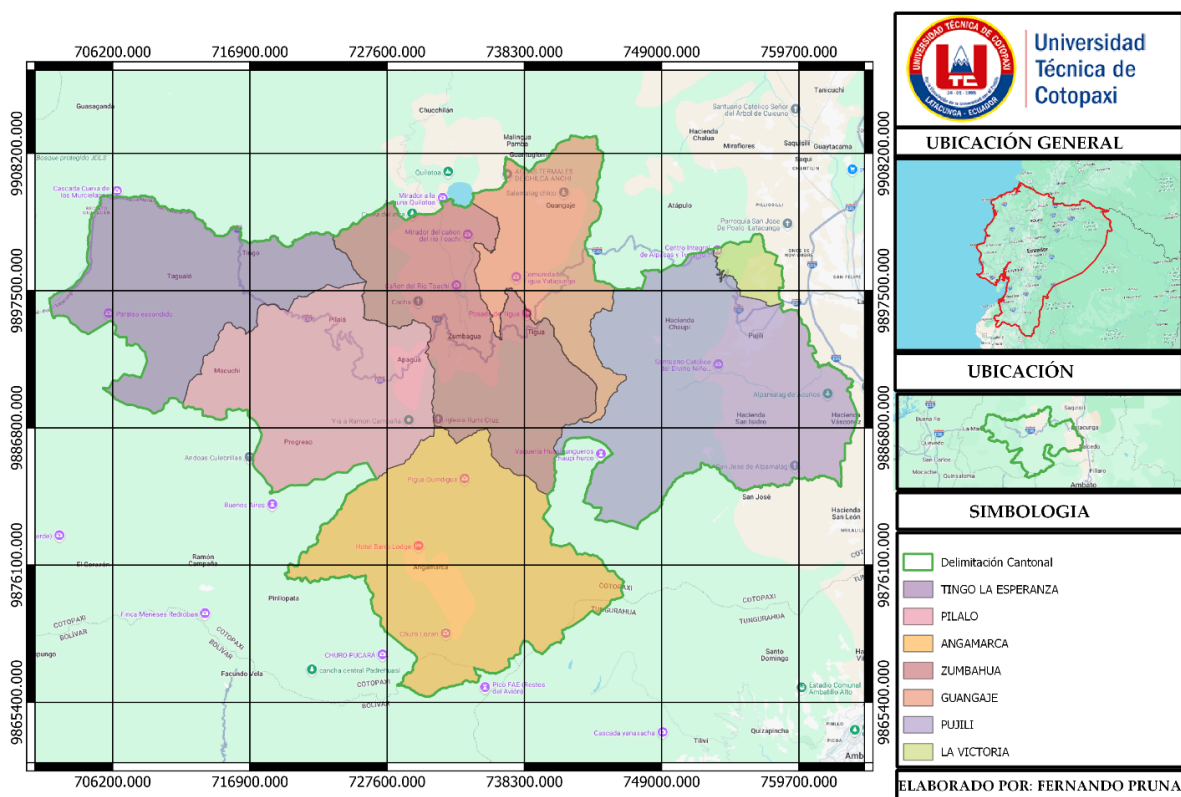


Figura 2. Delimitación del cantón Pujilí

Elaborado por: Fernando Pruna.

La figura 2 muestra el mapa físico que se encontraría ubicado en el cantón Pujilí, en el centro de la provincia de Cotopaxi. Tiene un área aproximada de 1.279 Km², lo que le permite ser clasificado dentro de la categoría de cantones de tamaño intermedio en el contexto geográfico ecuatoriano. Así, las coordenadas UTM aproximadas que sitúan el centro geográfico del cantón están en (756 345 E, 9 893 989 N) del ámbito de la zona 17M, Para la elección de estos puntos se realizó un primer análisis de la zona del cantón Pujilí, teniendo en cuenta diferentes tipologías

del uso del suelo, la vegetación, la inclinación del terreno y la conveniencia en cuanto al acceso.

A su vez, el cantón Pujilí se compone de siete parroquias rurales: Zumbahua, La Victoria, Angamarca, Guangaje, Pilalo, El Tingo-La Esperanza y Pujilí.

4.5. Selección y ubicación de las calicatas

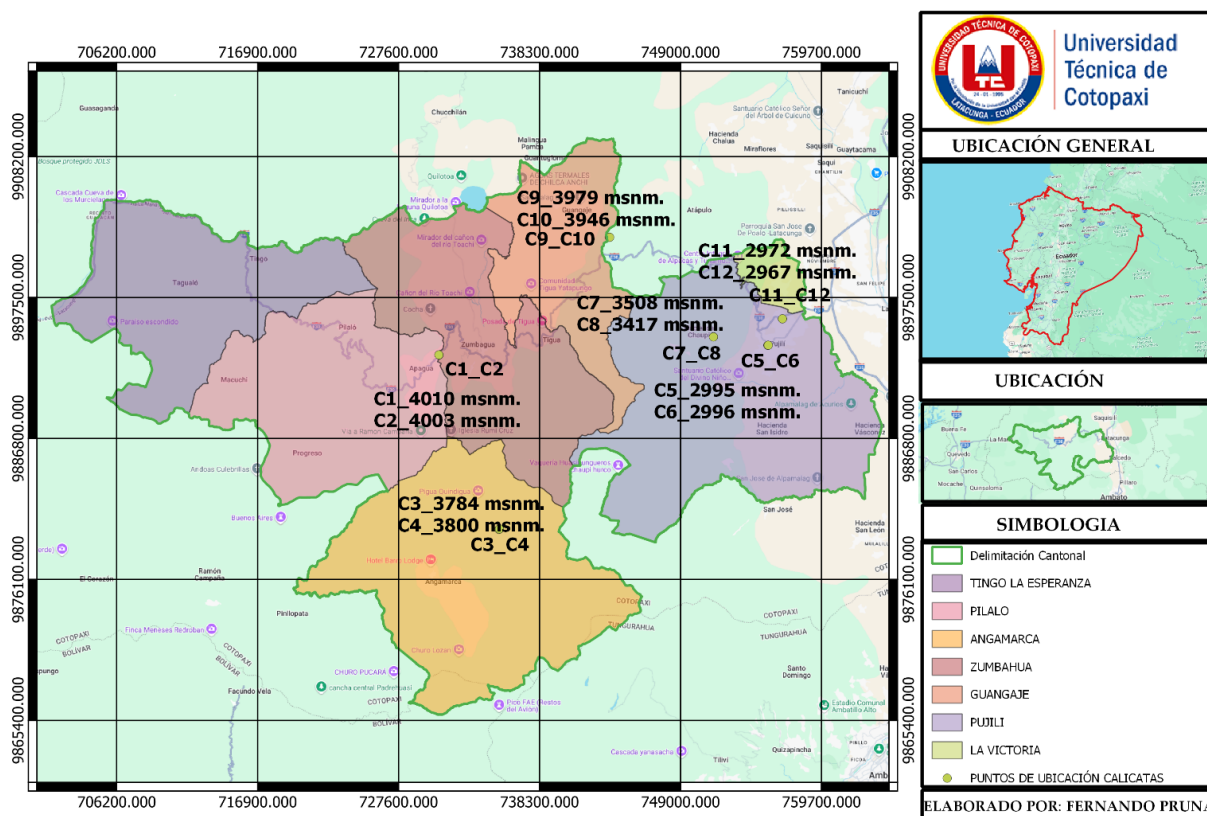


Figura 3. Mapa de ubicación de calicatas

Se llevó a cabo la excavación de las calicatas en seis puntos estratégicos: Apagua, Llalachanchi, Pujilí – 3 de Mayo, Chaupi, Guangaje y La Victoria.. La selección de estos puntos no fue una elección al azar sino que se tomó una decisión calculada después de considerar las diferencias en los altos, el uso del suelo, la vegetación, la accesibilidad y su importancia en el contexto del restante medio hídrico local. La realización de las calicatas permitió la identificación y caracterización de 4 horizontes diferenciados de cada sitio.

4.6. Obtención de información in situ

4.6.1. Flujograma para el procedimiento de las calicatas.

La calicata es el método que se emplea para conocer la composición del suelo en un lugar determinado. Se trata de una excavación de pequeña o mediana profundidad, que permite

observar directamente las capas o bien “horizontes” del suelo, al mismo tiempo que se hacen las recogidas de muestras para su análisis. Esta práctica permite observar la textura, el color, la estructura y otras propiedades físicas que no se pueden ver a simple vista.

A través de la calicata, se pueden extraer datos que son utilizados para estudios agrícolas, ambientales, geotécnicos o hidrológicos, de forma que se pueda establecer una mejor comprensión del comportamiento del terreno.

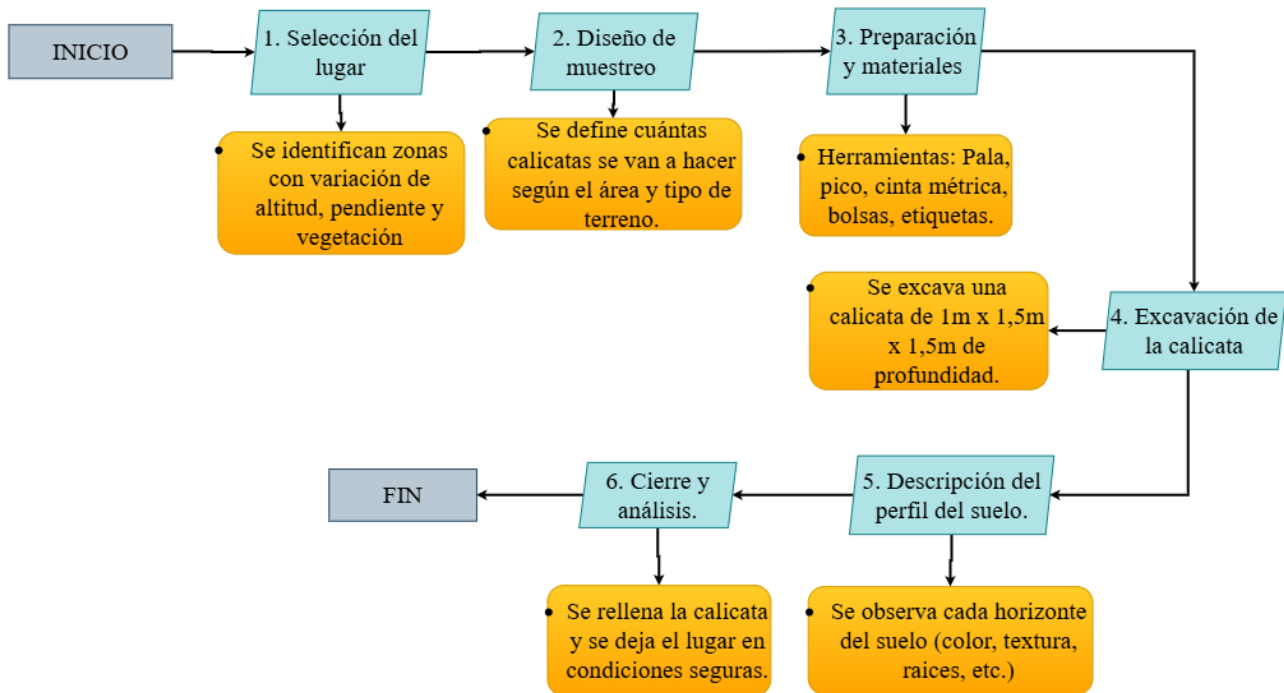


Figura 4. Flujograma de elaboración de calicatas

Elaborado por: Fernando Pruna

4.6.2. Flujograma para determinar la textura existente en el campo.

La textura del suelo es una de las propiedades fundamentales del suelo, ya que su variabilidad determinará, por su parte, el comportamiento biológico, físico y químico del mismo; y con esto, propiedades tales como el movimiento y la retención de nutrientes y agua, que a su vez influirán en el potencial agrícola del propio suelo. La textura del suelo es una propiedad básica e intrínseca del suelo cuya formación y desarrollo depende, entre otros factores, del gradiente de proporciones de partículas de arena, limo y arcilla, que son los denominados componentes minerales del suelo y que presentan propiedades físicas diferentes[38].

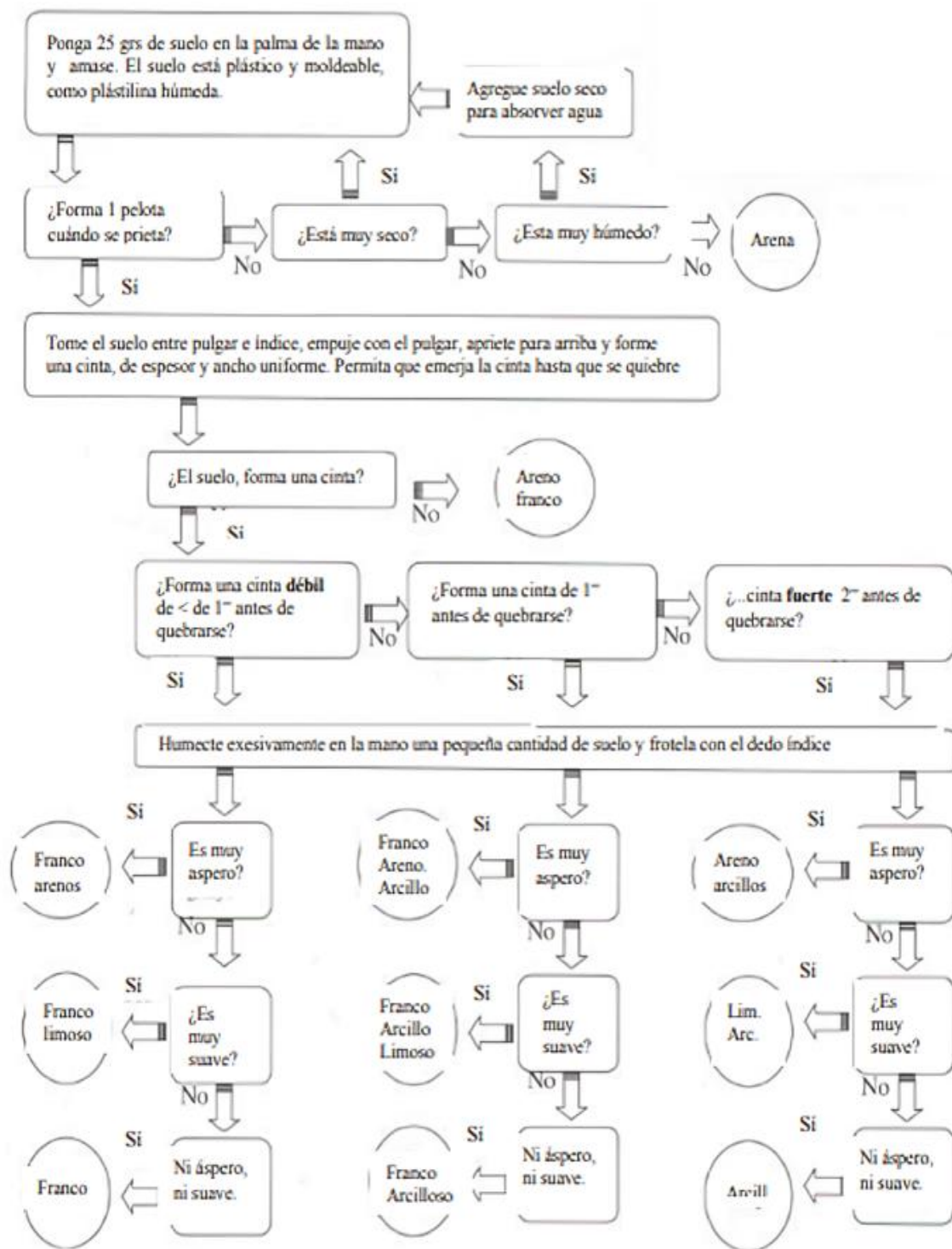


Figura 5. Flujo para determinar la textura del suelo USDA-NRCS [47]

4.7. Datos de Pedotransferencia.

4.7.1. Pedotransferencia.

Las funciones de pedotransferencia de las propiedades hidráulicas del suelo son predicciones estadísticas, las cuales se han determinado mediante bases de datos para la textura del suelo, la densidad aparente y/o el contenido de materia orgánica del suelo. Las funciones de pedotransferencia para la retención de humedad del suelo y la conductividad hidráulica son mucho más precisas si se tienen en cuenta atributos texturales y estructurales del suelo[39].

Las funciones de pedotransferencia pueden utilizarse para estimar las propiedades hidráulicas del suelo basadas en la clase textural, o propiedades hidráulicas que varían continuamente en respuesta a variaciones en la textura o estructura del suelo[39].

4.7.2. Ecuaciones de Pedotransferencias (EPT) aplicadas a la investigación.

4.7.2.1. Conductividad hidráulica.

- Cosby et al. (1984)[40]

$$K_s = 25.5 \times 10^{(-0.6+0.0126 \times Sa - 0.0064 \times Cl)}$$

Donde:

K_s (cm/ h): Conductividad hidráulica.

Sa (%): Contenido de arena.

Cl (%): Contenido de arcilla.

- Puckett et al. (1985)[40]

$$K_s = 156.96 \times \exp^{(-0.1975 \times Cl)}$$

Donde:

K_s (cm / h): Conductividad hidráulica.

Cl (%). Contenido de arcilla.

4.7.2.2. Conductividad hidráulica saturada.

- **Cosby et al. (1984)**

$$K_{sat} = 2.54 \times 10^{(-0.6+0.0126 \times SA - 0.0064 \times CL)}$$

Donde:

K_{sat} (cm/hr): Conductividad hidráulica saturada.

Sa (%): Contenido de Arena.

Cl (%): Contenido de Arcilla.

4.7.2.3. Capacidad de campo.

- **Lal (1978)[40]**

$$\theta_{33} = 0.065 + 0.004 \times Cl$$

Donde:

θ_{33} (g/g): Contenido de humedad a 33 kPa, capacidad de campo.

Cl (%): Contenido de arcilla.

- **Dijkerman (1988)**

$$\theta_{33} = 0.3697 - 0.0035 \times Sa$$

Donde:

Sa (%): Contenido de Arena.

θ_{33} (g/g): Contenido de humedad a 33 kPa, capacidad de campo.

4.7.2.4. Punto de marchitez permanente.

- **Pidgeon (1972)**

$$\theta_{1500} = 0.006 + 0.003 \times Cl$$

Donde:

θ_{1500} (cm^3 / cm^3): Contenido de humedad al 1 500 kPa, punto de marchitez permanente

Cl (%): Contenido de arcilla

- **Aina and Periaswamy (1985) [40]**

$$\theta_{1500} = 0.0074 + 0.0039 \times Cl$$

Donde:

θ_{1500} (cm^3 / cm^3): Contenido de humedad a 1 500 kPa, punto de marchitez permanente.

Cl (%): Contenido de arcilla.

- **Rawls et al. (1982)[40]**

$$\theta_{1500} = 0.00213 + 0.0031 \times Cl$$

Donde:

θ_{1500} (cm^3 / cm^3): Contenido de humedad a 1 500 kPa, punto de marchitez permanente

Cl (%): Contenido de arcilla.

4.7.2.5. Contenido de carbono orgánico.

- **Pidgeon (1972) [40]**

$$OC = \frac{\theta_{33} \times 95 - 3.61 - 0.16 \times Si - 0.3 \times Cl}{3}$$

Cl (%): Contenido de arcilla

Oc (%) Contenido de carbono orgánico

θ_{33} (m^3 / m^3): Contenido de humedad a 33 kPa, capacidad de campo.

Si (%): Contenido de limo.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. COORDENADAS DE LAS CALICATAS

Con el propósito de garantizar la trazabilidad y precisión a la hora de encontrar cada uno de los puntos de muestreo, fueron registradas las coordenadas geográficas que corresponden a todas las calicatas de estudio.

Tabla 4. Coordenadas de las calicatas A

APAGUA					
ZONA 17 UTM					
N°	Código	Sector	X	Y	Altura msnm
1	C-1	Sembrio 1 del presidente de Apagua	730670	9893132	4010
2	C-2	Sembrio 2 del presidente de Apagua	730661	9893146	4003
LLALLACHANCHI					
3	C-3	Potrero	735221	9879894	3784
4	C-4	Potrero	735259	987997	3800
PUJILÍ - 3 DE MAYO					
5	C-5	Domicilio del señor Edwin	755635	9893873	2995
6	C-6	Terreno del señor Edwin	764135	9898503	2996

Tabla 5. Coordenadas de las calicatas B

CHAUPI					
7	C-7	Domicilio del señor Marco	751509	9894512	3508
8	C-8	Terreno de cultivo del señor Marco	751505	9894508	3417
GUANGAJE					
9	C-9	Lote	743593	9902078	3979
10	C-10	Lote	743626	9902071	3946
LA VICTORIA					
11	C-11	Terreno del señor Juan	756741	9895881	2972
12	C-12	Terreno de cultivo del señor Juan	756745	9895884	2967

Elaborado por: Fernando Pruna

En la tabla 4 y 5 se permite localizar de manera precisa cada sitio de muestreo, sino que, además, permite que futuras investigaciones en la misma zona puedan ser repetidas o ampliadas. Las coordenadas fueron obtenidas de un GPS en el mismo momento de la excavación. Las ubicaciones que se muestran a continuación corresponden a cada una de las calicatas que se realizaron en las distintas zonas del cantón de Pujilí.

5.2. TEXTURAS DEL SUELO REPORTADO POR LABORATORIO

Al comparar las clasificaciones de texturas de suelos del MAG con los datos obtenidos en campo realizados en Pujilí, hay bastante coincidencia, ya que, en la mayoría de las calicatas y horizontes analizados, se encontró la predominancia de suelos francos y franco arenosos. El MAG señala que los suelos francos y franco arenosos son óptimos para la agricultura, por lo que su combinación de buen drenaje y buena retención de agua les confiere una buena calidad para la labor del suelo.

Tabla 6. Textura de los suelos presentes en diferentes zonas del cantón Pujilí A

		H1	H2	H3	H4
APAGUA	Calicata 1	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO ARENOSO	FRANCO ARENOSO
	Calicata 2	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO

Tabla 7. Textura de los suelos presentes en diferentes zonas del cantón Pujilí B

LLALLACHANCHI	Calicata 3	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO LIMOSO	N.A.
	Calicata 4	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO
PUJILÍ 3 – MAYO	Calicata 5	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO ARENOSO FRANCO	SUELO FRANCO ARENOSO
	Calicata 6	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO ARENOSO
CHAUPI	Calicata 7	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO ARENOSO
	Calicata 8	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO
GUANGAJE	Calicata 9	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO ARENOSO
	Calicata 10	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO ARENOSO
LA VICTORIA	Calicata 11	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO
	Calicata 12	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO	SUELO FRANCO ARENOSO	SUELO FRANCO

En la tabla 6 y 7 se ve los muestreos obtenidos en Apagua, Llallachanchi, Pujilí 3 de Mayo, Chaupi, Guangaje, y La Victoria comprueban esto, obteniendo en la mayor parte de los casos texturas francas y franco arenosas, y muy pocos casos de franco limoso. No se obtuvieron suelos arenosos puramente ni suelos arenosos pesados, lo que resulta indicativo, en tanto que dicha escasez de extremos implica una limitación mayor para el desarrollo de la agricultura.

Tabla 8. Comparaciones de texturas del laboratorio INIAP vs MAGAP

Texturas reportadas por el laboratorio INIAP	Símbolo MAGAP	Comentario
Franco	F	Suelo equilibrado, con buena retención de agua y nutrientes.
Franco Arenoso	FA	Suelo con buen drenaje y manejo sencillo, pero retiene menos agua que el franco puro.
Franco Limoso	FL	Buena retención de agua y nutrientes, textura suave.

En la tabla 8 tenemos la información oficial que ofrece el MAGAP se ajusta bien a la realidad del territorio, si bien los análisis de campo permiten detectar pequeñas variaciones en función de

la zona y del horizonte. Por eso, se recomienda siempre complementar la información general procedente del MAGAP o del propio mapa de suelos mediante un estudio específico en campo antes de tomar decisiones en base a la primera. Por lo que conviene llegar a la conclusión de que los suelos del cantón Pujilí poseen un estado adecuado para la agricultura, corroborando la funcionalidad de la clasificación oficial que, conviene decir en esta oportunidad, permite manejar y utilizar el suelo en el cantón.

5.3. RESULTADOS DE ECUACIONES DE PEDOTRANSFERENCIA

Las funciones de pedotransferencia (PTF) se emplearon en el presente trabajo como herramientas básicas para estimar algunos de los parámetros importantes para el estudio de los resultados hidrológicos en el cantón Pujilí.

Las PTF tienen la ventaja de que permiten estimar ciertas propiedades hidráulicas a partir de datos accesibles y básicos y, de este modo, permiten optimizar recursos y tiempos para llevar a cabo la investigación.

Tabla 9. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 1 A

CALICATA N°1					
Conductividad hidráulica (cm/hr)					
Autor	Ecuación	Horizonte			
		H1	H2	H3	H4
Cosby	$K_s = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$	22.581	27.678	23.256	23.256
Puckett	$K_s = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$	26.535	39.389	38.389	39.389
PROMEDIO		24,558	33,534	31,323	31,323
Conductividad hidráulica saturada (cm/h)					
Cosby et al	$K_{Sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$	2,105	2,559	2,168	2,168
PROMEDIO		2,105	2,559	2,168	2,168
Capacidad de campo (g/g)					
Lal	$\theta_{33} = 0.065 + 0.004 * Cl$	0.101	0.093	0.093	0.093
Dijkerman	$\theta_{33} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$	0.201	0.180	0.201	0.201
PROMEDIO		0.151	0.137	0.147	0.147

Tabla 10. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 1 B

Punto de marchitez permanente (cm ³ /cm ³)					
Aina and Periaswamy	$\theta_{1500} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$	0.042	0.034	0.034	0.034
Rawls et al.	$\theta_{1500} = 0.00213 + 0.0031 * Cl$	0.030	0.023	0.023	0.023
Pidgeon	$\theta_{1500} = 0.006 + 0.003 * Cl$	0.033	0.027	0.027	0.027
PROMEDIO		0.035	0.029	0.029	0.029
Contenido de carbono orgánico (%)					
Pidgeon	$OC = \frac{\theta_{33} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$	0.396	0.350	0.362	0.362
PROMEDIO		0.396	0.350	0.362	0.362

Elaborado por: Fernando Pruna

Los valores de la **tabla 9 y 10** la conductividad hidráulica presentados por Cosby son notablemente más bajos para todos los horizontes, todos ellos oscilan en un rango de 22,58 cm/h (H1) a 27,67 cm/h (H2). Esta diferencia es debida a que la ecuación de la misma presenta un comportamiento más conservador ante la influencia de la variación de la textura del suelo (arena, limo y arcilla), suele dar estimaciones más bajas o moderadas.

Puckett, por su lado, arroja valores notoriamente más altos como sus respectivos 26,53 cm/h en H1 y 39,89 cm/h en H2. Su ecuación es más sensible a la variación de las propiedades de texto, y produce así estimaciones mucho más elevadas que las de Cosby.

Se produce a partir de aquí una diferencia notable en el análisis realizado entre ambos métodos, siendo en Puckett donde se calcula una Ks más elevada, probablemente por el factor exponencial de su ecuación. Por ejemplo, para el horizonte H2 Cosby calcula el valor de 27,67 cm/h mientras que Puckett alcanza los 39,89 cm/h, mostrando así una diferencia de más de 12 cm/h.

De este promedio se obtiene el valor de referencia de conductividad hidráulica para la calicata y se toma también el que se da en la tabla general de la muestra, al ser el valor que representa un punto medio entre las estimaciones más conservadoras (Cosby) y las más elevadas (Puckett).

Tabla 11. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 2

CALICATA N°2					
Conductividad hidráulica (cm/hr)					
Autor	Ecuación	Horizonte			
		H1	H2	H3	H4
Cosby	$K_s = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$	24.646	23.930	22.581	20.689
Puckett	$K_s = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$	39.389	26.536	26.536	17.877
PROMEDIO		32,017	25,233	24,558	19,283
Conductividad hidráulica saturada (cm/h)					
Cosby et al	$K_{sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$	2.291	2.224	2.104	1.933
PROMEDIO		2.291	2.224	2.104	1.933
Capacidad de campo (g/g)					
Lal	$\theta_{\theta_{33}} = 0.065 + 0.004 * Cl$	0.093	0.101	0.101	0.109
Dijkerman	$\theta_{\theta_{33}} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$	0.194	0.194	0.201	0.208
PROMEDIO		0.144	0.148	0.151	0.159
Punto de marchitez permanente (cm ³ /cm ³)					
Aina and Periaswamy	$\theta_{\theta_{1500}} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$	0.035	0.042	0.042	0.050
Rawls et al.	$\theta_{\theta_{1500}} = 0.00213 + 0.0031 * Cl$	0.024	0.030	0.030	0.036
Pidgeon	$\theta_{\theta_{1500}} = 0.006 + 0.003 * Cl$	0.027	0.033	0.033	0.039
PROMEDIO		0.029	0.035	0.035	0.042
Contenido de carbono orgánico (%)					
Pidgeon	$OC = \frac{\theta_{\theta_{33}} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$	0.358	0.391	0.396	0.433

PROMEDIO	0.358	0.391	0.396	0.433
-----------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Elaborado por: Fernando Pruna

En la **tabla 11** se observa el cálculo de la conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) se realizó a partir de la ecuación de Cosby et al. , la cual considera entre sus variables más significativas los porcentajes de arena y arcilla en el suelo. Los valores determinados para los cuatro horizontes que se encuentran dentro del ensayo in situ fueron de 2,291 cm/h para el horizonte H1, 2,224 cm/h para H2, 2,104 cm/h para H3 y 1,933 cm/h para H4. Existiendo en ellos una clara tendencia decreciente en la medida que se avanza en el perfil del suelo, tal vez motivada por una mayor compactación o por una mayor proporción de partículas finas en los horizontes de menor profundidad. Debido a que se obtuvo solamente con el uso de esta fórmula y no se realizó ninguna comparación con otros autores, los valores obtenidos los asumimos directamente como aquellos que representan la conductividad hidráulica saturada a la cual se hace referencia en la tabla general del estudio

Tabla 12. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 3 A

CALICATA N°3					
Conductividad hidráulica (cm/hr)					
Autor	Ecuación	Horizonte			
		H1	H2	H3	H4
Cosby	$K_s = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$	18.938	22.581	19.541	N.A.
Puckett	$K_s = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$	5.465	26.536	39.389	N.A.
PROMEDIO		12,202	24,558	29,465	N.A.
Conductividad hidráulica saturada (cm/h)					
Cosby et al	$K_{sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$	1.770	2.104	1.836	N.A.
PROMEDIO		1.770	2.104	1.836	N.A.
Capacidad de campo (g/g)					
Lal	$\theta_{\theta_{33}} = 0.065 + 0.004 * Cl$	0.133	0.101	0.093	N.A.
Dijkerman	$\theta_{\theta_{33}} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$	0.208	0.201	0.222	N.A.
PROMEDIO		0.171	0.151	0.158	N.A.
Punto de marchitez permanente (cm³ /cm³)					
Aina and Periaswamy	$\theta_{\theta_{1500}} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$	0.074	0.042	0.034	N.A.

Rawls et al.	$\theta_{1500} = 0.00213 + 0.0031 * Cl$	0.055	0.030	0.023	N.A.
Pidgeon	$\theta_{1500} = 0.006 + 0.003 * Cl$	0.057	0.033	0.027	N.A.
PROMEDIO		0.062	0.035	0.029	N.A.

Tabla 13. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 3 B

Contenido de carbono orgánico (%)					
Pidgeon	$OC = \frac{\theta_{33} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$	0.533	0.396	0.375	N.A.
PROMEDIO		0.533	0.396	0.375	N.A.

El análisis de la **tabla 12 y 13** de la humedad a 33 kPa (capacidad de campo) muestra grandes diferencias entre los horizontes, y entre los diferentes autores considerados. En el horizonte 1 (H1), los valores obtenidos son 0.133 m³/m³ (Lal) y 0.208 m³/m³ (Dijkerman), con un promedio de 0.171 m³/m³. En el horizonte 2 (H2) hay 0.101 m³/m³ (Lal) y 0.201 m³/m³ (Dijkerman), con un valor medio de 0.151 m³/m³. En el horizonte 3 (H3) la estimación de la capacidad del campo son 0.093 m³/m³ (Lal) y 0.222 m³/m³ (Dijkerman), y tiene un promedio de 0.158 m³/m³.

La diferencia entre los autores es importante, ya que Dijkerman siempre reporta valores más elevados entre los diferentes horizontes (diferencias que son mayores a 0.10 m³/m³ respecto a Lal), como por ejemplo en H3 que la diferencia es de 0.129 m³/m³. Por otro lado, esta variación de valores se puede calificar de interesante y necesaria, puesto que obtener estimaciones más equilibradas es importante considerando más de una metodología, dado que cada ecuación reacciona de diferente manera dependiendo de la textura del suelo (arena en el caso de Dijkerman, arcilla con el caso de Lal).

Tabla 14. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 4 A

CALICATA N°4					
Conductividad hidráulica (cm/hr)					
Autor	Ecuación	Horizonte			
		H1	H2	H3	H4
Cosby	$K_s = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$	20.070	24.646	18.973	18.422
Puckett	$K_s = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$	5.466	39.389	26.536	17.877
PROMEDIO		12,768	32,017	22,754	18,149
Conductividad hidráulica saturada (cm/h)					

Cosby et al	$K_{sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$	1.871	2.291	1.783	1.732
PROMEDIO		1.871	2.291	1.783	1.732

Tabla 15. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 4 B

Capacidad de campo (g/g)					
Lal	$\theta_{\theta_{33}} = 0.065 + 0.004 * Cl$	0.133	0.093	0.101	0.109
Dijkerman	$\theta_{\theta_{33}} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$	0.201	0.194	0.222	0.222
PROMEDIO		0.167	0.144	0.162	0.166
Punto de marchitez permanente (cm ³ /cm ³)					
Aina and Periaswamy	$\theta_{\theta_{1500}} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$	0.074	0.034	0.042	0.050
Rawls et al.	$\theta_{\theta_{1500}} = 0.00213 + 0.0031 * Cl$	0.055	0.023	0.030	0.036
Pidgeon	$\theta_{\theta_{1500}} = 0.006 + 0.003 * Cl$	0.057	0.027	0.033	0.039
PROMEDIO		0.062	0.029	0.035	0.042
Contenido de carbono orgánico (%)					
Pidgeon	$OC = \frac{\theta_{\theta_{33}} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$	0.209	0.358	0.408	0.441
PROMEDIO		0.209	0.358	0.408	0.441

Las mediciones de la **tabla 14 y 15** el punto de marchitez permanente muestra variaciones tanto entre autores como entre los horizontes del perfil. En el horizonte 1 (H1), los valores del contenido de agua varían entre 0,055 cm³/cm³ (Rawls et al.) y 0,074 cm³/cm³ (Aina and Periaswamy), con un valor promedio de 0,062 cm³/cm³; en el horizonte 2 (H2), los valores oscilan entre 0,023 y 0,034 cm³/cm³, obteniendo una media de 0,029 cm³/cm³; para el horizonte 3 (H3), los resultados fluctúan entre 0,030-0,042 cm³/cm³, con la media. para el horizonte 4 (H4) va de 0,036 a 0,050 cm³/cm³ y presenta un promedio de 0,042 cm³/cm³. En este sentido, Aina and Periaswamy tienden a reportar los valores más altos, Rawls et al. los más bajos y Pidgeon presenta en general valores intermedios, siendo la utilización del promedio entre las tres

metodologías una referencia más equilibrada para cada horizonte.

Tabla 16. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 5 A

CALICATA N°5					
Conductividad hidráulica (cm/hr)					
Autor	Ecuación	Horizonte			
		H1	H2	H3	H4
Cosby	$K_s = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$	28.050	32.444	59.750	43.405

Tabla 17. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 5 B

Puckett	$K_s = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$	14.673	21.780	71.235	47.990
PROMEDIO		21,362	27,112	65,493	45,697
Conductividad hidráulica saturada (cm/h)					
Cosby et al	$K_{sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$	2.582	2.970	5.336	3.930
PROMEDIO		2.582	2.970	5.336	3.930
Capacidad de campo (g/g)					
Lal	$\theta_{\theta_{33}} = 0.065 + 0.004 * Cl$	0.113	0.105	0.081	0.089
Dijkerman	$\theta_{\theta_{33}} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$	0.170	0.156	0.093	0.128
PROMEDIO		0.142	0.131	0.087	0.109
Punto de marchitez permanente (cm ³ /cm ³)					
Aina and Periaswamy	$\theta_{\theta_{1500}} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$	0.054	0.046	0.023	0.030
Rawls et al.	$\theta_{\theta_{1500}} = 0.00213 + 0.0031 * Cl$	0.039	0.033	0.014	0.020
Pidgeon	$\theta_{\theta_{1500}} = 0.006 + 0.003 * Cl$	0.042	0.036	0.018	0.024
PROMEDIO		0.045	0.039	0.019	0.025
Contenido de carbono orgánico (%)					
Pidgeon	$OC = \frac{\theta_{\theta_{33}} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$	0.427	0.385	0.248	0.302
PROMEDIO		0.427	0.385	0.248	0.302

Elaborado por: Fernando Pruna

En la tabla 16 y 17 de contenido de carbono orgánico, se presentan los valores calculados a

partir de la ecuación que fue propuesta por Pidgeon. La evaluación de los datos obtenidos se tiene que el contenido de carbono orgánico es más alto en el horizonte H1 con un valor de 0,427 %, mientras que H2 presenta valores de 0,385 %, H3 de 0,248 % y H4 de 0,302 %. Así, el valor de contenido de carbono orgánico se va reduciendo progresivamente a medida que se va profundizando en el perfil del suelo, de manera que esta tendencia es habitual de los suelos, ya que las capas superficiales tendrán mayor contenido de materia orgánica. Puesto que tan solo se hizo uso de la ecuación de Pidgeon, estos valores son utilizados directamente como referencia en la tabla general.

Tabla 18. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 6

CALICATA N°6					
Conductividad hidráulica (cm/hr)					
Autor	Ecuación	Horizonte			
		H1	H2	H3	H4
Cosby	$K_S = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$	32.444	28.890	30.615	39.769
Puckett	$K_S = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$	21.780	21.780	21.780	32.330
PROMEDIO		27,112	25,335	26,198	36,049
Conductividad hidráulica saturada (cm/h)					
Cosby et al	$K_{sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$	2.970	2.659	2.810	3.611
PROMEDIO		2.970	2.659	2.810	3.611
Capacidad de campo (g/g)					
Lal	$\theta\theta_{33} = 0.065 + 0.004 * Cl$	0.105	0.105	0.105	0.097
Dijkerman	$\theta\theta_{33} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$	0.156	0.170	0.163	0.135
PROMEDIO		0.131	0.138	0.134	0.116
Punto de marchitez permanente (cm ³ /cm ³)					
Aina and Periaswamy	$\theta\theta_{1500} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$	0.046	0.046	0.046	0.038
Rawls et al.	$\theta\theta_{1500} = 0.00213 + 0.0031 * Cl$	0.033	0.033	0.033	0.026
Pidgeon	$\theta\theta_{1500} = 0.006 + 0.003 * Cl$	0.036	0.036	0.036	0.030
PROMEDIO		0.039	0.039	0.039	0.032
Contenido de carbono orgánico (%)					
Pidgeon	$OC = \frac{\theta\theta_{33} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$	0.385	0.394	0.389	0.339

PROMEDIO	0.385	0.394	0.389	0.339
-----------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Elaborado por: Fernando Pruna

En la tabla 18 los resultados de la conductividad hidráulica (Ks) muestran una diferencia notable entre los valores que presentan Cosby y Puckett en todos los horizontes del perfil. En H1, Cosby presenta un valor de 32,444 cm/h y Puckett de 21,780 cm/h, por lo que el valor medio es de 27,112 cm/h. Para el horizonte H2, los valores son respectivamente de 28,890 cm/h y de 21,780 cm/h y el valor medio es de 25,335 cm/h. Para H3 Cosby encuentra un valor de 30,615 cm/h, coincidiendo con el de Puckett de 21,780 cm/h, y el valor medio es de 26,198 cm/h, para el horizonte H4, se presentan los valores de 39,769 cm/h de Cosby y 32,330 cm/h de Puckett y así se obtiene un valor medio de 36,049 cm/h. La comparación de los valores entre ambos autores de la conductividad hidráulica indica que Cosby siempre entrega cifras superiores a las de Puckett, lo cual se atribuye a diferencias metodológicas en la capacidad de respuesta de las ecuaciones, dependiendo de la textura de los suelos.

Tabla 19. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 7

CALICATA N°7					
Conductividad hidráulica (cm/hr)					
Autor	Ecuación	Horizonte			
		H1	H2	H3	H4
Cosby	$K_s = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$	13.942	20.339	20.358	22.199
Puckett	$K_s = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$	1.371	2.036	4.486	3.022
PROMEDIO		7,657	11,188	12,422	12,611
Conductividad hidráulica saturada (cm/h)					
Cosby et al	$K_{sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$	1.315	1.888	1.895	2.055
PROMEDIO		1.315	1.888	1.895	2.055
Capacidad de campo (g/g)					
Lal	$\theta_{\theta_{33}} = 0.065 + 0.004 * Cl$	0.161	0.153	0.137	0.145
Dijkerman	$\theta_{\theta_{33}} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$	0.233	0.191	0.198	0.184
PROMEDIO		0.197	0.172	0.168	0.165
Punto de marchitez permanente (cm³/cm³)					
Aina and Periaswamy	$\theta_{\theta_{1500}} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$	0.101	0.093	0.077	0.085

Rawls et al.	$\theta\theta_{1500} = 0.00213 + 0.0031 * Cl$	0.077	0.070	0.057	0.064
Pidgeon	$\theta\theta_{1500} = 0.006 + 0.003 * Cl$	0.078	0.072	0.060	0.066
PROMEDIO		0.085	0.079	0.065	0.072
Contenido de carbono orgánico (%)					
Pidgeon	$OC = \frac{\theta\theta_{33} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$	0.664	0.606	0.544	0.569
PROMEDIO		0.664	0.606	0.544	0.569

Elaborado por: Fernando Pruna

En la tabla 19 se logra observar valores de la conductividad hidráulica saturada son que presenta la tabla con la ecuación de Cosby et al., que fueron de 1,315 cm/h en H1, 1,888 cm/h en H2, 1,895 cm/h en H3 y 2,055 cm/h en H4; hay también un ligero crecimiento de la conductividad de acuerdo con la profundidad, que puede ser había una pequeña variación según la textura del suelo para cada uno de los horizontes que se muestran, valores que indican la capacidad del suelo para transmitir agua bajo saturación, y que como son los únicos datos disponibles ahora se invertirán directamente como referencia en la tabla del estudio.

Tabla 20. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 8

CALICATA N°8					
Conductividad hidráulica (cm/hr)					
Autor	Ecuación	Horizonte			
		H1	H2	H3	H4
Cosby	$Ks = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$	13.538	17.601	14.346	18.111
Puckett	$Ks = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$	0.924	3.022	0.924	2.036
PROMEDIO		7,231	10,312	7,635	10,073
Conductividad hidráulica saturada (cm/h)					
Cosby et al	$K_{sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$	1.277	1.647	1.350	1.690
PROMEDIO		1.277	1.647	1.350	1.690
Capacidad de campo (g/g)					
Lal	$\theta\theta_{33} = 0.065 + 0.004 * Cl$	0.169	0.145	0.169	0.153
Dijkerman	$\theta\theta_{33} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$	0.233	0.212	0.226	0.205
PROMEDIO		0.201	0.179	0.198	0.179
Punto de marchitez permanente (cm³ /cm³)					

Aina and Periaswamy	$\theta_{1500} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$	0.109	0.085	0.108	0.093
Rawls et al.	$\theta_{1500} = 0.00213 + 0.0031 * Cl$	0.083	0.064	0.082	0.070
Pidgeon	$\theta_{1500} = 0.006 + 0.003 * Cl$	0.084	0.066	0.084	0.072
	PROMEDIO	0.092	0.072	0.092	0.079
Contenido de carbono orgánico (%)					
Pidgeon	$OC = \frac{\theta_{33} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$	0.698	0.585	0.694	0.828
	PROMEDIO	0.698	0.585	0.694	0.828

En la tabla 20 se observan en el punto de marchitez permanente que los valores que se desprenden de Dijkerman son significativamente mayores que los que se derivan de Lal para todos los horizontes estudiados. Por ejemplo, en el horizonte H1 Lal indica 0,169 g/g y Dijkerman alcanza los 0,233 g/g y el promedio para esta capa indicaría 0,201 g/g. En el horizonte H2 Lal aporta un 0,145 g/g y Dijkerman un 0,212 g/g y el promedio se fija en un 0,179 g/g. H3 y H4 presentan igual tendencia y sus promedios son 0,198 y 0,179 g/g respectivamente. Se debe a las variables de cada ecuación (Lal considera el contenido de arcilla mientras que Dijkerman reduce el efecto de la arena). Se hace uso del promedio de ambos métodos para cada horizonte aportando de este modo un valor de referencia incuestionable de la capacidad de campo del perfil analizado.

Tabla 21. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 9

CALICATA N°9					
Conductividad hidráulica (cm/hr)					
Autor	Ecuación	Horizonte			
		H1	H2	H3	H4
Cosby	$K_s = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$	35.411	31.531	22.220	24.229
Puckett	$K_s = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$	32.330	32.330	6.659	4.486
	PROMEDIO	33,871	31,931	14,439	14,358
Conductividad hidráulica saturada (cm/h)					
Cosby et al	$K_{sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$	3.233	2.894	2.062	2.236
	PROMEDIO	23.658	22.251	10.313	10.317
Capacidad de campo (g/g)					
Lal	$\theta_{33} = 0.065 + 0.004 * Cl$	0.097	0.097	0.129	0.137
Dijkerman	$\theta_{33} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$	0.149	0.163	0.191	0.177

PROMEDIO		0.123	0.130	0.160	0.157
Punto de marchitez permanente (cm³/cm³)					
Aina and Periaswamy	$\theta\theta_{1500} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$	0.039	0.038	0.069	0.077
Rawls et al.	$\theta\theta_{1500} = 0.00213 + 0.0031 * Cl$	0.027	0.026	0.051	0.057
Pidgeon	$\theta\theta_{1500} = 0.006 + 0.003 * Cl$	0.030	0.030	0.054	0.060
PROMEDIO		0.032	0.032	0.059	0.065
Contenido de carbono orgánico (%)					
Pidgeon	$OC = \frac{\theta\theta_{33} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$	0.348	0.356	0.506	0.531
PROMEDIO		0.348	0.356	0.506	0.531

Los resultados del de la **tabla 21** de contenido de humedad a 1500 kPa indican que los valores obtenidos oscilan entre los informes de los diferentes autores y de los diferentes horizontes. En la H1, Aina and Periaswamy reportan 0,039 cm³/cm³, Rawls et al. 0,027 cm³/cm³ y Pidgeon 0,030 cm³/cm³, dando como promedio de la H1 un valor de 0,032 cm³/cm³. Para la H2, los valores van de 0,026 a 0,038 cm³/cm³ y el promedio es 0,032 cm³/cm³; para la H3, los resultados son de 0,051 a 0,069 cm³/cm³ y el promedio, igual es 0,059 cm³/cm³ y, para la H4, el rango es de 0,057 a 0,077 cm³/cm³ y el promedio de 0,065 cm³/cm³. Observamos que Aina and Periaswamy suelen dar las estimaciones más altas y que Rawls et al. los más bajos y Pidgeon se encuentra en una posición intermedia. Por estas diferencias, es que el promedio resultante entre los tres métodos permitirá conseguir un valor intermedio para cada horizonte, de tal forma que permita reflejar mejor la retención de humedad mínima que el suelo puede proporcionar a las plantas antes de alcanzar el marchitamiento permanente.

Tabla 22. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 10 A

CALICATA N°10					
Conductividad hidráulica (cm/hr)					
Autor	Ecuación	Horizonte			
		H1	H2	H3	H4
Cosby	$Ks = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$	51.658	36.470	28.890	24.229
Puckett	$Ks = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$	47.990	47.990	21.780	4.486
PROMEDIO		49,824	42,230	25,335	14,358

Conductividad hidráulica saturada (cm/h)					
Cosby et al	$K_{sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$	4.639	3.329	2.659	2.236
PROMEDIO		4.639	3.329	2.659	2.236
Capacidad de campo (g/g)					
Lal	$\theta\theta_{33} = 0.065 + 0.004 * Cl$	0.089	0.089	0.105	0.137
Dijkerman	$\theta\theta_{33} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$	0.107	0.149	0.170	0.177
PROMEDIO		0.098	0.119	0.138	0.157

Tabla 23. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 10 B

Punto de marchitez permanente (cm ³ /cm ³)					
Aina and Periaswamy	$\theta\theta_{1500} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$	0.031	0.030	0.046	0.077
Rawls et al.	$\theta\theta_{1500} = 0.00213 + 0.0031 * Cl$	0.021	0.020	0.033	0.057
Pidgeon	$\theta\theta_{1500} = 0.006 + 0.003 * Cl$	0.024	0.024	0.036	0.060
PROMEDIO		0.025	0.025	0.039	0.065
Contenido de carbono orgánico (%)					
Pidgeon	$OC = \frac{\theta\theta_{33} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$	0.289	0.314	0.394	0.531
PROMEDIO		0.289	0.314	0.394	0.531

Elaborado por: Fernando Pruna

Los valores de la **tabla 22 y 23** de contenido de carbono orgánico (%) que se reportan fueron calculados aplicando la ecuación de Pidgeon que se vio determinada entre otros conteniendo agua a capacidad de campo y los porcentajes de limo y arcilla de los suelos, tal y como se extrajeron los resultados para cada horizonte evaluado: 0.289 %; 0.314 %; 0.394 %; 0.531 %. Aparentemente la tendencia mostrada parece ser un aumento en el contenido de carbono orgánico a medida que se evalúan horizontes con una mayor profundidad, lo que podría llegar a estar asociado a alguna singularidad única de este perfil de suelos en concreto. Tal y como se ha realizado con la sola ecuación de Pidgeon, serán considerados valores de referencia en los diferentes horizontes y serán directamente introducidos en la tabla general del estudio para

representar así el carbono orgánico que existe en cada horizonte evaluado.

Tabla 24. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 11 A

CALICATA N°11					
Conductividad hidráulica (cm/hr)					
Autor	Ecuación	Horizonte			
		H1	H2	H3	H4
Cosby	$K_s = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$	33.415	28.076	29.754	24.274
Puckett	$K_s = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$	32.330	32.330	32.330	21.780
PROMEDIO		32,872	30,203	31,042	23,027

Tabla 25. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 11 B

Conductividad hidráulica saturada (cm/h)					
Cosby et al	$K_{sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$	3.059	2.592	2.739	2.253
PROMEDIO		22.934	20.999	21.607	16.102
Capacidad de campo (g/g)					
Lal	$\theta_{\theta_{33}} = 0.065 + 0.004 * Cl$	0.097	0.097	0.097	0.105
Dijkerman	$\theta_{\theta_{33}} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$	0.156	0.177	0.170	0.191
PROMEDIO		0.127	0.137	0.134	0.148
Punto de marchitez permanente (cm ³ /cm ³)					
Aina and Periaswamy	$\theta_{\theta_{1500}} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$	0.039	0.038	0.038	0.046
Rawls et al.	$\theta_{\theta_{1500}} = 0.00213 + 0.0031 * Cl$	0.027	0.026	0.026	0.033
Pidgeon	$\theta_{\theta_{1500}} = 0.006 + 0.003 * Cl$	0.030	0.030	0.030	0.036
PROMEDIO		0.032	0.032	0.032	0.039
Contenido de carbono orgánico (%)					
Pidgeon	$OC = \frac{\theta_{\theta_{33}} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$	0.352	0.364	0.360	0.406
PROMEDIO		0.352	0.364	0.360	0.406

Elaborado por: Fernando Pruna

En la tabla 24 y 25 los datos obtenidos para la conductividad hidráulica en cuatro horizontes del perfil del suelo, utilizando las ecuaciones de Cosby y de Puckett. El conjunto de resultados demuestra que ambas fórmulas proporcionan valores bastante semejantes para los horizontes

superiores, aunque sí se establecen disparidades hacia el horizonte más profundo. Por ejemplo, en H1 y H3 los valores de Cosby (33,415 cm/h y 29,754 cm/h, respectivamente) son ligeramente superiores a los de Puckett (32,330 cm/h y 30,271 cm/h). Sin embargo, en H4 el aumento es notable (24,724 cm/h para Cosby y 21,780 cm/h para Puckett).

Cabe mencionar que estas diferencias pueden estar motivadas por la sensibilidad de cada ecuación ante los diferentes parámetros que definen las propiedades texturales del suelo, pues Cosby contiene la arena y la arcilla y Puckett únicamente la arcilla. De este modo, y con el objetivo de obtener un valor intermedio y equilibrado entre ambas fórmulas, se calculó el promedio final de ambas para cada horizonte, con un resultado de 32,872 cm/h para H1, 30,203 cm/h para H2, 31,042 cm/h para H3 y 23,027 cm/h para H4.

Estos promedios reflejan de forma más fiel la variabilidad del perfil y calculándolo así, serán estos los valores en los que nos apoyaremos y tomaremos como referencia en la tabla general del estudio para poder realizar una evaluación comparativa y más fiable de la conductividad hidráulica del suelo en cada horizonte.

Tabla 26. Resultado ecuaciones pedotransferencia calicata N° 12

CALICATA N°12					
Conductividad hidráulica (cm/hr)					
Autor	Ecuación	Horizonte			
		H1	H2	H3	H4
Cosby	$K_S = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$	26.469	25.000	27.261	24.274
Puckett	$K_S = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$	14.673	32.330	21.780	21.780
PROMEDIO		20,571	28,665	24,520	23,027
Conductividad hidráulica saturada (cm/h)					
Cosby et al	$K_{sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$	2.443	2.320	2.516	2.253
PROMEDIO		2.443	2.320	2.516	2.253
Capacidad de campo (g/g)					
La	$\theta_{33} = 0.065 + 0.004 * Cl$	0.113	0.097	0.105	0.105
Dijkerman	$\theta_{33} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$	0.177	0.191	0.177	0.191
PROMEDIO		0.145	0.144	0.141	0.148

Punto de marchitez permanente (cm³/cm³)					
Aina and Periaswamy	$\theta\theta_{1500} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$	0.054	0.038	0.046	0.046
Rawls et al.	$\theta\theta_{1500} = 0.00213 + 0.0031 * Cl$	0.039	0.026	0.033	0.033
Pidgeon	$\theta\theta_{1500} = 0.006 + 0.003 * Cl$	0.042	0.030	0.036	0.036
PROMEDIO		0.045	0.032	0.039	0.039
Contenido de carbono orgánico (%)					
Pidgeon	$OC = \frac{\theta\theta_{33} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$	0.431	0.372	0.398	0.406
PROMEDIO		0.431	0.372	0.398	0.406

Elaborado por: Fernando Pruna

En la tabla 26 la conductividad hidráulica saturada descrita con la ecuación de Cosby et al. El comportamiento de los elementos del perfil del suelo en cuanto a la conductividad hidráulica saturada con este método es bastante homogéneo. En el horizonte H1 se obtiene un valor de 2.443 cm/h, en H2 se obtiene un valor de 2.320 cm/h, en H3 se observa un ligero aumento a 2.516 cm/h y en H4 se obtiene un valor de 2.253 cm/h. Esta regularidad de los datos nos lleva a concluir que el perfil en profundidad presenta unas condiciones determinadas (textura, estructura, etc.) similares de forma continua, introduciendo así en el sistema un movimiento de agua moderado bajo saturación. Al ser un solo método, estos resultados serán tomados directamente como la referencia para la interpretación y comparación del comportamiento de la capacidad de infiltración del suelo en los diferentes horizontes analizados.

Tabla 27. Tabla de rangos permisibles para conductividad hidráulica (Ks) FAO [41]

RANGOS PERMISIBLES FAO		
TIPO DE SUELO	RANGO	UNIDAD
ARENOSO	2 - 20	cm/h
FRANCO-ARENOSO	1 - 9	cm/h
ARENOSO-FRANCO	1,2 - 10	cm/h
FRANCO	0,5 - 4	cm/h
FRANCO-LIMOSO	0,3 - 3	cm/h
FRANCO-ARCILLOSO	0,2 - 2	cm/h
ARCILLOSO-ARENOSO	0,2 - 1,5	cm/h
ARCILLOSO-LIMOSO	0,1 - 1,2	cm/h
ARCILLOSO	0,05 - 0,8	cm/h
LIMOSO	0,05 - 1	cm/h

Tabla 28. Resultado de la conductividad hidráulica (Ks) por cada calicata tomada A

RESUMEN DE RESULTADOS:				
HORIZONTE:	1	2	3	4
Ks = Conductividad hidráulica (cm/hr)				
Calicata 1	24,5583	33,5338	31,3227	31,3227
Calicata 2	32,0174	25,2328	24,5583	19,2828
Calicata 3	12,2020	24,5583	29,4649	N.A.
Calicata 4	12,7677	32,0174	22,7544	18,1494
Calicata 5	21,3616	27,1122	65,4929	45,6975
Calicata 6	27,1122	25,3347	26,1977	36,0492
Calicata 7	7,6571	11,1878	12,4222	12,6108
Calicata 8	7,2308	10,3117	7,6352	10,0735

Tabla 29. Resultado de la conductividad hidráulica (Ks) por cada calicata tomada B

Calicata 9	33,8705	31,9305	14,4395	14,3577
Calicata 10	49,8241	42,2301	25,3347	14,3577
Calicata 11	32,8724	30,2031	31,0417	23,0270
Calicata 12	20,5709	28,6649	24,5204	23,0270
Promedio	23,5037	26,8598	26,2654	22,5414
Max	49,8241	42,2301	65,4929	45,6975
Min	7,2308	10,3117	7,6352	10,0735

Elaborado por: Fernando Pruna

En la tabla 27, 28 y 29 logramos ver entre los valores de conductividad hidráulica (Ks) logrados en campo con los valores considerados admisibles por la FAO muestra una desviación notable en todos los suelos analizados. Para suelos francos (rango FAO: 0,5 - 4 cm/h), los valores de Ks en las calicatas presentes fueron de entre 7,6571 cm/h (Calicata 7, H1) y 36,0498 cm/h (Calicata 6, H4). La Calicata 1 (H1) nos reporta un Ks de 24,5583 cm/h, que es más de seis veces el límite superior. La misma calicata 6 (toda la serie de horizontes francos), nos muestra valores de 21,3616 cm/h a 36,0498 cm/h, muy por encima del rango considerado permisible. Para suelos franco-arenosos (rango FAO: 1 - 9 cm/h), los valores de Ks para las calicatas oscilaron de entre 13,5777 cm/h (calicata 10, H4) hasta 65,4929 cm/h (calicata 5, H3). La Calicata 1 (H2-H4) presenta los valores de 33,5338 cm/h, 31,3227 cm/h y 31,3227 cm/h, respectivamente. La

calicata 9 (H1-H3) resulta en los valores de 33,5705 cm/h, 31,9315 y 31,4943 cm/h, todas ellas cifras entre tres y siete veces superior al máximo FAO para este tipo textural. Para suelos franco-limosos (rango FAO: 0,3 – 3 cm/h) el valor presentado fue de 29,5649 cm/h (Calicata 3, H3), o sea, casi diez veces el límite superior.

En arenosos (rango FAO: 2–20 cm/h), sólo un valor se situó en el rango correspondiente: 19,8288 cm/h (Calicata 2, H4), pero otros, como 29,3801 cm/h (Calicata 9, H4), lo excedieron en un 50%.

Los valores de Ks analizados, ninguno se situó en el rango correspondiente a su textura según FAO. El valor mínimo fue 7,6571 cm/h, el máximo 65,4929 cm/h, ambos valores fuera de los límites para suelos franco, franco-arenoso o franco-limoso. Para horizontes arenosos, se aproximaron a la parte superior del límite.

Tabla 30. Tabla rangos permisibles para conductividad hidráulica (Ks) MAG[42]

RANGOS PERMISIBLES MAG		
TIPO DE SUELO	RANGO	UNIDAD
MUY LENTA	< 0,15	cm/h
LENTA	0,15 - 0,5	cm/h
MODERADAMENTE LENTA	0,5 - 0,2	cm/h
MODERADA	2 - 6,5	cm/h
MODERADAMENTE RÁPIDA	6,5 - 15	cm/h
RAPIDA	15 - 25	cm/h
MUY RAPIDA	> 25	cm/h

En la tabla 28, 29 y 30 comparando los valores de conductividad hidráulica con los valores de rangos permisibles proporcionados por el MAG (ministerio de agricultura y ganadería) se observar sus rangos de muy lenta (<0,15 cm/h), lenta (0,15–0,5 cm/h), moderadamente lenta (0,5–2 cm/h), moderada (2–6,5 cm/h), moderadamente rápida (6,5–15 cm/h), rápida (15–25 cm/h) y muy rápida (>25 cm/h).

En el análisis de los resultados se puede mirar que ningún valor de Ks se encuentra dentro de las categorías muy lenta, lenta, moderadamente lenta o moderada. El valor más bajo fue de 7,6571 cm/h (calicata 7, H1) que se clasifica como moderadamente rápida. Sin embargo, por otra parte, la mayoría de los resultados se encuentran dentro de las categorías rápida y muy rápida, como son los casos de 24,5583 cm/h (calicata 1, H1), 33,5338 cm/h (calicata 1, H2), 45,6975 cm/h

(calicata 5, H4) y el máximo de 65,4929 cm/h (calicata 5, H3), que superan ampliamente la categoría muy rápida de >25 cm/h.

En términos generales, más del 90% de los valores que se han obtenido son superiores a 25 cm/h, de ahí que, de acuerdo con la clasificación del MAG, los suelos que se han evaluado dispongan de una conductividad hidráulica muy rápida. A incluso las conductividades que hemos denominado bajas dentro de dicho estudio, como los de las calicatas 7 (de 7,6571 a 12,6108 cm/h), aun siguiendo ese criterio, se encuentran dentro de la categoría de moderadamente rápida, muy alejadas de los valores que normalmente se asocian como óptimos para la retención de agua en agricultura convencional

Tabla 31. Tabla comparativa de valores promedios de Ks por horizonte según FAO Y MAG

Tabla comparativa de los valores promedios de Ks por horizonte según FAO Y MAG				
Horizonte	Ks promedio (cm/h)	Rango FAO (cm/h)	MAG	Interpretación
1	23,5037	2-20 (arenoso)	Rápida (15 - 25)	En la FAO presenta arenoso. El MAG lo clasifica como moderadamente rápida, tiene infiltración rápida.
2	26,8598	2-20 (arenoso)	Muy rápida (> 25)	En la FAO presenta arenoso. El MAG lo clasifica como moderadamente rápida, tiene infiltración rápida.
3	26,2654	2-20 (arenoso)	Muy rápida (> 25)	En la FAO presenta arenoso. El MAG lo clasifica como moderadamente rápida, tiene infiltración rápida.
4	22,5414	2-20 (arenoso)	Rápida (15 - 25)	En la FAO presenta arenoso. El MAG lo clasifica como moderadamente rápida, tiene infiltración rápida.

En la tabla 31 de acuerdo con el análisis de los promedios de conductividad hidráulica (Ks) para cada horizonte, se observan valores que oscilan entre 22,5 y 26,9 cm/h. Ninguno de estos valores se encuentra dentro del rango considerado aceptable por la FAO para los suelos arenosos (2–20 cm/h), lo que evidencia una capacidad de conducción mayor a la que cabría esperar para esta textura. Según rangos del MAG, los resultados de Ks para H1 y H4 se clasifican como "rápidos" (15-25 cm/h), y los horizontes H2 y H3 se clasificarían como "Muy rápida" (> 25 cm/h). La elevadísima conductividad hidráulica por tanto trae consigo una alta capacidad de drenaje y una

escasa retención del agua del suelo que limitará la disponibilidad del agua para los cultivos y en consecuencia exigirá una gestión más eficiente del riego.

Tabla 32. Tabla de rangos permisibles para conductividad hidráulica saturada (Ksat)
FAO[43]A

RANGOS PERMISIBLES FAO		
TIPO DE SUELO	RANGO	UNIDAD
ARENOSOS	0,05 - 0,25	cm/h
FRANCO ARENOSOS	0,25 - 0,8	cm/h
FRANCO	0,8 - 1,3	cm/h

Tabla 33. Tabla de rangos permisibles para conductividad hidráulica saturada (Ksat)
FAO[43]B

FRANCO ARCILLOSOS	1,3 - 2,25	cm/h
ARCILLOSO LIMOSO	2,25 - 5	cm/h
ARCILLOSO	> 5	cm/h

Tabla 34. Resultado de la conductividad hidráulica saturada (Ksat) por cada calicata tomada

Ksat = Conductividad hidráulica saturada (cm/hr)				
Calicata 1	2,1049	2,5588	2,1679	2,1679
Calicata 2	2,2910	2,2245	2,1049	1,9339
Calicata 3	1,7702	2,1049	1,8367	N.A.
Calicata 4	1,8708	2,2910	1,7833	1,7315
Calicata 5	2,5825	2,9705	5,3362	3,9304
Calicata 6	2,9705	2,6597	2,8108	3,6111
Calicata 7	1,3159	1,8881	1,8951	2,0551
Calicata 8	1,2777	1,6475	1,3503	1,6906
Calicata 9	3,2332	2,8949	2,0627	2,2368
Calicata 10	4,6391	3,3299	2,6597	2,2368
Calicata 11	3,0594	2,5920	2,7393	2,2534
Calicata 12	2,4436	2,3208	2,5167	2,2534
Promedio	2,4632	2,4569	2,4386	2,3728
Max	4,6391	3,3299	5,3362	3,9304
Min	1,2777	1,6475	1,3503	1,6906

Elaborado por: Fernando Pruna

En la tabla 32, 33 y 34 de la conductividad hidráulica saturada (Ksat) en las calicatas indica que todos los valores encontrados en todos los horizontes y perfiles analizados rebasan significativamente los rangos legales impuestos por la FAO (1995), para las texturas dominantes en el área de estudio: los rangos FAO van de 0,05 a 0,25 cm/h para suelos arenosos; de 0,25 a 0,8 cm/h para suelos franco-arenosos; y de 0,8 a 1,3 cm/h para suelos francos. De este modo, los valores mínimos de Ksat por horizonte oscilan entre 1,2777 cm/h (H1) y 1,6906 cm/h (H4) y los máximos alcanzan hasta valores de 5,3362 cm/h (Calicata 11, H3).

Para los suelos clasificados como franco (rango FAO: 0,8–1,3 cm/h) se indica que casi todos los mínimos y máximos se encuentran fuera del límite superior establecido por la FAO (1995) (por ejemplo, en el horizonte H2, el mínimo es de 1,6475 cm/h y el máximo es de 4,3299 cm/h, ambos se encuentran fuera de rango); en los horizontes identificados como franco-arenoso (rango FAO: 0,25–0,8 cm/h) los mínimos como 1,2777 cm/h ya se encuentran entre 1,5 veces y hasta 5 veces por encima del máximo permitido; lo mismo ocurre para los horizontes reportados como arenoso, donde el mínimo es de 1,2777 cm/h (5 veces más del límite superior FAO).

Por otro lado, algunos valores de Ksat están cerca de los rangos para los suelos franco-arcillosos (1,3-2,25 cm/h) o arcilloso limoso (2,25-5 cm/h), como por ejemplo los 2,1679 cm/h según Calicata 1, H4 o 2,2910 cm/h según Calicata 4, H2. Sin embargo, la mayoría de ellos está por encima del límite superior para las texturas originariamente identificadas. En definitiva, los valores de Ksat en las calicatas están por encima de los rangos FAO correspondientes a las texturas reportadas en el campo, pues los valores mínimos y máximos observados solamente serían admisibles para suelos de textura arcilloso limoso o arcillosa (por encima de 2,25 cm/h), categorías que no dominan la zona, tal y como se desprende del levantamiento de perfiles. Esto quiere decir que los suelos de la zona tienen una permeabilidad mucho más grande de lo esperado.

Tabla 35. Tabla de rangos permisibles para conductividad hidráulica saturada (Ksat)

MAG[42]

RANGOS PERMISIBLES MAG		
CATEGORÍA	RANGO	UNIDAD
MUY LENTA	< 0,15	cm/h
LENTA	0,15 - 0,5	cm/h
MODERADAMENTE LENTA	0,5 – 2	cm/h

MODERADA	2 - 6,5	cm/h
MODERADAMENTE RÁPIDA	6,5 - 15	cm/h
RAPIDA	15 - 25	cm/h
MUY RAPIDA	> 25	cm/h

Como se observa en la tabla 34 y 35 para los suelos arenosos (FAO: 0,05–0,25 cm/h), los valores de Ksat registrados a partir de ellas son de 1,3159 cm/h y 4,6391 cm/h, lo que supone una diferencia mayor de 15 veces respecto a la media del límite superior FAO. En cuanto al MAG, todos los valores analizados pertenecen a las categorías de “lenta” (0,5–2 cm/h) o bien “moderada” (2–6,5 cm/h).

En los suelos franco-arenosos (FAO: 0,25–0,8 cm/h), el patrón se repite. La Ksat medida está en un intervalo desde 1,3159 cm/h y 5,3362 cm/h, unos valores que también corresponden la media del límite superior para esta textura a nivel de FAO. En el MAG, estos resultados quedan en las categorías de “lenta” y “moderada”.

Para los suelos francos (FAO: 0,8–1,3 cm/h), los valores más bajos que observamos (1,3159–1,8951 cm/h) quedan sólo por encima del límite superior pero la mayoría de ellos lo exceden claramente con valores de hasta 3,9304 cm/h. En cuanto al MAG son valores que todavía están relativamente entre “lenta” y “moderada”.

Para suelos franco arcillosos (FAO: 1,3–2,25 cm/h), la mayoría de los valores de Ksat van desde 1,8951 cm/h hasta 2,9705 cm/h respecto al límite FAO. En MAG se quedan entre “lenta” y “moderada” para esta textura.

Finalmente, en lo que respecta a los suelos arcilloso limosos. FAO : 2,25–5 cm/h, solo algunos de los horizontes se encuentran en el rango o lo sobrepasan. Este es el caso de los dos perfiles mencionados anteriormente, la calicata 10, con 4,6391 cm/h y la calicata 11 con 5,3362 cm/h. Según el MAG, casi todas las muestras se encuentran en el rango “moderadamente lenta” o “moderada”

Tabla 36. Tabla comparativa de los valores promedios de Ksat por horizonte según FAO Y MAG

Tabla comparativa de los valores promedios de Ksat por horizonte según FAO Y MAG				
Horizonte	Ksat promedio (cm/h)	Rango FAO (cm/h)	MAG	Interpretación

1	2,4632	Arcilloso limoso (2,25 - 5)	Moderada (2 - 6,5)	Valor adecuado, buen drenaje y retención.
2	2,4569	Franco arcilloso (2,25 - 5)	Moderada (2 - 6,5)	Tienen buenas clasificaciones, óptimo para cultivos.
3	2,4386	Franco arcilloso (2,25 - 5)	Moderada (2 - 6,5)	Tiene buen drenaje y retención.
4	2,3728	Franco arcilloso (2,25 - 5)	Moderada (2 - 6,5)	Condición ideal para la mayoría de cultivos.

Elaborado por: Fernando Pruna

En la tabla 36 los valores promedios que se han obtenido de la conductividad hidráulica saturada (Ksat) en todos los horizontes estos se encuentra en la categoría de arcilloso limoso. Según la FAO, en la clase moderada, según el MAG. Esto muestra que los suelos presentan un equilibrio adecuado entre capacidad de drenaje y retención de agua, esto favorece a la mayoría de cultivos bajo condiciones de manejo agrícola.

Tabla 37. Tabla de rangos permisibles para capacidad de campo según Israelsen y Hansen 1979[44]

RANGOS PERMISIBLES DE CAPACIDAD DE CAMPO SEGÚN ISRAELSEN Y HANSEN 1979		
TIPO DE SUELO	RANGO	UNIDADES
ARENOSO	0,06 - 0,12	g/g
FRANCO-ARENOSO	0,10 - 0,18	g/g
FRANCO	0,18 - 0,26	g/g
FRANCO-ARCILLOSO	0,23 - 0,31	g/g
ARCILLOSO-ARENOSO	0,27 - 0,35	g/g
ARCILLOSO	0,31 - 0,39	g/g

Tabla 38. Resultado del contenido de humedad a 33 kPa, capacidad de campo

Q33 = Capacidad de campo (g/g)				
Calicata 1	0,1514	0,1369	0,1474	0,1474
Calicata 2	0,1439	0,1479	0,1514	0,1589
Calicata 3	0,1709	0,1514	0,1579	N.A.
Calicata 4	0,1674	0,1439	0,1619	0,1659
Calicata 5	0,1416	0,1306	0,0871	0,1086
Calicata 6	0,1306	0,1376	0,1341	0,1161
Calicata 7	0,1971	0,1721	0,1676	0,1646
Calicata 8	0,2011	0,1786	0,1976	0,1791
Calicata 9	0,1231	0,1301	0,1601	0,1571
Calicata 10	0,0981	0,1191	0,1376	0,1571

Calicata 11	0,1266	0,1371	0,1336	0,1481
Calicata 12	0,1451	0,1441	0,1411	0,1481
Promedio	0,1497	0,1441	0,1481	0,1501
Max	0,2011	0,1786	0,1976	0,1791
Min	0,0981	0,1191	0,0871	0,1086

Elaborado por: Fernando Pruna

En la tabla 38 del grado de la capacidad de campo (θ_{33}) de los suelos estudiados indican valores en los diferentes lugares de la calicata cuyos valores están entre 0,0871 g/g y 0,2011 g/g. El valor medio por horizonte ofrezca valores que oscilan de 0,1411 g/g a 0,1497 g/g, mostrando en general la mínima capacidad de almacenar agua en la mayor parte del perfil del suelo. En la tabla 37 al comparar los datos obtenidos respecto a los rangos permisibles por Israelsen y Hansen (1979), se ha observado que la más parte de los valores de Q33 se encuentran en los rangos correspondientes a los suelos arenosos (0,06–0,12 g/g) y franco-arenosos (0,10–0,18 g/g), por ejemplo, los valores de 0,1306 g/g (Calicata 5, H1) o 0,1369 g/g (Calicata 1, H2).

Ambos valores son característicos de suelos que presentan una alta cantidad de arena y una baja proporción de fracción fina, qué también explica que haya una baja capacidad de almacenamiento de agua útil para las plantas.

En cambio, ninguno de los valores obtenidos logra alcanzar el rango que le corresponde de suelos francos (0,18-0,26 g/g) o más finos, dado que el valor máximo obtenido, 0,2011 g/g (Calicata 8, H1) se sitúa muy por debajo del umbral mínimo aceptable de dicho tipo de suelo. De esta afirmación cabe considerar que, a pesar de que pueda existir variación textural entre horizontes, la cual podría haber desencadenado el correspondiente aumento del valor en el tiempo, la mayoría de los perfiles encontrando una texturas ligeras dominando fracciones arenosas y franco-arenosas.

Tabla 39. Tabla de rangos permisibles para capacidad de campo según Olalla y Valero 1992[45]

RANGOS PERMISIBLES SEGÚN OLALLA Y VALERO 1992		
TIPO DE SUELO	RANGO	UNIDAD
ARCILLA	0,23 - 0,46	g/g
FRANCO – ARCILLOSA	0,18 - 0,23	g/g
FRANCA	0,12 - 0,18	g/g
FRANCO-ARENOSA	0,08 - 0,13	g/g
ARENA	0,05 - 0,07	g/g

En la tabla 38 los valores de capacidad de campo (θ 33) observados en los diferentes valores entre 0,0871 g/g (el más bajo, Calicata 5 H3) y 0,2011 g/g (el más alto, Calicata 8 H1) y donde los promedios por horizonte oscilan entre 0,1411 g/g y 0,1497 g/g. **En la tabla 39** al comparar los datos obtenidos con los rangos establecidos por Olalla y Valero (1992): No hay ningún dato de punto de marchitez que pueda estar en el ámbito de la arena (0,05–0,07 g/g), pues para todos los suelos analizados se obtiene que la capacidad de campo es superior a la que tienen los suelos arenosos. Los niveles bajo el valor de 0,08–0,13 g/g sólo los encontramos en los valores más bajos del rango, valores como 0,0981 g/g (Calicata 10 H1) y 0,0871 g/g (Calicata 5 H3); la mayoría de resultados superan el límite superior de 0,13 g/g. Los límites de capacidad de campo para los suelos francos (0,12–0,18 g/g) se encuentran en la mayoría de las series de valores obtenidos.

Por ejemplo, valores como 0,1514 g/g (Calicata 3 H2) y 0,1474 g/g (Calicata 1 H1) o los promedios de todos los horizontes. En el límite superior de franco-arcillosa (0,18–0,23 g/g) sólo el máximo, 0,2011 g/g (Calicata 8 H1) o algunos valores cercanos pueden entrar en este rango por lo que se evidencia que los suelos de mayor contenido en arcilla tienen poca representatividad en la zona. Arcilla (0,23–0,46 g / g): Ningún valor de θ 33 se aproxima al valor correspondiente a los suelos arcillosos fundamentales. Se identifica que el 80-90% de la capacidad del campo calculada corresponde a texturas del tipo franco – según la escala de Olalla y Valero.

Tabla 40. Tabla comparativa de capacidad de campo promedios vs rangos Olalla y Valero (1992)

Tabla comparativa de los valores promedios de capacidad de campo por horizonte según FAO Y MAG				
Horizonte	Capacidad de campo (g/g)	Israelsen y Hansen	Olalla y Valero	Interpretación
1	0,1497	Franco arenoso (0,10 - 0,18)	Franco (0,12 - 0,18)	Tiene retención adecuada.
2	0,1441	Franco arenoso (0,10 - 0,18)	Franco (0,12 - 0,18)	Buen almacenamiento de humedad
3	0,1481	Franco arenoso (0,10 - 0,18)	Franco (0,12 - 0,18)	Apto para cultivos variados.

4	0,1501	Franco arenoso (0,10 - 0,18)	Franco (0,12 - 0,18)	Retención adecuada
---	--------	---------------------------------	----------------------	--------------------

Elaborado por: Fernando Pruna

En la tabla 40 los valores promedios de la capacidad de campo (θ 33) de los diferentes horizontes analizados indica que todos los valores promedios están alrededor del orden de magnitud de 0,14 – 0,15 g/g. De acuerdo a los criterios de rangos de textura textural expresados en los rangos de textura Franco-arenosa (0,10 – 0,18 g/g) según los rangos de Israelsen y Hansen (1979) y a texturas franca (0,12 - 0,18 g/g) de acuerdo a Olalla y Valero (1992), se puede indicar que los suelos que fueron objetos de estudio presentan una textura en términos de la profundidad de campo, con lo que se llega a la conclusión de que la retención de agua entre las partículas y en las partículas es la adecuada para la mayor parte de los cultivos estudiados. Este hecho es el que permite alcanzar la potencialidad productiva y en el cual el riesgo de estrés hídrico será mínimo siempre que el manejo agrícola sea el adecuado.

Tabla 41. Tabla de rangos permisibles de punto de marchitez permanente según Israelsen y Hansen 1979[44]

RANGOS PERMISIBLES DE PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE SEGÚN ISRAELSEN Y HANSEN 1979		
TIPO DE SUELO	RANGO	UNIDADES
ARENOSO	0,02 - 0,06	cm ³ /cm ³
FRANCO-ARENOSO	0,04 - 0,08	cm ³ /cm ³
FRANCO	0,06 - 0,10	cm ³ /cm ³
FRANCO-ARCILLOSO	0,12 - 0,15	cm ³ /cm ³
ARCILLOSO-ARENOSO	0,14 - 0,18	cm ³ /cm ³
ARCILLOSO	0,16 - 0,20	cm ³ /cm ³

Tabla 42. Resultado de contenido de humedad a 1500 kPa, punto de marchitez permanente

θ 1500=Punto de marchitez permanente (cm ³ /cm ³)				
Calicata 1	0,0352	0,0285	0,0285	0,0285
Calicata 2	0,0285	0,0352	0,0352	0,0418
Calicata 3	0,0618	0,0352	0,0285	N.A.
Calicata 4	0,0618	0,0285	0,0352	0,0418
Calicata 5	0,0452	0,0385	0,0185	0,0252
Calicata 6	0,0385	0,0385	0,0385	0,0318
Calicata 7	0,0852	0,0785	0,0652	0,0718
Calicata 8	0,0918	0,0718	0,0918	0,0785

Calicata 9	0,0318	0,0318	0,0585	0,0652
Calicata 10	0,0252	0,0252	0,0385	0,0652
Calicata 11	0,0318	0,0318	0,0318	0,0385
Calicata 12	0,0452	0,0318	0,0385	0,0385
Promedio	0,0485	0,0396	0,0424	0,0479
Max	0,0918	0,0785	0,0918	0,0785
Min	0,0252	0,0252	0,0185	0,0252

Elaborado por: Fernando Pruna

En la tabla 42 de marchitez permanente obtenidos en los diferentes análisis se encuentran en el rango de 0,0185 cm³/cm³ (mínimo) y 0,0918 cm³/cm³ (máximo) y con los promedios por horizonte entre 0,0396 cm³/cm³ y 0,0485 cm³/cm³. Al comparar estos resultados de la **tabla 41** con los valores de referencia: Arenoso (0.02 - 0.06 cm³/cm³): Para este rango, la mayor parte de los resultados obtenidos pertenecen a esta categoría, sobre todo los valores más bajos y los promedios. Por ejemplo, la calicata 2 (H1: 0,0285), calicata 5 (H3: 0,0185) y calicata 11 (H1: 0,0318) se pueden considerar perfectamente caracterizados por la misma. Franco-arenoso (0,04 - 0,08 cm³/cm³): Varios resultados, especialmente los promedios y los máximos, se hallan dentro de él. Ejemplo calicata 4 (H1: 0.0618) y calicata 8 (H1: 0.0918). Franco (0,06 - 0,10 cm³/cm³): Apenas hay unos pocos valores máximos, como 0,0785, 0,0918 que alcanzan o están fuera de él, cosa que demuestra que la textura gruesa o presencia de fracción arcillosa es baja en las áreas analizadas. Franco-arcilloso, arcilloso-arenoso y arcilloso: No se obtienen ningún valor para estos rangos (todos > 0,12 cm³/cm³), lo que viene a constatar que no existen horizontes arcillosos predominantes en las calicatas analizadas.

Casi el 90% de los valores de punto de marchitez permanente se encuentra en los rangos de suelos arenosos y franco - arenosos según Israelsen y Hansen. Esto demuestra que tiene una fracción fina muy baja y en consecuencia de esto una capacidad limitada de retención de humedad disponible para las plantas en condiciones de sequía.

Tabla 43. Tabla de rangos permisibles para punto de marchitez permanente según Olalla y Valero 1992[45]

RANGOS PERMISIBLES SEGÚN OLALLA Y VALERO 1992		
TIPO DE SUELO	RANGO	UNIDAD
ARCILLA	0,13 - 0,29	cm ³ /cm ³
FRANCO - ARCILLOSA	0,09 - 0,10	cm ³ /cm ³
FRANCA	0,04 - 0,11	cm ³ /cm ³
FRANCO-ARENOSA	0,04 - 0,06	cm ³ /cm ³

ARENA	0,01 - 0,03	cm^3/cm^3
-------	-------------	-------------

En la tabla 42 los resultados obtenidos de punto de marchitez, dentro de las calicatas oscilan entre $0,0185 cm^3/cm^3$, el mínimo y, $0,0918 cm^3/cm^3$, el máximo, tendiendo a unos promedios por horizonte entre $0,0396 cm^3/cm^3$ y $0,0485 cm^3/cm^3$. **En la tabla 43** al comparar estos resultados dentro del rango de los valores propuestos por Olalla y Valero (1992), se concluye lo siguiente: Arena ($0,01-0,03 cm^3/cm^3$). Algunos de los valores mínimos son los que se encuentran en este rango, como son $0,0185 cm^3/cm^3$ (Calicata 5, H3) y $0,0252 cm^3/cm^3$ (Calicata 4, H4); en general, el resto de las muestras presenta y se halla por encima del límite superior para arena. Franco-arenosa ($0,04-0,06 cm^3/cm^3$). Todos los valores promedios y la mayoría de los valores mínimos se encuentran dentro del rango; por ejemplo: Promedio H2 ($0,0396 cm^3/cm^3$), Calicata 2 H2 ($0,0352 cm^3/cm^3$) y varios valores de calicatas oscilando entre $0,0418-0,0618 cm^3/cm^3$. Franco ($0,04-0,11 cm^3/cm^3$). Muchos de los valores máximos y un par de promedios se hallan ajustados a este rango; por ejemplo, $0,0918 cm^3/cm^3$ (Calicata 8, H1) se encuentra en el borde superior y los promedios, como $0,0485 cm^3/cm^3$ (H1), están bien posicionados dentro del rango. Franco-arcilloso ($0,09-0,10 cm^3/cm^3$). Solo los valores máximos, como son $0,0918 cm^3/cm^3$ o $0,0785 cm^3/cm^3$ se ajustan a este rango; este dato confirma que los horizontes finos no suelen hallarse. Arcilla ($0,13-0,29 cm^3/cm^3$). Ninguno de los valores de θ_{1500} se muestra en este rango, lo cual indica que, a priori, ninguno de los suelos investigados ha sido arcilloso.

Se observó que el 75% de los valores de punto de marchitez permanente pertenecen a texturas franco-arenosas y francas, lo que indica que estos suelos, aun teniendo mayor capacidad de retención de humedad que los arenosos puros, siguen presentando una disponibilidad de agua muy restringida bajo condiciones de estrés hídrico; solo valores muy concretos se asocian a arena (mínimos) o a franco-arcillosa (máximos).

Tabla 44. Tabla comparativa de punto de marchitez permanente promedios Israelsen y Hansen (1979) vs Olalla y Valero (1992)

Tabla comparativa de punto de marchitez permanente de promedios Israelsen y Hansen (1979) vs (Olalla y Valero 1992)						
Horizonte	Punto de marchitez permanente cm^3/cm^3	Rango Hansen	Categoría	Categoría Olalla y Valero	Categoría	Interpretación

1	0,0485	0,04 - 0,08	Franco - Arenoso	0,04 - 0,06	Franco - arenoso	Baja a moderada retención hídrica
2	0,0396	0,04 - 0,09	Franco - Arenoso	0,04 - 0,06	Franco - arenoso	Bajo contenido, típicos suelos ligeros.
3	0,0424	0,04 - 0,10	Franco - Arenoso	0,04 - 0,06	Franco - arenoso	Textura ligera, rápida pérdida de agua.
4	0,0479	0,04 - 0,11	Franco - Arenoso	0,04 - 0,06	Franco - arenoso	Baja capacidad de retención hídrica.

Elaborado por: Fernando Pruna

En la tabla 44 los valores promedios del umbral de marchitez (Q1500) demuestra que todos los horizontes se encuentran dentro de la fracción franco-arenosa dado los resultados tanto de Israelsen & Hansen (1979) como Olalla & Valero (1992) lo que implica que los suelos evaluados poseen una débil a moderada capacidad de retención de humedad en situaciones de sequía, propia de estos tipos de texturas por lo que se recomendaría efectuar el riego para asegurar el recurso hídrico a los cultivos en este tipo de suelos.

Tabla 45. Tabla de rangos permisibles para contenido de carbono orgánico MAG Y FAO[46]

RANGOS PERMISIBLES MAG Y FAO		
TIPO DE SUELO	RANGO	UNIDAD
MUY BAJO	0,015	%
BAJO	0,13	%
MEDIO	0,26	%
ALTO	0,38	%
MUY ALTO	> 0,82	%

Tabla 46. Resultados del contenido de carbono orgánico (OC)

OC = Contenido de carbono orgánico (%)				
Calicata 1	0,3961	0,3503	0,3628	0,3628
Calicata 2	0,3586	0,3919	0,3961	0,4336
Calicata 3	0,5336	0,3961	0,3753	N.A.
Calicata 4	0,2094	0,3586	0,4086	0,4419
Calicata 5	0,4273	0,3857	0,2482	0,3023
Calicata 6	0,3857	0,3940	0,3898	0,3398

Calicata 7	0,6648	0,6065	0,5440	0,5690
Calicata 8	0,6982	0,5857	0,6940	0,8282
Calicata 9	0,3482	0,3565	0,5065	0,5315
Calicata 10	0,2898	0,3148	0,3940	0,5315
Calicata 11	0,3523	0,3648	0,3607	0,4065
Calicata 12	0,4315	0,3732	0,3982	0,4065
Promedio	0,4246	0,4065	0,4232	0,4685
Max	0,6982	0,6065	0,6940	0,8282
Min	0,2094	0,3148	0,2482	0,3023

Elaborado por: Fernando Pruna

Los porcentajes de la **tabla 46** de carbono orgánico obtenidos en las calicatas van entre 0,2094% (calicata 4, H1) y 0,6982% (calicata 8, H1) para la mayoría, con un rango creciente de porcentajes entre 0.3 – 0.5%. Al comparar estos porcentajes con la **tabla 45** de MAG y FAO resulta: Muy bajo ($\leq 0,015\%$); bajo ($\leq 0,13\%$): No hay contenidos de carbono orgánico que se enmarquen dentro de estas categorías pues todos los suelos se encuentran muy por encima de estos valores. Medio (0,26%): La mayoría de valores, especialmente para los horizontes más superficiales, se encuentran muy por encima del umbral de contenido medio de la materia orgánica, en las categorías “alto” (0,38%) y “muy alto” ($>0,82\%$). Alto (0,38%): Un número considerable de resultados se mueven cerca de este valor o lo sobrepasan, lo que indica una buena presencia de materia orgánica, especialmente en calicatas como la 3, con hasta 0,5336 y la 8 con 0,6982%. Muy alto ($>0,82\%$): No aparecen resultados por encima de este umbral, aunque varios oscilan cerca de él. Este hecho, refleja una buena capacidad para el establecimiento de condiciones favorables para el desarrollo microbiano y para la fertilidad del suelo. Desde un punto de vista textural (suelos arenosos, franco-arenosos y francos) son importantes los valores altos de carbono orgánico puesto que los suelos texturalmente ligeros suelen perder materia orgánica más rápido por descomposición y lixiviación. De este modo, mantener valores superiores a 0,38% en suelos francos y franco-arena, la capacidad de retención de agua.

Tabla 47. Tabla comparativa de carbono orgánico promedio (%) por horizonte vs rangos MAG y FAO

Tabla comparativa de contenido de carbono orgánico promedio (%) por horizonte vs rangos MAG y FAO			
Horizonte	Oc promedio (%)	Categoría MAG - FAO	Interpretación

1	0,4246	Alto ($\geq 0,38$)	Buen contenido fértil.
2	0,4065	Alto ($\geq 0,38$)	Suelo con alta fertilidad.
3	0,4232	Alto ($\geq 0,38$)	Óptimo para producción agrícola.
4	0,4685	Alto ($\geq 0,38$)	Muy buen contenido, mantiene fertilidad.

Elaborado por: Fernando Pruna

En la **tabla 47** se visualiza los valores promedio de carbono orgánico (%) por horizonte. El análisis presenta que en todos los horizontes se encuentran concentraciones superiores a 0,38% entrando en la categoría de "alto". Observando los rangos de MAG y FAO este alto contenido de materia quiere decir que hay suelo fértiles, con buena capacidad de retención de agua y nutrientes.

5.4. Tabla de recomendaciones para tipo de cultivos aptos para cada zona de estudio

En la **tabla 48** la evaluación de los sectores Apagua, Llallachanchi, Pujilí 3 de Mayo, Chaupi, Guangaje y La Victoria indica que todos los sectores presentan un contenido de materia orgánica muy elevado en sus suelos. Este último aspecto es determinante para la fertilidad del suelo, pues indica una buena estructura del suelo, mayor capacidad de retención de agua y de nutrientes, condiciones óptimas para el desarrollo de cultivos diversos y de alto rendimiento agronómico. Por tal razón, en cada uno de los sectores se recomienda la siembra de cultivos de cebada; frejol voluble; mora de castilla; quinua; chocho; papa y trigo, para los cuales los suelos con alto contenido de materia orgánica resultan muy apropiados. En los sectores de Pujilí 3 de Mayo y La Victoria, también se recomienda el cultivo de tomate de árbol, para incrementar un poco más la diversidad productiva.

*Tabla 48. Tabla de recomendación de tipo de cultivos aptos recomendados según el
MAG*

TIPO DE CULTIVO RECOMENDADO SEGÚN EL MAG		
Sectores	Contenido de carbono orgánico.	Tipo de cultivo
Apagua	Alto	Cebada, frejol voluble, mora de castilla, quinua, chocho, papa, trigo.
Llallachanchi	Alto	Cebada, frejol voluble, mora de castilla, quinua, chocho, papa, trigo.

Pujilí 3 de mayo	Alto	Cebada, frejol voluble, mora de castilla, quinua, chocho, papa, trigo, tomate de árbol.
Chaupi	Alto	Cebada, frejol voluble, mora de castilla, quinua, chocho, papa, trigo.
Guangaje	Alto	Cebada, frejol voluble, mora de castilla, quinua, chocho, papa, trigo.
La Victoria	Alto	Cebada, frejol voluble, mora de castilla, quinua, chocho, papa, trigo, tomate de árbol.

Elaborado por: Fernando Pruna

5.5. Discusión de resultados

El estudio de los suelos de la zona de estudio fue basado en el análisis de varios parámetros tales como la conductividad hidráulica (k_s), la conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) toda esta medida en cm/h, la capacidad de campo en g/g, el agua del suelo en el punto de marchitez permanente en cm^3/cm^3 y finalmente el contenido de carbono orgánico en %. Estos parámetros son considerados importantes para el comportamiento hidrológico y la productividad de los suelos agrícolas.

En relación a la conductividad hidráulica (K_s), los promedios obtenidos fueron de 26.86 cm/h para H2, 23.50 cm/h en H1, 26.26 cm/h para H3 y 22.54 cm/h para H4. Todos los valores obtenidos superan ampliamente el rango máximo recomendado para suelos arenosos (2-20 cm/h) establecido por la FAO y caen en la categoría rápida (15-25 cm/h) y muy rápida (>25 cm/h) según el MAG. Esta diferencia numérica sugiere una alta percepción de la permeabilidad y una lectura baja de la capacidad de retención de agua, lo que implica que los suelos están bien drenados pero quizás con limitaciones para contar con agua de cultivo útil para épocas secas.

La conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) mostró como promedio para los cuatro horizontes analizados los valores de 2,4632 cm/h en H1, de 2,4569 cm/h en H2, de 2,4386 cm/h en H3 y de 2,3728 cm/h en H4. Estos valores se encuentran en el intervalo correspondiente a textura arcilloso limoso de acuerdo a la FAO (2,25–5 cm/h) y también en la categoría moderada en la clasificación MAG (2–6,5 cm/h) por lo que muestran, en este caso, un más fácil drenaje y una mayor facilidad capacidad de infiltración que se puede atribuir principalmente a la textura que rige también la estructura física y el manejo agrícola de la zona objeto de la evaluación.

En términos de la capacidad del campo (θ_{33}) los valores promedio por horizonte fueron de 0.1497 g/g en H1, 0.1441 g/g para H2, 0.1481 g/g para H3 y 0.1501 g/g para H4. Dichos valores forman parte de la categoría franco-arena según Israelsen & Hansen (0.10-0.18 g/g) y franca

según Olalla & Valero (0.12-0.18 g/g). Son suelos de textura media con capacidad de retención de humedad adecuada para la agricultura, aunque menor que los suelos arcillosos. Estos resultados concuerdan con los tipos de valores que se obtienen en suelos con estas texturas en la zona.

En cuanto al criterio de marchitez permanente (θ_{1500}), los promedios se situaron entre 0,0396 cm³/cm³ en H2, 0,0424 cm³/cm³ en H3, 0,0479 cm³/cm³ en H4 y 0,0485 cm³/cm³ en H1, dando lugar a valores que para la descripción de la textura del suelo en las categorías franco-arenoso según Israelsen & Hansen (0,04–0,08 cm³/cm³) o franco-arenoso según Olalla & Valero (0,04–0,06 cm³/cm³), muestran la baja moderada de capacidad de retención de agua de los respectivos perfiles en condiciones de sequía.

Por otro lado, por último, cabe mencionar que el contenido de carbono orgánico (OC) arrojó valores promedios por horizonte de 0,4246% en H1, 0,4065% en H2, 0,4232% en H3 y 0,4685% en H4, es decir, en todos los perfiles se ubican en la categoría alto según los rangos propuestos por el MAG y la FAO ($\geq 0,38\%$). Este nivel de materia orgánica favorece la fertilidad del suelo, la capacidad de retención de humedad y la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo.

Finalmente, el análisis comparado de los parámetros físicos del suelo con las normas internacionales y las nacionales demuestra que los suelos de la zona presentan alta permeabilidad (K_s y K_{sat} superiores a los mínimos de referencia), capacidad de retención de agua excelentemente moderada (θ_{33} entre 0,1441 y 0,1501 g/g), baja a moderada retención en la sequía (θ_{1500} entre 0,0396 y 0,0485 cm³/cm³) y un gran contenido de materia orgánica (OC entre 0,4065 y 0,4685%). Estos factores promueven los rendimientos agrícolas, aunque obligan a un buen control del agua y el regadío para sacar el máximo partido a los cultivos en aplicación a las características estudiadas en la zona.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El diseño del muestreo abarcó distintos sectores del cantón Pujilí, pudiendo así lograr caracterizar la diversidad textural y las condiciones físicas del suelo mediante 12 calicatas distribuidas de forma estratégica. El hecho de tomar muestras por cada uno de los cuatro horizontes de cada calicata, se logró asegurar que los resultados reflejaran con certeza diversidad edáfica del territorio en donde predominan los suelos franco-arenosos y francos pero también se encontraron horizontes que mostraron texturas arcilloso-limosas.

- Los análisis realizados en el laboratorio proporcionaron información precisa y valiosa sobre el comportamiento físico de los suelos que han sido separados y evaluados. En la Conductividad hidráulica (K_s), los promedios fueron 23,50 cm/h (H1), 26,86 cm/h (H2), 26,26 cm/h (H3) y 22,54 cm/h (H4) todos los valores superan el rango de lo que sugiere la FAO como el máximo para suelos arenosos (2 a 20 cm/h), y de acuerdo a la clasificación del MAG la H1 y H4 corresponderían a la categoría de "rápido" (15 a 25 cm/h) mientras que la H2 y H3 serían "muy rápido" (>25 cm/h). Los resultados evidencian en consecuencia suelos de altísima permeabilidad. En la conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) los valores medios encontraron los 2,46 cm/h (H1), 2,46 cm/h (H2), 2,44 cm/h (H3) y 2,37 cm/h (H4) dentro de los propuestos por la FAO para suelos arcilloso-limosos (2,25 a 5 cm/h) y los propuestos como rangos de "moderada" por el MAG (2 a 6,5 cm/h); efectivamente, permiten una buena infiltración del agua, pero sin llegar a ser excesivamente drenantes. Capacidad de campo (Q_{33}) Como valores medios se obtuvieron: 0,1497 g/g (H1); 0,1441 g/g (H2); 0,1481 g/g (H3); 0,1501g/g (H4). Según la escala de Hansen (0,10-0,18 g/g) estos valores pertenecen a suelos franco arenosos y según Valero (0,12-0,18 g/g) a suelos francos. Insistiendo con esta última, podemos decir que la condición del suelo retiene una agua suficiente para abastecer normalmente los cultivos aunque es menor que la capacidad de los suelos más arcillosos. Punto de marchitez permanente (Q_{1500}) Los valores medios han sido: 0,0485 cm³/cm³ (H1); 0,0396 cm³/cm³ (H2); 0,0424 cm³/cm³ (H3); 0,0479 cm³/cm³ (H4). Utilizando la escala de Hansen (0,04-0,08 cm³/cm³) y la de Valero(0,04-0,06 cm³/cm³) los valores demostraron que los suelos presentan baja retención de humedad a moderada en condiciones de sequía, característica de texturas ligeras y suelos bien aireados. Esto significa que un riego bien programado es indispensable para evitar el estrés excesivo en los cultivos, ya que sobre todo en los meses secos su capacidad puede agotarse rápidamente. Carbono orgánico (OC) Los valores medios se situaron en los siguientes extremos: de 0,4065 % (H2) a 0,4685 % (H4) todos ellos claramente por encima del umbral de "alto" que define FAO y MAG ($\geq 0,38$ %), lo cual es especialmente positivo por la importancia de la materia orgánica ya que no sólo mejora la estructura del suelo, sino que también mejora hay una gran mejora respecto a la retención de humedad, el incremento de nutrientes.
- Los valores obtenidos en el campo son destacables por el buen rendimiento que tienen en todos los estándares y rangos técnicos de referencia La K_{sat} es superior a los registros institucionales que proporciona el MAG para suelos francos y arcillosos de la región

andina, los que son superiores a 1,0 cm/h en todos los horizontes, confirmando la rápida dinámica de infiltración en el suelo local. Los valores de Ks están por encima de los valores que consigna la FAO para los suelos arenosos, entre 22,54 y 26,86 cm/h, lo que indica suelos de alta capacidad de drenaje muy superior a los promedios internacionales para su textura. Encontramos en los valores obtenidos de capacidad de campo y en los valores de punto de marchitez permanente estos vendrían a ser similares a los rangos indicados por Hansen y Valero, lo que indica que la textura, el manejo y la estructura del suelo de Pujilí posibilita un equilibrio adecuado entre la retención y disponibilidad hídrica, aunque requiere atenciones especiales de riego en algunos períodos de escasez. El carbono orgánico es un componente que también alcanzó niveles altos según la FAO y MAG y fue superior a los valores promedio nacionales para el área de investigación, corroborando la fertilidad y las ventajas productivas que ofrecen estos suelos para la agricultura sostenible.

6.2. Recomendaciones

- Debido a la alta conductividad hidráulica (conductividad de saturación (Ks) categoría promedio alta de 22,54-26,86 cm/h) que se registró en los suelos del cantón Pujilí, se recomienda aplicar tecnologías de riego con frecuencias elevadas y caudales bajos, como podría ser el riego por goteo para así ayudar a la reducción de pérdidas por percolación profunda y lograr la adecuada disponibilidad hídrica para los cultivos. Debe considerarse la adecuada adecuación de los turnos y de las dosis de riego para cada tipo de cultivo y para cada textura de zona de acuerdo con lo requerido por los cultivos para evitar el estrés hídrico y el desperdicio del recurso hídrico.
- Dado que el carbono orgánico en todos los horizontes se posicionó por encima del 0,40% (considerando el grado "alto" para FAO y MAG), es conveniente mantener el cambio producido por la materia orgánica, incorporando abonos verdes, residuos de cosecha y compost; manteniendo las características necesarias para una óptima conservación de la estructura del suelo, para mejorar la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes, que ayuden a proteger el potencial productivo del suelo en el tiempo.
- Con respecto a la capacidad de campo tenemos valores que oscilan entre 0,1441 y 0,1501 g/g, observándose a su vez los valores del índice de la gradiente indicador de marchitez (Q1500), que en términos de valores promedios se acercan a 0,04–0,05 cm³/cm³, permiten concluir que los suelos tienen un nivel intermedio en cuanto a la retención hídrica, característica de texturas franco-arenosas y francas, por lo cual se sugiere una

alta recomendación para cultivos adaptados a estos suelos, bien por cereales, tubérculos o leguminosas, sin olvidar una rotación de cultivos entre especies de bajos requisitos hídricos en la estación seca para no provocar el agotamiento del agua del perfil.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] UNESCO, «Códigos UNESCO». Accedido: 27 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.um.es/documents/1235915/3330673/codigosUNESCO-ciencia-tecnologia.pdf/85d6ff59-e7bf-46a1-9619-fc33859e87c3>
- [2] SERGIO ANDRÉS HERRERA MOLINA JUAN DIEGO VARGAS REYES, «ECUACIÓN DE PEDOTRANSFERENCIA PARA DETERMINAR MATERIA ORGÁNICA EN FUNCIÓN DE LA ACIDEZ DE UN OXISOL BAJO EL MONOCULTIVO DE PALMA (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN EL MUNICIPIO DE CUMARAL - META.», Villavicencio, 2021. Accedido: 17 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unillanos.edu.co/server/api/core/bitstreams/bcff51a0-7e41-4a42-8e97-a995792671af/content>
- [3] A. Beniaich *et al.*, «Evaluation of pedotransfer functions to estimate some of soil hydraulic characteristics in North Africa: A case study from Morocco», *Front Environ Sci*, vol. 11, p. 1090688, feb. 2023, doi: 10.3389/FENVS.2023.1090688/BIBTEX.
- [4] Byron Fabricio Changoluisa Alvear, «Determinación de las funciones de pedotransferencia para propiedades físicas del suelo en el Ecuador», 2020, *Quito: UCE, Quito*. Accedido: 17 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21399>
- [5] L. D. Llambí, A. Soto-W, R. Céleri, B. De Bievre, B. Ochoa, y P. Borja, «Páramos Andinos Ecología, hidrología y suelos de páramos PROYECTO PÁRAMO ANDINO Agosto 2012», Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: www.flacsoandes.edu.ec
- [6] W. Buytaert *et al.*, «Human impact on the hydrology of the Andean páramos», *Earth Sci Rev*, vol. 79, n.o 1-2, pp. 53-72, nov. 2006, doi: 10.1016/J.EARSCIREV.2006.06.002.
- [7] M. S. Anderson, «History and Development of Soil Testing», *J Agric Food Chem*, vol. 8, n.o 2, pp. 84-87, 1960, doi: 10.1021/JF60108A001.
- [8] S. J. B. Pulido, I. C. Silva, M. I. Y. Díaz, y E. O. L. Robles, «Moisture retention curves and pedotransfer models in Andosol under different land uses», *Rev Mex Cienc For*, vol. 11, n.o 59, may 2020, doi: 10.29298/RMCF.V11I59.666.

- [9] F. Zúñiga *et al.*, «Propiedades morfológicas de los suelos asociadas a los ecosistemas de Páramo, Nariño, Sur de Colombia», *Terra Latinoamericana*, vol. 36, n.o 2, pp. 183-196, abr. 2018, doi: 10.28940/TERRA.V36I2.363.
- [10] N. Yáñez, D. Dec, J. Clunes, y J. Dörner, «Estimación de la curva de retención de agua de un Andisol bajo un cultivo de arándano, a través de funciones de pedotransferencia», *Agro Sur*, vol. 43, n.o 3, pp. 63-72, dic. 2015, doi: 10.4206/AGROSUR.2015.V43N3-07.
- [11] U. Edwin *et al.*, «FUNCIONES DE PEDOTRANSFERENCIA PARA DETERMINAR LA MICROPOROSIDAD DE UN TYPIC HAPLUDOX SOMETIDO A DOS DIFERENTES», Villavicencio, nov. 2018. Accedido: 16 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unillanos.edu.co/server/api/core/bitstreams/69e3c524-c457-4bb8-9bd8-bc8552e7d9a5/content>
- [12] E. D. Zimmermann y P. A. Basile, «Estimación de parámetros hidráulicos en suelos limosos mediante diferentes funciones de pedotransferencia», *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 2, n.o 1, pp. 99-116, 2011, Accedido: 16 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222011000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [13] E. Zimmermann y P. Basile, «Metodología de agregación para estimar conductividades hidráulicas en suelos heterogéneos insaturados», *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 5, n.o 4, pp. 39-55, 2014, Accedido: 16 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [14] LUCAS SANTIAGO RIVERO IRIBARNE, «CARTOGRAFÍA DE COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) A PARTIR DE DATOS REMOTOS SOBRE PALTOS EN CHILE MEDITERRÁNEO», Santiago, 2020. Accedido: 16 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/184208/Cartograf%C3%ada%20de%20coeficiente%20de%20cultivo%20%28Kc%29%20a%20partir%20de%20datos%20remotos%20sobre%20paltos%20en%20Chile%20Mediterr%C3%a1neo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [15] J. Bouma, «Using Soil Survey Data for Quantitative Land Evaluation», pp. 177-213, 1989, doi: 10.1007/978-1-4612-3532-3_4.
- [16] Jorge García Coronado y Hanoi Medina González, «Una revisión sobre las

funciones de pedotransferencias en la determinación de las propiedades hidráulicas de suelo», *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 18, pp. 59-62, 2009, [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215944011>

[17] W. J. Rawls, C. L. Brakensiek, y K. E. Saxton, «Estimation of Soil Water Properties», *Transactions of the ASAE*, vol. 25, n.o 5, pp. 1316-1320, 1982, doi: 10.13031/2013.33720.

[18] V. P. Dimri, R. P. Srivastava, y N. Vedanti, «Fluid Flow and Recovery», *Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration*, vol. 41, pp. 119-147, 2012, doi: 10.1016/B978-0-08-045158-9.00006-3.

[19] Jaime Lotero y Ramón Rodríguez, *CARACTERISTICAS FISICAS y QUIMICAS DE LOS SUELOS*. Agrosavia, 1968. Accedido: 20 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/23374>

[20] C. D. Shackelford, «Geoenvironmental Engineering», *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 2013, doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.05424-5.

[21] D. Hillel, «SOIL-WATER DYNAMICS», *Soil in the Environment*, pp. 91-101, 2008, doi: 10.1016/B978-0-12-348536-6.50012-5.

[22] SoilSense, «What is Field Capacity and why is it important?» Accedido: 20 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://soilsense.io/blog/tpost/7vl8dr5vs1-what-is-field-capacity-and-why-is-it-imp>

[23] X. Hao, M. Abou Najm, K. L. Steenwerth, M. A. Nocco, C. Basset, y A. Daccache, «Are there universal soil responses to cover cropping? A systematic review», *Science of the Total Environment*, vol. 861, feb. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.160600.

[24] «Agua del suelo | Suelos - Parte 2: Propiedades físicas del suelo y el agua del suelo - passel». Accedido: 20 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://passel2.unl.edu/view/lesson/0cff7943f577/10>

[25] N. S. Redhu, Z. Thakur, S. Yashveer, y P. Mor, «Artificial intelligence: a way forward for agricultural sciences», *Bioinformatics in Agriculture: Next Generation Sequencing Era*, pp. 641-668, ene. 2022, doi: 10.1016/B978-0-323-89778-5.00007-6.

[26] P. Tahmasebi, S. Kamrava, T. Bai, y M. Sahimi, «Machine learning in geo- and environmental sciences: From small to large scale», *Adv Water Resour*, vol. 142, ago. 2020, doi: 10.1016/j.advwatres.2020.103619.

[27] Y. D. Botula, E. Van Ranst, y W. M. Cornelis, «Pedotransfer functions to predict water retention for soils of the humid tropics: a review», *Rev Bras Cienc Solo*, vol. 38, n.o 3, pp. 679-698, 2014, doi: 10.1590/S0100-06832014000300001.

- [28] R. B. Mendoza y A. Espinoza, «Guía Técnica para Muestreo de Suelos ASA AGUA Y SUELO PARA LA AGRICULTURA», ago. 2017. Accedido: 20 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- [29] Geomecchile, «Qué es una calicata y su relevancia en el estudio del suelo». Accedido: 20 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://geomecchile.cl/2023/01/29/calicata-que-es/>
- [30] R. Reddy, «Different Methods Used in Pest Control in Crops», vol. 2023, n.o 3, p. 22, 2023, doi: 10.4172/0976-1233.001-002.
- [31] SERFOR, «Guía rápida para el levantamiento de suelos en campo», Lima, Perú, ene. 2016. Accedido: 21 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-sanmartin/archivos/public/docs/guia-rapida-para-el-levantamiento-de-suelos-en-campo.pdf>
- [32] Ingenieros Asesores, «¿Qué es una calicata? Tipos y usos - Ingenieros Asesores». Accedido: 21 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ingenierosasesores.com/actualidad/que-es-una-calicata-tipos-y-usos-en-construccion/>
- [33] CSR Laboratorio, «Muestreo de Suelo mediante Calicata con Máquina - CSR Laboratorio». Accedido: 21 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://csrlaboratorio.es/laboratorio/agricultura/suelos-agricolas/muestreo-de-suelo-mediante-calicata-con-maquina/>
- [34] Gerardo F. Ramtréz M, *Toma de muestras de suelos*, Boletín Divulgativo., vol. 3. Costa Rica, 1990. Accedido: 21 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-0416.pdf>
- [35] Juan Fernández de Ullivarri, «Guía Morfología del Suelo», Tucumán, 2023. Accedido: 21 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: www.edafologia.com.ar
- [36] Manuel Pulgar-Vidal Otálora *et al.*, «Guía para el muestreo de suelos», Lima, 2014. Accedido: 21 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>
- [37] E. Fernández Escalante, «Recarga artificial de acuíferos en cuencas fluviales. Aspectos cualitativos y medioambientales. Criterios técnicos derivados de la experiencia en la Cubeta de Santiuste (Segovia)», pp. 1-9, sep. 2005, Accedido: 21 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/540/54058837017.pdf>
- [38] Soil Quality Knowledge Base, «Cómo evaluar la textura del suelo - Base de

conocimientos sobre la calidad del suelo». Accedido: 21 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://soilqualityknowledgebase.org.au/soil-texture/>

[39] A. M. J. C. Wadoux, I. O. A. Odeh, y A. B. McBratney, «Overview of Pedometrics», *Encyclopedia of Soils in the Environment, Second Edition*, pp. V4-471-V4-485, ene. 2023, doi: 10.1016/B978-0-12-822974-3.00001-X.

[40] H. K. Bayabil, Y. T. Dile, T. Y. Tebebu, T. A. Engda, y T. S. Steenhuis, «Evaluating infiltration models and pedotransfer functions: Implications for hydrologic modeling», *Geoderma*, vol. 338, pp. 159-169, mar. 2019, doi: 10.1016/j.geoderma.2018.11.028.

[41] «Annex 5. Capillary rise and data set for soil hydraulic functions». Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/4/y4263e/y4263e0i.htm>

[42] «Geoportal del Agro Ecuatoriano». Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>

[43] FAO, «9. PERMEABILIDAD DEL SUELO». Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm

[44] Facultad de Agronomía, «AGUA EN EL SUELO», pp. 1-45, nov. 2017, Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.portalfruticola.com/2017/11/6d33e6a4-agua-en-el-suelo.pdf>

[45] P. Silva, C. Herman, S. R. Marco, y G. S. E. Acevedo, «MANUAL DE ESTUDIO Y EJERCICIOS RELACIONADOS CON EL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO Y SU USO POR LOS CULTIVOS.», pp. 1-86, 2015, Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130642/Manual-de-estudio-y-ejercicios-relacionados-con-el-contenido-de-agua.pdf>

[46] M. De *et al.*, «Límite provincial legal Límite provincial referencial Línea costera administrativa " J Isla Isabela Isla Baltra Isla San Cristóbal Isla Española Isla Santa María Isla Santa Fé Isla Fernandina Isla Santiago Isla Marchena Isla Genovesa Isla Pinzón Isla Rábida O C É A N O P A C Í F I C O PROVINCIA DE GALÁPAGOS ARCHIPIÉLAGO DE COLÓN (REGIÓN INSULAR) 0 100 50 Km ES C AL A 1 :2 .2 5 0 .0 0 0», Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://geoportal.agricultura.gob.ec>

[47] «Evaluación de la calidad del suelo: Por qué y cómo | ECHOcommunity.org». Accedido: 27 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://www.echocommunity.org/es/resources/ded105b4-d364-4c41-9d5e-563722ec93a7>

8. ANEXOS



Anexo 1. Excavación de la calicata en el sector Apagua



Anexo 2. Visualización de los horizontes en la calicata N°1



Anexo 3. Medición de los horizontes en la calicata N°1



Anexo 4. Medición de separación de cada horizonte en la calicata N°1

Coordenadas

Lat Long -0.96622631,-78.92718045
UTM 730670.975E 9893132.474N 17M
MGRS 17MQU 30671 93132
EPSG:4326 -78.92718045 -0.96622631
Elevación 4010.65 m
Elev. (msl) 3987.33 m asl.
Exactitud 3.79 m
Azimut 0.0° Declinación: -4.27°
Velocidad 0.0 m/sec
P/H/V DOP 0.7/0.4/0.6

Copiar

Compartir

Guardar

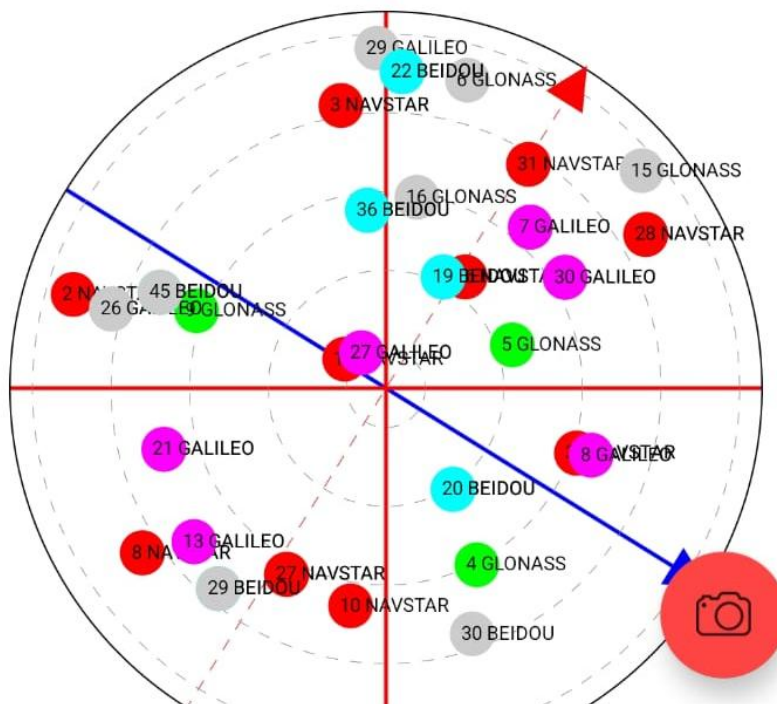
Vista satelital del cielo

Cambiar de objetivo

Objetivo: 0,0

Rodamiento de destino: 89.816193° E

Distancia del blanco: 8.786.305 m



Anexo 5. Coordenadas de la calicata ubicada en la zona de Apagua



Anexo 6. Medición de la calicata N°2 en la zona de Apagua



Anexo 7. Medición de los horizontes observados en calicata N°2 en Apagua



Anexo 8. Visualización de los horizontes en la calicata N°2 en el sector Apagua



Anexo 9. Visualización y medición entre horizontes de la calicata N°2 en el sector Apagua



Anexo 10. Observación de los horizontes de la calicata N°2 en el sector Apagua

Coordenadas

Lat Long -0.96610112,-78.92726173
UTM 730661.934E 9893146.326N 17M
MGRS 17MQU 30662 93146
EPSG:4326 -78.92726173 -0.96610112
Elevación 4003.45 m
Elev. (msl) 3980.13 m asl.
Exactitud 3.79 m
Azimut 0.0° Declinación: -4.27°
Velocidad 0.0 m/sec
P/H/V DOP 0.7/0.4/0.6

Copiar

Compartir

Guardar

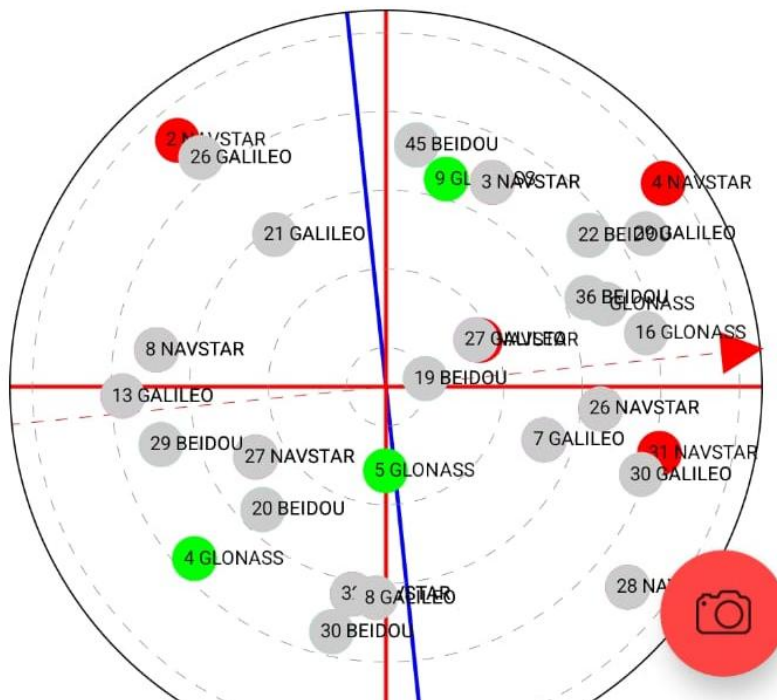
Vista satelital del cielo

Cambiar de objetivo

Objetivo: 0,0

Rodamiento de destino: 89.816223° E

Distancia del blanco: 8.786.314 m



Anexo 11. Coordenadas de la calicata N°2 en el sector Apagua



Anexo 12. Calicata número 3 en el sector de Llallachanchi



Anexo 13. Medición entre horizontes en la calicata N°3 en el sector Llallachanchi



Anexo 14. Medición de los horizontes de la calicata N°4 en el sector Llallachanchi



Anexo 15. Observación y medición de horizontes de la calicata N°4 ubicada en el sector Lllalachanchi



Anexo 16. Toma de muestras y observación de los horizontes encontrados en la calicata N°4 en Lllalachanchi



Anexo 17. Medición de la calicata N°5 ubicada en el sector 3 de Mayo - Pujilí



Anexo 18. Medición de la profundidad en la calicata N°5 en el sector 3 de Mayo - Pujilí



Anexo 19. Medición entre horizontes en la calicata N°5 en el sector 3 de Mayo - Pujilí



Anexo 20. Observación calicata N°6 en el sector 3 Mayo - Pujili



Anexo 21. Excavación de la calicata N°6 en el sector 3 de Mayo - Pujilí



Anexo 22. Observación calicata N°7 en el sector Chaupí



Anexo 23. Medición de calicata N°7 en el sector Chaupi



Anexo 24. Medición de los horizontes encontrados en la calicata N°7 en el sector Chaupi



Anexo 25. Datos informativos de la calicata N°8 en el sector Chaupi



Anexo 26. Medición de la calicata N°8 en el sector Chaupi



Anexo 27. Información general de la calicata N°9 en el sector Guangaje



Anexo 28. Medición de horizontes en la calicata N°9 en el sector Guangaje



Anexo 29. Medición de profundidad en la calicata N° 9 en el sector Guangaje



Anexo 30. Medición profundidad calicata N°9 en el sector Guanaje



Anexo 31. Información general sobre la calicata N°10 en el sector Guangaje



Anexo 32. Visualización de los horizontes en la calicata N°10 en el sector Guangaje



Anexo 33. Medición de la profundidad de la calica N°10 en el sector Guangaje



Anexo 34. Medición entre horizontes en la calicata N°10 en el sector Guangaje



Anexo 35. Información general de la calicata N°11 en el sector La Victoria



Anexo 36. Vista de horizontes localizados en la calicata N°11 en el sector La Victoria



Anexo 37. Medición de la profundidad de la calicata N°11 en el sector La Victoria



Anexo 38. Medición entre horizontes en la calicata N°11 ubicado en el sector La Victoria



UTC MATRIZ
CALICATA #12
DIMENSIONES 1 X 1,50 X 1
COORDENADAS 17 M
0756745 9895884 2967
msnm
UBICACIÓN LA VICTORIA

- C12H1 LA VICTORIA
- C12H2 LA VICTORIA
- C12H3 LA VICTORIA
- C12H4 LA VICTORIA
- C12H5 LA VICTORIA
- C12H6 LA VICTORIA
- C12H7 LA VICTORIA
- C12H8 LA VICTORIA
- C12H9 LA VICTORIA
- C12H10 LA VICTORIA

Anexo 39. Información general de la calicata N°12 en el sector La Victoria



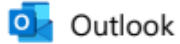
Anexo 40. Medición de profundidad de calicata N°12 en el sector La Victoria



Anexo 41. Medición de la calicata N°12 en el sector Guangaje



Anexo 42. Medición de los horizontes encontrados en la calicata N°12 en el sector La Victoria




Resultados

Desde Laboratorio DSA <laboratorio.dsa@iniap.gob.ec>

Fecha Mié 22/1/2025 12:53

Para nandop0220 <nandop0220@hotmail.com>

 4 archivos adjuntos (2 MB)

25-0009 PRUNA STEEVEN 0126 133 DA-signed-signed.pdf; 25-0008 PRUNA STEEVEN 0119 125 HG-signed-signed.pdf; 25-0008 PRUNA STEEVEN 119 125 TEXTURA +HG.-signed-signed.pdf; 25-0009 PRUNA STEEVEN 126 133 TEXTURA+HG+DA-signed-signed.pdf;

Buen día


Adjunto resultados de los análisis solicitados en proforma LASPA-P25-0005

Por favor confirmar la recepción del presente correo y de existir novedades informar a la brevedad posible.

Por favor su colaboración con esta encuesta

<https://forms.gle/nxfSt8Rn1gzxSEb8>

Anexo 43. Análisis recibidos de Apagua y Llallachanchi por parte del laboratorio INIAP


 Outlook

Resultados

Desde Laboratorio DSA <laboratorio.dsa@iniap.gob.ec>

Fecha Mié 12/2/2025 12:06

Para nandop0220 <nandop0220@hotmail.com>

 4 archivos adjuntos (2 MB)

25-0050 PRUNA FERNANDO 0261 268 HG DA-signed-signed.pdf; 25-0051 PRUNA FERNANDO 0269 276 HG DA-signed-signed.pdf; 25-0050 PRUNA FERNANDO 261 268 TEXTURA -signed-signed.pdf; 25-0051 PRUNA FERNANDO 269 276 TEXTURA -signed-signed.pdf;

Buen día

Adjunto resultados de los análisis solicitados en proforma LASPA-P25-0037

Por favor confirmar la recepción del presente correo y de existir novedades informar a la brevedad posible.

Por favor su colaboración con esta encuesta

<https://forms.gle/nxfSt8Rn1gzxSEb8>


Anexo 44. Análisis recibidos del sector 3 de Mayo - Pujilí y Chaupi proporcionadas por el laboratorio INIAP

Resultados

Desde Laboratorio DSA <laboratorio.dsa@iniap.gob.ec>

Fecha Vie 21/2/2025 15:57

Para nandop0220 <nandop0220@hotmail.com>

 4 archivos adjuntos (2 MB)

25-0066 PRUNA FERNANDO 369 376 HG.+TEX.+DA-signed-signed.pdf; 25-0067 PRUNA FERNANDO 377 384 HG.+TEX.+DA-signed-signed.pdf; 25-0066 PRUNA FERNANDO 0369 376 HG DA-signed-signed.pdf; 25-0067 PRUNA FERNANDO 0377 384 HG DA-signed-signed.pdf;

Buen día

Adjunto resultados de los análisis solicitados en proforma LASPA-P25-0044

Por favor confirmar la recepción del presente correo y de existir novedades informar a la brevedad posible.

Por favor su colaboración con esta encuesta

<https://forms.gle/nxfSt8Rn1gzxSEb8>

Anexo 45. Análisis recibidos del sector Guangaje y la Victoria proporcionados por el laboratorio INIAP

INFORME DE ENSAYO No: 25-0009

NOMBRE DEL CLIENTE: Pruna Panchi Steeven Fernando
PETICIONARIO: Pruna Panchi Steeven Fernando
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Pruna Panchi Steeven Fernando
DIRECCIÓN: Latacunga / Apagua

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 06/01/2025
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 13:17
FECHA DE ANÁLISIS: 13/01/2025
FECHA DE EMISIÓN: 22/01/2025
ANÁLISIS SOLICITADO: TEXTURA

Análisis	pH*	N*	P*	S*	B*	K*	Ca*	Mg*	Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO*	CO*	Textura (%)			Clase Textural	IDENTIFICACIÓN	
																			Arena	Limo	Arcilla			
25-0126													0,00	0,00	0,00	0,00				48	43	9	FRANCO	Muestra C1 H1
25-0127													0,00	0,00	0,00	0,00				54	39	7	FRANCO-ARENOSO	Muestra C1 H2
25-0128													0,00	0,00	0,00	0,00				48	45	7	FRANCO-ARENOSO	Muestra C1 H3
25-0129													0,00	0,00	0,00	0,00				48	45	7	FRANCO-ARENOSO	Muestra C1 H4
25-0130													0,00	0,00	0,00	0,00				50	43	7	FRANCO-ARENOSO	Muestra C2 H1
25-0131													0,00	0,00	0,00	0,00				50	41	9	FRANCO	Muestra C2 H2
25-0132													0,00	0,00	0,00	0,00				48	43	9	FRANCO	Muestra C2 H3
25-0133													0,00	0,00	0,00	0,00				46	43	11	FRANCO	Muestra C2 H4

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

OBSERVACIONES: * Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGIA USADA	
pH = Suelo: Agua [1:2,5]	P, K, Ca, Mg = Olsen Modificado
S, B = Fosfato de Calcio	Cu, Fe, Mn, Zn = Olsen Modificado
	B = Curcumina

INTERPRETACION	
pH	Elemento
Ae = Acido	N = Neutro
LAc = Liger. Acido	LAI = Lige. Alcalino
PN = Prac. Neutro	AI = Alcalino
RC = Requieren Cal	T = Tóxico (Boro)

ABREVIATURAS	
C.E.	Conductividad Eléctrica
M.O.	Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA	
C.E. = Pasta Saturada	
M.O. = Dicromato de Potasio	
Al+H = Titulación NaOH	



Firma electrónica por:
JOSE ALONSO LUCERO
 MALATAY

LABORATORISTA

INTERPRETACION			
Al+H, Al y Na	C.E.	M.O y Cl	
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino	M = Medio
T = Tóxico			A = Alto



Firma electrónica por:
IVAN RODRIGO
 SANTIAGO MALGITA

RESPONSABLE DE LABORATORIO

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

Los resultados arriba 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 correo electrónico o fax 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.

Anexo 46. Análisis proporcionados por el laboratorio INIAP del sector Apagua



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
 ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
 Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
 Tfs. (02) 3007284 / (02)2504240
 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec



INFORME DE ENSAYO No: 25-0008

NOMBRE DEL CLIENTE: Pruna Panchi Steeven Fernando
PETICIONARIO: Pruna Panchi Steeven Fernando
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Pruna Panchi Steeven Fernando
DIRECCIÓN: Lalacunga / Llalachanchi

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 06/01/2025
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 13:17
FECHA DE ANÁLISIS: 13/01/2025
FECHA DE EMISIÓN: 22/01/2025
ANÁLISIS SOLICITADO: TEXTURA

Análisis	Ph*	N*	P*	S*	B*	K*	Ca*	Mg*	Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO*	CO.*	Textura (%)				IDENTIFICACIÓN	
																			Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural		
25-0119													0,00	0,00	0,00	0,00				46	37	17	FRANCO	Muestra C3 P1
25-0120													0,00	0,00	0,00	0,00				48	43	9	FRANCO	Muestra C3 P2
25-0121													0,00	0,00	0,00	0,00				42	51	7	FRANCO-LIMOSO	Muestra C3 P3
25-0122													0,00	0,00	0,00	0,00				48	41	11	FRANCO	Muestra C4 P1
25-0123													0,00	0,00	0,00	0,00				50	43	7	FRANCO-ARENOSO	Muestra C4 P2
25-0124													0,00	0,00	0,00	0,00				42	49	9	FRANCO	Muestra C4 P3
25-0125													0,00	0,00	0,00	0,00				42	47	11	FRANCO	Muestra C4 P4

Análisis	AlH*	Al*	Na*	C.E.*	N. Total*	N-NO3*	K H2O*	P H2O*	Cl*	pH KCl*	Hg*	IDENTIFICACION
	ppm	ppm	meq/ 100g	%	%	ppm	meq/ 100g	ppm	ppm		%	

OBSERVACIONES:

* Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGÍA USADA		
pH = Suelo: Agua (1:2,5)	Fr. Ca Mg =	Olsen Modificado
SB = Fortaleza de Calcio	Ca Fe Mn Zn =	Olsen Modificado
	B =	Curcúmina

INTERPRETACION		
pH	Elemento	
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo
LAc = Liger Acido	LAJ = Lige Alcalino	M = Medio
PN = Prac. Neutro	Al = Alcalino	A = Alto
RC = Requieren Cal		T = Tóxico (Buro)

ABREVIATURAS	
C.E. =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

METODOLOGÍA USADA	
C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Dicromato de Potasio
AlH =	Turbidón NaOH



LABORATORISTA

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

Los resultados arriba 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 dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax 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.

INTERPRETACION					
AHH,Al y Na		C.E.		M.O y Cl	
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo	M = Medo	A = Alto
M = Medo	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino	M = Medo	A = Alto	
T = Tóxico					



RESPONSABLE DE LABORATORIO
 IVAN RODRIGO SANCHEZ MALGUA

RESPONSABLE DE LABORATORIO

Anexo 47. Análisis proporcionados por el laboratorio INIAP del sector Llalachanchi



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
 Panamericana Sur Km. 1, S/N Cutuglagua.
 Tfs. (02) 3007284 / (02)2504240
 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec



INFORME DE ENSAYO No: 25-0050

<p>NOMBRE DEL CLIENTE: Pruna Panchi Steeven Fernando PETICIONARIO: Pruna Panchi Steeven Fernando EMPRESA/INSTITUCIÓN: Pruna Panchi Steeven Fernando DIRECCIÓN: Latacunga Cotopaxi/Latacunga/Pujilí/3 de Mayo</p>	<p>FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 27/01/2025 HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 14:30 FECHA DE ANÁLISIS: 03/02/2025 FECHA DE EMISIÓN: 12/02/2025 ANÁLISIS SOLICITADO: TEXTURA</p>
--	---

Análisis	pH*	Nutrientes											Ca+Mg/K		Σ Bases	MO*	CO.*	Textura (%)			IDENTIFICACIÓN		
		N*	P*	S*	B*	K*	Ca*	Mg*	Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Ca/Mg	Mg/K				Arena	Limo	Arcilla		Clase Textural	
Unidad		ppm	ppm	ppm	ppm	meq/100g	meq/100g	meq/100g	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/100g	meq/100g	%	%	%				
25-0261														0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	57	31	12	FRANCO-ARENOSO Muestra C5 H1
25-0262														0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	61	29	10	FRANCO-ARENOSO Muestra C5 H2
25-0263														0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	79	17	4	FRANCO-ARENOSO Muestra C5 H3
25-0264														0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	69	25	6	FRANCO-ARENOSO Muestra C5 H4
25-0265														0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	61	29	10	FRANCO-ARENOSO Muestra C6 H1
25-0266														0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	57	33	10	FRANCO-ARENOSO Muestra C6 H2
25-0267														0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	59	31	10	FRANCO-ARENOSO Muestra C6 H3
25-0268														0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	67	25	8	FRANCO-ARENOSO Muestra C6 H4

Análisis	AHH*	Al*	Na*	C.E.*	N. Total	N-NO3*	K H2O*	P H2O*	Cl*	pH KCl*	HG*	IDENTIFICACION
	ppm	ppm	meq/100g	%	ppm	meq/100g	ppm	ppm	ppm	ppm	%	

OBSERVACIONES:

* Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGIA USADA	
pH = Suelo: Agua (1:2.5)	P, K, Ca, Mg = Olsen Modificado
S, B = Fostato de Calcio	Cu, Fe, Mn, Zn = Olsen Modificado
	B = Curcumina

INTERPRETACION		
pH	Elemento	
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo
LAc = Liger. Acido	LAl = Lige. Alcalino	M = Medio
PN = Prac. Neutro	Al = Alcalino	A = Alto
RC = Requieren Cal	T = Tóxico (Boro)	

ABREVIATURAS	
C.E. =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA	
C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Dicromato de Potasio
AlH =	Titulación NaOH



LABORATORISTA

INTERPRETACION			
Al, H, Al y Na	C.E.		M.O y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino	M = Medio
T = Tóxico			A = Alto



RESPONSABLE DE LABORATORIO

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

Los resultados arriba 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 correo electrónico o fax 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.

Anexo 48. Análisis proporcionados por el laboratorio INIAP del sector 3 de Mayo - Pujilí



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
 ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
 Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
 Tífs. (02) 3007284 / (02)2504240
 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec



INFORME DE ENSAYO No: 25-0051

NOMBRE DEL CLIENTE: Pruna Panchi Steeven Fernando
PETICIONARIO: Pruna Panchi Steeven Fernando
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Pruna Panchi Steeven Fernando
DIRECCIÓN: Latacunga
 Cotopaxi/Latacunga/Pujili/Chaupi Aguallangua

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 27/01/2025
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 14:30
FECHA DE ANÁLISIS: 03/02/2025
FECHA DE EMISIÓN: 12/02/2025
ANÁLISIS SOLICITADO: TEXTURA

Análisis	Ph*	N*	P*	S*	B*	K*	Ca*	Mg*	Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Ca/Mg*	Mg/K*	Ca+Mg/K*	Σ Bases*	MO*	CO*	Textura (%)			Clase Textural	IDENTIFICACIÓN	
																			Arena	Limo	Arcilla			
25-0269													0,00	0,00	0,00	0,00				39	37	24	FRANCO	Muestra C7 H1
25-0270													0,00	0,00	0,00	0,00				51	27	22	FRANCO	Muestra C7 H2
25-0271													0,00	0,00	0,00	0,00				49	33	18	FRANCO	Muestra C7 H3
25-0272													0,00	0,00	0,00	0,00				53	27	20	FRANCO-ARENOSO	Muestra C7 H4
25-0273													0,00	0,00	0,00	0,00				39	35	26	FRANCO	Muestra C8 H1
25-0274													0,00	0,00	0,00	0,00				45	35	20	FRANCO	Muestra C8 H2
25-0275													0,00	0,00	0,00	0,00				41	33	26	FRANCO	Muestra C8 H3
25-0276													0,00	0,00	0,00	0,00				47	31	22	FRANCO	Muestra C8 H4

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

OBSERVACIONES:

* Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGIA USADA	
pH = Suelo: Agua (1:2,5)	P K Ca Mg = Oisen Modificado
S,B = Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Oisen Modificado
	B = Curcumina

INTERPRETACION		
pH		Elemento
Ao = Acido	N = Neutro	B = Bajo
LAo = Liger. Acido	LAI = Lige. Alcalino	M = Medio
PN = Prec. Neutro	AI = Alcalino	A = Alto
RC = Requieren Cal		T = Tóxico (Boro)

ABREVIATURAS	
C.E =	Conductividad Eléctrica
M.O =	Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA	
C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Dicromato de Potasio
Al+H =	Titulación NADH

INTERPRETACION		
AH,Al y Na	C.E.	M O y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino
T = Tóxico		M. = Medio
		A = Alto



LABORATORISTA
 JOSÉ ALONSO LUCERO
 MALATAY



RESPONSABLE DE LABORATORIO
 IVAN RODRIGO SAMANIEGO MALGUA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba 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 correo electrónico o fax 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.

Anexo 49. Análisis proporcionados por el laboratorio INIAP del sector Chaupi

MC-LASPA-2201-01



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
 ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
 Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
 Tfs. (02) 3007284 / (02) 2504240
 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec



INFORME DE ENSAYO No: 25-0066

NOMBRE DEL CLIENTE: Pruna Panchi Steeven Fernando
PETICIONARIO: Pruna Panchi Steeven Fernando
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Pruna Panchi Steeven Fernando
DIRECCIÓN: Latacunga
 Cotopaxi/Pujilli/Guangaje

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 07/01/2025
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 13:47
FECHA DE ANÁLISIS: 10/02/2025
FECHA DE EMISIÓN: 24/02/2025
ANÁLISIS SOLICITADO: TEXTURA

Análisis	pH*	N*	P*	S*	B*	K*	Ca*	Mg*	Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO*	CO*	Textura (%)			IDENTIFICACIÓN		
																			Arena	Limo	Arcilla			
25-0369													0,00	0,00	0,00	0,00				63	29	8	FRANCO-ARENOSO	Muestra C9 H1
25-0370													0,00	0,00	0,00	0,00				59	33	8	FRANCO-ARENOSO	Muestra C9 H2
25-0371													0,00	0,00	0,00	0,00				51	33	16	FRANCO-ARENOSO	Muestra C9 H3
25-0372													0,00	0,00	0,00	0,00				55	27	18	FRANCO-ARENOSO	Muestra C9 H4
25-0373													0,00	0,00	0,00	0,00				75	19	6	FRANCO-ARENOSO	Muestra C10 H1
25-0374													0,00	0,00	0,00	0,00				63	31	6	FRANCO-ARENOSO	Muestra C10 H2
25-0375													0,00	0,00	0,00	0,00				57	33	10	FRANCO-ARENOSO	Muestra C10 H3
25-0376													0,00	0,00	0,00	0,00				55	27	18	FRANCO-ARENOSO	Muestra C10 H4

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

OBSERVACIONES:

* Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGIA USADA	
pH = Suelo-Agua (1:2.5)	P K Ca Mg = Olsen Modificado
S.B = Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Olsen Modificado
B =	= Curcúmina

INTERPRETACION		
pH	Elemento	
Ac = Acido	NI = Neutro	B = Bajo
LAc = Liger. Acido	LAI = Lige. Alcalino	M = Medio
PH = Prac. Neutro	AI = Alcalino	A = Alto
RC = Requieren Cal	T = Tóxico (Boro)	

ABREVIATURAS	
C.E. =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA	
C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Dicromato de Potasio
AlM =	Titulación NADH



LABORATORISTA

INTERPRETACION			
Al+H y Na	C.E.		M.O y Cl
B = Bajo	NIS = No Salino	S = Salino	B = Bajo
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino	M = Medio
T = Tóxico			A = Alto



RESPONSABLE DE LABORATORIO

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

Los resultados arriba 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 correo electrónico o fax 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.

Anexo 50. Análisis proporcionados por el laboratorio INIAP del sector Guangaje

MC-LASPA/2201-01



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
 ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
 Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutugaguá.
 Tls. (02) 3007284 / (02)2504240
 Mail: laboratorio_dsa@iniap.gob.ec



INFORME DE ENSAYO No: 25-0067

NOMBRE DEL CLIENTE: Pruna Panchi Steeven Fernando
 PETICIONARIO: Pruna Panchi Steeven Fernando
 EMPRESA/INSTITUCIÓN: Pruna Panchi Steeven Fernando
 DIRECCIÓN: Latacunga
 Cotopaxi/Pujilí/La Victoria/ Guapulo

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 07/01/2025
 HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 13:47
 FECHA DE ANÁLISIS: 10/02/2025
 FECHA DE EMISIÓN: 24/02/2025
 ANÁLISIS SOLICITADO: TEXTURA

Análisis	pH*	N*	P*	S*	B*	K*	Ca*	Mg*	Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Ca/Mg/K	Mg/K*	Ca+Mg/K*	E Bases	MO*	CO*	Textura (%)			Clase Textural	IDENTIFICACIÓN	
																			Arena	Limo	Arcilla			
25-0377													0,00	0,00	0,00	0,00				61	31	8	FRANCO-ARENOSO	Muestra C11 H1
25-0378													0,00	0,00	0,00	0,00				55	37	8	FRANCO-ARENOSO	Muestra C11 H2
25-0379													0,00	0,00	0,00	0,00				57	35	8	FRANCO-ARENOSO	Muestra C11 H3
25-0380													0,00	0,00	0,00	0,00				51	39	10	FRANCO-ARENOSO	Muestra C11 H4
25-0381													0,00	0,00	0,00	0,00				55	33	12	FRANCO-ARENOSO	Muestra C12 H1
25-0382													0,00	0,00	0,00	0,00				51	41	8	FRANCO-ARENOSO	Muestra C12 H2
25-0383													0,00	0,00	0,00	0,00				55	35	10	FRANCO-ARENOSO	Muestra C12 H3
25-0384													0,00	0,00	0,00	0,00				51	39	10	FRANCO-ARENOSO	Muestra C12 H4

Análisis	AHH*	Al*	Na*	C.E.*	N. Total	N-NO3*	K H2O*	P H2O*	Cl*	pH KCl*	HG*	IDENTIFICACION
Unidad	ppm	ppm	meq/100g	%	%	ppm	meq/100g	ppm	ppm	ppm	%	

OBSERVACIONES:

* Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGIA USADA	
pH = Suelo: Agua (1:2,5)	P K Ca Mg = Olsen Modificado
SR = Fósforo de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Olsen Modificado
	S = Curcumine

INTERPRETACION		
pH		Elemento
Ac = Acido	N = Neutro	S = Bajo
LA = Liger. Acido	LAI = Liger. Alcalino	M = Medio
PN = Phac. Neutro	AL = Alcalino	A = Alto
RC = Requieren Cal		T = Tóxico (Boro)

ABREVIATURAS	
C.E. =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA	
C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Dicromato de Potasio
AHH =	Titración NaOH



LABORATORISTA
 Firmado digitalmente por: JOSE ALONSO LUCERO MALATY

INTERPRETACION			
Al-H, Al y Na	C.E.	M.O. y Cl	
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino	M = Medio
T = Tóxico			A = Alto



RESPONSABLE DE LABORATORIO
 Firmado digitalmente por: IVAN RODRIGO SARANIEGO MALGUA MALGUA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba 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 dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax 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.

Anexo 51. Análisis proporcionados por el laboratorio INIAP del sector La Victoria

Cuadro 2.10. Subclases de textura, según el triángulo de texturas de suelos

Etiqueta o categoría	Símbolo	Descripción
Arena	A	Tiene un buen drenaje y se cultivan con facilidad, pero también se secan fácilmente y los nutrientes se pierden por lavado.
Arena muy fina	AMF	
Arena fina	AFi	

Elaborado por: Geopedología y Amenazas Geológicas

15

Cantón Guayaquil

EVALUACIÓN DE TIERRAS POR SU CAPACIDAD DE USO

Etiqueta o categoría	Símbolo	Descripción
Arena media	AM	Muestran mayor capacidad de uso agrícola.
Arena gruesa	AG	
Arena francoso	AF	
Franco	F	
Franco arenoso	FA	
Franco limoso	FL	
Franco arcilloso	FY	
Franco arcillo-arenoso	FYA	
Franco arcillo-limoso	FYL	
Limoso	L	Son texturas que dan una sensación harinosa (como polvo del talco). Tienen velocidad de infiltración baja, almacenamiento de nutrientes medio.
Arcilloso	Y	Tienden a no drenar bien, se compactan con facilidad y se cultivan con dificultad y, a su vez, presentan una buena capacidad de retención de agua y nutrientes.
Arcillo-arenoso	YA	
Arcillo-limoso	YL	
Arcilla pesada	YP	

Fuente: Catálogo de Objetos. CLIRSEN-MAGAP (SIGAGRO). 2011

Anexo 52. Subclase textura MAG