

Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ – CAMPUS CHONE

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

TRABAJO DE TITULACIÓN:

**“ESTIMACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN SUELO ARCILLOSO
MEDIANTE PERMEÁMETRO DE LABORATORIO CON CARGA VARIABLE”**

PREVIO AL DEL TÍTULO DE:

INGENIERO HIDRÁULICO

AUTOR:

IRVING CAMILO MENDOZA CEDEÑO

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

ING. FABIÁN RODRIGO ESPINALES. MSC.

JULIO, 2020

CHONE-MANABÍ-ECUADOR

CERTIFICACIÓN DE LA TESIS

Ing. Fabián Rodrigo Espinales, M.Sc.

Director del Proyecto de Grado.

CERTIFICA:

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

Ing. Fabián Rodrigo Espinales, M.Sc.

CI: 130659765-7

ACTA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

Ing. Fabián Espinales M. Sc
Primer lector

Ing. Jesús Chavarría M. Sc
Tercer lector

Ing. Andy Giler M. Sc
Segundo lector

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de sustento que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de esta tesis infringe los derechos de autor de nadie.

Fecha: _____

Irving Camilo Mendoza Cedeño
Dirección: Calle Wilfrido Viteri entre Manuel de Jesús Álvarez y Raymundo Aveiga.
E-mail: irving_camilo@outlook.es
Celular: 0986520793



Irving Camilo Mendoza Cedeño
C.I.: 131386915-6

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

A handwritten signature in blue ink that reads "Irving Mendoza". The signature is written in a cursive style with a large, sweeping flourish over the last part of the name.

Irving Camilo Mendoza Cedeño
C.I.: 131386915-6

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a:

A mis padres, Camilo y María quienes con su paciencia, amor y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un objetivo más, quienes fueron un gran apoyo emocional todo el tiempo.

A mi tío Marcos y su familia por creer en mis esfuerzos, recibiendo de parte de ellos ayuda moral y económica.

A mi abuela Carmen, por ser un pilar fundamental en mi proceso de crecimiento como persona y motivarme para cumplir mis metas propuestas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primera instancia a Dios por ser mi compañero y guía en este camino de aprendizaje, por brindarme fortaleza en tiempos de flaquezas y regalarme una vida plena de conocimientos, experiencias y felicidad.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí por darme la oportunidad de formarme en ella. A los docentes que me inculcaron con sus conocimientos y que me dirigieron con sabiduría para la realización de este proyecto de investigación final.

Gracias a mis padres, por ser partícipes y seres únicos que con ahínco me han apoyado en todo momento y por hacerme muy dichoso en tener la oportunidad de darme uno de los mejores regalos de una majestuosa educación a lo largo de mi vida.

Por último, a todas aquellas personas, compañeros más cercanos y amigos que me dieron su apoyo, tiempo e información para alcanzar la satisfacción de este trabajo de titulación.

Resumen

Esta investigación exploratoria-descriptiva estimó la conductividad hidráulica saturada (k_{sat}) en suelo arcilloso, mediante el permeámetro de laboratorio con carga variable, para conocer el comportamiento del flujo del agua en el suelo de la microcuenca baja del río Canuto. Por tanto, este estudio se desarrolló durante 3 meses, en el periodo febrero-abril de 2020, e incluyó la toma de tres muestras para suelos arcillosos, franco arcillo limoso, franco arcilloso, franco arcillo arenoso y arcillo limoso. La ubicación de estos puntos se situó mediante un mapa textural procesado por la herramienta informática *Aeronautical Reconnaissance Coverage Geographic Information System (ArcGIS)*. Además, se recolectaron datos de humedades iniciales con sensor análogo y para la formulación del sistema de ecuaciones, se utilizaron datos de porosidad (P), densidad aparente (D_a) y porcentajes de clasificación textural. Para obtener valores de k_{sat} se aplicó la Ley de *Darcy*. Los resultados de k_{sat} se encuentran dentro de los rangos establecidos de 0,0000001 cm/h como mínimo y 0,0001 cm/h como máximo, excluyendo valores atípicos. Los porcentajes de humedad inicial están comprendidos entre el 65% y 90% en las muestras estudiadas. En definitiva, la endeblez de los resultados en datos de porosidad, densidad aparente y la escasez de información brindada sobre los suelos estudiados provocan incertidumbre en el planteamiento del sistema de ecuaciones para estimar k_{sat} , siendo necesario contar con datos de alta confiabilidad y con los medios precisos para ejecutar este tipo de investigación.

Palabras clave: conductividad hidráulica, porosidad, densidad aparente, permeámetro de laboratorio con carga variable, río Canuto

Abstract

This exploratory-descriptive research study estimated saturated hydraulic conductivity (K_{sat}) in clay soil type by means of the laboratory permeameter with variable load, in order to know soil water flow behaviour in the lower part of the microbasin of Canuto River. With this aim, this research study was carried out over a three-month period from February through April 2020; it included the process of taking three samples of clay soils, silty clay loam, clay loam, sandy clay loam, and silty clay. Locations of these points were established by using a texture map processed by the Aeronautical Reconnaissance Coverage Geographic Information System (ArcGIS). Likewise, initial humidity data were collected through an analog sensor, and for the establishment of the system of equations there were used data on soil porosity, soil bulk density, and percentages of soil texture classification. Darcy's Law was used to calculate K_{sat} values. The findings show that K_{sat} values stay within established ranges from 0.0000001 cm / h minimum and 0.0001 cm / h maximum, excluding outliers. Initial humidity percentages vary from 65% and 90% in the samples under study. In brief, weakness of soil porosity and soil bulk density data, along with scarce information provided by the soil samples cause uncertainties in the establishment of the system of equations to estimate K_{sat} , being essential to have highly reliable data and resources to carry out this type of research study.

Keywords: hydraulic conductivity, soil porosity, soil bulk density, laboratory permeameter with variable load, Canuto River

Tabla de contenido

Introducción	1
Materiales y métodos	4
Área de estudio	4
Equipos y Materiales.....	5
Toma de muestras y análisis previos.....	5
Determinación de la conductividad hidráulica saturada	6
Formulación de ecuación	9
Distribución logarítmica normal	9
Porosidad.....	9
Predicción de ecuación de regresión múltiple.....	9
Softwares y herramientas informáticas empleados	11
Resultados.....	12
Ubicación de suelos arcillosos	12
Cuantificación del contenido de humedad	13
Conductividad hidráulica	14
Composición de la ecuación	15
Discusión	21
Conclusiones.....	23
Referencias bibliográficas.....	24
Anexos	29

Tablas de lectura de datos	29
Evidencia fotográfica	44

Índice de tablas

Tabla 1 Georreferenciación del área de estudio.....	4
Tabla 2 Equipos y materiales utilizados en campo, oficina y laboratorio.....	5
Tabla 3 Clase textural	6
Tabla 4 Valores de humedad y porosidad en sus diferentes clases texturales	14
Tabla 5 Valores de conductividad hidráulica en suelos arcillosos a varias profundidades.....	14
Tabla 6 Valores de conductividad hidráulica saturada en cm/día a Log_{10}	15
Tabla 7 Resumen del análisis de varianza de un factor	17
Tabla 8 Análisis de varianza	17
Tabla 9 Datos posibles para los sistemas de ecuaciones.....	17
Tabla 10 Estimación de errores y coeficientes en variables para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos arcillosos	18
Tabla 11 Estimación de errores y coeficientes en variables para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos francos arcillo limoso.....	18
Tabla 12 Estimación de errores y coeficientes en variables para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos arcillo limoso.....	19
Tabla 13 Estimación de errores y coeficientes en variables para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos franco arcilloso.....	19
Tabla 14 Estimación de errores y coeficientes en variables para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos franco arcillo arenoso.....	19
Tabla 15 Lectura de datos en suelo arcilloso. Prueba N° 1	29
Tabla 16 Lectura de datos en suelo arcilloso. Prueba N° 2	30
Tabla 17 Lectura de datos en suelo arcilloso. Prueba N° 3.....	31
Tabla 18 Lectura de datos en suelo franco arcillo limoso. Prueba N° 1	32
Tabla 19 Lectura de datos en suelo franco arcillo limoso. Prueba No 2.....	33

Tabla 20 Lectura de datos en suelo franco arcillo limoso. Prueba No 3.....	34
Tabla 21 Lectura de datos en suelo franco arcilloso. Prueba No 1	35
Tabla 22 Lectura de datos en suelo franco arcilloso. Prueba No. 2.....	36
Tabla 23 Lectura de datos en suelo franco arcilloso. Prueba No. 3.....	37
Tabla 24 Lectura de datos en suelo franco arcillo arenoso. Prueba No. 1	38
Tabla 25 Lectura de datos en suelo franco arcillo arenoso. Prueba No. 2.....	39
Tabla 26 Lectura de datos en suelo franco arcillo arenoso. Prueba No. 3.....	40
Tabla 27 Lectura de datos en suelo arcillo limoso. Prueba No. 1	41
Tabla 28 Lectura de datos en suelo arcillo limoso. Prueba No. 2.....	42
Tabla 29 Lectura de datos en suelo arcillo limoso. Prueba No. 3.....	43

Índice de figuras

Figura 1 Esquema del permeámetro de laboratorio	8
Figura 2 Esquema del equipo con sus respectivas dimensiones en cm.....	8
Figura 3 Mapa textural de la microcuenca baja del río Canuto	12

Introducción

Siendo el suelo un recurso natural finito no renovable que de tal manera presta numerosos servicios eco sistémico o ambiental, este medio se convierte en el asiento natural para la producción de materias primas de los cuales depende la sociedad mundial ayudando a las actividades sociales y económicas diarias de las personas (Burbano, 2016).

El suelo se caracteriza por poseer diversos materiales parentales en lo que concierne tanto como en su textura, estructura, consistencia, color como las propiedades químicas, biológicas y físicas pertenecientes a este (FAO, 2013). La estructura del suelo es una de las características más esencial de este recurso en el que influye el movimiento del agua, la retención hídrica, el drenaje, la aireación, la penetración de las raíces, el ciclo de nutrientes, y en consecuencia sobre el rendimiento de los cultivos (Bernal & Hernández, 2017).

Este medio poroso que se puede presentar en varias fases como sólida, líquida y gaseosa (Bear, 1972), es capaz de almacenar y transportar fluidos como el agua y el aire, por ello es de suma importancia este parámetro para el conocimiento de su almacenamiento y conducción, reconociéndose que dicha característica se la evalúa por medio de su capacidad para transferir los fluidos antes mencionados (Dorner & Dec, 2007).

En cuanto a la determinación de las propiedades hidráulicas del suelo se caracterizan por ser de índole significativo para los estudios previos en cuanto se refiere al movimiento del flujo de agua en el suelo (Maeso, Valdes, Tamoh, Corada, & Candela, 2015). Siendo este movimiento antes mencionado el resultado generado por la naturaleza y por sus condiciones particulares, comprendiendo sus poros con la capacidad de almacenar agua, siendo estos factores de gran importancia para la determinación de infiltración y escurrimiento sobre el mismo (Pérez & García, 2015).

Sobre todo, el suelo posee propiedades hidráulicas en donde se aprecia el transporte de solutos, o accesibilidad de agua para especies vegetales, teniendo en cuenta que también entra en relación la recarga de los acuíferos para sus diversos fines (Maeso, Valdes, Tamoh, Corada, & Candela, 2015). Y, se considera de interés el conocimiento de estas propiedades con respecto a la cuantificación del balance hídrico y de las características de flujo de agua en los suelos (Barrios & Florentino, 2008).

Por consiguiente, una de las propiedades hidráulicas que conllevan a estos procesos es la conductividad hidráulica que es el valor y elemento básico en el medio geológico para el proceso del flujo de agua en el suelo, asimismo el transporte de sedimentos (Peinado, y otros, 2010). Además, dicho parámetro incide en diferentes ramas de la ciencia y la ingeniería, de tal manera que afecta infinidad de estudios, proyecciones y diseños de tipo hidráulico, ecológico, ambiental, hidrológico, geológico y geotécnico (Báez & Rangel, 2009), en donde se considera de importancia significativa para la zona estudiada ya que de esta manera influye en la moderación de las propiedades antes mencionadas y que es fuente de conocimiento para la presente investigación en relación al movimiento de agua en el suelo y estudios posteriores.

Por otro lado, según (Calvache & Reichardt, 1996) definen a la conductividad hidráulica como la habilidad de los suelos de transferir agua sea que se encuentre en estado saturado o no saturado. Considerando que esta propiedad de los suelos tiene una amplia correlación con la textura de los sustratos de suelo, es por ello que es esencial el conocimiento de esta propiedad para estudios de conducción de agua y eficiencia de riego así mismo para diseños de sistemas de drenaje (Chimbo & Calvache, 2010).

Para la evaluación del valor de la conductividad hidráulica existen varios métodos de laboratorios (Klute & Dirksen, 1986), dentro de esos métodos se encuentra la utilización del permeámetro de laboratorio de carga variable que ofrece mayor exactitud para suelos menos

permeables como arcilla y limo (Angelone, Garibay, & Cauhapé, 2006) seguido del empleo de la ecuación de Darcy (Reynolds, y otros, 2002) propuesta por el ingeniero hidráulico Henry Darcy (Duran, Páez, & García, 2018), quien determina sobre la relación entre la velocidad de descarga y el gradiente hidráulico del flujo del agua en arenas, siendo una invariante llamada coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica, analizando el fin de estudiar el movimiento de fluidos en un medio poroso, con el sustento de un método diseñado con el nombre de permeámetro (Duran, Páez, & García, 2018).

Los métodos empleados para la estimación del valor k_{sat} , tanto en campo como en laboratorio, sostienen dudas sobre el volumen real de la muestra necesaria obtenida in situ, mientras que en las técnicas de laboratorios se requiere más preparación de dicha muestra que permite mayor número de medidas y mejor control de las condiciones experimentales (Lozano, Madero, Tafur, Herrera, & Amézquita, 2005). Así mismo existen métodos directos e indirectos que permiten determinar las propiedades físicas e hidráulicas de los suelos que sirve para evaluar la eficiencia predictiva en determinados lugares a través de la experimentación de diversos ambientes geológicos (Peinado, y otros, 2010).

El objetivo del presente trabajo de investigación es estimar el valor de la conductividad hidráulica en suelos arcillosos mediante permeámetro de laboratorio con carga variable. Para el cumplimiento de este fin se llevaron a cabo las siguientes actividades específicas tales como situar los sustratos de suelos arcillosos que correspondan en la microcuenca baja del río Canuto, cuantificar el contenido de humedad a saturación en los diferentes tipos de suelos situados en la microcuenca antes mencionada por medio de sensores de humedad análogos colocados en el prisma de suelo localizado en el permeámetro de laboratorio con carga variable y por último la composición de la ecuación para la estimación del valor de la conductividad hidráulica en los tipos de suelos estudiados.

Materiales y métodos

Área de estudio

La parroquia rural de Canuto situada en el cantón Chone provincia de Manabí fue ente de estudio para el presente trabajo por motivo de que esta zona presenta suelos con factores limitantes de textura arcillosa a textura arenosa (PDYOT, 2015).

Esta investigación se ejecutó en la microcuenca baja del río Canuto, en las comunidades de la Piñuela, Pachones y Boca de la Chorrera de la parroquia mencionada anteriormente.

A continuación, se presenta información indispensable acerca de la ubicación geográfica de la toma de muestras.

Tabla 1 Georreferenciación del área de estudio

<i>N.º</i>	<i>Propietario</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Coordenadas</i>	
			E	N
1	Alcívar Dueñas Jorge Luis	La Piñuela	592000,9	9912423,9
2	Rodríguez Alcívar Tobías Sebastián	La Piñuela	592883,9	9912500,6
3	Santana Saltos Holger Eudaldo	Pachones	590532,9	9911741,9
			590532,9	9911741,9
4	Vera Rodríguez Carmen	Boca de la Chorrera	598703,0	9911064,8

Equipos y Materiales

Tabla 2 Equipos y materiales utilizados en campo, oficina y laboratorio

MATERIALES DE CAMPO			
Machete	Tinas plásticas	Flexómetro	Bolsas plásticas
Film plástico	Palas	Cámara fotográfica	Etiquetas
Cinchos	Pico	Combos	Bailejo
GPS			
MATERIALES DE OFICINA			
Libreta de apuntes	Computador portátil	Google Earth	
Esferográficos	Software Excel	ArcGIS	
MATERIALES DE LABORATORIO			
Permeámetro		Cronómetro	
Manivela		Sensores de humedad	

Toma de muestras y análisis previos

En esta investigación se trabajó en suelos arcilloso, franco arcillo limoso, franco arcilloso, franco arcillo arenoso y arcillo limoso (MAGAP, 2015). Se realizaron 4 calicatas que fueron geo referenciadas respectivamente con ayuda de un GPS, de dichas calicatas se tomaron 15 muestras de sustratos de suelos (en cada tipo de suelo se extrajeron 3 muestras) con el objetivo de desprejar perplejidad al momento de receptor los resultados en laboratorio.

Una vez identificado el lugar en donde se va a realizar la calicata se procede a efectuar la limpieza y desbroce del terreno, cuya acción es necesaria para evitar la contaminación de los primeros perfiles de tierra hacia los que se necesita obtener.

Al momento de extraer las muestras se utilizaron cinchos de latas fabricados artesanalmente teniendo en consideración las medidas semejantes al depósito principal del permeámetro de laboratorio. Dicho cincho fue introducido con ayuda de un combo dando golpes cuidadosamente, debido a que la muestra no puede presentar alteraciones en su estructura

física, tanto para la extracción de la muestra, obtención de resultados k_{sat} y a su vez evitar la maleabilidad de este instrumento.

De esta manera, se logra la facilidad de extracción, transporte e inserción de la muestra.

Hecha esta salvedad, las muestras de suelo sustraídas en campo se movilizaron al laboratorio colocándolas en tinas plásticas sin provocar alteraciones en la estructura de estas, utilizando materiales de protección como lo es el caso del film plástico que ayuda a mantener la humedad propia del sustrato obtenido.

En la siguiente tabla se detallan los tipos de suelos arcillosos situados en sus respectivas zonas de la cuenca antes mencionada.

Tabla 3 Clase textural

CLASES TEXTURALES	% LIMO	% ARENA	%ARCILLA
Arcilloso	35	24	41
Franco arcillo limoso	45	18	37
Arcillo limoso	39	18	43
Franco arcilloso	43	28	29
Franco arcillo arenoso	21	56	23

Fuente 1 (MAGAP, 2015)

Determinación de la conductividad hidráulica saturada

Para la determinación del valor de conductividad hidráulica saturada se procedió a la utilización del permeámetro de laboratorio con carga variable (Klute & Dirksen, 1986), siendo este más preciso en suelos cohesivos tales como la arcilla, teniendo en cuenta que este ensayo es relativamente complicado en donde las dificultades del mismo consisten en la colocación de la muestra en el equipo y en los largos espacios de tiempo que se necesitan para realizar el ensayo (Díaz, 2019).

Por consiguiente, se coloca la muestra en la cavidad principal, seguido se la empieza a saturar hasta que el volumen de aire que se encuentra entre los poros de la muestra sea expulsado.

De manera semejante se introduce el sensor análogo para conocer su valor de humedad, en donde este aparato también indica en qué momento la muestra es saturada en su totalidad.

Dicho lo anterior se inició con el proceso de agregación de agua en el depósito A con una carga hidráulica variable entre 6 y 7 litros sobrepasando la altura de la muestra, tomando el tiempo que tarda desde que se aplicó el agua para que retome a esparcirse por la muestra de suelo hasta que se note la inexistencia del paso del volumen de agua al depósito B. La lectura de los datos de k_{sat} se la realizó por cada litro observado en el depósito B y por cada hora transcurrida en el ensayo, examinando a su vez la diferencia de cargas hidráulicas en ambos depósitos. Cuyos datos admitidos se los organizó en tablas para su mejor comprensión (véase Anexos).

Para hallar el valor de la conductividad hidráulica saturada (k_{sat}) es preciso la aplicación de la ley de Darcy:

$$1 \text{ Ecuación de Darcy} \quad k_{sat} = \frac{V * L}{\Delta h * A * t}$$

Donde:

K_{sat} es el valor de conductividad hidráulica dada en (cm/s) (cm/h),

V (lt) es el volumen de agua que pasa a través de la muestra en el tiempo t ,

L es la longitud de la muestra de suelo (cm) (m)

Δh es la diferencia entre las cargas hidráulicas (cm),

A es el área de la sección transversal de la muestra (cm²) (m²).

Los resultados de conductividad hidráulica se analizaron independientemente para así promediarse entre ellos, y los datos que se alejan no se consideraron en este proceso.

A continuación, se presentan los detalles del equipo utilizado que brindó apoyo a los ensayos realizados:

Figura 1 Esquema del permeámetro de laboratorio

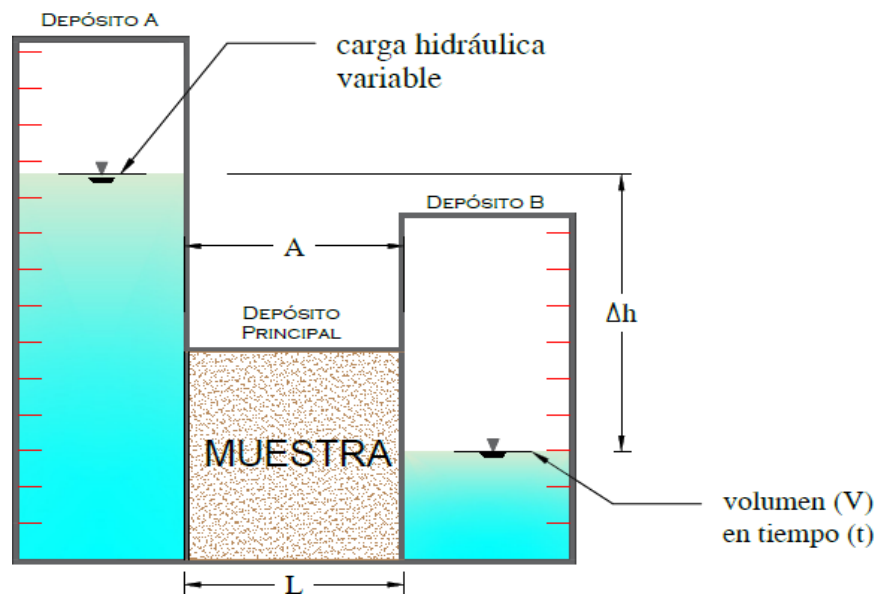
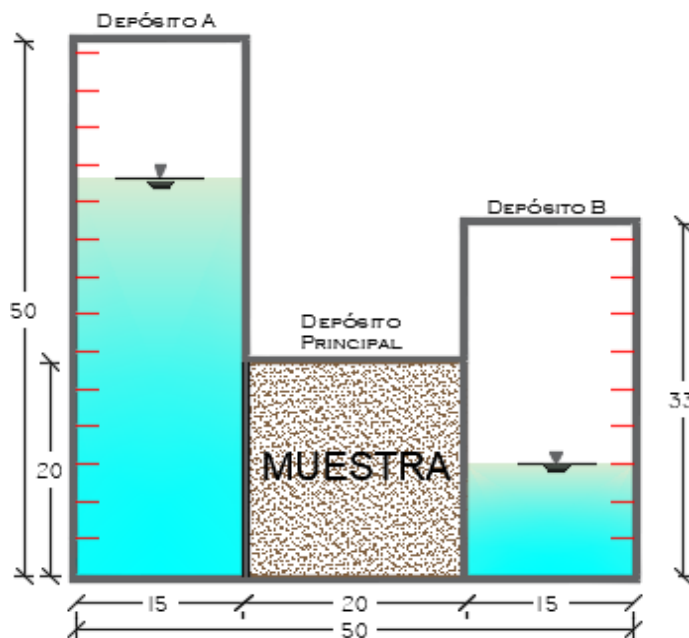


Figura 2 Esquema del equipo con sus respectivas dimensiones en cm



Formulación de ecuación

Distribución logarítmica normal

Para la formulación de la ecuación los valores de k_{sat} en cm/día fueron transformados a \log_{10} ya que se caracteriza por tener una distribución logarítmica normal. Con el objetivo de someter estos datos para fines estadísticos se analizaron debidamente con ANOVA y pruebas T ejecutadas en Microsoft Excel.

Porosidad

Por motivo de la inexistencia de valores de densidad real de cada muestra de suelo, se procedió a calcular un elemento primordial constituyente del suelo, la porosidad, y para la obtención de este dato es menester el conocimiento de la densidad real que se aproxima en su mayoría a 2,65 gr/cm³ (FAO, 2013). Por tanto, el valor de porosidad vendría expresado de la siguiente manera:

Ecuación 2

$$P = 1 - \frac{da}{dr}$$

Donde:

P: porosidad (adimensional)

da: densidad aparente, expresada en gr/cm³

dr: densidad real, expresada en gr/cm³

Predicción de ecuación de regresión múltiple

La correlación entre variables dependientes e independientes permite la predicción, estimación y/o aproximación de la variable de interés. La aplicación de este modelo matemático es generalmente utilizada en variables dependientes e independientes, siendo ambas continuas escaladas por razón o intervalo (Rodríguez & Mora, 2001).

La anotación de lo mencionado, se expresa de la siguiente manera:

$$Y = AX_1 + BX_2 + CX_3 + DX_4 \dots$$

Por lo que:

Y : variable a encontrar

$A, B, C, D \dots$: coeficientes parciales de regresión

$X_1, X_2, X_3, X_4 \dots$: variables independientes

Se tomaron los porcentajes de limo, arena y arcilla en conjunto con la densidad aparente, cálculos de porosidad y de mediana de cada grupo de sustrato de suelo. Estos parámetros son indispensables para el cálculo de K_{sat} en la ecuación que se presenta a continuación si se poseen los datos suficientes para el cumplimiento de lo propuesto:

Ecuación 3
$$K_{sat} = (\%limo * A) + (\%arena * B) + (\%arcilla * C) + (P * D)$$

Donde:

K_{sat} es conductividad hidráulica (para cada tipo de suelo)

A, B, C y D son variables numéricas

P es porosidad

Luego se usó la herramienta solver de Microsoft Excel para lograr estimar una sola solución para cada variable, observando la inexistencia de múltiples soluciones, solamente una única solución efectuándose así la ecuación para cada tipo de suelo arcilloso.

Softwares y herramientas informáticas empleados

Cuando se realizó el ensayo se optó por trabajar en Microsoft Excel que resultó de gran ayuda para el procesamiento de información, dicha herramienta fue necesaria e idónea para la toma de datos, como también la realización de gráfica de dispersión de puntos, que dichos valores son el resultado del ensayo por cada tipo de suelo.

Para la ubicación de los tipos de suelos existentes en la microcuenca baja del río Canuto, se la efectuó por medio de herramientas computarizadas mediante análisis espacial (Pacheco & Pamplona, 2014), tal como (Google Earth, s.f.), que sirvió para la incorporación de coordenadas UTM.

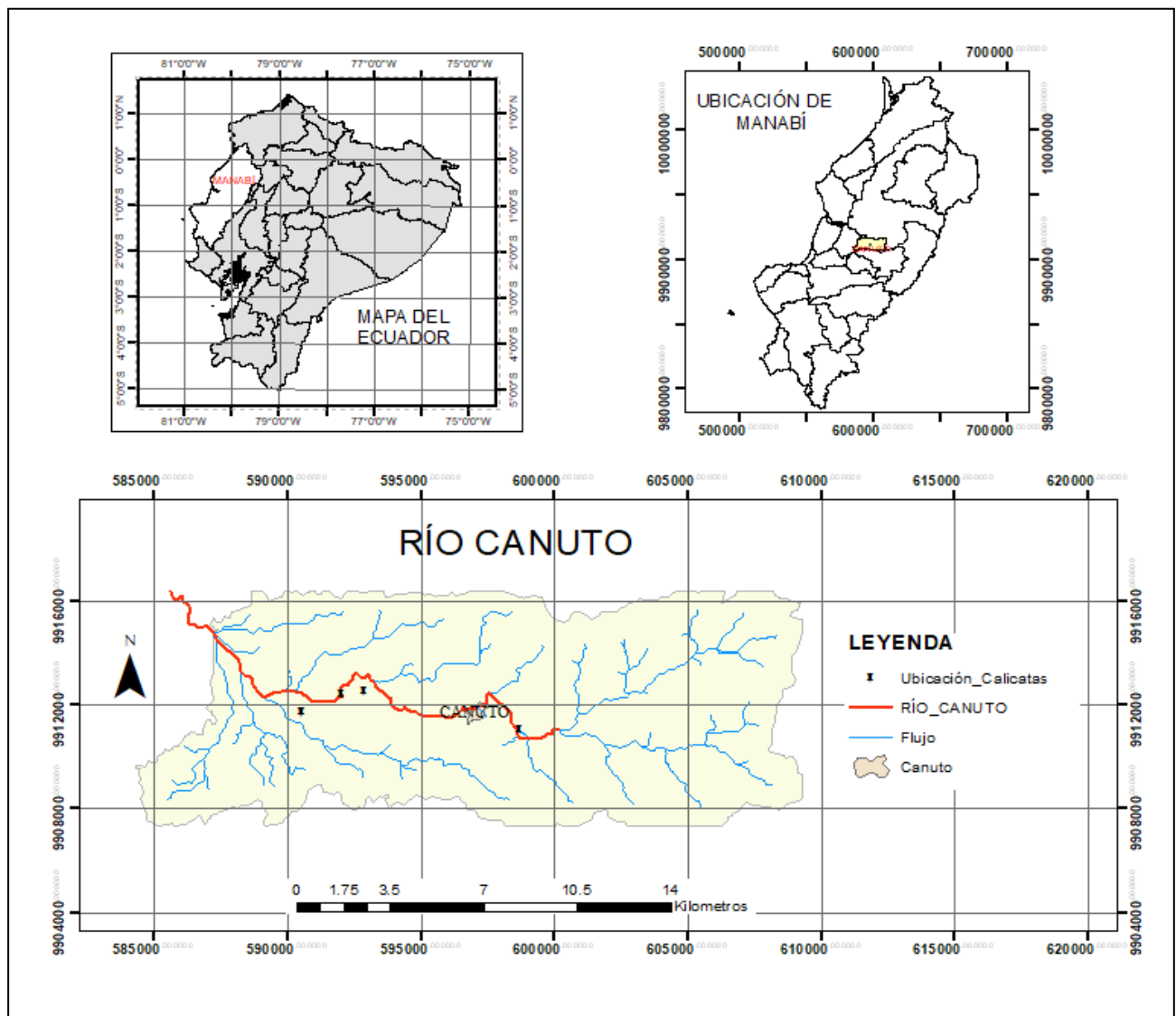
Finalmente, se aplicó la tecnología (ArcMap, s.f.), siendo este software indispensable porque tiene características que permite administrar, crear, manipular, editar, analizar y distribuir información geográfica (Bermejo, 2014), en este elaboró la delimitación de dicha microcuenca con su limitación espacial de los diferentes tipos de suelos arcillosos presente en la zona de estudio.

Resultados

Ubicación de suelos arcillosos

Por medio de un mapa temático se logró delimitar la microcuenca identificando todos los diferentes tipos de suelos arcillosos presentes en la zona de estudio y las calicatas realizadas en esta. En consideración los suelos predominantes y estudiados son, arcilloso, franco arcillo limoso, franco arcilloso, franco arcillo arenoso y arcillo limoso. Se aprecia los caudales de varias vertientes que alimentan el afluente antes mencionado.

Figura 3 Mapa textural de la microcuenca baja del río Canuto



Cuantificación del contenido de humedad

En la *Tabla 4* se presentan valores de humedad con la que se encontraron muestras que oscilaba entre 65% y 90%, es decir se encontraban parcialmente saturadas y para lograr su fase saturada tardaron desde 14 minutos hasta 32 minutos de duración. En suelos arcillosos la humedad inicial se encontró entre 80% y 90% llegando a saturación en 32 min, 14,56 min y 22,46 min en cada muestra, en los suelos franco arcillo limoso se presentaron porcentajes de humedad similares del 65% tardando 20,34 min, 28,55 min y 24,47 min en saturarse los sustratos, los suelos franco arcilloso se encontraron parcialmente saturadas con porcentajes de 90% de humedad demorando 16 min, 26 min y 18 min en saturarse, asimismo en suelos francos arcillo arenoso se observó los mismos porcentajes de humedad con diferentes rangos de tiempo entre 27 min, 22 min y 25 min en saturarse las muestras, finalmente en suelos arcillo limoso, las muestras expusieron valores de humedad inicial de 80% y 90% alcanzando la saturación de estas en tiempos de 14 min, 20 min y 17 min, considerando que los últimos sustratos se extrajeron en época lluviosa, en efecto los porcentajes de humedad antes presentados.

La porosidad calculada para un suelo arcillo resulta de 62% con una densidad aparente de 1 gr/cm³, para los suelos franco arcillo limoso y franco arcilloso es de 55% con densidades aparentes de 1,18 gr/cm³ y 1,19 gr/cm³ correspondiendo a cada uno, mientras que para los suelos franco arcillo arenoso le corresponde una porosidad de 50% con 1,31 gr/cm³ de densidad aparente y 61% de porosidad con 1,03 gr/cm³ de densidad aparente para un suelo arcillo limoso en la microcuenca del río Canuto.

Tabla 4 Valores de humedad y porosidad en sus diferentes clases texturales

Clases Texturales	N.º de ensayo	HUMEDAD (%)		Tiempo (min)	Densidad aparente (gr/cm ³)	Porosidad (gr/cm ³)
		INICIAL	A SATURACIÓN			
Arcilloso	1	80	100	32	1	0,623
	2	90	100	14,56		
	3	90	100	22,46		
Franco arcillo limoso	1	65	100	20,34	1,18	0,555
	2	65	100	28,55		
	3	65	100	24,47		
Franco arcilloso	1	90	100	16	1,19	0,551
	2	90	100	26		
	3	90	100	18		
Franco arcillo arenoso	1	90	100	27	1,31	0,506
	2	90	100	22		
	3	90	100	25		
Arcillo limoso	1	90	100	14	1,03	0,611
	2	80	100	20		
	3	90	100	17		

Conductividad hidráulica

En la *Tabla 5* se observa los suelos arcillosos con sus respectivas profundidades considerando los datos de conductividad hidráulica que para suelos arcillosos resulta 2,289 cm/h, en suelos franco arcillo limosos se efectuó 0,056 cm/h, los franco arcillosos mostraron una conductividad hidráulica de 0,042 cm/h, en los sustratos de franco arcillo arenosos arrojaron un valor promedio de 0,035 cm/h y en suelos arcillo limosos reflejaron 0,187 cm/h en el parámetro estudiado.

Tabla 5 Valores de conductividad hidráulica en suelos arcillosos a varias profundidades

No. Calicata	Tipo de Suelo	Profundidad (cm)	Conductividad Hidráulica (cm/h)
1	Arcilloso	36	2,289
2	Franco arcillo limoso	28	0,056
	Franco arcilloso	39	0,042
3	Franco arcillo arenoso	61	0,035
4	Arcillo limoso	37	0,187

Composición de la ecuación

En la *Tabla 6* se presentan los valores de conductividad hidráulica en cm/día clasificados por cada tipo de suelos contemplados en la presente investigación transformados en logaritmos base 10 obteniendo de ellos la mediana de cada clase textural dada y para análisis estadísticos

Tabla 6 Valores de conductividad hidráulica saturada en cm/día a Log₁₀

Arcilloso		Franco arcillo limoso		Arcillo limoso		Franco arcilloso		Franco arcillo arenoso	
Ksat cm/día	Log 10	Ksat cm/día	Log 10	Ksat cm/día	Log 10	Ksat cm/día	Log 10	Ksat cm/día	Log 10
23,66	1,37	1,71	0,23	4,53	0,66	2,70	0,43	1,31	0,12
29,85	1,47	1,53	0,19	3,45	0,54	1,94	0,29	0,87	-0,06
36,80	1,57	1,43	0,15	3,05	0,48	1,84	0,27	0,72	-0,14
45,03	1,65	1,49	0,17	3,39	0,53	2,07	0,32	0,71	-0,15
50,05	1,70	1,64	0,21	3,60	0,56	2,13	0,33	0,76	-0,12
104,00	2,02	1,50	0,18	4,39	0,64	2,16	0,33	0,82	-0,09
234,60	2,37	1,59	0,20	4,69	0,67	2,07	0,32	0,86	-0,07
16,46	1,22	1,69	0,23	4,80	0,68	2,09	0,32	0,83	-0,08
21,93	1,34	5,77	0,76	5,13	0,71	2,00	0,30	0,81	-0,09
22,43	1,35	1,96	0,29	6,41	0,81	1,98	0,30	0,80	-0,10
35,27	1,55	1,95	0,29	8,08	0,91	1,97	0,29	0,78	-0,11
50,85	1,71	2,88	0,46	9,96	1,00	1,93	0,28	0,85	-0,07
66,00	1,82	4,95	0,69	5,04	0,70	2,18	0,34	0,85	-0,07
93,27	1,97	4,81	0,68	4,58	0,66	2,28	0,36	0,92	-0,04
5,38	0,73	6,38	0,81	4,95	0,69	2,92	0,47	1,04	0,02
5,37	0,73	6,74	0,83	5,34	0,73	2,07	0,32	1,25	0,10
9,02	0,96	7,12	0,85	5,49	0,74	1,66	0,22	1,47	0,17
9,88	0,99	7,24	0,86	5,49	0,74	2,08	0,32	1,65	0,22
10,69	1,03	8,52	0,93	5,62	0,75	2,03	0,31	1,72	0,24
15,15	1,18	9,15	0,96	6,32	0,80	1,97	0,29	1,08	0,03
21,80	1,34	10,08	1,00	6,78	0,83	2,00	0,30	0,86	-0,06
172,32	2,24	11,92	1,08	7,48	0,87	2,25	0,35	0,77	-0,11
		13,18	1,12	7,76	0,89	2,21	0,34	0,71	-0,15
		1,89	0,28	8,90	0,95	2,25	0,35	0,76	-0,12
		2,25	0,35	10,27	1,01	2,32	0,36	0,81	-0,09
		2,09	0,32	11,70	1,07	2,29	0,36	0,90	-0,05
		2,16	0,33	3,23	0,51	2,38	0,38	0,99	-0,01
		2,27	0,36	2,01	0,30	3,38	0,53	1,04	0,02
		2,30	0,36	2,00	0,30	2,28	0,36	1,10	0,04
		2,67	0,43	1,95	0,29	2,07	0,32	1,13	0,05
		2,84	0,45	2,02	0,30	2,00	0,30	1,17	0,07

2,99	0,48	2,22	0,35	2,06	0,31	1,25	0,10
3,17	0,50	2,33	0,37	1,98	0,30	1,29	0,11
3,26	0,51	2,40	0,38	2,04	0,31	1,42	0,15
3,59	0,56	23,70	1,37	2,25	0,35	1,70	0,23
		3,43	0,54	2,25	0,35	1,90	0,28
		4,36	0,64	2,34	0,37	1,51	0,18
		0,58	-0,24	2,73	0,44	1,17	0,07
		91,74	1,96			0,93	-0,03
						0,81	-0,09
						0,79	-0,10
						0,84	-0,08
						0,91	-0,04
						1,01	0,00
						1,14	0,06
						1,15	0,06
						1,30	0,12
						1,33	0,13
						1,42	0,15
						1,51	0,18
						1,66	0,22
						1,79	0,25
						2,04	0,31
						2,17	0,34

Con los valores de la tabla anterior se comparó las clases texturales estudiadas, en donde reflejaron los siguientes datos presentes en la *Tabla 7*, describiendo que para el suelo arcilloso cuenta con 22 lecturas, un promedio de 1,47 y 0,20 de varianza entre ellos; para un suelo franco arcillo limoso de los 35 datos se obtuvo 0,52 de promedio con índice de varianza de 0,09; en el arcillo limoso se presentan 39 datos fluctuando un promedio de 0,68 variando 0,12; en el caso del suelo franco arcilloso con 38 datos se promedió un 0,34 entre ellos teniendo una variación casi nula de 0,003 y por último el suelo franco arcillo arenoso que entre sus 54 datos se consiguió un promedio de 0,035 y teniendo como varianza un valor de 0,02.

Tabla 7 Resumen del análisis de varianza de un factor

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Arcilloso	22	32,30109736	1,468231698	0,20053515
Franco arcillo limoso	35	18,10740131	0,517354323	0,08731016
Arcillo limoso	39	26,69899194	0,684589537	0,12197312
Franco arcilloso	38	12,77954151	0,336303724	0,00315542
Franco arcillo arenoso	54	1,876936351	0,034758081	0,01754368

En la Tabla 8 se detallan los resultados de variación entre grupos y dentro de cada grupo.

Tabla 8 Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para f
Entre grupos	34,64	4	8,66	123,2	8,10377E-51	2,421015511
Dentro de los grupos	12,86	183	0,07			
Total	47,50	187				

En este análisis indica que la variación entre grupos es mucho mayor a la variación dentro de cada grupo, como también se puede evidenciar que la probabilidad de la hipótesis nula es muy baja. Evidentemente se rechaza la hipótesis nula y se menciona que si hay diferencias significativas en los tipos de suelo.

Los valores utilizados para poder formular el sistema de ecuaciones en cada sustrato de suelo sin obtener el resultado deseado se presentan en la *Tabla 9* con sus respectivos porcentajes de limo, arena y arcilla, densidad aparente, porosidad y mediana correspondientes a cada clase textural estudiada.

Tabla 9 Datos posibles para los sistemas de ecuaciones

Clases Texturales	% Limo	% Arena	% Arcilla	Da (gr/cm ³)	Porosidad	Mediana
Arcilloso	35	24	41	1	0,622	26,754
Franco arcillo limoso	45	18	37	1,18	0,55	2,836
Arcillo limoso	39	18	43	1,03	0,61	4,8
Franco arcilloso	43	28	29	1,19	0,55	2,086
Franco arcillo arenoso	21	56	23	1,31	0,51	1,041

A continuación, se presentan los intentos para lograr el planteamiento de los sistemas de ecuaciones por el cual matemáticamente no se lo puede realizar debido a inconsistencia y déficit de datos y que puedan lograr que sean resultados verídicos para la estimación de k_{sat} para cada sustrato de suelo. Dichos datos no se encuentran en un rango de confiabilidad y de estabilidad para la estimación de errores.

Por consiguiente, los coeficientes regresores representados por las letras A, B, C y D para los suelos arcillosos, franco arcillo limoso, arcillo limoso, franco arcilloso y franco arcillo arenoso fluctúan valores numéricos no permanentes en cuanto a la aplicación de solver y estimación de errores.

Tabla 10 Estimación de errores y coeficientes en variables para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos arcillosos

		ERROR
Arcilloso	26,7547347	1,2622E-29
A	0,00679158	
B	0,01862801	
C	0,071594	
D	37,1555744	

Tabla 11 Estimación de errores y coeficientes en variables para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos francos arcillo limoso

		ERROR
Franco arcillo limoso	2,8368	0
A	0	
B	0	
C	0	
D	5,11395918	

Tabla 12 Estimación de errores y coeficientes en variables para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos arcillo limoso

	ERROR	
Arcillo limoso	4,8	7,8886E-31
A	0	
B	0	
C	0	
D	7,85185185	

Tabla 13 Estimación de errores y coeficientes en variables para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos franco arcilloso

	ERROR	
Franco arcilloso	2,0868	1,9722E-31
A	0	
B	0	
C	0	
D	3,787684932	

Tabla 14 Estimación de errores y coeficientes en variables para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos franco arcillo arenoso

	ERROR	
Franco arcillo arenoso	1,0416	1,9722E-31
A	0	
B	0	
C	0	
D	2,059880597	

En el planteamiento del sistema de ecuaciones para cada tipo de suelo, las variables contempladas para la composición del modelo objetivo de k_{sat} sin restricciones de cálculos, no cumplieron con el resultado deseado; es decir que para cada variable no corresponde una única solución.

En contraste con lo anterior, la no obtención de los sistemas de ecuaciones para la estimación de k_{sat} en los diferentes tipos de suelos arcillosos se debe al poco número de variables e incógnitas en relación al número de ecuaciones a obtener. La poca disponibilidad de datos para este proceso ocasiona el aumento de soluciones sin tener respaldo a la solución verídica. Hay que mencionar que no es estadísticamente confiable continuar con ello sin contar con los suficientes datos.

Discusión

La microcuenca baja del río Canuto se representó convencionalmente por medio de un mapa, apreciando las corrientes hídricas que atribuyen a este, en el cual se traza la imagen completa de la zona de estudio compuesta por las comunidades: La Piñuela, Pachones y Boca de la Chorrera en donde se ejecutó la extracción de las muestras de los suelos estudiados. En sí, la realización del mapa no muestra la realidad del terreno ya que en este se puede observar una minúscula proyección sobre la distribución de los suelos en el paisaje, tal como lo describe el (Institut d'Estudis Catalans, 2008) donde resaltan que entre más aproximado se lo realice se pueden apreciar de mejor manera las observaciones. Se observa que la *Figura 3* coincide con lo manifestado por (Usón, Boixadera, Bosch, & Martín, 2019) quienes indican que para la presentación de un mapa se debe exponer una óptima calidad, cumpliendo parámetros de tipo exploratorio y objetivos de esta investigación.

Para la humedad del suelo se utilizó un sensor análogo, cuyo aparato midió la cantidad porcentual de humedad inicial que contenía cada sustrato de suelo, siendo para suelos arcillosos un valor de 80% y 90% semejante a los suelos arcillo limoso, el franco arcillo limoso con 65% de humedad, en los suelos franco arcilloso y franco arcillo arenoso se detectó humedades iniciales de 90%. Dichos porcentajes de humedad se encuentran elevados debido a factores climáticos y por su velocidad de drenaje, ya que siendo suelos constituidos de arcilla poseen la capacidad de retener agua entre sus espacios porosos, adjudicando la observación de campo en donde se comprobó el alto nivel freático. Coincidiendo con el estudio realizado por (Zotarelli, Dukes, & Morgan, 2004) quienes señalan que el almacenamiento de agua en el suelo difiere por su textura y estructura característica de cada uno de ellos, y que la conductividad hidráulica se encuentra estrechamente ligada a la velocidad de drenaje, y esto a su vez afecta al aumento o disminución de la humedad del suelo.

Los valores de conductividad hidráulica saturada (k_{sat}) se obtuvieron mediante la aplicación de la ecuación de Darcy y la toma de datos de los ensayos en el permeámetro de laboratorio con carga hidráulica variable, para lo cual en los suelos arcillosos se estimó una conductividad hidráulica moderada de 2,289 cm/h, en los suelos franco arcillo limoso se expuso una conductividad hidráulica muy lenta de 0,056 cm/h, por otro lado, el suelo arcillo limoso se valoró lenta debido a su k_{sat} de 0,187 cm/h, en el suelo franco arcilloso se mostró una conductividad muy lenta de 0,042 cm/h y para los suelos franco arcillo arenoso se comportó este parámetro muy lento con un valor de 0,035 cm/h. Estos resultados reflejan la impermeabilidad práctica de los sustratos de suelos estudiados y que en su mayoría denota velocidades lentas y muy lentas, exceptuando que en los suelos arcillosos tuvieron un comportamiento atípico en base a las literaturas citadas de los valores de conductividad hidráulica estimados, en lo que se logra sustentar que estas estimaciones se deben a la presencia de biota (raíces) que por ende ocasiona un flujo preferencial en la muestra afectando los resultados. La clasificación textural incide significativamente a los valores de k_{sat} obtenidos por el método indirecto del permeámetro de laboratorio con carga hidráulica variable en lo que respecta que los valores salvaguardan correlación a lo especificado por (Angelone, Garibay & Cauhapé, 2006) en suelos arcillosos y mezclas de limo-arena-arcilla entrando en el rango de valores de conductividad hidráulica por el método antes mencionado fluctuando entre 0,036 cm/h y 0,00036 cm/h.

Conclusiones

- El uso del mapa se lo realizó mediante el sistema completo de ArcGIS que permitió una mejor visualización de la clasificación textural de suelos arcillosos existentes en la microcuenca baja del río Canuto.
- Para suelos arcillosos la porosidad entre las partículas que lo constituye es muy alta, en comparación a valores estandarizados por la FAO y United States Department of Agriculture (USDA) razón por la cual los resultados obtenidos dentro de este proceso son desacertados.
- En cuanto a la ecuación no se obtuvieron los datos suficientes para estimar el error de probabilidad para tener un nivel de confianza elevado a los coeficientes de cada variable del sistema de ecuaciones. En efecto el proceso se repetiría y concluiría en lo mismo, debido a que el algoritmo utilizado se basa en el algoritmo de Newton del descenso más alto.

Referencias bibliográficas

- Angelone, Garibay & Cauhapé. (2006). Coeficientes de permeabilidad en distintos suelos. *Permeabilidad de suelos*. Recuperado el 2020, de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>
- Angelone, S., Garibay, M., & Cauhapé, M. (Septiembre de 2006). *Universidad Nacional de Rosario*. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>
- ArcMap. (s.f.). *ArcGIS*. Recuperado el 2020, de <http://www.arcgis.com>
- Báez, C., & Rangel, J. (2009). *Modelo de conductividad hidráulica en suelos parcialmente saturados basado en la distribución de tamaños de poros*. Obtenido de <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/14896/1/129406.pdf>
- Barrios, R., & Florentino, A. (2008). Propiedades hidráulicas de dos suelos subirrigados cultivados con Palmaaceitera en el estado Monagas, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 58(2). Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2008000200006
- Bear, J. (1972). Dynamics of Fluids in Porous Media. En J. Bear, *Dynamics of Fluids in Porous Media* (pág. 764). Recuperado el 2020, de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=fBMeVSZ_3u8C&oi=fnd&pg=PP1&ots=mgiDznUKGB&sig=bvx9epA8SJmkieUYy2gZfkNMrfU&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Bermejo, E. (2014). ¿Qué es la tecnología ArcGIS? *Asociación Geoinnova*. Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-la-tecnologia-arcgis/>

- Bernal, A., & Hernández, A. (Octubre de 2017). Influencia de diferentes sistemas de uso del suelo sobre su estructura. *Scielo*, 38(4). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000400010
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124. Recuperado el 2020, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>
- Calvache, M., & Reichardt, K. (1996). Efeito de épocas de deficiência hídrica na eficiência do uso de nitrogênio na cultura de feijao cv. Imbabello. *Scientia Agricola*, 53(2/3), 343-353. Obtenido de https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90161996000200025&script=sci_arttext
- Chimbo, G., & Calvache, M. (2010). Conductividad hidráulica saturada y no saturada en condiciones de campo utilizando diviner 2000. 17-19. Recuperado el 2019, de <secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/20.-Gabriel-Chimbo-diviner.pdf>
- Díaz, Y. (2019). *Puesta en funcionamiento del permeámetro de carga variable, un equipo de laboratorio para ensayos de permeabilidad en suelos cohesivos*. Obtenido de <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/8149/tfg-yel-pue.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dorner, J., & Dec, D. (2007). La permeabilidad del aire y conductividad hidráulica saturada como herramienta para la caracterización funcional de los poros del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 7(2), 1-13. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912007000200001

- Duran, M., Páez, J., & García, P. (2018). Modelado numérico y análisis experimental para flujos en un medio poroso homogéneo a través de suelos. *Scielo*, 15(1), 24-33. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v15n1/1692-1798-itec-15-01-00024.pdf>
- FAO. (6 de Diciembre de 2013). Suelo. *Definiciones claves* . Obtenido de <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Google Earth*. (s.f.). Obtenido de <https://earth.google.com/web/>
- Institut d'Estudis Catalans. (2008). Finalidad de los mapas de suelo. *Protección de suelos: Cataluña, Islas Baleares, Principado de Andorra*. Obtenido de <https://www.iec.cat/mapasols/Cas/Finalitat.asp?Grup=B&Opcio=7>
- Klute, A., & Dirksen, C. (1986). Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods. Obtenido de <https://dl.sciencesocieties.org/publications/books/abstracts/sssabookseries/methodsofsoilan1/687>
- Lozano, J., Madero, E., Tafur, H., Herrera, O., & Amézquita, E. (2005). La conductividad hidráulica del suelo estudiada en el Valle del Cauca con el nuevo indicador del USDA. *Redalyc*, 54(3). Recuperado el 2019, de redalyc.org/pdf/1699/169920338002.pdf
- Maeso, B., Valdes, J., Tamoh, K., Corada, C., & Candela, L. (Noviembre de 2015). Comparación y validación de las propiedades hidráulicas del suelo mediante diferentes equipos de laboratorio. *ResearchGate*, XII. Obtenido de researchgate.net/profile/Miriam_Biel-Maeso/publication/284438128_Comparacion_y_validacion_de_las_propiedades_hidraulicas_del_suelo_mediante_diferentes Equipos_de_laboratorio/links/5653248b08ae1ef92975d8fc/Comparacion-y-validacion-de-las-propiedades-hidraulicas-del-suelo-mediante-diferentes-equipos-de-laboratorio

- MAGAP. (2015). *Proyecto de riego parcelario*. Recuperado el 2020
- Pacheco, H., & Pamplona, J. (2014). Tecnologías de la Información Geográfica en la enseñanza de Ciencias de la Tierra. *Revista de Investigación*, 38(82). Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142014000200007
- PDYOT. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Canuto. 16-18. Recuperado el 2020, de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1360044680001_PDYOT%20CANUTO%20CHONE%20ACTUALIZACION%20CON%20ENFASIS-%20GESTION%20DE%20RIESGO_31-12-2016_18-26-10.pdf
- Peinado, H., Green, C., Delgado, O., Herrera, J., Belmonte, S., Ladrón de Guevara, M. d., & Shevnin, V. (Septiembre - Diciembre de 2010). Estimación de la conductividad hidráulica y contenido de finos a partir de leyes experimentales que relacionan parámetros hidráulicos y eléctricos. *Ra Ximhai*, 6(3). Recuperado el 2019, de <http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-18articulosPDF/14-CoductividadHidraulica.pdf>
- Pérez, N., & García, G. (2015). *Universidad Nacional Agraria*. Recuperado el 2019, de <http://repositorio.una.edu.ni/3195/1/tnp33p438e.pdf>
- Reynolds, W., Elrick, D., Youngs, E., Amoozegar, A., Booltink, H., & Bouma, J. (2002). Saturated and Field-Saturated Water Flow Parameters. En *Methods of Soil Analysis* (págs. 797–878.).
- Rodríguez, M., & Mora, R. (2001). Análisis de Regresión Múltiple. En M. Rodríguez , & R. Mora, *Estadística Informática* (pág. 3). Recuperado el 2020, de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8143/1/Regresion%20MUTIPLE.pdf>

Usón, Boixadera, Bosch, & Martín. (2019). Tecnología de suelos: estudios de casos. 509.

Obtenido de

<https://books.google.com.ec/books?id=b2h1gY9dPuoC&pg=PA509&dq=Us%C3%B3n,+Boixadera,+Bosch,+%26+Mart%C3%ADn,+2019&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwix0vXmop3qAhXkmuAKHddbA7MQ6AEwAHoECAMQA#v=onepage&q=Us%C3%B3n%2C%20Boixadera%2C%20Bosch%2C%20%26%20Mart%C3%ADn%2C%202021>

Zotarelli, L., Dukes, M., & Morgan, K. (2004). Capacidad del suelo para almacenar agua .

Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad .

Obtenido de <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/ed/ed49600.pdf>

Anexos

Tablas de lectura de datos

Suelos arcillosos

Tabla 15 Lectura de datos en suelo arcilloso. Prueba N° 1

CA_1	Sitio	Piñuela							
	Perfil	36 cm							
	Tipo de suelo	Arcilloso							
	Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7
	Carga variable	lt	8	6,12	5,46	5,10	4,65	4,20	4,08
		m3	0,0080	0,0061	0,0055	0,0051	0,0047	0,0042	0,0041
	Carga final	lt	1	2	2,76	3	3,42	3,90	4
		m3	0,0010	0,0020	0,0028	0,0030	0,0034	0,0039	0,0040
	Tiempo	día	0,0106	0,0250	0,0417	0,0513	0,0833	0,1250	0,1421
		hora	0,2536	0,6000	1	1,2300	2	3	3,4100
		seg	913	2160	3600	4428	7200	10800	12276
	Longitud	cm	20	20	20	20	20	20	20
	Δh	cm	20	13,40	9,0	6,50	4,10	1,5	0,60
	Sección de prisma	cm2	400	400	400	400	400	400	400
		m2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Caudal	m3/día	0,7571	0,2448	0,1310	0,0995	0,0558	0,0336	0,0287
		lt/h	3,9430	3,3333	2,7600	2,4390	1,7100	1,3000	1,1730
		lt/seg	0,0011	0,0009	0,0008	0,0007	0,0005	0,0004	0,0003
	ksat	m/día	0,2366	0,2985	0,3680	0,4503	0,5005	1,0400	2,3460
		cm/h	0,9858	1,2438	1,5333	1,8762	2,0854	4,3333	9,7752
cm/seg		0,0003	0,0003	0,0004	0,0005	0,0006	0,0012	0,0027	

Tabla 16 Lectura de datos en suelo arcilloso. Prueba N° 2

CA_1	Sitio	Piñuela							
	Perfil	36 cm							
	Tipo de suelo	Arcilloso							
	Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7
	Carga variable	lt	7	5,31	5,10	4,35	4,05	3,90	3,75
		m3	0,0070	0,0053	0,0051	0,0044	0,0041	0,0039	0,0038
	Carga final	lt	1	2,0100	2	2,8800	3	3,3000	3,4200
		m3	0,0010	0,0020	0,0020	0,0029	0,0030	0,0033	0,0034
	Tiempo	día	0,0174	0,0417	0,0446	0,0833	0,0983	0,1250	0,1667
		hora	0,4167	1	1,07	2	2,36	3	4
		seg	1500	3600	3852	7200	8496	10800	14400
	Longitud	cm	20	20	20	20	20	20	20
	Δh	cm	17,5	11,0	10,0	4,9	3,0	2,0	1,1
	Sección de prisma	cm2	400	400	400	400	400	400	400
		m2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Caudal	m3/día	0,4032	0,1274	0,1144	0,0522	0,0412	0,0312	0,0225
		lt/h	2,4000	2,0100	1,8692	1,4400	1,2712	1,1000	0,8550
		lt/seg	0,0007	0,0006	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,0002
ksat	m/día	0,1646	0,2193	0,2243	0,3527	0,5085	0,6600	0,9327	
	cm/h	0,6857	0,9136	0,9346	1,4694	2,1186	2,7500	3,8864	
	cm/seg	0,0002	0,0003	0,0003	0,0004	0,0006	0,0008	0,0011	

Tabla 17 Lectura de datos en suelo arcilloso. Prueba N° 3

CA_1	Sitio	Piñuela								
	Perfil	36 cm								
	Tipo de suelo	Arcilloso								
	Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7	LECTURA 8
	Carga variable	lt	7	6,33	6,09	5,58	5,25	4,8	4,35	3,57
		m3	0,0070	0,0063	0,0061	0,0056	0,0053	0,0048	0,0044	0,0036
	Carga final	lt	0,8700	1	2	2,5	2,85	3	3,27	3,45
		m3	0,0009	0,0010	0,0020	0,0025	0,0029	0,0030	0,0033	0,0035
	Tiempo	día	0,0417	0,0529	0,0833	0,1250	0,1667	0,1800	0,2083	0,2500
		hora	1	1,27	2	3	4	4,32	5	6
		seg	3600	4572	7200	10800	14400	15552	18000	21600
	Longitud	cm	20	20	20	20	20	20	20	20
	Δh	cm	19,40	17,60	13,30	10,20	8,00	5,50	3,60	0,40
	Sección de prisma	cm2	400	400	400	400	400	400	400	400
		m2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Caudal	m3/día	0,1680	0,1196	0,0731	0,0446	0,0315	0,0267	0,0209	0,0143
		lt/h	0,8700	0,7874	1,0000	0,8400	0,7125	0,6944	0,6540	0,5750
		lt/seg	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
	ksat	m/día	0,0538	0,0537	0,0902	0,0988	0,1069	0,1515	0,2180	1,7250
cm/h		0,2242	0,2237	0,3759	0,4118	0,4453	0,6313	0,9083	7,1875	
cm/seg		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0003	0,0020	

Suelos francos arcillo limoso

Tabla 18 Lectura de datos en suelo franco arcillo limoso. Prueba N° 1

CA_2	Sitio	Piñuela												
	Perfil	28 cm												
	Tipo de suelo	Franco arcillo limoso												
	Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7	LECTURA 8	LECTURA 9	LECTURA 10	LECTURA 11	LECTURA 12
	Carga variable	lt	6	5,73	5,64	5,49	5,34	5,22	5,31	4,98	4,86	4,65	4,53	4,41
		m3	0,0060	0,00573	0,00564	0,00549	0,00534	0,00522	0,00531	0,00498	0,00486	0,00465	0,00453	0,00441
	Carga final	lt	0,2700	0,45	0,6	0,78	0,99	1	1,11	1,23	4,5	1,53	1,59	2
		m3	0,0003	0,00045	0,0006	0,00078	0,00099	0,001	0,00111	0,00123	0,0045	0,00153	0,00159	0,002
	Tiempo	día	0,0417	0,0833	0,1250	0,1667	0,2083	0,2292	0,2500	0,2917	0,3333	0,3750	0,4167	0,4283
		hora	1	2	3	4	5	5,5	6	7	8	9	10	10,28
		seg	3600	7200	10800	14400	18000	19800	21600	25200	28800	32400	36000	37008
	Longitud	cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Δh	cm	18,9000	17,6	16,8	15,7	14,5	14,5	14	12,5	11,7	10,4	9,8	8,1
	Sección de prisma	cm2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
		m2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Caudal	m3/día	0,0065	0,0054	0,0048	0,0047	0,0048	0,0044	0,0044	0,0042	0,0135	0,0041	0,0038	0,0047
		lt/h	0,2700	0,2250	0,2000	0,1950	0,1980	0,1818	0,1850	0,1757	0,5625	0,1700	0,1590	0,1946
		lt/seg	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0002	0,0000	0,0001
	ksat	m/día	0,0171	0,0153	0,0143	0,0149	0,0164	0,0150	0,0159	0,0169	0,0577	0,0196	0,0195	0,0288
		cm/h	0,0714	0,0639	0,0595	0,0621	0,0683	0,0627	0,0661	0,0703	0,2404	0,0817	0,0811	0,1201
cm/seg		0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00007	0,00002	0,00003	

Tabla 19 Lectura de datos en suelo franco arcillo limoso. Prueba No 2

CA_2	Sitio	Piñuela											
	Perfil	28 cm											
	Tipo de suelo	Franco arcillo limoso											
	Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7	LECTURA 8	LECTURA 9	LECTURA 10	LECTURA 11
	Carga variable	lt	7	6,12	5,73	5,34	5,10	4,98	4,65	4,47	4,35	4,05	3,9
		m3	0,0070	0,0061	0,0057	0,0053	0,0051	0,0050	0,0047	0,0045	0,0044	0,00405	0,0039
	Carga final	lt	0,78	1	1,50	1,92	2	2,22	2,52	2,70	2,88	2,94	3
		m3	0,0008	0,0010	0,0015	0,0019	0,0020	0,0022	0,0025	0,0027	0,0029	0,00294	0,00303
	Tiempo	día	0,0417	0,0550	0,0833	0,1250	0,1404	0,1667	0,2083	0,2500	0,2917	0,3333	0,3963
		hora	1	1,32	2	3	3,37	4	5	6	7	8	9,51
		seg	3600	4752	7200	10800	12132	14400	18000	21600	25200	28800	34236
	Longitud	cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Δh	cm	18,90	18,90	14,10	11,4	10	9,20	7,10	5,90	4,90	3,70	2,9000
	Sección de prisma	cm2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
		m2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Caudal	m3/día	0,0187	0,0182	0,0180	0,0154	0,0142	0,0133	0,0121	0,0108	0,0099	0,0088	0,0076
		lt/h	0,7800	0,7576	0,7500	0,6400	0,5935	0,5550	0,5040	0,4500	0,4114	0,3675	0,3186
lt/seg		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	
ksat	m/día	0,0495	0,0481	0,0638	0,0674	0,0712	0,0724	0,0852	0,0915	0,1008	0,1192	0,1318	
	cm/h	0,2063	0,2004	0,2660	0,2807	0,2967	0,3016	0,3549	0,3814	0,4198	0,4966	0,5493	
	cm/seg	0,0000573	0,0000557	0,0000739	0,0000780	0,0000824	0,0000838	0,0000986	0,0001059	0,0001166	0,0001	0,00015	

Tabla 20 Lectura de datos en suelo franco arcillo limoso. Prueba No 3

CA_2	Sitio	Piñuela												
	Perfil	28 cm												
	Tipo de suelo	Franco arcillo limoso												
	Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7	LECTURA 8	LECTURA 9	LECTURA 10	LECTURA 11	LECTURA 12
	Carga variable	lt	6	5,67	5,46	5,22	4,89	4,77	4,65	4,50	4,35	4,23	4,11	4,02
		m3	0,0060	0,0057	0,0055	0,0052	0,0049	0,0048	0,0047	0,0045	0,0044	0,00423	0,00411	0,00402
	Carga final	lt	0,30	0,63	0,81	1	1,17	1,32	1,59	1,74	1,86	1,98	2	2,19
		m3	0,0003	0,0006	0,0008	0,0010	0,0012	0,0013	0,0016	0,0017	0,0019	0,00198	0,002	0,00219
	Tiempo	día	0,0417	0,0833	0,1250	0,1667	0,2083	0,2500	0,2917	0,3333	0,3750	0,4167	0,4583	0,5000
		hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		seg	3600	7200	10800	14400	18000	21600	25200	28800	32400	36000	39600	43200
	Longitud	cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Δh	cm	19	16,80	15,50	13,90	12,40	11,50	10,20	9,20	8,30	7,50	6,7	6,1
	Sección de prisma	cm2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
		m2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Caudal	m3/día	0,0072	0,0076	0,0065	0,0060	0,0056	0,0053	0,0055	0,0052	0,0050	0,0048	0,0044	0,0044	
	lt/h	0,3000	0,3150	0,2700	0,2500	0,2340	0,2200	0,2271	0,2175	0,2067	0,1980	0,1818	0,1825	
	lt/seg	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	
ksat	m/día	0,0189	0,0225	0,0209	0,0216	0,0226	0,0230	0,0267	0,0284	0,0299	0,0317	0,0326	0,0359	
	cm/h	0,0789	0,0937	0,0871	0,0899	0,0944	0,0957	0,1113	0,1182	0,1245	0,1320	0,1357	0,1496	
	cm/seg	0,000022	0,000026	0,000024	0,000025	0,000026	0,000027	0,000031	0,000033	0,000035	0,000037	0,000038	0,000042	

Suelos francos arcilloso

Tabla 21 Lectura de datos en suelo franco arcilloso. Prueba No 1

CA_3	Sitio	Pachones														
	Perfil	39 cm														
	Tipo de suelo	Franco arcilloso														
	Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7	LECTURA 8	LECTURA 9	LECTURA 10	LECTURA 11	LECTURA 12	LECTURA 13	LECTURA 14
	Carga variable	lt	6	5,85	5,64	5,4	5,25	5,1	5,01	4,92	4,86	4,74	4,71	4,68	4,5	4,35
		m3	0,006	0,0059	0,00564	0,0054	0,00525	0,0051	0,00501	0,00492	0,00486	0,00474	0,00471	0,00468	0,0045	0,00435
	Carga final	lt	0,42	0,57	0,75	1	1,2	1,35	1,44	1,56	1,62	1,68	1,77	1,83	1,98	2
		m3	0,00042	0,00057	0,00075	0,001	0,0012	0,00135	0,00144	0,00156	0,00162	0,00168	0,00177	0,00183	0,00198	0,002
	Tiempo	día	0,042	0,083	0,125	0,167	0,208	0,250	0,292	0,333	0,375	0,417	0,458	0,5	0,542	0,583
		hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		seg	3600	7200	10800	14400	18000	21600	25200	28800	32400	36000	39600	43200	46800	50400
	Longitud	cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Δh	cm	18,7	17,6	16,3	14,5	13,5	12,5	11,9	11,2	10,8	10,2	9,8	9,5	8,4	7,5
	Sección de prisma	cm2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
		m2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Caudal	m3/día	0,01008	0,00684	0,006	0,006	0,00576	0,0054	0,00494	0,00468	0,00432	0,004032	0,003862	0,00366	0,003655	0,003429
lt/h		0,42	0,285	0,25	0,25	0,24	0,225	0,20571	0,195	0,18	0,168	0,160909	0,1525	0,152308	0,142857	
lt/seg		0,000117	0,000079	0,000069	0,000069	0,000067	0,000063	0,000057	0,000054	0,000050	0,000047	0,000045	0,000042	0,000042	0,000040	
ksat	m/día	0,0270	0,0194	0,0184	0,0207	0,0213	0,0216	0,0207	0,0209	0,0200	0,0198	0,0197	0,0193	0,0218	0,0229	
	cm/h	0,1123	0,0810	0,0767	0,0862	0,0889	0,0900	0,0864	0,0871	0,0833	0,0824	0,0821	0,0803	0,0907	0,0952	
	cm/seg	0,00003119	0,00002249	0,00002130	0,00002395	0,00002469	0,00002500	0,00002401	0,00002418	0,00002315	0,00002288	0,00002280	0,00002230	0,00002518	0,00002646	

Tabla 22 Lectura de datos en suelo franco arcilloso. Prueba No. 2

CA_3	Sitio	Pachones													
	Perfil	39 cm													
	Tipo de suelo	Franco arcilloso													
	Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7	LECTURA 8	LECTURA 9	LECTURA 10	LECTURA 11	LECTURA 12	LECTURA 13
	Carga variable	lt	6	5,82	5,67	5,37	5,19	5,1	5,04	4,86	4,8	4,68	4,56	4,5	4,41
		m3	0,006	0,00582	0,00567	0,00537	0,00519	0,0051	0,00504	0,00486	0,0048	0,00468	0,00456	0,0045	0,00441
	Carga final	lt	0,45	0,6	0,69	1	1,14	1,26	1,41	1,62	1,71	1,8	1,89	1,95	2,04
		m3	0,00045	0,0006	0,00069	0,001	0,00114	0,00126	0,00141	0,00162	0,00171	0,0018	0,00189	0,00195	0,00204
	Tiempo	día	0,0417	0,0833	0,1250	0,1667	0,2083	0,25	0,2917	0,3333	0,375	0,417	0,458	0,5	0,5417
		hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		seg	3600	7200	10800	14400	18000	21600	25200	28800	32400	36000	39600	43200	46800
	Longitud	cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Δh	cm	18,5	17,4	16,6	14,4	13,5	12,8	12,1	10,8	10,3	9,6	8,9	8,5	7,9
	Sección de prisma	cm2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
		m2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Caudal	m3/día	0,0108	0,0072	0,00552	0,006	0,005472	0,00504	0,004834	0,00486	0,00456	0,00432	0,004124	0,0039	0,003766	
	lt/h	0,45	0,3	0,23	0,25	0,228	0,21	0,20143	0,2025	0,19	0,18	0,171818	0,1625	0,15692	
	lt/seg	0,000125	0,000083	0,000064	0,000069	0,000063	0,000058	0,000056	0,000056	0,000053	0,000050	0,000048	0,000045	0,000044	
ksat	m/día	0,0292	0,0207	0,0166	0,0208	0,0203	0,0197	0,0200	0,0225	0,0221	0,0225	0,0232	0,0229	0,0238	
	cm/h	0,1216	0,0862	0,0693	0,0868	0,0844	0,0820	0,0832	0,0937	0,0922	0,0937	0,0965	0,0956	0,0993	
	cm/seg	0,00003378	0,00002395	0,00001924	0,00002411	0,00002346	0,00002279	0,00002312	0,00002604	0,00002562	0,00002604	0,00002681	0,00002655	0,00002759	

Tabla 23 Lectura de datos en suelo franco arcilloso. Prueba No. 3

CA_3	Sitio	Pachones											
	Perfil	39 cm											
	Tipo de suelo	Franco arcilloso											
	Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7	LECTURA 8	LECTURA 9	LECTURA 10	LECTURA 11
	Carga variable	lt	6	5,88	5,7	5,55	5,4	5,19	5,07	4,95	4,83	4,65	4,5
		m3	0,006	0,00588	0,0057	0,00555	0,0054	0,00519	0,00507	0,00495	0,00483	0,00465	0,0045
	Carga final	lt	0,51	0,66	0,84	1	1,2	1,29	1,44	1,65	1,74	1,83	2
		m3	0,00051	0,00066	0,00084	0,001	0,0012	0,00129	0,00144	0,00165	0,00174	0,00183	0,002
	Tiempo	día	0,042	0,083	0,125	0,167	0,208	0,25	0,2917	0,333	0,375	0,417	0,458
		hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		seg	3600	7200	10800	14400	18000	21600	25200	28800	32400	36000	39600
	Longitud	cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Δh	cm	18,1	17,4	16,2	15	14	13	12,1	11	10,3	9,4	8
Sección prisma de	cm2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	
	m2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
Caudal	m3/día	0,01224	0,00792	0,00672	0,006	0,00576	0,00516	0,004937	0,00495	0,00464	0,004392	0,0043636	
	lt/h	0,51	0,33	0,28	0,25	0,24	0,215	0,205714	0,20625	0,193333	0,183	0,1818182	
	lt/seg	0,000142	0,000092	0,000078	0,000069	0,000067	0,000060	0,000057	0,000057	0,000054	0,000051	0,000051	
ksat	m/día	0,0338	0,0228	0,0207	0,0200	0,0206	0,0198	0,0204	0,0225	0,0225	0,0234	0,0273	
	cm/h	0,1409	0,0948	0,0864	0,0833	0,0857	0,0827	0,0850	0,0937	0,0939	0,0973	0,1136	
	cm/seg	0,0000391	0,0000263	0,0000240	0,0000231	0,0000238	0,0000230	0,0000236	0,0000260	0,0000261	0,0000270	0,0000316	

Suelos francos arcillo arenoso

Tabla 24 Lectura de datos en suelo franco arcillo arenoso. Prueba No. 1

Sitio	Pachones																		
	Perfil																		
	61 cm																		
Tipo de suelo	Franco arcillo arenoso																		
Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7	LECTURA 8	LECTURA 9	LECTURA 10	LECTURA 11	LECTURA 12	LECTURA 13	LECTURA 14	LECTURA 15	LECTURA 16	LECTURA 17	LECTURA 18
Carga variable	lt	6	5,88	5,79	5,73	5,64	5,52	5,46	5,4	5,34	5,28	5,22	5,16	5,1	5,01	4,95	4,8	4,68	4,53
	m3	0,006	0,00588	0,00579	0,00573	0,00564	0,00552	0,00546	0,0054	0,00534	0,00528	0,00522	0,00516	0,0051	0,00501	0,00495	0,0048	0,00468	0,00453
Carga final	lt	0,21	0,27	0,33	0,42	0,54	0,66	0,78	0,84	0,9	0,96	1	1,14	1,2	1,32	1,5	1,71	1,92	2
	m3	0,00021	0,00027	0,00033	0,00042	0,00054	0,00066	0,00078	0,00084	0,0009	0,00096	0,001	0,00114	0,0012	0,00132	0,0015	0,00171	0,00192	0,002
Tiempo	día	0,042	0,083	0,125	0,167	0,208	0,250	0,292	0,333	0,375	0,417	0,458	0,500	0,542	0,583	0,625	0,667	0,708	0,750
	hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	seg	3600	7200	10800	14400	18000	21600	25200	28800	32400	36000	39600	43200	46800	50400	54000	57600	61200	64800
Longitud	cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Δh	cm	19,3	18,7	18,2	17,7	17	16,2	15,6	15,2	14,8	14,4	13,9	13,4	13	12,3	11,5	10,3	9,2	8,1
Sección de prisma	cm2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
	m2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Caudal	m3/día	0,005040	0,003240	0,002640	0,002520	0,002592	0,002640	0,002674	0,002520	0,002400	0,002304	0,002182	0,002280	0,002215	0,002263	0,002400	0,002565	0,002711	0,002667
	lt/h	0,210000	0,135000	0,110000	0,105000	0,108000	0,110000	0,111429	0,105000	0,100000	0,096000	0,090909	0,095000	0,092308	0,094286	0,100000	0,106875	0,112941	0,111111
	lt/seg	0,000058	0,000038	0,000031	0,000029	0,000030	0,000031	0,000031	0,000029	0,000028	0,000027	0,000025	0,000026	0,000026	0,000026	0,000028	0,000030	0,000031	0,000031
ksat	m/día	0,013057	0,008663	0,007253	0,007119	0,007624	0,008148	0,008571	0,008289	0,008108	0,008000	0,007848	0,008507	0,008521	0,009199	0,010435	0,012451	0,014731	0,016461
	cm/h	0,0544	0,0361	0,0302	0,0297	0,0318	0,0340	0,0357	0,0345	0,0338	0,0333	0,0327	0,0354	0,0355	0,0383	0,0435	0,0519	0,0614	0,0686
	cm/seg	0,000015	0,000010	0,000008	0,000008	0,000009	0,000009	0,000010	0,000010	0,000009	0,000009	0,000009	0,000010	0,000010	0,000011	0,000012	0,000014	0,000017	0,000019

Tabla 25 Lectura de datos en suelo franco arcillo arenoso. Prueba No. 2

CA_3	Sitio	Pachones																		
	Perfil	61 cm																		
	Tipo de suelo	Franco arcillo arenoso																		
	Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7	LECTURA 8	LECTURA 9	LECTURA 10	LECTURA 11	LECTURA 12	LECTURA 13	LECTURA 14	LECTURA 15	LECTURA 16	LECTURA 17	LECTURA 18
	Carga variable	lt	6	5,85	5,82	5,73	5,67	5,58	5,52	5,43	5,31	5,22	5,13	5,04	4,95	4,86	4,8	4,74	4,59	4,5
		m3	0,006	0,00585	0,00582	0,00573	0,00567	0,00558	0,00552	0,00543	0,00531	0,00522	0,00513	0,00504	0,00495	0,00486	0,0048	0,00474	0,00459	0,0045
	Carga final	lt	0,27	0,33	0,39	0,45	0,51	0,63	0,75	0,9	1,05	1,17	1,29	1,38	1,47	1,59	1,68	1,83	2	2,19
		m3	0,00027	0,00033	0,00039	0,00045	0,00051	0,00063	0,00075	0,0009	0,00105	0,00117	0,00129	0,00138	0,00147	0,00159	0,00168	0,00183	0,002	0,00219
	Tiempo	día	0,042	0,083	0,125	0,167	0,208	0,25	0,292	0,333	0,375	0,417	0,458	0,5	0,542	0,583	0,625	0,667	0,708	0,75
		hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		seg	3600	7200	10800	14400	18000	21600	25200	28800	32400	36000	39600	43200	46800	50400	54000	57600	61200	64800
	Longitud	cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Δh	cm	18,8	18,4	18,1	17,6	17,2	16,5	15,9	15,1	14,2	13,5	12,8	12,2	11,6	10,9	10,4	9,7	8,3	7,7
	Sección de prisma	cm2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
		m2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Caudal	m3/día	0,00648	0,00396	0,00312	0,0027	0,00244	0,00252	0,002571	0,0027	0,0028	0,00280	0,002814	0,00276	0,002713	0,002725	0,00268	0,00274	0,002823	0,00292
		lt/h	0,27	0,165	0,13	0,1125	0,102	0,105	0,107142	0,1125	0,116666	0,117	0,117272	0,115	0,113076	0,113571	0,112	0,11437	0,117647	0,121666
		lt/seg	0,00007	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,000030	0,00003	0,000032	0,00003	0,000033	0,00003	0,000031	0,000032	0,00003	0,00003	0,000033	0,000034
	ksat	m/día	0,0172	0,0108	0,0086	0,0077	0,0071	0,0076	0,0081	0,0089	0,0099	0,0104	0,0110	0,0113	0,0117	0,0125	0,0129	0,0141	0,0170	0,0190
		cm/h	0,0718	0,0448	0,0359	0,0320	0,0297	0,0318	0,0337	0,0373	0,0411	0,0433	0,0458	0,0471	0,0487	0,0521	0,0538	0,0590	0,0709	0,0790
cm/seg		0,000019	0,000012	0,000009	0,000008	0,000008	0,000008	0,000009	0,000010	0,000011	0,000012	0,000012	0,000013	0,000013	0,000014	0,000014	0,000016	0,000019	0,000021	

Tabla 26 Lectura de datos en suelo franco arcillo arenoso. Prueba No. 3

CA_3	Sitio	Pachones																		
	Perfil	61 cm																		
	Tipo de suelo	Franco arcillo arenoso																		
	Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7	LECTURA 8	LECTURA 9	LECTURA 10	LECTURA 11	LECTURA 12	LECTURA 13	LECTURA 14	LECTURA 15	LECTURA 16	LECTURA 17	LECTURA 18
	Carga variable	lt	6	5,91	5,85	5,79	5,73	5,64	5,58	5,52	5,43	5,34	5,16	5,07	4,95	4,86	4,77	4,62	4,53	4,44
		m3	0,006	0,00591	0,00585	0,00579	0,00573	0,00564	0,00558	0,00552	0,00543	0,00534	0,00516	0,00507	0,00495	0,00486	0,00477	0,00462	0,00453	0,00444
	Carga final	lt	0,24	0,36	0,42	0,48	0,57	0,69	0,84	1	1,2	1,29	1,47	1,56	1,68	1,8	1,95	2	2,22	2,31
		m3	0,00024	0,00036	0,00042	0,00048	0,00057	0,00069	0,00084	0,001	0,0012	0,00129	0,00147	0,00156	0,00168	0,0018	0,00195	0,002	0,00222	0,00231
	Tiempo	día	0,0417	0,0833	0,125	0,1667	0,2083	0,25	0,2917	0,3333	0,375	0,4167	0,4583	0,5	0,5417	0,5833	0,625	0,6667	0,7083	0,75
		hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		seg	3600	7200	10800	14400	18000	21600	25200	28800	32400	36000	39600	43200	46800	50400	54000	57600	61200	64800
	Longitud	cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Δh	cm	19,1	18,5	18,1	17,7	17,2	16,5	15,8	14,9	14,1	13,5	12,3	11,7	10,9	10,2	9,4	8,4	7,7	7,1
	Sección de prisma	cm2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
		m2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Caudal	m3/día	0,00576	0,00432	0,00336	0,00288	0,002736	0,00276	0,00288	0,003	0,0032	0,00310	0,00321	0,00312	0,0031	0,0031	0,00312	0,003	0,003134	0,00308
		lt/h	0,24	0,18	0,14	0,12	0,114	0,115	0,12	0,125	0,13333	0,129	0,13364	0,13	0,1292	0,1286	0,13	0,125	0,13059	0,128333
		lt/seg	0,000067	0,000050	0,000039	0,000033	0,000032	0,000032	0,000033	0,000035	0,000037	0,000036	0,000037	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000035	0,000036	0,000036
	ksat	m/día	0,0151	0,0117	0,0093	0,0081	0,0080	0,0084	0,0091	0,0101	0,0113	0,0115	0,0130	0,0133	0,0142	0,0151	0,0166	0,0179	0,0204	0,0217
		cm/h	0,0628	0,0486	0,0387	0,0339	0,0331	0,0348	0,0380	0,0419	0,0473	0,0478	0,0543	0,0556	0,0593	0,0630	0,0691	0,0744	0,0848	0,0904
cm/seg		0,000017	0,000013	0,000010	0,000009	0,000009	0,000009	0,000010	0,000011	0,000013	0,000013	0,000015	0,000015	0,000016	0,000017	0,000019	0,000020	0,000023	0,000025	

Suelos arcillo limosos

Tabla 27 Lectura de datos en suelo arcillo limoso. Prueba No. 1

CA_4	Sitio	Boca de la Chorrera												
	Perfil	37 cm												
	Tipo de suelo	Arcillo limoso												
	Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7	LECTURA 8	LECTURA 9	LECTURA 10	LECTURA 11	LECTURA 12
	Carga variable	lt	6,0	5,22	4,98	4,62	4,32	4,26	3,96	3,81	3,66	3,42	3,33	3,24
		m3	0,0060	0,0052	0,0050	0,0046	0,00432	0,00426	0,00396	0,00381	0,00366	0,00342	0,00333	0,00324
	Carga final	lt	0,60	0,84	1	1,23	1,44	1,8	1,89	1,92	2	2,19	2,37	2,49
		m3	0,0006	0,0008	0,0010	0,0012	0,00144	0,0018	0,00189	0,00192	0,002	0,00219	0,00237	0,00249
	Tiempo	día	0,0417	0,0833	0,1250	0,1667	0,20833	0,25	0,29167	0,33333	0,375	0,41667	0,45833	0,5
		hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		seg	3600	7200	10800	14400	18000	21600	25200	28800	32400	36000	39600	43200
	Longitud	cm	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
	Δh	cm	15,9	14,6	13,1	10,9	9,6	8,2	6,9	6,0	5,2	4,1	3,2	2,5
	Sección de prisma	cm2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
m2		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
Caudal	m3/día	0,0144	0,0101	0,0080	0,00738	0,006912	0,0072	0,00648	0,00576	0,00533	0,005256	0,00517	0,00498	
	lt/h	0,6	0,42	0,333	0,3075	0,288	0,3	0,27	0,24	0,22222	0,219	0,21545	0,2075	
	lt/seg	0,000167	0,000117	0,000093	0,000085	0,000080	0,000083	0,000075	0,000067	0,000062	0,000061	0,000060	0,000058	
ksat	m/día	0,0453	0,0345	0,0305	0,0339	0,036	0,04390	0,04696	0,048	0,05128	0,06410	0,08080	0,0996	
	cm/h	0,1887	0,1438	0,1272	0,1411	0,1500	0,1829	0,1957	0,2000	0,2137	0,2671	0,3366	0,415	
	cm/seg	0,000052	0,000040	0,000035	0,000039	0,000042	0,000051	0,000054	0,000056	0,000059	0,000074	0,000094	0,000115	

Tabla 28 Lectura de datos en suelo arcillo limoso. Prueba No. 2

CA_4	Sitio	Boca_de_la_Chorrera														
	Perfil	37 cm														
	Tipo de suelo	Arcillo limoso														
	Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7	LECTURA 8	LECTURA 9	LECTURA 10	LECTURA 11	LECTURA 12	LECTURA 13	LECTURA 14
	Carga variable	lt	6	4,98	4,62	4,35	4,23	4,02	3,93	3,75	3,72	3,6	3,54	3,45	3,39	3,33
		m3	0,006	0,00498	0,00462	0,00435	0,00423	0,00402	0,00393	0,00375	0,00372	0,0036	0,00354	0,00345	0,00339	0,00333
	Carga final	lt	0,66	1	1,35	1,62	1,83	1,92	2	2,19	2,34	2,43	2,49	2,58	2,67	2,73
		m3	0,00066	0,001	0,00135	0,00162	0,00183	0,00192	0,002	0,00219	0,00234	0,00243	0,00249	0,00258	0,00267	0,00273
	Tiempo	día	0,04167	0,0833	0,1250	0,16667	0,20833	0,25	0,29167	0,33333	0,375	0,41667	0,45833	0,5	0,54167	0,58333
		hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		seg	3600	7200	10800	14400	18000	21600	25200	28800	32400	36000	39600	43200	46800	50400
	Longitud	cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Δh	cm	15,7	13,1	10,9	9,1	8	7	6,1	5,2	4,6	3,9	3,5	2,9	2,4	2
	Sección de prisma	cm2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
		m2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Caudal	m3/día	0,01584	0,012	0,0108	0,00972	0,008784	0,00768	0,00685	0,00657	0,00624	0,005832	0,00543	0,00516	0,00493	0,00468
		lt/h	0,66	0,5	0,45	0,405	0,366	0,32	0,28571	0,27375	0,26	0,243	0,22636	0,215	0,20538	0,195
lt/seg		0,000183	0,00013	0,00013	0,00011	0,0001016	0,00008	0,00007	0,00008	0,00007	0,000067	0,000062	0,000059	0,000057	0,000054	
ksat	m/día	0,050446	0,04580	0,04954	0,05341	0,0549	0,0549	0,0562	0,06317	0,06783	0,074769	0,07761	0,08897	0,10269	0,117	
	cm/h	0,2102	0,1908	0,2064	0,2225	0,2287	0,2286	0,2342	0,2632	0,2826	0,3115	0,3234	0,3707	0,4279	0,4875	
	cm/seg	0,000058	0,000053	0,00005	0,00006	0,0000635	0,00006	0,00006	0,00007	0,00007	0,000086	0,000089	0,000103	0,000118	0,000135	

Tabla 29 Lectura de datos en suelo arcillo limoso. Prueba No. 3

CA_0 4	Sitio	Boca _de_la_Chorrera													
	Perfil	37 cm													
	Tipo de suelo	Arcillo limoso													
	Descripción	Unidad	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA 5	LECTURA 6	LECTURA 7	LECTURA 8	LECTURA 9	LECTURA 10	LECTURA 11	LECTURA 12	LECTURA 13
	Carga variable	lt	6	5,37	5,04	4,89	4,62	4,44	4,23	4,14	3,93	3,75	3,6	3,42	3,3
		m3	0,006	0,00537	0,00504	0,00489	0,00462	0,00444	0,00423	0,00414	0,00393	0,00375	0,0036	0,00342	0,0033
	Carga final	lt	0,45	0,54	0,72	0,87	1	1,2	1,32	1,44	1,56	1,83	2	2,25	2,37
		m3	0,00045	0,00054	0,00072	0,00087	0,001	0,0012	0,00132	0,00144	0,00156	0,00183	0,002	0,00225	0,00237
	Tiempo	día	0,04167	0,08333	0,125	0,16667	0,208333	0,25000	0,291667	0,333333	0,041667	0,41667	0,458333	0,50000	0,04167
		hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		seg	3600	7200	10800	14400	18000	21600	25200	28800	3600	36000	39600	43200	3600
	Longitud	cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Δh	cm	16,7	16,1	14,4	13,4	11,9	10,8	9,7	9	7,9	6,4	5	3,9	3,1
	Sección de prisma	cm2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
		m2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Caudal	m3/día	0,0108	0,00648	0,00576	0,00522	0,0048	0,0048	0,00452	0,00432	0,03744	0,004392	0,004364	0,0045	0,05688	
	lt/h	0,45	0,27	0,24	0,2175	0,2	0,2	0,188571	0,18	0,17333	0,183	0,1818182	0,1875	0,182308	
	lt/seg	0,00013	0,00008	0,00007	0,000060	0,000056	0,000056	0,000052	0,00005	0,00043	0,00005	0,0000505	0,000052	0,000658	
ksat	m/día	0,03234	0,02012	0,02000	0,019478	0,020168	0,02222	0,023328	0,024	0,23696	0,03431	0,0436364	0,057692	0,917419	
	cm/h	0,1347	0,0839	0,0833	0,0812	0,0840	0,0926	0,0972	0,10	0,9873	0,1430	0,1818	0,2404	3,8226	
	cm/seg	0,00004	0,00002	0,00002	0,000023	0,000023	0,000026	0,000027	0,000028	0,00027	0,00004	0,000051	0,000067	0,001062	

Evidencia fotográfica



Limpieza y desbroce del terreno



Realización de calicata



Fijación del cincho



Extracción de muestras



Colocación del cincho en el equipo



Imposición de la muestra en el equipo con ayuda de una manivela



Instalación del sensor de humedad en la muestra



Saturación de la muestra



Ejecución de los ensayos



Medición de las cargas