



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 FRANCO  
MEDIANTE PERMEÁMETRO DE LABORATORIO CON CARGA CONSTANTE”

**PREVIO AL TÍTULO DE:**

INGENIERA HIDRÁULICA

**AUTOR:**

BELÉN ANAÍS VERA HERRERA

**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:** 1306597657

## **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. Michael Caicedo M. Sc  
Segundo lector

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

En 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: \_\_\_\_\_

Belén Anaís Vera Herrera  
Dirección: Calle Benitos Santos Macay y Mercedes.  
E-mail: [ana\\_vera1998@hotmail.com](mailto:ana_vera1998@hotmail.com)  
Celular: 0958622713



---

Belén Anaís Vera Herrera  
C.I.: 0850868738

## 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.



---

Belén Anaís Vera Herrera  
C.I.: 0850868738

## AGRADECIMIENTOS

*Gracias a esta prestigiosa universidad por permitir que desarrolle parte de mi formación académica, gracias a todos los docentes que fueron actores directos en este proceso aportando significativamente para este gran logro.*

*Gracias a mis padres por regalarme la dicha de estudiar y ser los principales incitadores en el cumplimiento de mis objetivos, por la confianza brindada, por acompañarme en este camino de lucha constante de noches agotadoras, por haber deseado lo mejor para mí y mi futuro y sobre todo gracias por creer en mi capacidad, aunque se encontraran a kilómetros de distancia.*

*Gracias a mis familiares que han estado a mi lado coadyuvándome en cada paso de mis logros y decaídas, por motivarme a esforzarme cada día más sin conformarme con nada y buscar mi superación.*

*Gracias a mis compañeros y amigos más cercanos que esta institución me los presentó y que sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, regocijos y aflicciones, personas preciosas que logramos apoyarnos durante este período.*

*Gracias totales.*

## Resumen

Esta investigación exploratoria-descriptiva estimó la conductividad hidráulica saturada ( $k_{sat}$ ) en suelo franco, mediante permeámetro de laboratorio con carga constante, en la cuenca media del río Mosquito. Siendo  $k_{sat}$  una propiedad física del suelo elemental para el conocimiento de un medio geológico, su correcta estimación y obtención de resultados acertados puede ser laboriosa. Consecuentemente, esta investigación se realizó durante cuatro meses del período enero-abril 2020, exponiendo 15 ensayos para valoración de  $k_{sat}$  extraídos en siete puntos, con tres repeticiones en cada muestra para suelos franco arenoso, franco limoso, franco, franco arcilloso y franco areno arcilloso variando las profundidades entre 0,29 m y 0,95 m del río estudiado. Se utilizó la ecuación de *Darcy* para obtener los valores de  $k_{sat}$ , y se consideró la densidad aparente, porosidad, capacidad de campo, porcentajes texturales y velocidad de infiltración para el establecimiento del sistema de ecuaciones. Los resultados de la ecuación de *Darcy* presentan valores de  $k_{sat}$  entre 17,84 cm/h y 0,15 cm/h para los suelos estudiados, observándose humedades iniciales desde 60% y 90% en las muestras. Estos resultados indican valores atípicos y el incumplimiento de las expectativas propuestas en el establecimiento del sistema de ecuaciones por ausencia de datos, sin minimizar el margen de error de probabilidad para descartar incertidumbres, teniendo como consecuencia incontables soluciones en la función objetivo. En conclusión, para ejecutar este tipo de investigaciones es necesario tener recursos y valores predominantes, permitiendo la formulación del sistema de ecuaciones.

*Palabras clave:* conductividad hidráulica, permeámetro de laboratorio, porosidad, regresión múltiple, río Mosquito

## Abstract

This exploratory-descriptive research study estimated saturated hydraulic conductivity ( $K_{sat}$ ) in loam soil by the laboratory permeameter using the constant head method, in the middle basin of the Mosquito River.  $K_{sat}$  is an essential soil physical property for the knowledge of geological environments; however, its correct estimation and obtention of accurate results may be arduous. Hence, this study was carried out over a four-month period from January through April 2020; it performed 15 field tests to assess  $K_{sat}$  estimated at seven points, with three replications per each sample of sandy loam, silty loam, loam, clay loam and sandy clay loam, and variations with respect to depth between 0.29 m and 0.95 m in this place. Darcy's equation was used to calculate  $K_{sat}$  values, while soil characteristics such as soil bulk density, porosity, field capacity, soil texture, and soil infiltration rate were used to set up the system of equations. Darcy's equation findings reveal  $K_{sat}$  values ranging from 17.84 cm/h to 0.15 cm/h, and initial soil moisture levels ranging from 60% to 90%. These findings show outliers and non-compliance with expectations regarding the establishment of the system of equations because of lack of data, without minimizing the margin of error in probability to rule out uncertainties, resulting in countless solutions in the objective function. In conclusion, in order to carry out this type of study, it is required to have key resources and values to formulate the system of equations properly.

*Keywords:* hydraulic conductivity, laboratory permeameter, porosity, multiple regression, Mosquito River

## Tabla de contenido

Introducción	1
Materiales y métodos	4
Área de estudio	4
Equipos y Materiales	5
Materiales de campo	5
Materiales de oficina	5
Materiales de laboratorio	5
Toma de muestras y análisis previos	6
Conductividad hidráulica saturada	7
Metodología para la formulación de ecuaciones	9
Porosidad	9
Distribución logarítmica normal	9
Ecuación regresión lineal múltiple	9
Softwares empleados para la ubicación de los tipos de suelos	10
Resultados	11
Ubicación de suelos francos.	11
Medición de humedad y volúmenes de porosidad	13
Conductividad hidráulica	15
Distribución logarítmica normal y comparación de datos	15
Establecimiento de ecuación	20
Discusión	23

Conclusiones	26
Literatura citada	27
Anexos	31

## Índice de tablas

Tabla 1	Coordenadas geográficas	4
Tabla 2	Caracterización de granulométrica de las muestras	6
Tabla 3	Porcentajes de humedad	13
Tabla 4	Densidad y porosidad de cada clase textural de los suelos franco	14
Tabla 5	Valores de conductividad hidráulica ( $k_{sat}$ )	15
Tabla 6	Valores de conductividad hidráulica saturada transformadas a $\text{Log}_{10}$	15
Tabla 7	Datos generales para planteamiento de la ecuación	20
Tabla 8	Estimación de errores y coeficientes en variables para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos francos arenosos	21
Tabla 9	Estimación de error y coeficientes para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos francos limosos	21
Tabla 10	Estimación de error y coeficientes para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos francos	21
Tabla 11	Estimación de error y coeficientes para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos franco arcillosos	22
Tabla 12	Estimación de error y coeficientes para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos franco areno arcillosos	22

## Índice de figuras

Figura 1 Localización de calicatas en la cuenca media del río Mosquito	4
Figura 2 Esquema del permeámetro de laboratorio	8
Figura 3 Dimensiones del permeámetro de laboratorio (cm)	8
Figura 4 Mapa textural de la cuenca media del río Mosquito	12
Figura 5 Representación gráfica de caja de los valores de $k_{sat}$ en suelos franco arenoso y franco limoso	19
Figura 6 Representación gráfica de caja de los valores de $k_{sat}$ para suelos franco, franco arcilloso y franco areno arcilloso.	19

## **Anexos**

Anexo 1 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco limoso.	31
Anexo 2 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco limoso	32
Anexo 3 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco limoso	33
Anexo 4 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arenoso	34
Anexo 5 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arenoso	35
Anexo 6 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arenoso	36
Anexo 7 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco	37
Anexo 8 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco	39
Anexo 9 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco	41
Anexo 10 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arcilloso	43
Anexo 11 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arcilloso	45
Anexo 12 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arcilloso	47
Anexo 13 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arcillo arenoso	49
Anexo 14 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arcillo arenoso	51
Anexo 15 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arcillo arenoso	53
Anexo 16 Fotografías	55

## **Introducción**

El suelo siendo la capa superficial sobre la corteza terrestre y que sostiene toda la vida terrestre en él, es el interfaz de las capas de la litósfera y la atmósfera por la fuerte interacción entre la biósfera y la hidrósfera (Lal & Shukla, 2004). Conocer acerca del suelo es de índole significativo dirigidos hacia otras perspectivas no agrícolas ejemplificando la construcción, trabajos ingenieriles, ordenamiento territorial entre otras (de la Rosa, 2008). El suelo es denominado como el producto de la desintegración o en ocasiones a la alteración física y/o químicas de rocas madres sin desintegrarse. El empleo del suelo para sus diversos fines posee gran predominio por la caracterización de las propiedades físicas de este, acentuando en las hidráulicas. El conocimiento de las antes mencionadas se ha destacado por ser uno de los temas de preferencia para la investigación continua en varias ramas de la ingeniería (Crespo, 2004).

Básicamente, la función del suelo se estandariza como un medio poroso de almacenamiento, que libera agua como efecto de una respuesta hidrológicamente lenta (Iñiguez, Borja, Crespo, & Cisneros, 2008), afectando a la estructura y formación del suelo así como su estabilidad y erosión (FAO, 2013). Por ello los datos sobre el volumen y velocidad del flujo del agua en medio del suelo es de suma necesidad para la gestión óptima de los suelos y crecimiento de cultivos (Lal & Shukla, 2004).

El movimiento del agua mediante el suelo es de importancia considerable en diferentes aspectos y cumple un rol significativo en campos como la agricultura y en el hábitat urbano. Asimismo, alguna que otra situación evidente en la que se muestra que la medida de transporte desenvuelve un papel relevante sean estos como el ingreso del agua al suelo, movimiento del agua en las raíces de las plantas, el retorno del agua de la superficie a la atmósfera (Klute & Dirksen, 1986).

Según Henry Darcy, dedujo a través de una práctica experimental que “el caudal que atravesaba el permeámetro era linealmente proporcional a la sección y al gradiente hidráulico”, por tanto, si existe variación en el caudal con una llave, la altura del agua en los tubos se hará notorio la diferencia y variación. Además, si se realiza cambios en el tipo de suelo y haciendo cambios de variables, se cumple la deducción. Por ello Darcy define que la conductividad hidráulica es propia de cada tipo de sustrato de suelo en base a sus estudios realizados (Universidad de Salamanca, s.f.).

La conductividad hidráulica es una de las propiedades que son dependientes de la estructura del suelo por lo que tiene un rol muy específico con el agua, la porosidad y la transferencia de calor en los suelos (Dörner, Dec, Peng, & Horn, 2010). Esta propiedad se considera una medida de la habilidad que posee el suelo en transmitir agua y de almacenarla en él (Klute & Dirksen, 1986).

El conocimiento de este elemento es indispensable ya que ayuda al control de la infiltración, escorrentía superficial, el transporte de plaguicidas y el éxodo de contaminantes dirigidas a las aguas subterráneas (Cramer, Hawkins, & Verboom, 2009) como dato esencial para modelaciones numéricas que predecirán el comportamiento del movimiento del agua en medio del suelo (Rojas, Ludwig, Rojas, & Menjívar, 2008).

La estimación de la conductividad hidráulica se relaciona estrechamente con la estructura del suelo y a su vez con la porosidad característica del mismo, que en pocas ocasiones no posee representatividad (Rienzner & Gandol, 2014). No obstante, en la presente investigación la porosidad y la estructura del suelo represente un foco de interés para la estimación del elemento estudiado. Simultáneamente la variación espacial influye mostrando valores significativos de  $ksat$ , con o sin la presencia de prácticas agronómicas. Por lo que esta investigación aporta al conocimiento sobre los resultados y reconocimiento en campo y laboratorio de la relación que

salvaguarda la estructura del suelo, especies biológicas encontradas en este, y que pueden llegar a afectar el valor de conductividad hidráulica.

La conductividad hidráulica es considerada como una herramienta esencial para el diagnosticar la clasificación estructural de un sustrato de suelo, por consiguiente, la estructura del suelo en fase saturada incrementa en referencia a suelos con mejor estructura (Achim, Grez, & Ramírez, 1997). Los valores correspondientes a  $k_{sat}$  se encuentran estrechamente ligados con propiedades hidrofísicas del suelo como la densidad, textura, porosidad, infiltración y capacidad de campo, sin embargo, estas no suceden una distribución similar, conllevando errores comunes

Aunque la  $k_{sat}$  es dependiente de propiedades como la densidad, textura y porosidad, estas no siguen la misma distribución, llevando inexactitudes razonablemente comunes como es omitir las diferencias entre las propiedades antes mencionadas, examinando la misma cantidad de muestras, obteniendo así susceptibilidad desigual en varias disposiciones (Bastos & Oliveira, 2003).

La presente investigación mantiene como objetivo estimar la conductividad hidráulica en suelos francos mediante permeámetro de laboratorio con carga constante y así lograr conocer este parámetro hidrofísico que es la conductividad hidráulica del suelo, lo cual permitirá la facilidad de estudios futuros para sus diversos fines, en consecuencia a lo mencionado se suscribieron actividades objetivas específicas como la ubicación de los tipos de suelos francos que se encuentran en la cuenca media del río Mosquito, la medición de los diferentes márgenes de humedad de los suelos franco de la cuenca media del río Mosquito utilizando sensores de humedad implementados en el prisma de suelo ubicado en el permeámetro de laboratorio con carga constante y el establecimiento de ecuaciones para la determinación del valor de la conductividad hidráulica en los tipos de suelos francos.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El área estudiada se encuentra en las comunidades de La Carmela, La Manchuria, La López y La Alianza situadas en el sitio de Mosquito de la parroquia Santa Rita del cantón Chone, Manabí, Ecuador entre las coordenadas UTM E 611880, N 9927085.

**Figura 1 Localización de calicatas en la cuenca media del río Mosquito**



Google Earth. (s.f.). [Mapa de Mosquito, Chone, Ecuador en Google Earth]. Recuperado el 21 de noviembre, 2020, de: [https://earth.google.com/web/search/Mosquito,+Chone/@-0.66016814,-80.0052975,31.28355347a,5394.7816845d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCYPESTiVGem\\_EZGfi9I2-em\\_GWkM8hogB1TAIYWBCQwyCVTA](https://earth.google.com/web/search/Mosquito,+Chone/@-0.66016814,-80.0052975,31.28355347a,5394.7816845d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCYPESTiVGem_EZGfi9I2-em_GWkM8hogB1TAIYWBCQwyCVTA).

Tabla 1 Coordenadas geográficas

<i>N. CALICATAS</i>	<i>COORDENADAS UTM</i>	
	<i>ESTE</i>	<i>NORTE</i>
1	611880	9927085
2	611612	9927029
3	611033	9927084
4	610609	9926906
5	610205	9926928
6	610036	9926689
9	608862	9926627

Fuente 1 (Medina & Moreira, 2018)

## **Equipos y Materiales**

### **Materiales de campo**

- ✓ Machete
- ✓ Film plástico
- ✓ Cinchos
- ✓ Tinas plásticas
- ✓ Combos
- ✓ Bolsas plásticas
- ✓ Etiquetas
- ✓ Palas
- ✓ Pico
- ✓ Flexómetro
- ✓ Cámara fotográfica

### **Materiales de oficina**

- ✓ Libreta de apuntes
- ✓ Esferográficos
- ✓ Computador portátil
- ✓ Software Excel
- ✓ Google Earth
- ✓ ArcGIS

### **Materiales de laboratorio**

- ✓ Permeámetro
- ✓ Manivela
- ✓ Cronómetro
- ✓ Sensores de humedad

## Toma de muestras y análisis previos

Siendo esta investigación realizada en suelos de arena franca, franco limoso, franco arenoso, franco, franco arcilloso y franco areno arcilloso (Medina & Moreira, 2018). Se realizaron 7 calicatas las cuales fueron geo referenciados mediante GPS. Del total de las calicatas se obtuvieron 15 muestras de suelo (3 de cada tipo de suelo franco) con la finalidad de descartar incertidumbres con los resultados obtenidos en laboratorio.

Al ubicar la zona de realizar las calicatas se eliminó la capa superficial que pueden estar susceptibles a alteraciones por la vinculación atmosférica (William, 2018) por lo que en la Tabla 2 señala las profundidades en donde se encuentra cada sustrato estudiado. La extracción del suelo se lo realizó con cinchos metálicos artesanales con las medidas del depósito de la muestra. Estos cinchos se posicionaron en el suelo con un combo mediante golpes leves precautelando que la muestra no presente grietas y la destrucción del equipo. Las muestras de suelo receptadas en campo se trasladaron a laboratorio cuidadosamente y cubiertas de film plástico de manera en que no fuese perturbada e inalterada.

Tabla 2 Caracterización de granulométrica de las muestras

Calicata	Profundidad cm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural USDA
1	57	75,8	23,2	0,00	Franco arenoso
	95	28,8	66,4	4,8	Franco limoso
2	48	38,4	57,6	4	Franco limoso
3	36	56,8	40	3,2	Franco arenoso
	61	32,8	60	7,2	Franco limoso
4	32	51,2	32,8	16	Franca
	53	42,4	35,2	22,4	Franca
5	29	56	33,6	10,4	Franco arenosa
6	29	49,6	40,8	9,6	Franca
9	54	21,6	40	38,4	Franco arcillosa
	84	69,6	3,2	27,2	Franco areno arcillosa

**Fuente 2** Estimación de las propiedades hidrofísicas del suelo de las comunidades “La Carmela, La López, La Manchuria y La Alianza” del sitio “Mosquito”, utilizando métodos directos e indirectos. Medina & Moreira, 2018

## Conductividad hidráulica saturada

La estimación de la conductividad hidráulica saturada ( $k_{sat}$ ) se la determinó por medio de permeámetro de laboratorio con carga constante. Los ensayos de  $k_{sat}$  se ejecutaron siguiendo el procedimiento descrito por (Klute & Dirksen, 1986) para un prisma de suelo de 20 cm de alto, largo y ancho mediante la aplicación de una carga hidráulica constante a la muestra inalterada en el primer depósito del permeámetro midiendo el tiempo que ha transcurrido desde la aplicación de agua en la muestra de suelo previamente saturada hasta que se observe que ya no exista paso del agua hacia el depósito final. La lectura de estos valores se la realizó por cada hora transcurrida y por cada litro observado en el depósito final. El valor de la conductividad hidráulica saturada ( $k_{sat}$ ) se la determinó por la siguiente ecuación de la ley de Darcy:

Ecuación 1

$$k_{sat} = \frac{V * L}{\Delta h * A * t}$$

Donde  $k_{sat}$  es el valor de conductividad hidráulica (cm/s) (cm/h),  $V$  es el volumen de agua (lt),  $L$  es la distancia que recorre el agua desde la entrada hasta la salida de esta (cm) (m),  $\Delta h$  es la variación de altura de las cargas hidráulicas (cm),  $A$  es el área del depósito de la muestra de suelo (cm<sup>2</sup>) (m<sup>2</sup>) y  $t$  es el tiempo que tarda el agua en trasladarse desde el primer depósito hasta el último por medio de la muestra de suelo.

Con los valores obtenidos de conductividad hidráulica mediante la ecuación de Darcy se procede a procesarlos analíticamente de manera autónoma entre las 3 últimas lecturas de cada ensayo, no obstante, la información que no se aproxima al resto de los datos se desprecian.

En la *Figura 2* y *Figura 3* se presenta gráficamente el esquema del equipo utilizado en los ensayos para la estimación de conductividad hidráulica y las dimensiones del mismo.

Figura 2 Esquema del permeámetro de laboratorio

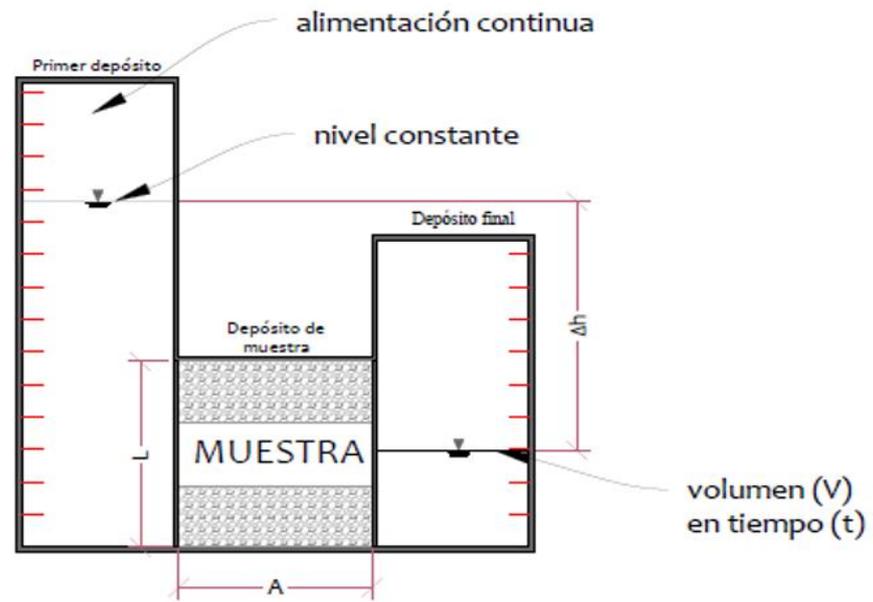
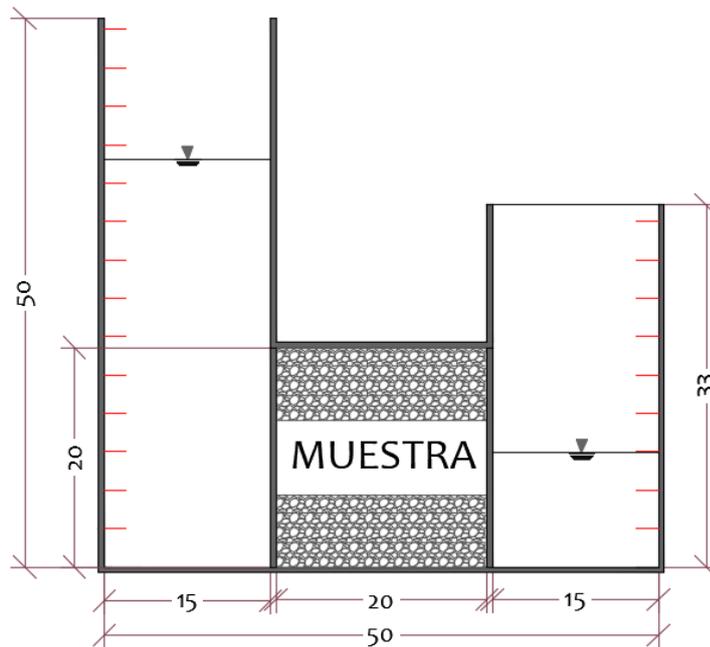


Figura 3 Dimensiones del permeámetro de laboratorio (cm)



## **Metodología para la formulación de ecuaciones**

### **Porosidad**

En el hallazgo del valor de porosidad se hizo uso de los valores de densidad aparente extraídos del trabajo de investigación “Estimación de las propiedades hidrofísicas del suelo de las comunidades “La Carmela, La López, La Manchuria y La Alianza” del sitio “Mosquito”, utilizando métodos directos e indirectos” a través de la siguiente ecuación (Flores & Alcalá, 2010), donde la densidad real de 2,65 g/cm<sup>3</sup> se la obtiene de la aproximación de la mayor parte de los suelos (FAO, 2013), debido a que los datos de densidad real no se encuentran adjudicados en la investigación antes mencionada:

Ecuación 2

$$\varphi = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}$$

Donde;

$\varphi$  es la porosidad, suele expresarse en %

$\rho_a$  es la densidad aparente, expresada en g/cm<sup>3</sup>

$\rho_r$  es la densidad real, expresada en g/cm<sup>3</sup>

### **Distribución logarítmica normal**

Los valores de conductividad hidráulica saturada por cada tipo de suelo franco se los transformaron a logaritmos de base 10 debido a que son datos con una distribución logarítmica normal. Siendo así para que los cometidos estadísticos deseados se analicen de forma correcta con ANOVA y con la prueba T.

### **Ecuación regresión lineal múltiple**

Esta ecuación se la intentó desarrollar en base a una amplitud natural del modelo utilizado en este proceso de investigación como lo es la regresión lineal múltiple que presume la función de regresión que correlaciona la variable dependiente en conjunto con las variables

independientes linealmente, por lo que se expresaría de la siguiente manera (Universidad de Santiago de Compostela, 2011):

Ecuación 3

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

Donde:

$Y$  es la variable de interés

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

$X_1, X_2, X_3, X_4 \dots$  son un conjunto de variables regresoras

De esta manera se plantearía la ecuación para la estimación de  $k_{sat}$  expresada así:

Ecuación 4

$$k_{sat} = (A * \%arena) + (B * \%limo) + (C * \%arcilla) + (D * Cc) + (E * infiltración) + (F * porosidad)$$

Los coeficientes parciales regresores identificados con las letras  $A, B, C, D, E$  y  $F$  corresponden cantidades numéricas estimadas aleatoriamente para el ajuste de la ecuación y de esta manera exista una única solución. A su vez, cada porcentaje de composición estructural del sustrato de suelo corresponde a la clasificación de suelo deseado para la estimación de la conductividad hidráulica saturada. Teniendo en cuenta que el número de incógnitas siempre debe ser igual al número de ecuaciones propuestas.

### **Softwares empleados para la ubicación de los tipos de suelos**

La ubicación de los diferentes tipos de suelos francos situados en la cuenca media del río Mosquito se la realizó por medio de un mapa textural y con el apoyo de programas informáticos para la introducción de coordenadas UTM, como ArcGIS el cual se lo utilizó para la delimitación de la cuenca y la identificación espacial de los diferentes tipos de suelos francos existentes en la zona de estudio.

## **Resultados**

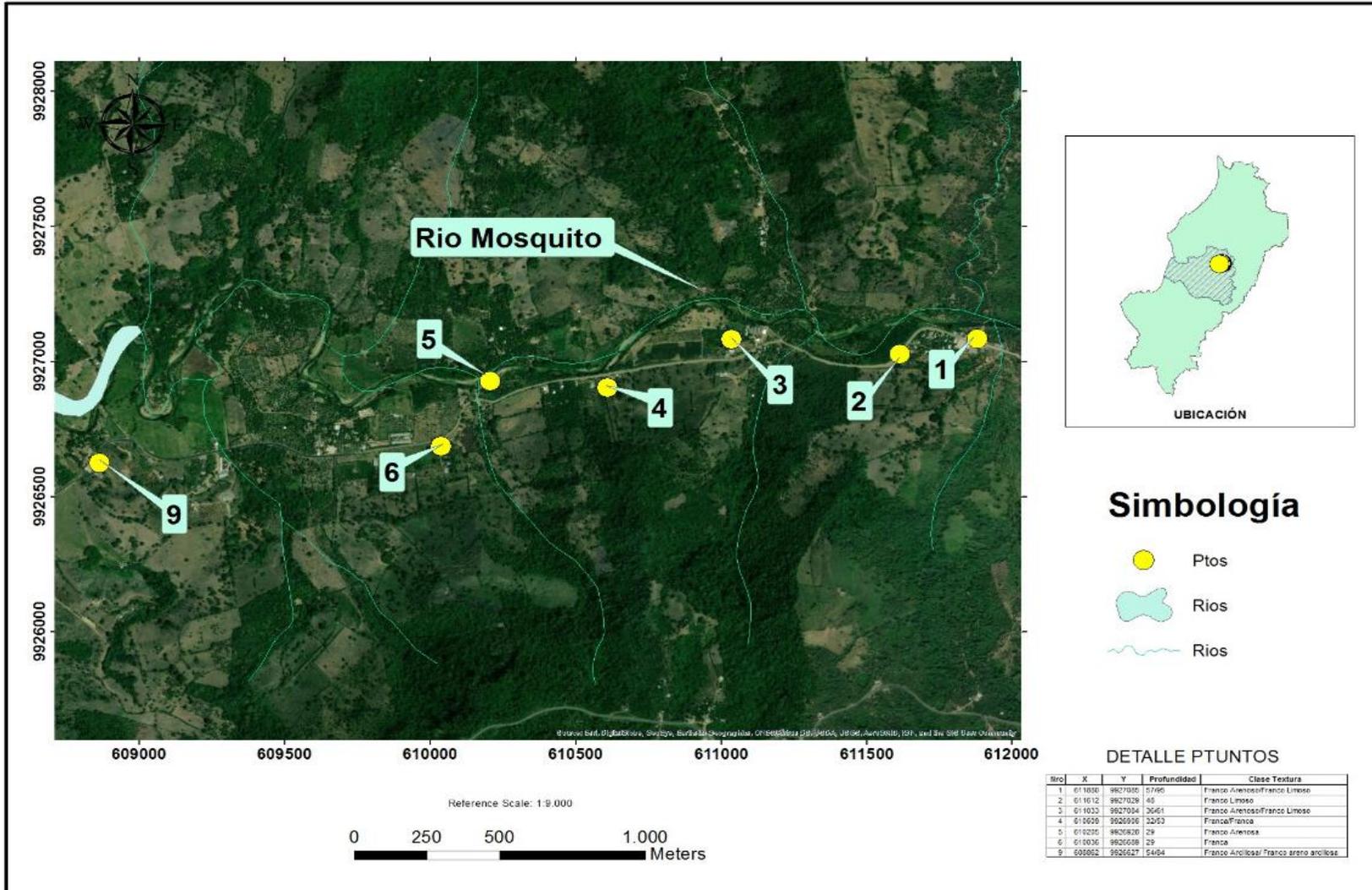
### **Ubicación de suelos francos.**

La ubicación de los suelos francos encontrados en la cuenca media del río Mosquito se lo hizo a través de un mapa que ayuda a identificar las calicatas realizadas en él y la clasificación textural encontradas en el área de estudio brindando una mejor apreciación y georreferenciación dirigido a estudios especiales para planificaciones futuras.

A continuación, se presenta el mapa textural de la zona de estudio en donde se puede visualizar la delimitación de la cuenca media del río Mosquito en conjunto con las curvas de nivel percibiendo la realidad altimétrica de la zona, enfatizando a los suelos arena franca, franco limoso, franco arenoso, franco, franco arcilloso y franco areno arcilloso.

Figura 4 Mapa textural de la cuenca media del río Mosquito

### MAPA TEXTURAL DE LA CUENCA MEDIA DEL RIO MOSQUITO



## Medición de humedad y volúmenes de porosidad

Los valores de  $K_{sat}$  fueron obtenidos en laboratorio usando muestras no disturbadas de cada tipo de suelo franco. Los datos de  $k_{sat}$  (15 muestras) procesadas en el permeámetro de laboratorio se comportaron de la manera esperada (véase en Anexos), mencionando que las muestras extraídas de la calicata 3 presentaron material rocoso y dio paso al flujo preferencial del agua por grietas notorias, al mismo tiempo en los especímenes de suelo en las calicatas 1, 2 y 4 se observó la existencia de biota (lombrices y raíces) de manera análoga a la anterior como consecuencia se examinó al agua que fluía por el punto de menor resistencia.

En la Tabla 3 evidencia los porcentajes humedad inicial y a saturación del material estudiado en el tiempo que tardó en ocupar el agua los espacios porosos característicos de cada clase textural. Por lo que los suelos francos limosos se saturaron en un tiempo mínimo a comparación del resto variando entre 7 min a 15 min mientras que los suelos francos arenosos, francos, francos limosos, franco arcillosos y franco areno arcillosa se comportaron con un tiempo de saturación de 17 min a 25 min.

Tabla 3 Porcentajes de humedad

Clase textural USDA	Humedad (%)		Tiempo (min)
	Inicial	A saturación	
	70	100	24,11
<i>Franco arenoso</i>	70	100	25
	70	100	23,57
	60	100	7,32
<i>Franco limoso</i>	65	100	8
	60	100	7,5
	90	100	15,2
<i>Franco</i>	90	100	20
	90	100	17,4
	90	100	25
<i>Franco arcillosa</i>	90	100	20
	90	100	24,4
	90	100	17
<i>Franco areno arcillosa</i>	80	100	23,15
	90	100	18,24

Con el apoyo de los valores de densidad aparente se logró obtener el cálculo de porosidad para cada clase textural de suelos francos, sin la necesidad de utilizar los márgenes de humedad observados durante los ensayos de conductividad hidráulica con la aplicación de la Ecuación 2.

Tabla 4 Densidad y porosidad de cada clase textural de los suelos franco

<b>Clase textural USDA</b>	<b>Da gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>Porosidad cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup></b>
<i>Franco arenoso</i>	1,57	0,4075
	1,4	0,4717
	1,55	0,4151
<i>Franco limoso</i>	1,69	0,3623
	1,37	0,4830
	1,16	0,5623
<i>Franco</i>	1,71	0,3547
	1,49	0,4377
	1,57	0,4075
<i>Franco arcillosa</i>	1,44	0,4566
<i>Franco areno arcillosa</i>	1,56	0,4113

En los suelos franco arenosos se presentaron diferencias mínimas en los datos de densidad aparente, con valores de porosidad de 40%, 47% y 42% para cada muestra de suelo con variación espacial. Para las muestras de suelo franco limoso se aprecia diferencias más notorias fluctuando valores de 36%, 48% y 56%. En suelos francos resultaron 35%, 44% y 41% como porosidad en las muestras dadas. En cambio, en los suelos franco arcillosos y franco areno arcillosos le corresponden un único valor de densidad aparente debido a que solo se encontró estos tipos de suelos en una sola calicata por cada uno, efectuándose porcentajes de porosidad de 45% y 41%.

## Conductividad hidráulica

Los valores de conductividad hidráulica resultantes de los ensayos con el permeámetro de laboratorio con carga constante señalan que en suelos francos arenosos es de 17,84 cm/h, en franco limosos resulta 2,45 cm/h, mientras que para los suelos francos y franco areno arcillosa coinciden con valores de  $k_{sat}$  de 0,15 cm/h y, por último, los suelos franco arcillosa se obtuvo un  $k_{sat}$  de 0,26.

**Tabla 5 Valores de conductividad hidráulica ( $k_{sat}$ )**

No.	Clase textural USDA	$K_{sat}$ cm/h
1	Franco arenoso	17,84133
2	Franco limoso	2,44633
3	Franco	0,15340
4	Franco arcillosa	0,25722
5	Franco areno arcillosa	0,14589

## Distribución logarítmica normal y comparación de datos

En la Tabla 6 se visualiza los valores de conductividad hidráulica en cm/h transformados a logaritmo base 10.

Tabla 6 Valores de conductividad hidráulica saturada transformadas a  $\text{Log}_{10}$

Franco arenoso		Franco limoso		Franca		Franco arcillosa		Franco areno arcillosa	
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
85,71	1,93	48,65	1,69	2,77	0,44	2,38	0,38	1,80	0,26
151,37	2,18	46,97	1,67	1,79	0,25	1,69	0,23	1,89	0,28
143,67	2,16	42,35	1,63	1,40	0,15	1,48	0,17	2,16	0,33
168,07	2,23	42,58	1,63	1,27	0,10	1,44	0,16	2,18	0,34
218,82	2,34	42,86	1,63	1,15	0,06	1,65	0,22	2,12	0,33
336,13	2,53	44,31	1,65	1,27	0,10	1,59	0,20	2,31	0,36
729,60	2,86	45,00	1,65	1,37	0,14	1,64	0,21	2,40	0,38
124,68	2,10	46,46	1,67	1,40	0,15	1,61	0,21	2,46	0,39
171,43	2,23	49,02	1,69	1,37	0,14	1,60	0,20	2,30	0,36
239,76	2,38	49,50	1,69	1,32	0,12	1,56	0,19	2,32	0,36

251,16	2,40	50,42	1,70	1,28	0,11	1,54	0,19	2,31	0,36
302,08	2,48	76,19	1,88	1,28	0,11	1,53	0,19	2,27	0,36
330,00	2,52	822,86	2,92	1,29	0,11	1,58	0,20	2,25	0,35
485,63	2,69	734,69	2,87	1,36	0,13	1,63	0,21	2,29	0,36
468,53	2,67	642,86	2,81	1,41	0,15	1,64	0,21	2,34	0,37
468,00	2,67	1268,54	3,10	1,43	0,15	1,73	0,24	2,35	0,37
727,50	2,86	1040,00	3,02	1,45	0,16	1,90	0,28	2,38	0,38
930,39	2,97	1328,90	3,12	1,44	0,16	1,98	0,30	2,33	0,37
3388,81	3,53	1500,00	3,18	1,47	0,17	2,10	0,32	2,38	0,38
374,03	2,57	2955,53	3,47	1,56	0,19	2,34	0,37	2,43	0,39
298,71	2,48	530,88	2,72	1,57	0,19	2,56	0,41	2,50	0,40
356,73	2,55	748,96	2,87	1,64	0,21	2,77	0,44	2,52	0,40
403,64	2,61	457,14	2,66	1,71	0,23	2,95	0,47	2,61	0,42
500,52	2,70	540,00	2,73	1,73	0,24	3,15	0,50	2,35	0,37
448,57	2,65	472,91	2,67	1,72	0,24	3,36	0,53	2,70	0,43
741,47	2,87	507,27	2,71	1,82	0,26	3,60	0,56	2,76	0,44
692,90	2,84	667,04	2,82	1,92	0,28	3,71	0,57	2,83	0,45
1170,00	3,07	930,00	2,97	2,04	0,31	4,24	0,63	2,91	0,46
13819,58	4,14	1800,00	3,26	2,08	0,32	4,40	0,64	2,38	0,38
						4,88	0,69	1,69	0,23
						5,18	0,71	1,40	0,15
						5,52	0,74	1,27	0,10
						6,18	0,79	1,15	0,06
						6,80	0,83	1,16	0,06
						7,53	0,88	1,10	0,04
						8,64	0,94	1,06	0,02
						2,77	0,44	1,09	0,04
						1,89	0,28	1,13	0,05
						1,55	0,19	1,13	0,05
						1,50	0,18	1,20	0,08
						1,67	0,22	1,21	0,08
						1,80	0,26	1,29	0,11
						1,73	0,24	1,28	0,11
						1,65	0,22	1,38	0,14
						1,68	0,22	1,47	0,17
						1,60	0,20	1,50	0,18
						1,54	0,19	1,72	0,24
						1,50	0,18	1,98	0,30
						1,55	0,19	2,29	0,36
						1,60	0,20	2,66	0,42
						1,57	0,20	2,76	0,44
						1,66	0,22	2,94	0,47
						1,80	0,25	3,14	0,50
						1,90	0,28	2,77	0,44
						1,98	0,30	1,89	0,28
						2,07	0,31	2,00	0,30

2,16	0,33	2,26	0,35
2,21	0,34	2,12	0,33
2,31	0,36	2,25	0,35
2,37	0,38	2,24	0,35
2,44	0,39	2,20	0,34
2,51	0,40	2,28	0,36
2,53	0,40	1,92	0,28
2,61	0,42	2,01	0,30
2,74	0,44	2,12	0,33
2,83	0,45	2,12	0,33
2,51	0,40	2,34	0,37
2,64	0,42	2,35	0,37
2,78	0,44	2,43	0,39
2,87	0,46	2,51	0,40
2,97	0,47	2,67	0,43
3,13	0,50	2,84	0,45
3,24	0,51	3,11	0,49
2,38	0,38	3,31	0,52
1,48	0,17	3,65	0,56
1,19	0,08	3,82	0,58
1,22	0,09	4,03	0,60
1,15	0,06	4,61	0,66
1,08	0,03	5,54	0,74
0,98	-0,01		
1,14	0,06		
1,16	0,06		
1,15	0,06		
1,18	0,07		
1,19	0,08		
1,20	0,08		
1,24	0,09		
1,27	0,10		
1,66	0,22		
1,76	0,25		
1,90	0,28		
2,06	0,31		
2,27	0,36		
2,42	0,38		
2,52	0,40		
2,64	0,42		
2,82	0,45		
2,95	0,47		
3,10	0,49		
3,32	0,52		
3,57	0,55		
3,68	0,57		

4,08	0,61
4,53	0,66
3,42	0,53
5,32	0,73
5,66	0,75
6,34	0,80
6,97	0,84
7,71	0,89
8,57	0,93

---

En la **Figura 5** se aprecia la distribución de los valores de  $k_{sat}$  en cm/h para suelos franco arenoso y franco limoso, los que han presentados resultados altos debido a la estructura de sus partículas de mayor tamaño como la existencia de arena y en el caso del limo que le sucede. A su vez, los suelos francos, franco arcilloso y franco arenoso exponen en la

Figura 6 datos sumamente bajos entre ellos por la capacidad que poseen de retener fluidos y por la estructura de las partículas que los caracterizan.

Figura 5 Representación gráfica de caja de los valores de  $k_{sat}$  en suelos franco arenoso y franco limoso

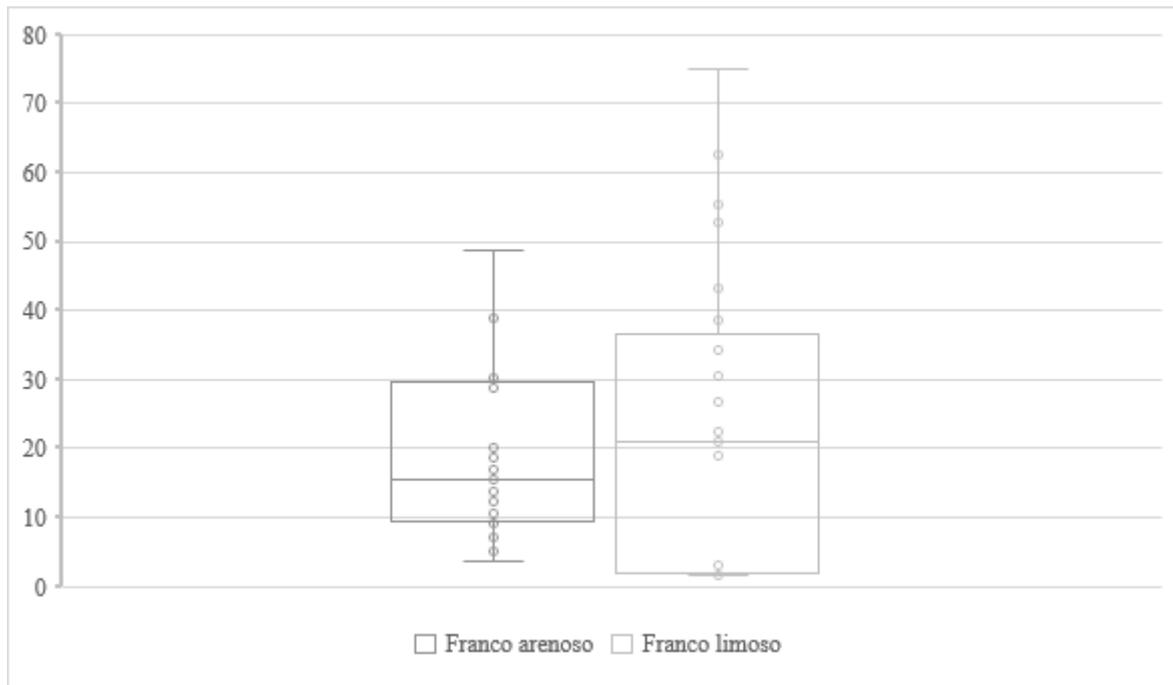
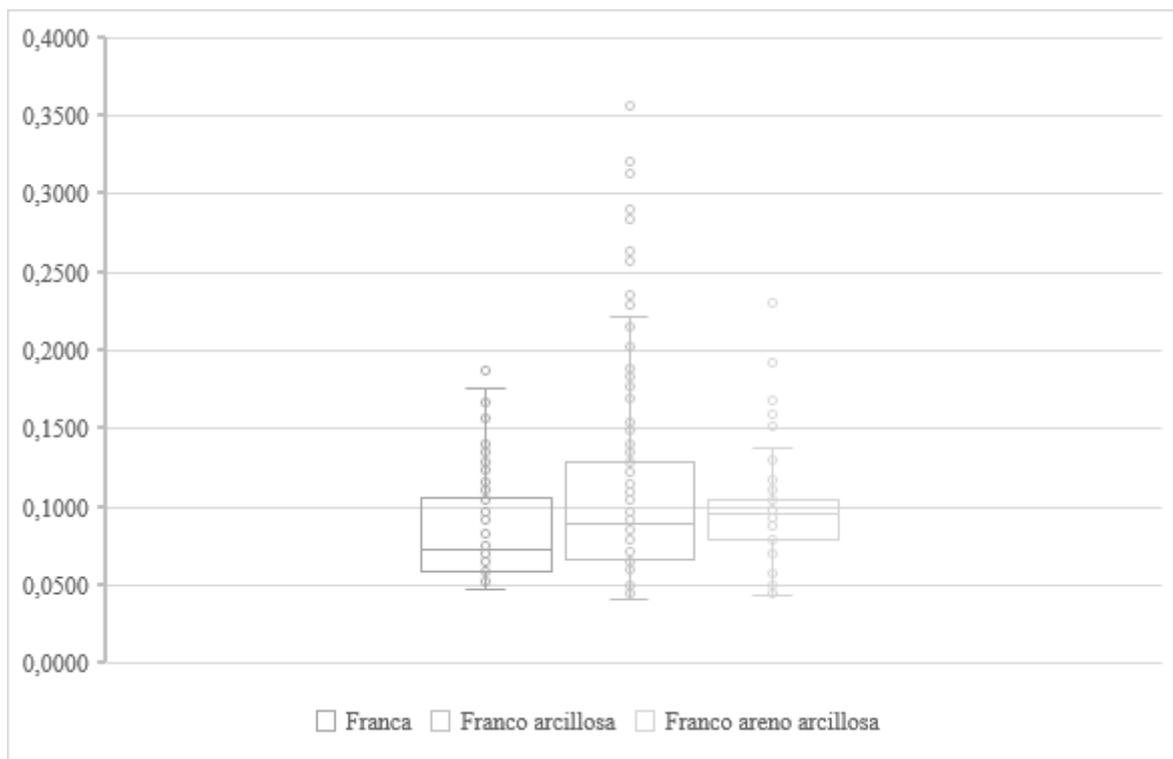


Figura 6 Representación gráfica de caja de los valores de  $k_{sat}$  para suelos franco, franco arcilloso y franco areno arcilloso.



## Establecimiento de ecuación

El establecimiento de la ecuación para la determinación de conductividad hidráulica en los tipos de suelos francos encontrados en la cuenca media del río Mosquito no se dio lugar por insuficiencia de datos para el procedimiento, no obstante, se han realizado estudios previos a esta investigación que contienen información que, aunque sea elemental para el desarrollo de este objetivo no es la suficiente para descartar incertidumbres en él.

En la **Tabla 7** se expone, las texturas en base al método de Robinson (Medina & Moreira, 2018), capacidad de campo ( $Cc$ ), infiltración, densidad aparente ( $Da$ ), porosidad y mediana.

**Tabla 7 Datos generales para planteamiento de la ecuación**

Clase textural USDA	Arena %	Limo %	Arcilla %	Cc %	Infiltración mm/h	Da gr/cm <sup>3</sup>	Porosidad	Mediana
Franco arenoso	75,8	23,2	0	34,26	19	1,57	0,4075	
	56,8	40	3,2	30,35	24	1,4	0,4717	2,5729
	56	33,6	10,4	32,88	21	1,55	0,4151	
Franco limoso	28,8	66,4	4,8	35,67	19	1,69	0,3623	
	38,4	57,6	4	40,53	23,5	1,37	0,4830	2,7052
	32,8	60	7,2	46,08	24	1,16	0,5623	
Franco	49,6	40,8	9,6	25,82	26	1,71	0,3547	
	51,2	32,8	16	35	32	1,49	0,4377	0,1588
	42,4	35,2	22,4	29,43	32	1,57	0,4075	
Franco arcillosa	21,6	40	38,4	41,12	39	1,44	0,4566	0,3335
Franco areno arcillosa	69,6	3,2	27,2	37,23	39	1,56	0,4113	0,3594

Fuente 3. Estimación de las propiedades hidrofísicas del suelo de las comunidades “La Carmela, La López, La Manchuria y La Alianza” del sitio “Mosquito”, utilizando métodos directos e indirectos. Medina & Moreira, 2018. Valores de porosidad y mediana cálculos elaborados por el autor de la investigación.

La representación de los coeficientes regresores, es decir A, B, C, D, E y F presentaron variaciones en sus valores numéricos en los suelos de arena franca, franco limoso, franco arenoso, franco, franco arcilloso y franco areno arcilloso y estimaciones de errores nulamente confiables para proceder con la metodología propuesta.

Indiscutiblemente, los intentos fueron parte exhaustiva para sostener la afirmación anterior, por ello se presenta a continuación la siguiente información.

**Tabla 8 Estimación de errores y coeficientes en variables para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos francos arenosos**

<i>Franco arenoso</i>	<i>Ksat (cm/día)</i>	<b>ERROR</b>
	2,572902	
A	7,83119E-06	
B	2,39733E-06	
C	3	1,9722E-31
D	0,000120585	
E	1,800000075	
F	5,964866667	

**Tabla 9 Estimación de error y coeficientes para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos francos limosos**

<i>Franco limoso</i>	<i>Ksat (cm/día)</i>	<b>ERROR</b>
	0,158786	
A	0	
B	0	
C	0	7,7037E-34
D	0	
E	1,666666628	
F	0,438316627	

**Tabla 10 Estimación de error y coeficientes para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos francos**

<i>Franco</i>	<i>Ksat (cm/día)</i>	<b>ERROR</b>
	0,158786	
A	9,68015E-09	
B	7,96293E-09	
C	1,87381E-09	0
D	5,29803E-06	
E	44,64444445	
F	6,92388E-11	

**Tabla 11 Estimación de error y coeficientes para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos franco arcillosos**

<i>Franco arcillosa</i>	<i>Ksat (cm/día)</i>	<b>ERROR</b>
	0,333500	
A	0	
B	0	
C	0	3,0815E-33
D	0	
E	0	
F	0,73039323	

**Tabla 12 Estimación de error y coeficientes para el planteamiento de sistema de ecuación en suelos franco areno arcillosos**

<i>Franco areno arcillosa</i>	<i>Ksat (cm/día)</i>	<b>ERROR</b>
	0,359385	
A	0	
B	0	
C	0	0
D	0	
E	0	
F	0,87373396	

## Discusión

La localización geográfica de la cuenca media del río Mosquito se la plasmó en un mapa comprendiendo los sitios de La Carmela, La Manchuria, La López y La Alianza pertenecientes al área de estudio donde se presentan suelos de arena franca, franco limoso, franco arenoso, franco, franco arcilloso y franco areno arcilloso hallados en la zona empleados para la estimación de  $k_{sat}$ . Cabe recalcar que los tipos de suelos antes mencionados son los que más predominan del mismo modo que el suelo arenoso existente en la zona estudiada representada gráficamente en la arena franca, franco limoso, franco arenoso, franco, franco arcilloso y franco areno arcilloso. , el cual resume la ubicación detallada de cada calicata, profundidad a la que se halló cada sustrato de suelo con su respectiva georreferenciación, escala de presentación, criterios técnicos que coinciden con Usón et al. (2019) quienes recomiendan sobre la calidad de presentación de mapas recordando que los datos de teledetección pueden ser integrados a un SIG para una estimación más exacta de georreferenciación, así sería más útil.

Para la observación de los porcentajes de humedad se usó un sensor análogo, este midió la cantidad de agua presente en la muestra, para el caso del suelo franco arenoso mostró una humedad inicial del 70%, el suelo franco limoso obtuvo humedades iniciales del 65% y 90 %, siendo los suelos francos, franco arcilloso y franco areno arcilloso con humedades del 80% y 90%. En efecto, las muestras notoriamente presentaron porcentajes de humedad altos a causa de la época lluviosa en que se recolectaron, evidenciando agua encharcada en las superficies del terreno ya que la pendiente del terreno no favorecía al escurrimiento superficial y drenaje de la misma, tal como lo describe (Ciparicci, 2014) señalando que este factor es evidenciado por la compactación del suelo originando que el agua lluvia se acumule formando láminas de agua impidiendo el escurrimiento y a su vez que el suelo se mantenga húmedo, por lo que se asemeja a lo observado en campo de esta investigación

Las estimaciones de conductividad hidráulica en suelos franco arenoso resultó 17,84 cm/h, en suelos francos limosos 2,45 cm/h, para el suelo franco se logró estimar 0,15 cm/h, en el caso del suelo franco arcilloso se calculó 0,26 cm/h y por último el franco areno arcilloso arrojó un valor de 1,15 cm/h. Los valores de  $k_{sat}$  presentan variaciones entre ellos debido a la estructura física provocando que el ingreso y movimiento del agua entre sus espacios porosos sea entre lenta y muy rápida por lo que es de suma importancia para los fines que se desea utilizar estos suelos. Los rangos de conductividad hidráulica establecidas por United States Department of Agriculture (s.f.) distingue los valores de  $k_{sat}$  cualitativamente y poseen relación con los resultados dados, a esto se le adjudica que se aproximan a los datos referidos por Flores & Alcalá (2010), mencionando que la conductividad hidráulica para suelos franco arenosos es de 2,59 cm/h diferenciándose significativamente con el dato estimado para este tipo de suelo y para el suelo franco sugiere una conductividad hidráulica de 1,32 cm/h por lo que no se aproxima al valor estimado para este parámetro asimismo para el suelo franco limoso se diferencia de la estimación comparada de 0,8 cm/h, en cuanto a los valores de conductividad hidráulica para suelos franco arcillosos y franco areno arcillosos coinciden con 0,23 cm/h y 0,43 cm/h correspondiente a cada uno. Dichos datos numéricos anteceden a la estimación de este parámetro con la misma metodología utilizada en la presente investigación.

Además, las anotaciones de humedad inicial no difirieron en la composición del sistema de ecuaciones. Vásquez (2020) señala que debido al incorrecto planteamiento y fundamento teórico para esta investigación los datos de humedad resultantes no juegan un papel importante en la formulación del sistema de ecuaciones, no obstante, es importante conocerla para la observación de la fase saturada de cada muestra de suelo.

Los datos sugeridos en el trabajo de investigación final propuesto por Medina y Moreira (2018) presentan valores sobre las propiedades hidrofísicas del suelo, los cuales fueron utilizados para la formulación del sistema de ecuaciones con el fin de estimar resultados de  $k_{sat}$  para cada clase

textural de suelos francos. Se debe agregar que esta complejidad al no alcanzar dicho objetivo se debe a que el número de incógnitas debe ser igual al número de ecuaciones propuestas para formar el sistema de ecuaciones antes mencionado. Por otro lado, los coeficientes no se los pudieron estimar a causa de que el error de probabilidad en que sean certeros era muy alto. En relación a la investigación realizada en los suelos tropicales de Brasil por Vasconcelos et al., (2018) contienen sinnúmeros de datos con las propiedades físicas del suelo que se asemeja a los tipos de suelos presentes en la Costa y Amazonía ecuatoriana. Conforme a estos resultados convenientemente se adaptarían a los datos requeridos para el planteamiento de los índices de regresión múltiple requeridos para la formación de los sistemas de ecuaciones.

## Conclusiones

- Con el apoyo visual del mapa se logra observar didácticamente la ubicación de las calicatas realizadas y tipos de suelos encontrados en la zona de estudio.
- Los niveles de humedad permitieron observar en qué medida de tiempo las muestras alcanzaron su fase de saturación para el inicio de los ensayos de conductividad hidráulica.
- En relación con el planteamiento de la ecuación es de necesidad prioritaria que las mediciones de  $k_{sat}$  superen a la cantidad de parámetros dentro de la misma. Es decir, a mayor cuantía de datos menor es el error de predicción sin dejar esperanzas que la variabilidad entre estos sea alta.
- La base de datos de los factores de pedotransferencias validados en Brasil debido a la similitud de suelos tropicales entre las costas ecuatorianas se pueden ajustar debidamente como variables regresoras.
- En definitiva, la estimación de la conductividad hidráulica es esencial para el conocimiento, entendimiento y para procesos de modelamientos hidrológicos en el suelo, por lo que se precisa de recursos valiosos como el tiempo, personal entrenado, equipos especializados y la consideración económica requerida.

## Literatura citada

- Achim, E., Grez, R., & Ramírez, G. (1997). La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta para el diagnóstico de la estructura del suelo. *Agro Sur*, 25(1), 51-56. doi:10.4206/agrosur.1997.v25n1-06
- Bastos, M., & Oliveira, S. (2003). Densidad de probabilidad como herramienta en la caracterización de la conductividad hidráulica saturada de los suelos. 28-34. Obtenido de [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45291159/TD\\_071\\_2005.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPROGRAMA\\_HIDROLOGICO\\_INTERNAACIONAL\\_USO.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=ASIATUSBJ6BAAAORFHZC%2F20200516%2Fus](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45291159/TD_071_2005.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPROGRAMA_HIDROLOGICO_INTERNAACIONAL_USO.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=ASIATUSBJ6BAAAORFHZC%2F20200516%2Fus)
- Ciparicci, P. (28 de Marzo de 2014). *Problemas del exceso del agua*. Obtenido de <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/problemas-exceso-agua-t30908.htm>
- Cramer, M., Hawkins, H., & Verboom, G. (2009). The importance of nutritional regulation of plant water flux. *Springer*, 151, 15-24. doi:10.1007/s00442-009-1364-3
- Crespo, C. (2004). El suelo y su origen. En C. Crespo, *Mecánica de suelos y cimentaciones* (Quinta ed., pág. 18). Editorial Limusa, S.A. Recuperado el 2020, de [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Db2SQbBHVPQC&oi=fnd&pg=PA13&dq=suelos&ots=alTUkStJ6f&sig=7yXs3RwbFBI43Dw3SdhrQewWX2c&redir\\_esc=y#v=onepage&q=suelos&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Db2SQbBHVPQC&oi=fnd&pg=PA13&dq=suelos&ots=alTUkStJ6f&sig=7yXs3RwbFBI43Dw3SdhrQewWX2c&redir_esc=y#v=onepage&q=suelos&f=false)
- de la Rosa, D. (2008). Los orígenes. En D. d. Rosa, *Evaluación agro-ecológica de suelos* (pág. 37). Ediciones Mundi-Prensa. Recuperado el 2020, de <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=WZ4SAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=>

PA1&dq=suelos&ots=Mch-

I2mT4t&sig=B5Z1cuZW50P\_mhJShLbeEO9Du0Q&redir\_esc=y#v=onepage&q=sue-  
los&f=false

Dörner, J., Dec, D., Peng, X., & Horn, R. (2010). Effect of land use change on the dynamic behaviour of structural properties of an Andisol in southern Chile under saturated and unsaturated hydraulic conditions. *ELSEVIER*, 159, 189-197.

FAO. (2013). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Propiedades físicas del suelo*. Recuperado el 2020, de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

Flores, L., & Alcalá, J. (2010). *Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de física de suelos*, 8-29. Recuperado el 2020, de <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>

Iñiguez, V., Borja, P., Crespo, P., & Cisneros, P. (2008). Importancia de la hidropedología en la determinación de los procesos hidrológicos a escala de ladera en zonas de páramo. 29-31. Recuperado el 2019

Klute, A., & Dirksen, C. (1986). *Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods*. Obtenido de <https://dl.sciencesocieties.org/publications/books/abstracts/sssabookseries/methodsofsolan1/687>

Lal, R., & Shukla, M. (2004). *Importance of soil physics*. Marcel Dekker, Inc. Recuperado el 2020, de <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=XSkvi33OMFwC&oi=fnd&pg=P>

P1&dq=Lal+%26+Shukla+2004&ots=2mVYbOOfJl&sig=NIwNHXZ1VvvSNsCiiLo  
h7dSy38Y&redir\_esc=y#v=onepage&q=Lal%20%26%20Shukla%202004&f=false

Medina, D., & Moreira, N. (2018). *Estimación de las propiedades hidrofísicas del suelo de las comunidades “La Carmela, La López, La Manchuria y La Alianza” del sitio “Mosquito”, utilizando métodos directos e indirectos.*

Rienznner, M., & Gandol, C. (2014). Investigation of spatial and temporal variability of saturated soil hydraulic conductivity at the field-scale. *ELSEVIER*, 135, 28-40.  
doi:Investigation of spatial and temporal variability of saturated soil hydraulic conductivity at the field-scale

Rojas, D., Ludwig, M., Rojas, P., & Menjívar, H. (2008). Estimación de la conductividad hidráulica saturada in situ en un suelo tratado con vinaza. *Acta Agronómica*, 57(2), 125-128.

United States Department of Agriculture. (s.f.). Hydraulic Conductivity. Recuperado el 2020, de <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/water/>

Universidad de Salamanca. (s.f.). Ley de Darcy. Conductividad hidráulica. 1. Obtenido de [http://hidrologia.usal.es/temas/Ley\\_Darcy.pdf](http://hidrologia.usal.es/temas/Ley_Darcy.pdf)

Universidad de Santiago de Compostela. (2011). *Regresión lineal múltiple. El modelo, estimación de los parámetros y contrastes.* Obtenido de [http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat\\_50140128\\_RegresionMultiple.pdf](http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_50140128_RegresionMultiple.pdf)

Usón, A., Boixadera, J., Martín, A., & Bosch, Á. (2019). *Tecnología de suelos: estudios de casos.* Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=b2h1gY9dPuoC&pg=PA509&dq=Us%C3%B>

3n,+Boixadera,+Bosch,+%26+Mart%C3%ADn,+2019&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwix0vXmop3qAhXkmuAKHddbA7MQ6AEwAHoECAMQAg#v=onepage&q=Us%C3%B3n%20Boixadera%20Bosch%20%26%20Mart%C3%ADn%20%20201

Vasconcelos, M., Ottoni, T., Schaap, M., Lopes, M., & Rotunno, O. (2018). Hydrophysical Database for Brazilian Soils (HYBRAS) and Pedotransfer Functions for Water Retention. *Vadose Zone Journal*, 1-17. doi:10.2136/vzj2017.05.0095

Vásquez, V. (Abril de 2020). Parámetros hidrofísicos del suelo para planteamiento de ecuación de conductividad hidráulica. (B. Vera, Entrevistador)

William, L. (2018). *Suelos: Guía de prácticas simplificadas en campo y laboratorio*. Recuperado el 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=lrJZDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

## Anexos

Prueba N° 1.

Calicata N° 1

**Anexo 1 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco limoso.**

<i>Tipo De Suelo</i>	<i>Perfil</i>	<i>Volumen Inicial</i>		<i>Volumen Final</i>		<i>Tiempo</i>			<i>Longitud</i>	$\Delta h$	<i>Sección Prisma</i>			<i>Caudal</i>			<i>K<sub>sat</sub></i>	
		cm	lt	m3	lt	m3	h	seg			día	cm	cm	cm2	m2	m3/día	L/h	l/seg
<i>Franco limoso</i>	95	6	0,0060	0,75	0,0008	<b>1,00</b>	3600	0,042	20	18,50	400,00	0,04	0,0180	0,750	0,0002	0,4865	2,027	0,0006
				<b>1,00</b>	0,0010	1,46	5256	0,061	20	17,50	400,00	0,04	0,0164	0,685	0,0002	0,4697	1,957	0,0005
				1,20	0,0012	<b>2,00</b>	7200	0,083	20	17,00	400,00	0,04	0,0144	0,600	0,0002	0,4235	1,765	0,0005
				1,65	0,0017	<b>3,00</b>	10800	0,125	20	15,50	400,00	0,04	0,0132	0,550	0,0002	0,4258	1,774	0,0005
				<b>2,00</b>	0,0020	<b>4,00</b>	14400	0,167	20	14,00	400,00	0,04	0,0120	0,500	0,0001	0,4286	1,786	0,0005
				2,40	0,0024	<b>5,00</b>	18000	0,208	20	13,00	400,00	0,04	0,0115	0,480	0,0001	0,4431	1,846	0,0005
				2,70	0,0027	<b>6,00</b>	21600	0,250	20	12,00	400,00	0,04	0,0108	0,450	0,0001	0,4500	1,875	0,0005
				2,90	0,0029	<b>7,00</b>	25200	0,292	20	10,70	400,00	0,04	0,0099	0,414	0,0001	0,4646	1,936	0,0005
				<b>3,00</b>	0,0030	7,13	25668	0,297	20	10,30	400,00	0,04	0,0101	0,421	0,0001	0,4902	2,043	0,0006
				3,30	0,0033	<b>8,00</b>	28800	0,333	20	10,00	400,00	0,04	0,0099	0,413	0,0001	0,4950	2,063	0,0006
				3,40	0,0034	8,43	30348	0,351	20	9,60	400,00	0,04	0,0097	0,403	0,0001	0,5042	2,101	0,0006
<b>4,00</b>	0,0040	<b>9,00</b>	32400	0,375	20	7,00	400,00	0,04	0,0107	0,444	0,0001	0,7619	3,175	0,0009				

Prueba N° 2.

Calicata N° 2.

Anexo 2 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco limoso

Tipo De Suelo	Perfil cm	Volumen Inicial		Volumen Final		Tiempo			Longitud cm	$\Delta h$ cm	Sección Prisma		Caudal			$K_{sat}$		
		lt	m3	lt	m3	h	seg	día			cm2	m2	m3/día	L/h	l/seg	m/día	cm/h	cm/seg
Franco limosos	48	6	0,0060	1,0	0,0010	0,08	300	0,003	20	17,50	400	0,04	0,2880	12,000	0,0033	8,23	34,286	0,0095
				2,00	0,0020	0,23	840	0,010	20	14,00	400	0,04	0,2057	8,571	0,0024	7,35	30,612	0,0085
				3,00	0,0030	0,53	1920	0,022	20	10,50	400	0,04	0,1350	5,625	0,0016	6,43	26,786	0,0074
				4,0	0,0040	0,54	1946	0,023	20	7,00	400	0,04	0,1776	7,400	0,0021	12,69	52,856	0,0147
				4,68	0,0047	1,00	3600	0,042	20	5,40	400	0,04	0,1123	4,680	0,0013	10,40	43,333	0,0120
				5,00	0,0050	1,29	4644	0,054	20	3,50	400	0,04	0,0930	3,876	0,0011	13,29	55,371	0,0154
				5,25	0,0053	2,00	7200	0,083	20	2,10	400	0,04	0,0630	2,625	0,0007	15,00	62,500	0,0174
				6,00	0,0060	2,4200	8770	0,102	20	1,00	400	0,04	0,0591	2,479	0,0007	29,56	123,147	0,0342

**Prueba N° 3.**

**Calicata N° 3**

**Anexo 3 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco limoso**

Tipo De Suelo	Perfil cm	Volumen Inicial		Volumen Final		Tiempo			Longitud cm	$\Delta h$ cm	Sección Prisma			Caudal			K <sub>sat</sub>	
		lt	m3	lt	m3	h	seg	día			cm2	m2	m3/día	L/h	l/seg	m/día	cm/h	cm/seg
Franco limosos	61	6	0,0060	<b>1,00</b>	0,0010	0,13	465	0,005	20	17,50	400	0,04	0,1858	7,742	0,0022	5,31	22,120	0,0061
				<b>2,00</b>	0,0020	0,23	824	0,010	20	14,00	400	0,04	0,2097	8,738	0,0024	7,49	31,207	0,0087
				<b>3,00</b>	0,0030	0,75	2700	0,031	20	10,50	400	0,04	0,0960	4,000	0,0011	4,57	19,048	0,0053
				3,78	0,0038	1,00	3600	0,042	20	8,40	400	0,04	0,0907	3,780	0,0011	5,40	22,500	0,0062
				<b>4,00</b>	0,0040	1,45	5.220	0,060	20	7,00	400	0,04	0,0662	2,759	0,0008	4,73	19,704	0,0055
				4,65	0,0047	<b>2,00</b>	7.200,00	0,083	20	5,50	400	0,04	0,0558	2,325	0,0006	5,07	21,136	0,0059
				<b>5,00</b>	0,0050	2,57	9252	0,107	20	3,50	400	0,04	0,0467	1,946	0,0005	6,67	27,793	0,0077
				5,58	0,0056	<b>3,00</b>	10800	0,125	20	2,40	400	0,04	0,0446	1,860	0,0005	9,30	38,750	0,0108
<b>6,00</b>	0,0060	<b>4,0000</b>	14400	0,167	20	1,00	400	0,04	0,0360	1,500	0,0004	18,00	75,000	0,0208				

**Prueba N° 1.**

**Calicata N° 1.**

**Anexo 4 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arenoso**

Tipo De Suelo	Perfil	Volumen Inicial		Volumen Final		Tiempo			Longitud	$\Delta h$	Sección Prisma		Caudal			K <sub>sat</sub>		
		cm	lt	m3	lt	m3	h	seg			día	cm	cm	cm2	m2	m3/día	L/h	l/seg
Franco arenoso	57	5	0,0050	1,0000	0,0010	1,00	3600	0,042	20	14,00	400	0,04	0,0240	1,000	0,0003	0,8571	3,571	0,0010
				2,0000	0,0020	1,51	5436	0,063	20	10,50	400	0,04	0,0318	1,325	0,0004	1,5137	6,307	0,0018
				2,4600	0,0025	2,00	8040	0,093	20	9,20	400	0,04	0,0264	1,230	0,0003	1,4367	5,986	0,0017
				3,0000	0,0030	3,06	11016	0,128	20	7,00	400	0,04	0,0235	0,980	0,0003	1,6807	7,003	0,0019
				3,7200	0,0037	4,00	14400	0,167	20	5,10	400	0,04	0,0223	0,930	0,0003	2,1882	9,118	0,0025
				4,0000	0,0040	4,08	14688	0,170	20	3,50	400	0,04	0,0235	0,980	0,0003	3,3613	14,006	0,0039
				4,5600	0,0046	5,00	18000	0,208	20	1,50	400	0,04	0,0219	0,912	0,0003	7,2960	30,400	0,0084

Prueba N° 2.

Calicata N° 3.

**Anexo 5 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arenoso**

Tipo De Suelo	Perfil	Volumen Inicial		Volumen Final		Tiempo			Longitud	$\Delta h$	Sección Prisma		Caudal			K <sub>sat</sub>		
		cm	lt	m3	lt	m3	h	seg			día	cm	cm	m2	m3/día	L/h	l/seg	m/día
Franco arenoso	36	6	0,0060	1,0000	0,0010	0,55	1980	0,023	20	17,50	400	0,04	0,0436	1,818	0,0005	1,2468	5,195	0,0014
				2,0000	0,0020	1,00	3600	0,042	20	14,00	400	0,04	0,0480	2,000	0,0006	1,7143	7,143	0,0020
				3,0000	0,0030	1,43	5148	0,060	20	10,50	400	0,04	0,0503	2,098	0,0006	2,3976	9,990	0,0028
				3,6000	0,0036	2,00	7200	0,083	20	8,60	400	0,04	0,0432	1,800	0,0005	2,5116	10,465	0,0029
				4,0000	0,0040	2,27	8172	0,095	20	7,00	400	0,04	0,0423	1,762	0,0005	3,0208	12,587	0,0035
				4,6200	0,0046	3,00	10800	0,125	20	5,60	400	0,04	0,0370	1,540	0,0004	3,3000	13,750	0,0038
				5,0000	0,0050	3,53	12708	0,147	20	3,50	400	0,04	0,0340	1,416	0,0004	4,8563	20,235	0,0056
				5,3100	0,0053	4,00	14400	0,167	20	3,40	400	0,04	0,0319	1,328	0,0004	4,6853	19,522	0,0054
				5,4600	0,0055	5,00	18000	0,208	20	2,80	400	0,04	0,0262	1,092	0,0003	4,6800	19,500	0,0054
				5,8200	0,0058	6,00	21600	0,250	20	1,60	400	0,04	0,0233	0,970	0,0003	7,2750	30,312	0,0084
				5,9700	0,0060	7,00	25200	0,292	20	1,10	400	0,04	0,0205	0,853	0,0002	9,3039	38,766	0,0108
				6,2100	0,0062	7,33	26388	0,305	20	0,30	400	0,04	0,0203	0,847	0,0002	33,8881	141,201	0,0392

**Prueba N° 3.**

**Calicata N° 5.**

Anexo 6 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arenoso

Tipo De Suelo	Perfil		Volumen Inicial		Volumen Final		Tiempo			Longitud	$\Delta h$	Sección Prisma		Caudal			$K_{sat}$	
	cm	lt	m3	lt	m3	h	seg	día	cm2			m2	m3/día	L/h	l/seg	m/día	cm/h	cm/seg
Franco arenoso	29	6	0,0060	1,0000	0,0010	0,18	660	0,008	20	17,50	400	0,04	0,1309	5,455	0,0015	3,7403	15,584	0,0043
				2,0000	0,0020	0,57	2066	0,024	20	14,00	400	0,04	0,0836	3,485	0,0010	2,9871	12,446	0,0035
				3,0000	0,0030	0,96	3460	0,040	20	10,50	400	0,04	0,0749	3,121	0,0009	3,5673	14,864	0,0041
				3,3300	0,0033	1,00	3600	0,042	20	9,90	400	0,04	0,0799	3,330	0,0009	4,0364	16,818	0,0047
				4,0000	0,0040	1,37	4932	0,057	20	7,00	400	0,04	0,0701	2,920	0,0008	5,0052	20,855	0,0058
				4,7100	0,0047	2,00	7200	0,083	20	6,30	400	0,04	0,0565	2,355	0,0007	4,4857	18,690	0,0052
				5,0000	0,0050	2,38	8568	0,099	20	3,40	400	0,04	0,0504	2,101	0,0006	7,4147	30,895	0,0086
				5,3700	0,0054	3,00	10800	0,125	20	3,10	400	0,04	0,0430	1,790	0,0005	6,9290	28,871	0,0080
				5,8500	0,0059	4,00	14400	0,167	20	1,50	400	0,04	0,0351	1,463	0,0004	11,7000	48,750	0,0135
				6,0000	0,0060	5,21	18756	0,217	20	0,10	400	0,04	0,0276	1,152	0,0003	138,20	575,816	0,1599

**Prueba N° 1.**

**Calicata N° 4.**

**Anexo 7 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco**

Tipo De Suelo	Perfil cm	Volumen Inicial		Volumen Final		Tiempo			Longitud cm	$\Delta h$ cm	Sección Prisma		Caudal				$K_{sat}$	
		lt	m3	lt	m3	h	seg	día			cm2	m2	m3/día	l/h	l/seg	m/día	cm/h	cm/seg
Franco	32	6	0,006	0,45	0,00045	1	3600	0,0417	20	19,5	400	0,4	0,0108	0,45	0,00013	0,0277	0,1154	0,000032
				0,57	0,00057	2	7200	0,0833	20	19,1	400	0,4	0,0068	0,285	0,00008	0,0179	0,0746	0,000021
				0,66	0,00066	3	10800	0,1250	20	18,8	400	0,4	0,0053	0,22	0,00006	0,014	0,0585	0,000016
				0,78	0,00078	4	14400	0,1667	20	18,4	400	0,4	0,0047	0,195	0,00005	0,0127	0,053	0,000015
				0,87	0,00087	5	18000	0,2083	20	18,1	400	0,4	0,0042	0,174	0,00005	0,0115	0,0481	0,000013
				1	0,001	5,28	19008	0,2200	20	17,7	400	0,4	0,0045	0,188	0,00005	0,0127	0,053	0,000015
				1,17	0,00117	6	21600	0,2500	20	17,1	400	0,4	0,0047	0,195	0,00005	0,0137	0,057	0,000016
				1,35	0,00135	7	25200	0,2917	20	16,5	400	0,4	0,0046	0,193	0,00005	0,014	0,0584	0,000016
				1,47	0,00147	8	28800	0,3333	20	16,1	400	0,4	0,0044	0,184	0,00005	0,0137	0,0571	0,000016
				1,56	0,00156	9	32400	0,3750	20	15,8	400	0,4	0,0042	0,173	0,00005	0,0132	0,0549	0,000015
				1,65	0,00165	10	36000	0,4167	20	15,5	400	0,4	0,0040	0,165	0,00005	0,0128	0,0532	0,000015
				1,77	0,00177	11	39600	0,4583	20	15,1	400	0,4	0,0039	0,161	0,00004	0,0128	0,0533	0,000015
				1,89	0,00189	12	43200	0,5000	20	14,7	400	0,4	0,0038	0,158	0,00004	0,0129	0,0536	0,000015
				2	0,002	12,4	44640	0,5167	20	14,3	400	0,4	0,0039	0,162	0,00005	0,0136	0,0567	0,000016
				2,13	0,00213	13	46800	0,5417	20	13,9	400	0,4	0,0039	0,164	0,00005	0,0141	0,0589	0,000016
				2,25	0,00225	14	50400	0,5833	20	13,5	400	0,4	0,0039	0,161	0,00004	0,0143	0,0595	0,000017
				2,37	0,00237	15	54000	0,6250	20	13,1	400	0,4	0,0038	0,158	0,00004	0,0145	0,0603	0,000017
2,46	0,00246	16	57600	0,6667	20	12,8	400	0,4	0,0037	0,154	0,00004	0,0144	0,0601	0,000017				
2,58	0,00258	17	61200	0,7083	20	12,4	400	0,4	0,0036	0,152	0,00004	0,0147	0,0612	0,000017				

2,76	0,00276	18	64800	0,7500	20	11,8	400	0,4	0,0037	0,153	0,00004	0,0156	0,065	0,000018
2,85	0,00285	19	68400	0,7917	20	11,5	400	0,4	0,0036	0,15	0,00004	0,0157	0,0652	0,000018
3	0,003	20	72000	0,8333	20	11	400	0,4	0,0036	0,15	0,00004	0,0164	0,0682	0,000019
3,15	0,00315	21	75600	0,8750	20	10,5	400	0,4	0,0036	0,15	0,00004	0,0171	0,0714	0,00002
3,24	0,00324	22	79200	0,9167	20	10,2	400	0,4	0,0035	0,147	0,00004	0,0173	0,0722	0,00002
3,3	0,0033	23	82800	0,9583	20	10	400	0,4	0,0034	0,143	0,00004	0,0172	0,0717	0,00002
3,45	0,00345	24	86400	1,0000	20	9,5	400	0,4	0,0035	0,144	0,00004	0,0182	0,0757	0,000021
3,6	0,0036	25	90000	1,0417	20	9	400	0,4	0,0035	0,144	0,00004	0,0192	0,08	0,000022
3,75	0,00375	26	93600	1,0833	20	8,5	400	0,4	0,0035	0,144	0,00004	0,0204	0,0848	0,000024
3,84	0,00384	27	97200	1,1250	20	8,2	400	0,4	0,0034	0,142	0,00004	0,0208	0,0867	0,000024
4	0,004	28	100800	1,1667	20	7,6	400	0,4	0,0034	0,144	0,00004	0,0227	0,0945	0,000026
4,11	0,00411	29	104400	1,2083	20	7,3	400	0,4	0,0034	0,142	0,00004	0,0233	0,0971	0,000027
4,2	0,0042	30	108000	1,2500	20	7	400	0,4	0,0034	0,14	0,00004	0,024	0,1	0,000028
4,32	0,00432	31	111600	1,2917	20	6,6	400	0,4	0,0033	0,139	0,00004	0,0253	0,1056	0,000029
4,44	0,00444	32	115200	1,3333	20	6,2	400	0,4	0,0033	0,139	0,00004	0,0269	0,1119	0,000031
4,53	0,00453	33	118800	1,3750	20	5,9	400	0,4	0,0033	0,137	0,00004	0,0279	0,1163	0,000032
4,65	0,00465	34	122400	1,4167	20	5,5	400	0,4	0,0033	0,137	0,00004	0,0298	0,1243	0,000035
4,77	0,00477	35	126000	1,4583	20	5,1	400	0,4	0,0033	0,136	0,00004	0,0321	0,1336	0,000037
4,89	0,00489	36	129600	1,5000	20	4,7	400	0,4	0,0033	0,136	0,00004	0,0347	0,1445	0,00004
5	0,005	37	133200	1,5417	20	4,3	400	0,4	0,0032	0,135	0,000038	0,0378	0,1574	0,000044

Prueba N° 2.

Calicata N° 4.

Anexo 8 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco

Tipo De Suelo	Perfil cm	Volumen Inicial		Volumen Final		Tiempo			Longitud cm	$\Delta h$ cm	Sección Prisma			Caudal			$K_{sat}$	
		lt	m3	lt	m3	h	seg	día			cm2	m2	m3/día	l/h	l/seg	m/día	cm/h	cm/seg
Franco	53	6	0,006	0,54	0,00054	1	3600	0,042	20	19,2	400	0,4	0,0130	0,5400	0,00015	0,03375	0,1406	0,0000391
				0,69	0,00069	2	7200	0,083	20	18,7	400	0,4	0,0083	0,3450	0,00010	0,02213904	0,0922	0,0000256
				0,78	0,00078	3	10800	0,125	20	18,4	400	0,4	0,0062	0,2600	0,00007	0,01695652	0,0707	0,0000196
				0,87	0,00087	4	14400	0,167	20	18,1	400	0,4	0,0052	0,2175	0,00006	0,01441989	0,0601	0,0000167
				<b>1,0</b>	0,001	5	18000	0,208	20	17,7	400	0,4	0,0048	0,1980	0,00006	0,01342373	0,0559	0,0000155
				1,11	0,00111	6	21600	0,250	20	17,3	400	0,4	0,0044	0,1850	0,00005	0,01283237	0,0535	0,0000149
				1,35	0,00135	7	25200	0,292	20	16,5	400	0,4	0,0046	0,1929	0,00005	0,01402597	0,0584	0,0000162
				1,44	0,00144	8	28800	0,333	20	16,2	400	0,4	0,0043	0,1800	0,00005	0,01333333	0,0556	0,0000154
				1,56	0,00156	9	32400	0,375	20	15,8	400	0,4	0,0042	0,1733	0,00005	0,01316456	0,0549	0,0000152
				1,65	0,00165	10	36000	0,417	20	15,5	400	0,4	0,0040	0,1650	0,00005	0,01277419	0,0532	0,0000148
				1,77	0,00177	11	39600	0,458	20	15,1	400	0,4	0,0039	0,1609	0,00004	0,01278748	0,0533	0,0000148
				1,86	0,00186	12	43200	0,500	20	14,8	400	0,4	0,0037	0,1550	0,00004	0,01256757	0,0524	0,0000145
				<b>2,0</b>	0,002	13	46800	0,542	20	14,3	400	0,4	0,0037	0,1546	0,00004	0,01297472	0,0541	0,0000150
				2,10	0,0021	14	50400	0,583	20	14	400	0,4	0,0036	0,1500	0,00004	0,01285714	0,0536	0,0000149
				2,22	0,00222	15	54000	0,625	20	13,6	400	0,4	0,0036	0,1480	0,00004	0,01305882	0,0544	0,0000151
				2,37	0,00237	16	57600	0,667	20	13,1	400	0,4	0,0036	0,1481	0,00004	0,0135687	0,0565	0,0000157
				2,46	0,00246	17	61200	0,708	20	12,8	400	0,4	0,0035	0,1447	0,00004	0,01356618	0,0565	0,0000157
				2,55	0,00255	18	64800	0,750	20	12,5	400	0,4	0,0034	0,1417	0,00004	0,0136	0,0567	0,0000157
				2,70	0,0027	19	68400	0,792	20	12	400	0,4	0,0034	0,1421	0,00004	0,01421053	0,0592	0,0000164
				2,79	0,00279	20	72000	0,833	20	11,7	400	0,4	0,0033	0,1395	0,00004	0,01430769	0,0596	0,0000166

2,85	0,00285	21	75600	0,875	20	11,5	400	0,4	0,0033	0,1357	0,00004	0,01416149	0,0590	0,0000164
3,27	0,00327	22	79200	0,917	20	11	400	0,4	0,0036	0,1486	0,00004	0,01621488	0,0676	0,0000188
3,42	0,00342	23	82800	0,958	20	9,6	400	0,4	0,0036	0,1487	0,00004	0,01858696	0,0774	0,0000215
3,54	0,00354	24	86400	1,000	20	9,2	400	0,4	0,0035	0,1475	0,00004	0,01923913	0,0802	0,0000223
3,60	0,0036	25	90000	1,042	20	9	400	0,4	0,0035	0,1440	0,00004	0,0192	0,0800	0,0000222
3,72	0,00372	26	93600	1,083	20	8,6	400	0,4	0,0034	0,1431	0,00004	0,01996422	0,0832	0,0000231
3,84	0,00384	27	97200	1,125	20	8,2	400	0,4	0,0034	0,1422	0,00004	0,02081301	0,0867	0,0000241
<b>4,0</b>	0,004	28	100800	1,167	20	7,7	400	0,4	0,0034	0,1425	0,00004	0,02220779	0,0925	0,0000257
4,11	0,00411	29	104400	1,208	20	7,3	400	0,4	0,0034	0,1417	0,00004	0,02329712	0,0971	0,0000270
4,20	0,0042	30	108000	1,250	20	7	400	0,4	0,0034	0,1400	0,00004	0,024	0,1000	0,0000278
4,31	0,004305	31	111600	1,292	20	6,65	400	0,4	0,0033	0,1389	0,00004	0,02505942	0,1044	0,0000290
4,40	0,004395	32	115200	1,333	20	6,35	400	0,4	0,0033	0,1373	0,00004	0,02595472	0,1081	0,0000300
4,50	0,0045	33	118800	1,375	20	6	400	0,4	0,0033	0,1364	0,00004	0,02727273	0,1136	0,0000316
4,70	0,004695	34	122400	1,417	20	5,35	400	0,4	0,0033	0,1381	0,00004	0,03097306	0,1291	0,0000358
4,79	0,004785	35	126000	1,458	20	5,05	400	0,4	0,0033	0,1367	0,00004	0,03248656	0,1354	0,0000376
4,85	0,004845	36	129600	1,500	20	4,85	400	0,4	0,0032	0,1346	0,00004	0,03329897	0,1387	0,0000385
<b>5,0</b>	0,005	37	133200	1,542	20	4,3	400	0,4	0,0032	0,1354	0,00004	0,03778755	0,1574	0,0000437

---

Prueba N° 3

Calicata N° 6

Anexo 9 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco

Tipo De Suelo	Perfil cm	Volumen Inicial		Volumen Final		Tiempo		Longitud cm	$\Delta h$ cm	Sección Prisma			Caudal			$K_{sat}$		
		lt	m3	lt	m3	h	seg			día	cm2	m2	m3/día	l/h	l/seg	m/día	cm/h	cm/seg
Franco	29	6	0,006	0,66	0,00066	1	3600	0,0417	20	18,8	400	0,4	0,0158	0,6600	0,000183	0,0421	0,1755	0,000049
				0,81	0,00081	2	7200	0,0833	20	18,3	400	0,4	0,0097	0,4050	0,000113	0,0266	0,1107	0,000031
				0,9	0,0009	3	10800	0,1250	20	18	400	0,4	0,0072	0,3000	0,000083	0,0200	0,0833	0,000023
				1,0	0,001	4,22	15192	0,1758	20	17,7	400	0,4	0,0056	0,2346	0,000065	0,0159	0,0663	0,000018
				1,26	0,00126	5	18000	0,2083	20	16,8	400	0,4	0,0060	0,2520	0,000070	0,0180	0,0750	0,000021
				1,44	0,00144	6	21600	0,2500	20	16,2	400	0,4	0,0058	0,2400	0,000067	0,0178	0,0741	0,000021
				1,59	0,00159	7	25200	0,2917	20	15,7	400	0,4	0,0055	0,2271	0,000063	0,0174	0,0723	0,000020
				1,77	0,00177	8	28800	0,3333	20	15,1	400	0,4	0,0053	0,2213	0,000061	0,0176	0,0733	0,000020
				1,92	0,00192	9	32400	0,3750	20	14,6	400	0,4	0,0051	0,2133	0,000059	0,0175	0,0731	0,000020
				2,0	0,002	10	36000	0,4167	20	14,3	400	0,4	0,0048	0,2010	0,000056	0,0169	0,0703	0,000020
				2,18	0,002175	11	39600	0,4583	20	13,75	400	0,4	0,0047	0,1977	0,000055	0,0173	0,0719	0,000020
				2,27	0,002265	12	43200	0,5000	20	13,45	400	0,4	0,0045	0,1888	0,000052	0,0168	0,0702	0,000019
				2,36	0,002355	13	46800	0,5417	20	13,15	400	0,4	0,0043	0,1812	0,000050	0,0165	0,0689	0,000019
				2,46	0,00246	14	50400	0,5833	20	12,8	400	0,4	0,0042	0,1757	0,000049	0,0165	0,0686	0,000019
				2,60	0,002595	15	54000	0,6250	20	12,35	400	0,4	0,0042	0,1730	0,000048	0,0168	0,0700	0,000019
				2,75	0,002745	16	57600	0,6667	20	11,85	400	0,4	0,0041	0,1716	0,000048	0,0174	0,0724	0,000020
				3,00	0,003	17,34	62424	0,7225	20	11	400	0,4	0,0042	0,1730	0,000048	0,0189	0,0786	0,000022
				3,21	0,00321	18	64800	0,7500	20	10,3	400	0,4	0,0043	0,1783	0,000050	0,0208	0,0866	0,000024
				3,39	0,00339	19	68400	0,7917	20	9,7	400	0,4	0,0043	0,1784	0,000050	0,0221	0,0920	0,000026

3,54	0,00354	20	72000	0,8333	20	9,2	400	0,4	0,0042	0,1770	0,000049	0,0231	0,0962	0,000027
3,77	0,003765	21	75600	0,8750	20	8,45	400	0,4	0,0043	0,1793	0,000050	0,0255	0,1061	0,000029
4,0	0,004	22,4	80640	0,9333	20	7,6	400	0,4	0,0043	0,1795	0,000050	0,0283	0,1181	0,000033
4,17	0,00417	23	82800	0,9583	20	7,1	400	0,4	0,0044	0,1813	0,000050	0,0306	0,1277	0,000035
4,25	0,004245	24	86400	1,0000	20	6,85	400	0,4	0,0042	0,1769	0,000049	0,0310	0,1291	0,000036
4,31	0,004305	25	90000	1,0417	20	6,65	400	0,4	0,0041	0,1722	0,000048	0,0311	0,1295	0,000036
4,46	0,004455	26	93600	1,0833	20	6,15	400	0,4	0,0041	0,1713	0,000048	0,0334	0,1393	0,000039
4,50	0,0045	27	97200	1,1250	20	6	400	0,4	0,0040	0,1667	0,000046	0,0333	0,1389	0,000039
4,61	0,004605	28	100800	1,1667	20	5,65	400	0,4	0,0039	0,1645	0,000046	0,0349	0,1455	0,000040
4,76	0,004755	29	104400	1,2083	20	5,15	400	0,4	0,0039	0,1640	0,000046	0,0382	0,1592	0,000044
4,85	0,004845	30	108000	1,2500	20	4,85	400	0,4	0,0039	0,1615	0,000045	0,0400	0,1665	0,000046
5,0	0,005	31	111600	1,2917	20	4,3	400	0,4	0,0039	0,1616	0,000045	0,0451	0,1879	0,000052

---

**Prueba N°1**

**Calicata N° 9**

**Anexo 10 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arcilloso**

Tipo De Suelo	Perfil cm	Volumen Inicial		Volumen Final		Tiempo			Longitud cm	$\Delta h$ cm	Sección Prisma		Caudal			$K_{sat}$		
		lt	m3	lt	m3	h	seg	día			cm2	m2	m3/día	L/h	l/seg	m/día	cm/h	cm/seg
Franco arcilloso	54	6,00	0,006	0,39	0,00039	1	3600	0,042	20	19,7	400	0,4	0,009	0,390	0,00011	0,02	0,099	0,000027
				0,54	0,00054	2	7200	0,083	20	19,2	400	0,4	0,006	0,270	0,00008	0,02	0,070	0,000020
				0,69	0,00069	3	10800	0,125	20	18,7	400	0,4	0,006	0,230	0,00006	0,01	0,061	0,000017
				0,87	0,00087	4	14400	0,167	20	18,1	400	0,4	0,005	0,218	0,00006	0,01	0,060	0,000017
				1	0,001	4,1	14760	0,171	20	17,7	400	0,4	0,006	0,244	0,00007	0,02	0,069	0,000019
				1,14	0,00114	5	18000	0,208	20	17,2	400	0,4	0,005	0,228	0,00006	0,02	0,066	0,000018
				1,35	0,00135	6	21600	0,250	20	16,5	400	0,4	0,005	0,225	0,00006	0,02	0,068	0,000019
				1,5	0,0015	7	25200	0,292	20	16	400	0,4	0,005	0,214	0,00006	0,02	0,067	0,000019
				1,65	0,00165	8	28800	0,333	20	15,5	400	0,4	0,005	0,206	0,00006	0,02	0,067	0,000018
				1,77	0,00177	9	32400	0,375	20	15,1	400	0,4	0,005	0,197	0,00005	0,02	0,065	0,000018
				1,89	0,00189	10	36000	0,417	20	14,7	400	0,4	0,005	0,189	0,00005	0,02	0,064	0,000018
				2	0,00201	11	39600	0,458	20	14,3	400	0,4	0,004	0,183	0,00005	0,02	0,064	0,000018
				2,10	0,0021	11,36	40896	0,473	20	14	400	0,4	0,004	0,185	0,00005	0,02	0,066	0,000018
				2,22	0,00222	12	43200	0,500	20	13,6	400	0,4	0,004	0,185	0,00005	0,02	0,068	0,000019
				2,34	0,00234	13	46800	0,542	20	13,2	400	0,4	0,004	0,180	0,00005	0,02	0,068	0,000019
				2,46	0,00246	14	50400	0,583	21	12,8	400	0,4	0,004	0,176	0,00005	0,02	0,072	0,000020
				2,64	0,00264	15	54000	0,625	22	12,2	400	0,4	0,004	0,176	0,00005	0,02	0,079	0,000022
				2,73	0,00273	16	57600	0,667	23	11,9	400	0,4	0,004	0,171	0,00005	0,02	0,082	0,000023
2,85	0,00285	17	61200	0,708	24	11,5	400	0,4	0,004	0,168	0,00005	0,02	0,087	0,000024				
2,97	0,00297	18	64800	0,750	25	11,1	400	0,4	0,004	0,165	0,00005	0,02	0,093	0,000026				

3	0,003	18,22	65592	0,759	26	11	400	0,4	0,004	0,165	0,00005	0,02	0,097	0,000027
3,15	0,00315	19	68400	0,792	27	10,5	400	0,4	0,004	0,166	0,00005	0,03	0,107	0,000030
3,3	0,0033	20	72000	0,833	28	10	400	0,4	0,004	0,165	0,00005	0,03	0,116	0,000032
3,42	0,00342	21	75600	0,875	29	9,6	400	0,4	0,004	0,163	0,00005	0,03	0,123	0,000034
3,54	0,00354	22	79200	0,917	30	9,2	400	0,4	0,004	0,161	0,00004	0,03	0,131	0,000036
3,66	0,00366	23	82800	0,958	31	8,8	400	0,4	0,004	0,159	0,00004	0,03	0,140	0,000039
3,78	0,00378	24	86400	1,000	32	8,4	400	0,4	0,004	0,158	0,00004	0,04	0,150	0,000042
3,9	0,0039	26	93600	1,083	33	8	400	0,4	0,004	0,150	0,00004	0,04	0,155	0,000043
4	0,00405	26	93600	1,083	34	7,5	400	0,4	0,004	0,156	0,00004	0,04	0,177	0,000049
4,17	0,00417	28	100800	1,167	35	7,1	400	0,4	0,004	0,149	0,00004	0,04	0,184	0,000051
4,32	0,00432	29	104400	1,208	36	6,6	400	0,4	0,004	0,149	0,00004	0,05	0,203	0,000056
4,41	0,00441	30	108000	1,250	37	6,3	400	0,4	0,004	0,147	0,00004	0,05	0,216	0,000060
4,5	0,0045	31	111600	1,292	38	6	400	0,4	0,003	0,145	0,00004	0,06	0,230	0,000064
4,65	0,00465	32	115200	1,333	39	5,5	400	0,4	0,003	0,145	0,00004	0,06	0,258	0,000072
4,77	0,00477	33	118800	1,375	40	5,1	400	0,4	0,003	0,145	0,00004	0,07	0,283	0,000079
4,89	0,00489	34	122400	1,417	41	4,7	400	0,4	0,003	0,144	0,00004	0,08	0,314	0,000087
5	0,00504	35	126000	1,458	42	4,2	400	0,4	0,003	0,144	0,00004	0,09	0,360	0,000100

**Prueba N°2**

**Calicata N° 9**

**Anexo 11 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arcilloso**

Tipo De Suelo	Perfil cm	Volumen Inicial		Volumen Final		Tiempo			Longitud cm	$\Delta h$ cm	Sección Prisma		Caudal				K <sub>sat</sub>	
		lt	m3	lt	m3	h	seg	día			cm2	m2	m3/día	L/h	l/seg	m/día	cm/h	cm/seg
Franco arcilloso	54	6,00	0,006	0,45	0,0005	1	3600	0,042	20	19,5	400	0,4	0,011	0,450	0,00013	0,03	0,115	0,000032
				0,6	0,0006	2	7200	0,083	20	19	400	0,4	0,007	0,300	0,00008	0,02	0,079	0,000022
				0,72	0,0007	3	10800	0,125	20	18,6	400	0,4	0,006	0,240	0,00007	0,02	0,065	0,000018
				0,9	0,0009	4	14400	0,167	20	18	400	0,4	0,005	0,225	0,00006	0,02	0,062	0,000017
				1	0,0010	4,1	14760	0,171	20	17,5	400	0,4	0,006	0,244	0,00007	0,02	0,070	0,000019
				1,26	0,0013	5	18000	0,208	20	16,8	400	0,4	0,006	0,252	0,00007	0,02	0,075	0,000021
				1,41	0,0014	6	21600	0,250	20	16,3	400	0,4	0,006	0,235	0,00007	0,02	0,072	0,000020
				1,53	0,0015	7	25200	0,292	20	15,9	400	0,4	0,005	0,219	0,00006	0,02	0,069	0,000019
				1,71	0,0017	8	28800	0,333	20	15,3	400	0,4	0,005	0,214	0,00006	0,02	0,070	0,000019
				1,8	0,0018	9	32400	0,375	20	15	400	0,4	0,005	0,200	0,00006	0,02	0,067	0,000019
				1,89	0,0019	10	36000	0,417	20	14,7	400	0,4	0,005	0,189	0,00005	0,02	0,064	0,000018
				1,98	0,0020	11	39600	0,458	20	14,4	400	0,4	0,004	0,180	0,00005	0,02	0,062	0,000017
				2,07	0,0021	11,36	40896	0,473	20	14,1	400	0,4	0,004	0,182	0,00005	0,02	0,065	0,000018
				2,19	0,0022	12	43200	0,500	20	13,7	400	0,4	0,004	0,183	0,00005	0,02	0,067	0,000019
				2,28	0,0023	13	46800	0,542	20	13,4	400	0,4	0,004	0,175	0,00005	0,02	0,065	0,000018
				2,4	0,0024	14	50400	0,583	21	13	400	0,4	0,004	0,171	0,00005	0,02	0,069	0,000019
				2,55	0,0026	15	54000	0,625	22	12,5	400	0,4	0,004	0,170	0,00005	0,02	0,075	0,000021
				2,67	0,0027	16	57600	0,667	23	12,1	400	0,4	0,004	0,167	0,00005	0,02	0,079	0,000022
2,76	0,0028	17	61200	0,708	24	11,8	400	0,4	0,004	0,162	0,00005	0,02	0,083	0,000023				
2,85	0,0029	18	64800	0,750	25	11,5	400	0,4	0,004	0,158	0,00004	0,02	0,086	0,000024				

2,94	0,0029	19	68400	0,792	26	11,2	400	0,4	0,004	0,155	0,00004	0,02	0,090	0,000025
3	0,0030	20	72000	0,833	27	11	400	0,4	0,004	0,150	0,00004	0,02	0,092	0,000026
3,09	0,0031	21	75600	0,875	28	10,7	400	0,4	0,004	0,147	0,00004	0,02	0,096	0,000027
3,15	0,0032	22	79200	0,917	29	10,5	400	0,4	0,003	0,143	0,00004	0,02	0,099	0,000027
3,21	0,0032	23	82800	0,958	30	10,3	400	0,4	0,003	0,140	0,00004	0,02	0,102	0,000028
3,27	0,0033	24	86400	1,000	31	10,1	400	0,4	0,003	0,136	0,00004	0,03	0,105	0,000029
3,3	0,0033	25	90000	1,042	32	10	400	0,4	0,003	0,132	0,00004	0,03	0,106	0,000029
3,36	0,0034	26	93600	1,083	33	9,8	400	0,4	0,003	0,129	0,00004	0,03	0,109	0,000030
3,45	0,0035	27	97200	1,125	34	9,5	400	0,4	0,003	0,128	0,00004	0,03	0,114	0,000032
3,51	0,0035	28	100800	1,167	35	9,3	400	0,4	0,003	0,125	0,00003	0,03	0,118	0,000033
3,33	0,0033	29	104400	1,208	36	9,9	400	0,4	0,003	0,115	0,00003	0,03	0,104	0,000029
3,42	0,0034	30	108000	1,250	37	9,6	400	0,4	0,003	0,114	0,00003	0,03	0,110	0,000031
3,51	0,0035	31	111600	1,292	38	9,3	400	0,4	0,003	0,113	0,00003	0,03	0,116	0,000032
3,57	0,0036	32	115200	1,333	39	9,1	400	0,4	0,003	0,112	0,00003	0,03	0,120	0,000033
3,63	0,0036	33	118800	1,375	40	8,9	400	0,4	0,003	0,110	0,00003	0,03	0,124	0,000034
3,72	0,0037	34	122400	1,417	41	8,6	400	0,4	0,003	0,109	0,00003	0,03	0,130	0,000036
3,78	0,0038	35	126000	1,458	42	8,4	400	0,4	0,003	0,108	0,00003	0,03	0,135	0,000037

---

**Prueba N°3**

**Calicata N° 9**

**Anexo 12 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arcilloso**

Tipo De Suelo	Perfil cm	Volumen Inicial		Volumen Final		Tiempo			Longitud cm	$\Delta h$ cm	Sección Prisma		Caudal				$K_{sat}$	
		lt	m3	lt	m3	h	seg	día			cm2	m2	m3/día	L/h	l/seg	m/día	cm/h	cm/seg
Franco arcilloso	54	6,00	0,006	0,39	0,0004	1	3600	0,042	20	19,7	400	0,4	0,0094	0,3900	0,000108	0,02	0,099	0,000027
				0,48	0,0005	2	7200	0,083	20	19,4	400	0,4	0,0058	0,2400	0,000067	0,01	0,062	0,000017
				0,57	0,0006	3	10800	0,125	20	19,1	400	0,4	0,0046	0,1900	0,000053	0,01	0,050	0,000014
				0,75	0,0008	4	14400	0,167	20	18,5	400	0,4	0,0045	0,1875	0,000052	0,01	0,051	0,000014
				0,87	0,0009	5	18000	0,208	20	18,1	400	0,4	0,0042	0,1740	0,000048	0,01	0,048	0,000013
				0,96	0,0010	6	21600	0,250	20	17,8	400	0,4	0,0038	0,1600	0,000044	0,01	0,045	0,000012
				1	0,0010	7	25200	0,292	20	17,5	400	0,4	0,0034	0,1429	0,000040	0,01	0,041	0,000011
				1,14	0,0011	7	25200	0,292	20	17,2	400	0,4	0,0039	0,1629	0,000045	0,01	0,047	0,000013
				1,29	0,0013	8	28800	0,333	20	16,7	400	0,4	0,0039	0,1613	0,000045	0,01	0,048	0,000013
				1,41	0,0014	9	32400	0,375	20	16,3	400	0,4	0,0038	0,1567	0,000044	0,01	0,048	0,000013
				1,56	0,0016	10	36000	0,417	20	15,8	400	0,4	0,0037	0,1560	0,000043	0,01	0,049	0,000014
				1,68	0,0017	11	39600	0,458	20	15,4	400	0,4	0,0037	0,1527	0,000042	0,01	0,050	0,000014
				1,8	0,0018	12	43200	0,500	20	15	400	0,4	0,0036	0,1500	0,000042	0,01	0,050	0,000014
				1,95	0,0020	13	46800	0,542	20	14,5	400	0,4	0,0036	0,1500	0,000042	0,01	0,052	0,000014
				2	0,0020	14	50400	0,583	20	13,5	400	0,4	0,0034	0,1429	0,000040	0,01	0,053	0,000015
				2,4	0,0024	14	50400	0,583	21	13	400	0,4	0,0041	0,1714	0,000048	0,02	0,069	0,000019
				2,52	0,0025	15	54000	0,625	22	12,6	400	0,4	0,0040	0,1680	0,000047	0,02	0,073	0,000020
				2,67	0,0027	16	57600	0,667	23	12,1	400	0,4	0,0040	0,1669	0,000046	0,02	0,079	0,000022
2,82	0,0028	17	61200	0,708	24	11,6	400	0,4	0,0040	0,1659	0,000046	0,02	0,086	0,000024				
3	0,0030	18	64800	0,750	25	11	400	0,4	0,0040	0,1667	0,000046	0,02	0,095	0,000026				

3,12	0,0031	19	68400	0,792	26	10,6	400	0,4	0,0039	0,1642	0,000046	0,02	0,101	0,000028
3,21	0,0032	20	72000	0,833	27	10,3	400	0,4	0,0039	0,1605	0,000045	0,03	0,105	0,000029
3,3	0,0033	21	75600	0,875	28	10	400	0,4	0,0038	0,1571	0,000044	0,03	0,110	0,000031
3,42	0,0034	22	79200	0,917	29	9,6	400	0,4	0,0037	0,1555	0,000043	0,03	0,117	0,000033
3,51	0,0035	23	82800	0,958	30	9,3	400	0,4	0,0037	0,1526	0,000042	0,03	0,123	0,000034
3,6	0,0036	24	86400	1,000	31	9	400	0,4	0,0036	0,1500	0,000042	0,03	0,129	0,000036
3,72	0,0037	25	90000	1,042	32	8,6	400	0,4	0,0036	0,1488	0,000041	0,03	0,138	0,000038
3,84	0,0038	26	93600	1,083	33	8,2	400	0,4	0,0035	0,1477	0,000041	0,04	0,149	0,000041
3,9	0,0039	27	97200	1,125	34	8	400	0,4	0,0035	0,1444	0,000040	0,04	0,153	0,000043
4	0,0040	27,25	98100	1,135	35	7,6	400	0,4	0,0035	0,1475	0,000041	0,04	0,170	0,000047
4,17	0,0042	28	100800	1,167	36	7,1	400	0,4	0,0036	0,1489	0,000041	0,05	0,189	0,000052
4,29	0,0043	29	104400	1,208	37	9,6	400	0,4	0,0036	0,1479	0,000041	0,03	0,143	0,000040
4,41	0,0044	30	108000	1,250	38	6,3	400	0,4	0,0035	0,1470	0,000041	0,05	0,222	0,000062
4,5	0,0045	31	111600	1,292	39	6	400	0,4	0,0035	0,1452	0,000040	0,06	0,236	0,000066
4,65	0,0047	32	115200	1,333	40	5,5	400	0,4	0,0035	0,1453	0,000040	0,06	0,264	0,000073
4,77	0,0048	33	118800	1,375	41	5,1	400	0,4	0,0035	0,1445	0,000040	0,07	0,291	0,000081
4,89	0,0049	34	122400	1,417	42	4,7	400	0,4	0,0035	0,1438	0,000040	0,08	0,321	0,000089
5	0,0050	35	126000	1,458	43	4,3	401	0,4	0,0034	0,1431	0,000040	0,09	0,357	0,000099

Prueba N°1

Calicata N° 9

Anexo 13 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arcillo arenoso

Tipo de suelo	Perfil cm	Volumen Inicial		Volumen Final		Tiempo			Longitud cm	$\Delta h$ cm	Sección Prisma		Caudal				$K_{sat}$	
		lt	m3	lt	m3	h	seg	día			cm2	m2	m3/día	L/h	l/seg	m/día	cm/h	cm/seg
Franco arcillo arenoso	84	6	0,006	0,3	0,0003	1	3600	0,042	20	20	400	0,4	0,007	0,300	8,33E-05	0,018	0,075	0,000021
				0,6	0,0006	2	7200	0,083	20	19	400	0,4	0,007	0,300	8,33E-05	0,019	0,079	0,000022
				0,96	0,0010	3	10800	0,125	20	17,8	400	0,4	0,008	0,320	8,89E-05	0,022	0,090	0,000025
				1	0,0011	3,3	11880	0,138	20	17,5	400	0,4	0,008	0,318	8,84E-05	0,022	0,091	0,000025
				1,2	0,0012	4	14400	0,167	20	17	400	0,4	0,007	0,300	8,33E-05	0,021	0,088	0,000025
				1,53	0,0015	5	18000	0,208	20	15,9	400	0,4	0,007	0,306	8,50E-05	0,023	0,096	0,000027
				1,8	0,0018	6	21600	0,250	20	15	400	0,4	0,007	0,300	8,33E-05	0,024	0,100	0,000028
				2	0,0020	7	25200	0,292	20	14,2	400	0,4	0,007	0,291	8,10E-05	0,025	0,103	0,000029
				2,13	0,0021	8	28800	0,333	20	13,9	400	0,4	0,006	0,266	7,40E-05	0,023	0,096	0,000027
				2,31	0,0023	9	32400	0,375	20	13,3	400	0,4	0,006	0,257	7,13E-05	0,023	0,096	0,000027
				2,46	0,0025	10	36000	0,417	20	12,8	400	0,4	0,006	0,246	6,83E-05	0,023	0,096	0,000027
				2,58	0,0026	11	39600	0,458	20	12,4	400	0,4	0,006	0,235	6,52E-05	0,023	0,095	0,000026
				2,7	0,0027	12	43200	0,500	20	12	400	0,4	0,005	0,225	6,25E-05	0,023	0,094	0,000026
				2,85	0,0029	13	46800	0,542	20	11,5	400	0,4	0,005	0,219	6,09E-05	0,023	0,095	0,000026
				3	0,0030	14	50400	0,583	20	11	400	0,4	0,005	0,214	5,95E-05	0,023	0,097	0,000027
				3,12	0,0031	15	54000	0,625	20	10,6	400	0,4	0,005	0,208	5,78E-05	0,024	0,098	0,000027
				3,24	0,0032	16	57600	0,667	20	10,2	400	0,4	0,005	0,203	5,63E-05	0,024	0,099	0,000028
				3,3	0,0033	17	61200	0,708	20	10	400	0,4	0,005	0,194	5,39E-05	0,023	0,097	0,000027
				3,42	0,0034	18	64800	0,750	20	9,6	400	0,4	0,005	0,190	5,28E-05	0,024	0,099	0,000027
3,54	0,0035	19	68400	0,792	20	9,2	400	0,4	0,004	0,186	5,18E-05	0,024	0,101	0,000028				

3,66	0,0037	20	72000	0,833	20	8,8	400	0,4	0,004	0,183	5,08E-05	0,025	0,104	0,000029
3,75	0,0038	21	75600	0,875	20	8,5	400	0,4	0,004	0,179	4,96E-05	0,025	0,105	0,000029
3,87	0,0039	22	79200	0,917	20	8,1	400	0,4	0,004	0,176	4,89E-05	0,026	0,109	0,000030
3,96	0,0040	23	82800	0,958	20	8,8	400	0,4	0,004	0,172	4,78E-05	0,023	0,098	0,000027
4	0,0041	24	86400	1,000	20	7,5	400	0,4	0,004	0,169	4,69E-05	0,027	0,113	0,000031
4,14	0,0041	25	90000	1,042	20	7,2	400	0,4	0,004	0,166	4,60E-05	0,028	0,115	0,000032
4,23	0,0042	26	93600	1,083	20	6,9	400	0,4	0,004	0,163	4,52E-05	0,028	0,118	0,000033
4,32	0,0043	27	97200	1,125	20	6,6	400	0,4	0,004	0,160	4,44E-05	0,029	0,121	0,000034

---

Prueba N°2

Calicata N° 9

Anexo 14 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arcillo arenoso

Tipo De Suelo	Perfil cm	Volumen Inicial		Volumen Final		Tiempo			Longitud cm	$\Delta h$ cm	Sección Prisma		Caudal				$K_{sat}$	
		lt	m3	lt	m3	h	seg	día			cm2	m2	m3/día	L/h	l/seg	m/día	cm/h	cm/seg
Franco arena arcilloso	84	6	0,006	0,39	0,00039	1	3600	0,042	20	19,70	400	0,4	0,0094	0,3900	0,000108	0,0238	0,099	0,000027
				0,54	0,00054	2	7200	0,083	20	19,20	400	0,4	0,0065	0,2700	0,000075	0,0169	0,070	0,000020
				0,66	0,00066	3	10800	0,125	20	18,80	400	0,4	0,0053	0,2200	0,000061	0,0140	0,059	0,000016
				0,78	0,00078	4	14400	0,167	20	18,40	400	0,4	0,0047	0,1950	0,000054	0,0127	0,053	0,000015
				0,87	0,00087	5	18000	0,208	20	18,10	400	0,4	0,0042	0,1740	0,000048	0,0115	0,048	0,000013
				1	0,00102	6	21600	0,250	20	17,60	400	0,4	0,0041	0,1700	0,000047	0,0116	0,048	0,000013
				1,11	0,00111	7	25200	0,292	20	17,30	400	0,4	0,0038	0,1586	0,000044	0,0110	0,046	0,000013
				1,2	0,00120	8	28800	0,333	20	17,00	400	0,4	0,0036	0,1500	0,000042	0,0106	0,044	0,000012
				1,35	0,00135	9	32400	0,375	20	16,50	400	0,4	0,0036	0,1500	0,000042	0,0109	0,045	0,000013
				1,5	0,00150	10	36000	0,417	20	16,00	400	0,4	0,0036	0,1500	0,000042	0,0113	0,047	0,000013
				1,62	0,00162	11	39600	0,458	20	15,60	400	0,4	0,0035	0,1473	0,000041	0,0113	0,047	0,000013
				1,8	0,00180	12	43200	0,500	20	15,00	400	0,4	0,0036	0,1500	0,000042	0,0120	0,050	0,000014
				1,92	0,00192	13	46800	0,542	20	14,60	400	0,4	0,0035	0,1477	0,000041	0,0121	0,051	0,000014
				2	0,00210	14	50400	0,583	20	14,00	400	0,4	0,0036	0,1500	0,000042	0,0129	0,054	0,000015
				2,19	0,00219	15	54000	0,625	20	13,70	400	0,4	0,0035	0,1460	0,000041	0,0128	0,053	0,000015
				2,4	0,00240	16	57600	0,667	20	13,00	400	0,4	0,0036	0,1500	0,000042	0,0138	0,058	0,000016
				2,58	0,00258	17	61200	0,708	20	12,40	400	0,4	0,0036	0,1518	0,000042	0,0147	0,061	0,000017
				2,7	0,00270	18	64800	0,750	20	12,00	400	0,4	0,0036	0,1500	0,000042	0,0150	0,062	0,000017
				3	0,00300	19	68400	0,792	20	11,00	400	0,4	0,0038	0,1579	0,000044	0,0172	0,072	0,000020
				3,3	0,00330	20	72000	0,833	20	10,00	400	0,4	0,0040	0,1650	0,000046	0,0198	0,082	0,000023

3,6	0,00360	21	75600	0,875	20	9,00	400	0,4	0,0041	0,1714	0,000048	0,0229	0,095	0,000026
3,9	0,00390	22	79200	0,917	20	8,00	400	0,4	0,0043	0,1773	0,000049	0,0266	0,111	0,000031
4	0,00402	23	82800	0,958	20	7,60	400	0,4	0,0042	0,1748	0,000049	0,0276	0,115	0,000032
4,17	0,00417	24	86400	1,000	20	7,10	400	0,4	0,0042	0,1738	0,000048	0,0294	0,122	0,000034
4,32	0,00432	25	90000	1,042	20	6,60	400	0,4	0,0041	0,1728	0,000048	0,0314	0,131	0,000036

---

Prueba N°2

Calicata N° 9

Anexo 15 Tabla general de lectura de ensayo en suelo franco arcillo arenoso

Tipo De Suelo	Perfil	Volumen Inicial		Volumen Final		Tiempo			Longitud	Variación De Altura	Sección Prisma		Caudal			K <sub>sat</sub>		
		lt	m3	lt	m3	h	seg	día			cm	cm	cm2	m2	m3/día	L/h	l/seg	m/día
				0,45	0,0005	1	3600	0,042	20	19,5	400	0,4	0,011	0,450	0,00013	0,028	0,115	0,000032
				0,6	0,0006	2	7200	0,083	20	19	400	0,4	0,007	0,300	0,00008	0,019	0,079	0,000022
				0,9	0,0009	3	10800	0,125	20	18	400	0,4	0,007	0,300	0,00008	0,020	0,083	0,000023
				1	0,0011	3,3	11880	0,138	20	17,4	400	0,4	0,008	0,327	0,00009	0,023	0,094	0,000026
				1,2	0,0012	4	14400	0,167	20	17	400	0,4	0,007	0,300	0,00008	0,021	0,088	0,000025
				1,5	0,0015	5	18000	0,208	20	16	400	0,4	0,007	0,300	0,00008	0,023	0,094	0,000026
				1,71	0,0017	6	21600	0,250	20	15,3	400	0,4	0,007	0,285	0,00008	0,022	0,093	0,000026
				1,89	0,0019	7	25200	0,292	20	14,7	400	0,4	0,006	0,270	0,00008	0,022	0,092	0,000026
				2	0,0020	7,55	27180	0,315	20	14,2	400	0,4	0,006	0,270	0,00008	0,023	0,095	0,000026
Franco arena arcilloso	84	6	0,006	2,19	0,0022	10	36000	0,417	20	13,7	400	0,4	0,005	0,219	0,00006	0,019	0,080	0,000022
				2,4	0,0024	11	39600	0,458	20	13	400	0,4	0,005	0,218	0,00006	0,020	0,084	0,000023
				2,61	0,0026	12	43200	0,500	20	12,3	400	0,4	0,005	0,218	0,00006	0,021	0,088	0,000025
				2,73	0,0027	13	46800	0,542	20	11,9	400	0,4	0,005	0,210	0,00006	0,021	0,088	0,000025
				3	0,0030	14	50400	0,583	20	11	400	0,4	0,005	0,214	0,00006	0,023	0,097	0,000027
				3,12	0,0031	15	54000	0,625	20	10,6	400	0,4	0,005	0,208	0,00006	0,024	0,098	0,000027
				3,27	0,0033	16	57600	0,667	20	10,1	400	0,4	0,005	0,204	0,00006	0,024	0,101	0,000028
				3,42	0,0034	17	61200	0,708	20	9,6	400	0,4	0,005	0,201	0,00006	0,025	0,105	0,000029
				3,6	0,0036	18	64800	0,750	20	9	400	0,4	0,005	0,200	0,00006	0,027	0,111	0,000031
				3,78	0,0038	19	68400	0,792	20	8,4	400	0,4	0,005	0,199	0,00006	0,028	0,118	0,000033

4	0,0040	20	72000	0,833	20	7,7	400	0,4	0,005	0,200	0,00006	0,031	0,130	0,000036
4,17	0,0042	21	75600	0,875	20	7,2	400	0,4	0,005	0,199	0,00006	0,033	0,138	0,000038
4,35	0,0044	22	79200	0,917	20	6,5	400	0,4	0,005	0,198	0,00005	0,037	0,152	0,000042
4,47	0,0045	23	82800	0,958	20	6,1	400	0,4	0,005	0,194	0,00005	0,038	0,159	0,000044
4,59	0,0046	24	86400	1,000	20	5,7	400	0,4	0,005	0,191	0,00005	0,040	0,168	0,000047
4,8	0,0048	25	90000	1,042	20	5	400	0,4	0,005	0,192	0,00005	0,046	0,192	0,000053
5	0,0050	26	93600	1,083	20	4,2	400	0,4	0,005	0,194	0,00005	0,055	0,231	0,000064

---

## Anexo 16 Fotografías



Foto 1 Desalojo de la primera capa del suelo



Foto 2 Excavación de la calicata



Foto 4 Fijación de cincho metálico



Foto 3 Extracción de muestra de suelo



Foto 6 Colocación de muestra de suelo en permeámetro



Foto 5 Colocación de sensor de humedad análogo



Foto 7 Ejecución de ensayos