



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

ESTIMACIÓN DE LAS RELACIONES ESPACIALES ENTRE LA
CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL
SUELO EN EL CULTIVO DE BANANO

ERAS MARQUEZ RUTH YESSENIA
INGENIERA AGRÓNOMA

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

ESTIMACIÓN DE LAS RELACIONES ESPACIALES ENTRE LA
CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y LAS PROPIEDADES FÍSICAS
DEL SUELO EN EL CULTIVO DE BANANO

ERAS MARQUEZ RUTH YESSENIA
INGENIERA AGRÓNOMA

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

ESTIMACIÓN DE LAS RELACIONES ESPACIALES ENTRE LA CONDUCTIVIDAD
HIDRÁULICA Y LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EN EL CULTIVO DE
BANANO

ERAS MARQUEZ RUTH YESSENIA
INGENIERA AGRÓNOMA

CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE

MACHALA, 17 DE MARZO DE 2020

MACHALA
2020

Estimación de las relaciones espaciales entre la conductividad hidráulica y las propiedades físicas del suelo en el cultivo de banano

INFORME DE ORIGINALIDAD

2%

INDICE DE SIMILITUD

1%

FUENTES DE
INTERNET

0%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

ingenieria.ute.edu.ec

Fuente de Internet

1%

2

[Submitted to Universitat Politècnica de València](#)

Trabajo del estudiante

1%

3

www.redalyc.org

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

< 50 words

Excluir bibliografía

Apagado

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, ERAS MARQUEZ RUTH YESSENIA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado ESTIMACIÓN DE LAS RELACIONES ESPACIALES ENTRE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EN EL CULTIVO DE BANANO, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 17 de marzo de 2020



ERAS MARQUEZ RUTH YESSENIA
0705946143

DEDICATORIA

A mi querida madre María por ser una mujer de lucha que me ha brindado toda su ayuda, apoyo y amor incondicional en cada una de las etapas de mi vida, a mi hermano Claudio por desenvolver el papel de padre, amigo y sobre todo por su incondicional presencia en mi vida.

Además, quiero dedicar este hermoso proyecto a mi hermosa hija Scarleth, por ser la luz de mis ojos y sobre todo por ser el motor que me impulsa día a día para ser mejor persona.

También y no menos importantes dedico este trabajo a mis hermanos Oswaldo, Narciza y Nelly, por sus buenos consejos y por su continuo apoyo.

Eras Márquez Ruth Yessenia

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitir cumplir una meta más en mi vida, a mi madre por su paciencia al guiarme por el buen camino para convertirme en una mejor persona. A mi querido amigo Ronald, por brindarme su apoyo a nivel académico y emocional para evitar desmayar en el proceso de cumplir esta nueva meta.

Sobre todo, un agradecimiento inmenso a mi tutor Julio Chabla Carrillo por brindarme su amistad y por ser un hombre altruista al compartir sus conocimientos para así llegar a ser un gran profesional que vele en pro de la sociedad.

Mi más sincero agradecimiento al Ing. Luna y al Dr. Salomón por ser guías fundamentales en mi trabajo de titulación.

De antemano agradezco al Abg. Víctor por permitirme realizar mi trabajo de investigación en su propiedad.

De una manera muy especial todo mi agradecimiento a mi colega Nayelhi por ser parte de todo este proceso de titulación.

Eras Márquez Ruth Yessenia

RESUMEN

ESTIMACIÓN DE LAS RELACIONES ESPACIALES ENTRE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EN EL CULTIVO DE BANANO

Autor

Ruth Yessenia Eras Márquez

Tutor

Julio Chabla Carrillo, PhD

La conductividad hidráulica es considerada una de las propiedades hídricas más relevantes en la agricultura, valor que depende principalmente de la estructura, textura, contenido de materia orgánica capacidad de campo y contenido de humedad del suelo. Es de suma importancia predecir el comportamiento de los flujos de agua a través del suelo, sean saturados o no saturados, la mayoría de los suelos que son saturados son fundamentales para el estudio de aguas subterráneas y diseño de drenajes. En cuanto a los suelos no saturados se puede decir que van a depender del rozamiento del agua con las paredes de los poros, por lo que tendrá un valor menor que en flujo de agua en suelos saturados. El trabajo de investigación tiene como objetivo Estimar las relaciones espaciales entre la conductividad hidráulica y las propiedades físicas del suelo en el cultivo de banano. El estudio se llevó a cabo en la finca “La Flor”, ubicada en la parroquia “La Peaña” perteneciente al cantón Pasaje provincia El Oro; donde fueron tomados muestras de suelos en quince puntos estratégicos de los cuales se obtuvieron a través de un grillado de 75m x 75m que se hicieron en los planos de la finca a través del software de AutoCAD, estas fueron recolectadas en tubos de PVC de 15 centímetros de altura con un diámetro interno de 7, 2 centímetros a diferentes profundidades, para luego llevarlas a laboratorio y aplicar el método de FINIELTZ que permite realizar el cálculo de la conductividad hidráulica que existe en los suelos. Además, se

procedió a determinar in situ la conductividad utilizando el método del pozo invertido de Auger Hole, también llamado PORCHET. Se efectuó los datos estadísticos descriptivos con todas las variables analizadas obteniendo así los resultados de la media, mediana, desviación estándar (S), varianza (S^2), coeficiente de variación (%), asimetría, curtosis, valores del mínimo y máximo. También se realizó un análisis de correlación entre los dos métodos estudiados con las propiedades físicas del suelo como: Capacidad de campo, Densidad aparente, densidad real, porcentaje de porosidad, textura (% arcilla, % limo, % arena). Se utilizó el programa de Arcgis para crear mapas de conductividad hidráulica y las propiedades físicas del suelo. Se determinó que los dos métodos aplicados para determinar la conductividad hidráulica son confiables permitiendo así tener buenos resultados. De acuerdo a los mapas estudiados, estos presentan una conductividad hidráulica que oscila de 1, 330 cm/ h a 5, 275 cm/ h, es decir, el movimiento de infiltración de agua en el suelo va a ir de un rango muy lento a moderado. Esto irá acorde a la textura que esté presente en el perfil del suelo. En las áreas que contienen un alto porcentaje de arena, densidad aparente y porosidad, la conductividad hidráulica será mayor, causando así que el agua se infiltre de una manera más rápida. Se debe de tener en cuenta el porcentaje de arena en el suelo puesto que no se tendrá una buena retención de agua y la planta de banano sufrirá de déficit hídrico.

Palabras clave: conductividad hidráulica, estratos, pozo invertido, saturado.

ABSTRACT

ESTIMATION OF SPACE RELATIONSHIPS BETWEEN HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL IN BANANA CULTURE

Author

Ruth Yessenia Eras Márquez

Tutor

Julio Chabla Carrillo, PhD

Hydraulic conductivity is considered one of the most relevant water properties in agriculture, a value that depends mainly on the structure, texture, content of organic matter, field capacity and moisture content of the soil. It is of utmost importance to predict the behavior of water flows through the soil, whether saturated or unsaturated, most of the soils that are saturated are fundamental for the study of groundwater and drainage design. Regarding unsaturated soils, it can be said that they will depend on the friction of the water with the pore walls, so it will have a lower value than in water flow in saturated soils. The research work aims to estimate the spatial relationships between hydraulic conductivity and the physical properties of the soil in banana cultivation. The study was carried out in the “La Flor” farm, located in the “La Peaña” parish belonging to the Pasaje canton, El Oro province; where soil samples were taken at fifteen strategic points from which they were obtained through a 75m x 75m grid that were made on the farm plans through AutoCAD software, these were collected in 15-centimeter PVC tubes high with an internal diameter of 7.2 centimeters at different depths, to then take them to the laboratory and apply the FINIELTZ method that allows calculating the hydraulic conductivity that exists in soils. In addition, conductivity was determined in situ using the Auger Hole inverted well method, also called PORCHET. Descriptive statistical data was performed with all the variables analyzed, thus obtaining the results of the mean, median, standard deviation (S), variance (S²), coefficient of variation (%), skewness, kurtosis, minimum and maximum values. A correlation analysis was also performed between the two methods studied with the physical properties of the soil such as: Field capacity, Bulk density, real density, percentage of porosity, texture (% clay, % silt, % sand). The

Arcgis program was used to create maps of hydraulic conductivity and the physical properties of the soil. The two methods applied to determine the hydraulic conductivity were determined to be reliable, thus allowing good results. According to the maps studied, these present a hydraulic conductivity that ranges from 1,330 cm / h to 5,275 cm / h, that is, the movement of water infiltration into the soil will go from a very slow to moderate range. This will be according to the texture that is present in the soil profile. In areas that contain a high percentage of sand, bulk density, and porosity, the hydraulic conductivity will be higher, thus causing water to infiltrate more quickly. The percentage of sand in the soil must be taken into account since it will not have a good water retention and the banana plant will suffer from a water deficit.

Keywords: hydraulic conductivity, strata, inverted well, saturated.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Objetivo general	11
1.2. Objetivo específico.....	11
2. MARCO TEÓRICO	12
2.1. Variabilidad espacial de los suelos.....	12
2.2. Infiltración y el flujo de agua subterránea.....	12
2.2.1. Ley de Darcy.....	13
2.3. Permeabilidad.....	15
2.4. Conductividad hidráulica	16
2.4.1. Conductividad hidráulica en suelos totalmente saturados	18
2.4.2. Conductividad hidráulica en suelos parcialmente saturados	18
2.4.3. Técnica para evaluar la conductividad hidráulica.....	19
2.4.3.1. Método de campo	19
2.4.3.2. Método de laboratorio	20
2.4.4. Análisis litológicos y textual del suelo	21
2.4.4.1. Textura	21
2.4.4.2. Densidad.....	22
2.4.4.3. Porosidad.....	22
2.4.4.4. Estructura.....	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Fase de campo	24
3.1.1. Levantamiento perimetral del área de estudio	24
3.1.2. Clima y ecología	25
3.1.3. Definición de la grilla de muestreo.....	25
3.1.4. Toma de muestras de suelo.....	25
3.2. Fase de laboratorio	28
3.2.1. Equipos, Reactivos y Materiales para determinar la conductividad hidráulica por medio del método de FINIELTZ.....	28
3.2.2. Método para determinar la conductividad hidráulica por medio del método de FINIELTZ.....	28

3.2.3. Determinación de la Capacidad de Campo (CC).....	30
3.2.4. Determinación de la densidad aparente (Da).....	30
3.2.5. Determinación de la densidad Real (DR)	31
3.2.6. Determinación de la porosidad total (Pt)	31
3.3. Creación de mapa de suelos	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.2. Correlación de todas las variable.....	33
4.3. Mapas de Conductividad hidráulica.....	35
4.3.1. Método de laboratorio o FINIELTZ.....	35
4.3.2. Método de campo o método de pozo invertido.....	36
4.4. Mapa de Capacidad de campo.....	36
4.5. Mapa de Densidad aparente.....	37
4.6. Mapa de Porosidad.....	37
4.7. Mapas de Textura.....	38
4.7.1. Arcilla.....	38
4.7.2. Limo.....	39
4.7.3. Arena.....	39
4.8. Mapas de Producción del cultivo de banano.....	40
5. CONCLUSIONES.....	41
6. BIBLIOGRAFÍA.....	42
7. ANEXOS.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ley de Darcy	14
Figura 2. Gradiente Hidráulico	14
Figura 3. Tamaño de las partículas del suelo.....	21
Figura 4. Ubicación geográfica del área de estudio.....	24
Figura 5. Puntos de muestreo del área de estudio.....	25
Figura 6. Toma de muestra de suelo en tubo de PVC.....	26
Figura 7. Preparación de muestra para el análisis de conductividad hidráulica en laboratorio ...	30
Figura 8. Mapa de conductividad hidráulica empleando el método de laboratorio.....	35
Figura 9. Mapa de conductividad hidráulica mediante el método de campo	36
Figure 10. Mapa de la capacidad de campo	37
Figura 11. Mapa de Densidad Aparente	37
Figura 12. Mapa de porcentaje de porosidad.....	38
Figure 13. Mapa del porcentaje de arcilla.....	38
Figura 14. Mapa de porcentaje de limo	39
Figure 15. Mapa de porcentaje de arena	40
Figure 16. Mapas de producción teniendo en cuenta el fuste (cm), número de hojas y número de manos	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la conductividad hidráulica de acuerdo a su rapidez de movimiento .	18
Tabla 2. Análisis estadístico descriptivo de las variables	33
Tabla 3. Correlación de Pearson de todas las variables analizadas en la Finca "La Flor"	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Área de toma de muestras de suelo	46
Anexo 2. Determinación de la conductividad hidráulica a través del método de laboratorio.	46
Anexo 3. Uso de barreno para la perforación del suelo.....	47
Anexo 4. Determinación de la conductividad hidráulica a través del método inverso de Auge Hole.....	48
Anexo 5. Determinación de la capacidad de campo en relación al peso.....	48

1. INTRODUCCIÓN

El agua y el suelo son recursos fundamentales para la agricultura. En el sistema agrícola los procesos están relacionados con el estado hídrico de todas las plantas y dentro de la misma está se relaciona con los factores climáticos, características de diferentes cultivos y por lo general con las propiedades hidráulicas del suelo (Rodríguez & Teresa, 2014).

El conocimiento de la conductividad hidráulica (k), tanto saturado como no saturado, es importante para predecir el comportamiento de los flujos de agua a través del suelo. El contenido de arcilla es un factor importante de la relación entre los parámetros geofísicos y la conductividad hidráulica. La conductividad hidráulica es una propiedad que controla tanto la infiltración, la escorrentía superficial, el transporte de plaguicidas y otros elementos químicas hacia las aguas subterráneas. Hay una amplia gama de métodos para determinar las características hidráulicas del suelo en campo o en laboratorio. La mayoría de las técnicas tienen rangos específicos que de aplicabilidad con respecto al tipo y a la saturación del suelo (Klute, 1986).

De la zona no saturada de suelos hace referencia a grandes áreas que pueden tener una alta variabilidad espacial tanto lateral como vertical, muy significativos en las características hidráulicas del suelo.

La investigación pretende valorar la conductividad hidráulica al nivel de campo y laboratorio y en estados saturados y no saturados relacionándola con las propiedades físicas del suelo, y que sustenten la información necesaria para diseñar sistemas de drenajes subterráneos. Las propiedades físicas son muy importantes para nuestro suelo ya que permite la fácil penetración de raíces, capacidad de retención de agua y nutrientes, aireación, capacidad de drenajes, entre otros.

1.1. Objetivo general

Estimar las relaciones espaciales entre la conductividad hidráulica y las propiedades físicas del suelo en el cultivo de banano.

1.2. Objetivo específico

- ✓ Elaborar mapas de la conductividad hidráulica del suelo en el cultivo de banano.
- ✓ Crear mapas de las propiedades físicas del suelo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Variabilidad espacial de los suelos

La variabilidad espacial se determina por las propiedades que la presentan y van adquiriendo diferentes valores dependiendo de la ubicación o del espaciamiento entre las muestras utilizadas para caracterizarlas (Jaramillo, 2012). Dentro de los campos agrícolas la variabilidad de los suelos es fundamental para la formación geológica de los suelos, pero en otros casos se puede dar por labranza inducida y otras prácticas de manejo (Barrios & Florentino, 2009).

La variabilidad va a depender de la variable a analizar ya sea esta química o física. Existe menor variabilidad en las propiedades del suelo, si esta es de origen natural que cuando está ya está en constante rotación de cultivos. La variación va a depender de la ubicación del sitio de estudio, clima, topografía y sobre todo del material parental. Además, las variabilidades espaciales de los suelos son aquellas que pueden ser estudiadas a través de técnicas geoestadísticas de la cual se podrá realizar mapas para poder determinar la delimitación del área de manejo diferencial (Vargas, Serrato, & Torrente, 2015).

2.2. Infiltración y el flujo de agua subterránea

La infiltración es el proceso de entrada de agua en el suelo y es muy indispensable al momento de realizar las debidas aplicaciones de riego. Este puede incluir movimiento de agua como Vertical (riego por aspersión o inundación), vertical y horizontal (riego por surcos) y tridimensional (riego por goteo). La infiltración también es considerada como una propiedad hidrodinámica que tiene en cuenta al movimiento del agua de manera vertical en el suelo, lo cual está relacionada con la capilaridad, la cohesión y adhesión de las partículas del suelo (Orjuela- Matt, Rubiano, & Camacho, 2010).

La tasa de infiltración es aquella que permite que el suelo sea capaz de absorber la irrigación o las precipitaciones. Cuando las tasas comienzan a disminuirse, los suelos se comienzan a saturar. Las altas precipitaciones permiten que las tasas de infiltraciones sean bajas, produciendo así escorrentía. La infiltración también está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo (Úbeda & Delgado, 2018).

El agua subterránea fluye a través de los materiales porosos saturados del subsuelo hacia niveles más bajos que los de infiltración y puede volver a surgir naturalmente como manantiales y caudal de base de los ríos. La mayoría de estos devuelven el agua a los mares o la lleva a cuencas cerradas donde se evapora (Rodoñez, 2011).

2.2.1. Ley de Darcy

Esta ley fue descubierta por el francés Henry Darcy en el año de 1856, la cual investigo algunas características del flujo de agua a través de filtros de arenas finas, esto quiere decir que el flujo de agua en estos suelos es laminar, mientras no sean excesivas las cargas hidráulicas. En cambio, en los suelos más finos como son los suelos limosos o arcillosos el agua que estará circulando tendrá una velocidad menor y con mucha razón este flujo será laminar (Angelone, Garibay, & Cauhapé, 2006).

La ley de Darcy (figura 1) es la relación entre la velocidad de descarga y el gradiente hidráulico del flujo del agua. En arenas es una invariante del material llamada coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica. Esta ley se basa en el estudio de las propiedades de un flujo de agua en un suelo arenoso, del cual varía de la muestra y la presión del agua en los planos superficial. Este método es una pieza fundamental de las mecánicas de los suelos (Duran, Páez, & García, 2018).

Pizarro (1977), indica que la Ley de Darcy hace referencia a la infiltración del agua en un suelo saturado y bien drenado para que filtre el agua, de esta manera se puede usar la siguiente ecuación:

$$Q = P.S.\frac{H}{h} \quad (1)$$

Q: Caudal filtrado por una columna de suelo, se expresa en centímetros cúbicos (cm³).

P: Velocidad de filtración en centímetros por hora (cm/h).

S: Superficie filtrante, expresada en centímetro cuadrados (cm²).

H: La altura del agua desde su superficie libre hasta la superficie plana que haya alcanzado al penetrar en el suelo, se expresa en centímetros (cm).

h: Es el espesor del suelo que ha sido alcanzado por el agua, expresada en (cm).

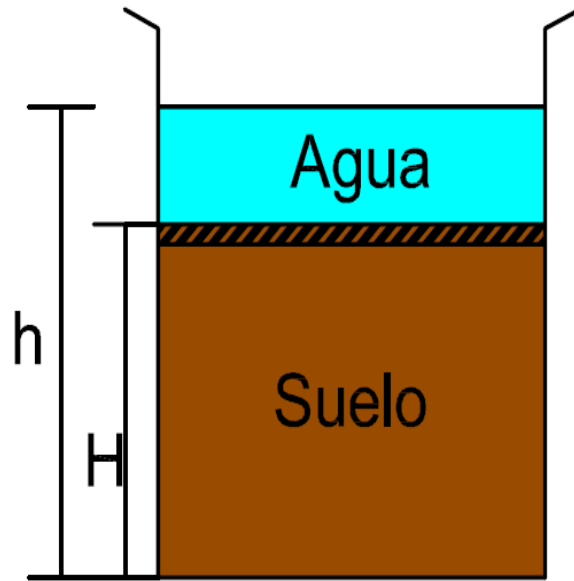


Figura 1. Ley de Darcy

El gradiente hidráulico (figura 2) es el cociente entre la desigualdad de carga de un punto y otro, la medida de distancia de la cual depende del largo de la línea de corriente del flujo entre esos dos puntos (Villón, 2007).

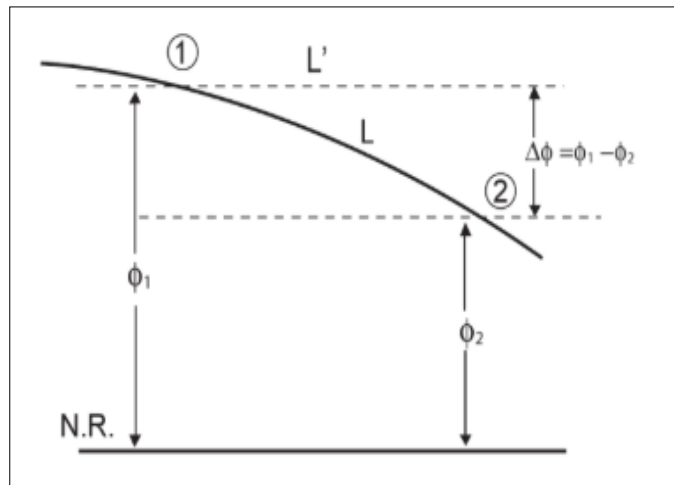


Figura 2. Gradiente Hidráulico

2.3. Permeabilidad

Porta (2019) menciona que la permeabilidad es la facilidad en la que un fluido pasa a través del suelo en reacción a un gradiente de potencial hidráulico. Tiene como propiedad a un medio poroso y a la geometría de los poros (Dorner & Dec, 2007).

La permeabilidad también es fundamental para la textura y estructura del suelo, debido a la evaluación del caudal y la velocidad de infiltración que puede pasar por un laxo de tiempo (Chimbo & Calvache, 2010).

Esta puede ser afectada por los cambios climáticos, por presencia de materia orgánica, actividad microbiana, y uno de los cuales puede ser más afectada es la labranza ya sea por medio mecánico o cultural (Loyola, Rivas, & Gacitúa, 2015).

El tiempo que demore en atravesar el agua va a depender de la textura del suelo como, por ejemplo:

- En los suelos arenosos, el agua va atravesar el suelo como si fuera un colador, lo cual se calificará como muy permeable
- En los suelos limosos se tardará más el agua en atravesar ya que las porciones de las partículas finas serán consecuentes, en estos casos se calificará como más o menos permeable.
- En los suelos arcillosos el agua no se infiltra y esta provoca encharcamientos, de los cuales tardara en atravesar el agua, en cambio para esta se califica un suelo poco permeable. En algunos casos cuando la arcilla es plástica se debe considerar como impermeable.

La permeabilidad es una cualidad de los componentes que dependen del tiempo para que el fluido se infiltre y atravesase el material, a su vez también puede estar relacionada con la filtración, penetración de agua en el suelo, circulación de aguas subterráneas, etc. (Cortés, 2006).

A través de la fórmula de la Ley de Darcy, se despejo P para poder calcular la permeabilidad que se da en centímetros/ hora, a continuación, se puede observar la ecuación ya establecida:

$$P = \frac{Q.h}{S.H} \quad (2)$$

❖ **Capilaridad**

En las partículas terrosas quedan poros de las cuales actúan como tubos capilares, es así cuando la capa superficial se deseca y el suelo se convierte en una esponja, cuando entra en contacto con el agua se encarga de ascender por capilaridad.

El agua que se eleva por capilaridad va a depender de que tan finos sean los intersticios capilares, entonces esta también dependerá de los granos finos del suelo, pero la velocidad es que la posición tome equilibrio será mayor con los elementos gruesos que con los finos.

Los suelos que presentan texturas arenosas el agua va ascender de manera rápida basada en su capilaridad, pero está se verá afecta ya que la altura va a ser menor, pero en cambio con los suelos que son arcillosos el agua ascenderá a una mayor altura, pero de manera más lenta, y cuando los suelos son limos su velocidad y altura va ser intermedia.

❖ **Desecación de la tierra arable**

El agua que es retenida en la capa arable se pierde a través de la evaporación en la superficie y por otra parte también se pierde por la transpiración de las plantas, al momento de combinar estas dos palabras se forma la evapotranspiración, como un grave problema el suelo comienza a secarse y el agua que se perdió va a ser reemplazada, por la que la capilaridad asciende.

2.4. Conductividad hidráulica

Según Zimmermann & Basile (2014) indica que los suelos en su mayoría presentan composición heterogénea, los cuales no presentan ningún tipo de homogeneidad. Se puede decir que la conductividad hidráulica es la capacidad del suelo que permite que el agua se infiltre a través de poros (Amézquita, 1999). Estas pueden presentarse en etapa saturada que caracteriza la capacidad de un suelo para transferir agua bajo condiciones saturadas y no saturadas (Gutiérrez, 2015).

También es la encargada de drenar todas las aguas que se encharcan en los terrenos, es muy importante también para diseñar por donde van a ir ubicados los drenajes. Existen diferentes mediciones para determinar el valor K, unas de ellas son las medidas directas e indirectas, cuyo valor será distinto ya que dependerá del tipo del suelo al que esté sometido (Gastelo & Vallejos, 2015).

Según Romaña (2012), nos indica que las medidas “directas” son aquellas que miden el coeficiente de conductividad hidráulica y las “indirectas” son aquellas que proporcionan el valor del coeficiente de la conductividad hidráulica de una forma secundaria, estas pueden ser:

Directos

- Permeámetro de carga constante.
- Permeámetro de carga variable.
- Prueba directa en los suelos in situ.

Indirectos

- Cálculo a partir de la curva granulométrica.
- Cálculo a partir de la prueba de consolidación.
- Cálculo con la prueba horizontal de capilaridad.

En muchos estudios de drenaje el flujo de agua en los suelos saturados es de suma importancia, ya que se relacionará con planta_suelo_agua, y para la mayoría de suelos salinos, suelos que han sido estratificados cuyas texturas son demasiado ásperas dentro de un perfil, el flujo de agua logra drenar todos estos tipos de suelos (Núñez, 1981).

Núñez (1981) explica que la conductividad hidráulica puede ser afectada por:

- ❖ Estructura del suelo
- ❖ Textura del suelo
- ❖ Contenido de Materia Orgánica
- ❖ Baja permeabilidad
- ❖ Tipos de poros predominantes
- ❖ Actividad microbiana
- ❖ Presencia de raíces, etc.

En la Tabla 1 se puede observar la velocidad con la atraviesa el agua en el suelo a través de la conductividad hidráulica.

Tabla 1. Clasificación de la conductividad hidráulica de acuerdo a su rapidez de movimiento

CLASE	Conductividad hidráulica	
	cm/ h	m/ día
Extremadamente lenta	< 0,125	< 0,03
Muy lenta	0,125 - 0,50	0,12 - 0,48
Moderada	2,00 - 6,25	0,48 - 1,50
Rápida	6,25 - 12,5	1,50- 3,12
Muy rápida	12,50 - 25	3,12 - 6,00
Extremadamente Rápida	> 25	> 6

Fuente: (Guzman, 2010)

2.4.1. Conductividad hidráulica en suelos totalmente saturados

La conductividad hidráulica en los suelos totalmente saturados es aquellos que tiene la capacidad de transferir agua en condiciones saturadas, de las cuales permiten el traspaso de químicos o nutrientes en el suelo, entonces se puede decir que es muy importante para precisar el movimiento de agua en un perfil (Gutiérrez, 2015).

El movimiento del agua en el suelo se controla por dos factores: La resistencia de la matriz del suelo para fluir agua, y las fuerzas que actúan en cada elemento o unidad de agua del suelo. La ley de Darcy, la ecuación fundamental que describe el movimiento de agua en el suelo, relaciona la proporción del fluido con estos dos factores. EL flujo saturado ocurre cuando la presión del agua de poros es positiva; es decir, cuando el potencial aproximadamente el 95 % del espacio del poro total está lleno con agua. El restante 5 % está lleno con el aire atrapado (Gastelo & Vallejos, 2015).

2.4.2. Conductividad hidráulica en suelos parcialmente saturados

Meza (2012) indica que se debe de tomar en cuenta el estado de la variabilidad de los suelos, si estos presentan un potencial expansivo no se desarrolla si este está saturado, sino más cuando están en un rango de parcialmente saturado. La conductividad hidráulica sucede cuando esta sobre el nivel freático, donde los poros están parcialmente completos de agua y este contenido es inferior a la porosidad y a la presión del fluido es menor a la atmosférica (Barbecho & Calle, 2012).

La ley de Darcy es válida para flujo de agua en medios parcialmente saturados siempre y cuando se tenga en cuenta la dependencia de la conductividad hidráulica con el contenido de humedad (Gastelo & Vallejos, 2015).

La mayoría de los suelos de origen sedimentario se encuentran en “saturación parcial”, esto quiere decir que no están ni totalmente secos ni saturados. Esta saturación puede estar ligada a distintas variables edafoclimáticas como las lluvias, la temperatura, la evapotranspiración y las condiciones topográficas de un terreno a evaluar. Para suelos que son parcialmente saturados, se establecen tres fases: sólida, líquida y gaseosa, lo cual se dirá que en los espacios vacíos que tiene el suelo van a estar ocupados por agua y por aire (Meza, 2012).

2.4.3. Técnica para evaluar la conductividad hidráulica

Para evaluar la conductividad hidráulica ya sea en campo o en laboratorio, se tiene mucha complejidad en los recursos y el tiempo (Cutillas, Barberá, & Conesa, 2015).

2.4.3.1. Método de campo

En los métodos de campo existen características sobre la conductividad hidráulica por medio de un valor in situ, no obstante, se encontrarán dudas al respecto del volumen de la muestra real (Lozano & Amézquita, 2005). Se tratará métodos puntuales para calcular el valor de k de un volumen pequeño de suelo, aunque será mayor que el de los métodos de laboratorio. Se realizará el estudio de los siguientes métodos:

➤ Método del Auger hole

Ibáñez (2012) señala que este método es uno de los más fáciles y sencillos para poder medir la conductividad hidráulica del suelo una vez que esté por debajo de la capa freática, de lo cual todos los poros deben de estar cubiertos por agua.

➤ Método del piezómetro

El piezómetro es un instrumento muy usado para medir las presiones de agua, el nivel de la superficie freática que se hace a través de la infiltración de agua (Beltrán & Vintimilla, 2014). Este método también se aplica para determinar la conductividad hidráulica en una porción del suelo, del que dependerá los niveles de agua y del perfil del suelo. Se emplea realizando un pequeño agujero en el suelo, lo que se procede a entubar, se debe de dejar una pequeña cavidad en el extremo inferior. La velocidad con la que el agua se infiltra da una medida de conductividad hidráulica del suelo (Israelsen & Hansen, 2003).

➤ **Método inverso del Auger hole**

Es también conocido como el método de PORCHET, se lo utiliza cuando en muchos casos la capa freática no existe en el suelo.

Pizarro, (1977) indica que para realizar el método de campo es muy sencillo, ya que consta de realizar un agujero en el suelo utilizando un barreno y a su vez llenarlo con agua hasta cubrir a una cierta altura y se debe de tomar el tiempo con el cronometro. Una vez el agua comienza a descender se marca el tiempo y la distancia.

La ecuación que se empleó para el cálculo de la conductividad hidráulica es la misma que utilizó Guzmán, (2010) en su investigación:

$$K = 432 r \frac{\ln(y_2 + \frac{r}{2}) - \ln(y_1 + \frac{r}{2})}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

Donde;

K: Conductividad hidráulica, expresada en m/día.

t₁: Tiempo inicial, expresado en segundos.

t₂: Tiempo final, expresado en segundos.

y₁: Profundidad inicial del nivel de agua para el tiempo t₁, expresada en cm.

y₂: Profundidad inicial del agua para el tiempo t₂, expresada en cm.

r: Radio del agujero y se miden en centímetros.

2.4.3.2. Método de laboratorio

El método de laboratorio se realizan algunas tomas de muestras en el campo de las cuales deben de conservar su estructura (Sepúlveda, 1999), de las cuales también son aquellas que se toman en cilindros no alterados o también cilindros de suelos empacados traídos del campo, los resultados no serán afectados ya que se conservará su estado inicial.

Las muestras de suelos pueden presentar dos inconvenientes siguientes:

- Es muy difícil tomar muestras de suelos que no sean inalteradas.
- Las muestras de suelo siempre van hacer de tamaño reducido, y se darán en volúmenes completamente reducido.

El método de laboratorio que se empleó en esta investigación para poder calcular la conductividad hidráulica es el método conocido como FINIELTZ.

2.4.4. Análisis litológicos y textural del suelo

2.4.4.1. Textura

La apreciación global de las propiedades mecánicas de una muestra de suelo. Se describe por medio de la sensación al hacer deslizar entre los dedos una muestra húmeda, de los que se han eliminado los elementos gruesos (Porta, López- Acevedo, & M. Poch, 2019).

El suelo es la conformación compleja de partículas, las cuales también están influenciadas por las leyes físicas y químicas que son el resultado de diferentes niveles de organización de las partículas del cuerpo edáfico (Villaseñor, 2016).

Es la propiedad física del suelo más importante por su estabilidad influencia sobre otras propiedades y por este motivo es una determinación indispensable en el análisis del suelo y su valoración económica (Villaseñor, 2016).

La textura del suelo es la proporción relativa del porcentaje de las partículas (figura 3) finas (<2 mm) las cuales son tomadas en cuenta para calcular textura, las partículas gruesas que son mayores a 2 mm no es utilizada para dicho calculo (Salazar, 2016). Por eso las partículas finas se clasifican en:

- Arena (2 mm a 0,05 mm)
- Limo (0,05 mm a 0,002 mm)
- Arcilla (< 0,002 mm)

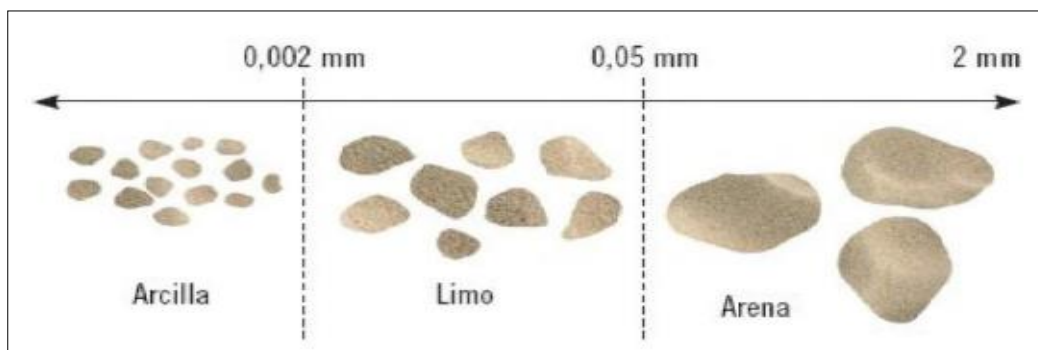


Figura 3. Tamaño de las partículas del suelo

Fuente: (Salazar, 2016).

La textura es muy diferente en cada horizonte de suelo, por eso es necesario conocer la textura del suelo para estimar las características y comprender el comportamiento de los diferentes cultivos que están establecidos en el terreno (Salazar, 2016).

2.4.4.2. Densidad

El suelo mantiene partículas individuales de agregados que por lo general esto permite a que este sea un medio poroso, de lo cual se establecen dos tipos de densidades como: la densidad real y la densidad aparente (Porta, López- Acevedo, & M. Poch, 2019).

Densidad aparente: Relación entre una masa de suelo seco y el volumen total que ocupa la muestra inalterada, se expresa en Kg/m^3 o en g/cm^3 (Porta, López- Acevedo, & M. Poch, 2019). La densidad aparente también puede indicar cuales son las propiedades con más significancia para el suelo, estas pueden ser: capacidad de infiltración, porosidad, compactación, grado de aireación, la circulación del agua y aire del suelo, desarrollo de las plantas (emergencia y enraizamiento) y manejo del suelo.

Densidad Real: Relación entre la masa del suelo seco y el volumen de partículas. Se expresa en Kg/m^3 o en g/cm^3 .

2.4.4.3. Porosidad

En las fracciones de porosidad total se basa en el flujo de agua que influye en la profundidad a la que el agua penetra después de la infiltración (M. Aoki & Sereno, 2005). En los primeros centímetros de profundidad se puede determinar las medidas de infiltración y el escurrimiento del agua lo que permite el paso a niveles superficiales o profundos. La porosidad también puede ser llamada o ser considerada un indicador de calidad del suelo (González, González, Sánchez, López, & Valenzuela, 2011).

El espacio poroso es el porcentaje del volumen del suelo que no es ocupado por sólidos. Lo cual este volumen está constituido por un 50 % de materiales solidos de los cuales está comprendido por un 45 % en minerales y el otro 5 % en materia orgánica, y el otro 50 % es el espacio poroso. También se puede encontrar los micro y macro poros que ayudan a que los nutrientes, minerales, gases, aire y agua puedan pasar o retenerse (Amaya, 2019).

2.4.4.4. Estructura

Torres, Etcheveres, Fuentes, Govaerts & Herrera (2013) indica que la estructura del suelo es la agrupación de partículas de arena, limo y arcilla, las cuales generan espacios vacíos o llamados poros. Está relacionada con la fase sólida, líquida y gaseosa del suelo. Es muy importante ya que regula el flujo de agua, el traspaso de nutrientes, también influye en el desarrollo y actividad de los organismos vivos.

Las partículas que forman un suelo no se hallan individualizadas, excepto si el material es arenoso, por lo general se encuentran unidas, lo que da lugar a la estructura, que es una propiedad típicamente edáfica. Por ello, al examinar una calicata se puede afirmar que se está en presencia de un suelo, si se observa la existencia de estructura edáfica, en caso contrario, se tratará de un material geológico (material originario) (Porta, López- Acevedo, & M. Poch, 2019). Cuando la estructura del suelo se comienza a degradar, esta llega a afectar a las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, provocando una gran disminución en la productividad de un cultivo (Volverás & Amézquita, 2009).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Fase de campo

3.1.1. Levantamiento perimetral del área de estudio

El trabajo investigativo se realizó en la Finca “La Flor”, ubicada en la Vía Machala –Pasaje, en la parroquia La Peña perteneciente al Cantón Pasaje provincia El Oro (figura 4).

Se encuentra ubicada geográficamente en:

Latitud: 625725

Longitud: 9633525

Datum: WGS 84; Zona 17 Sur

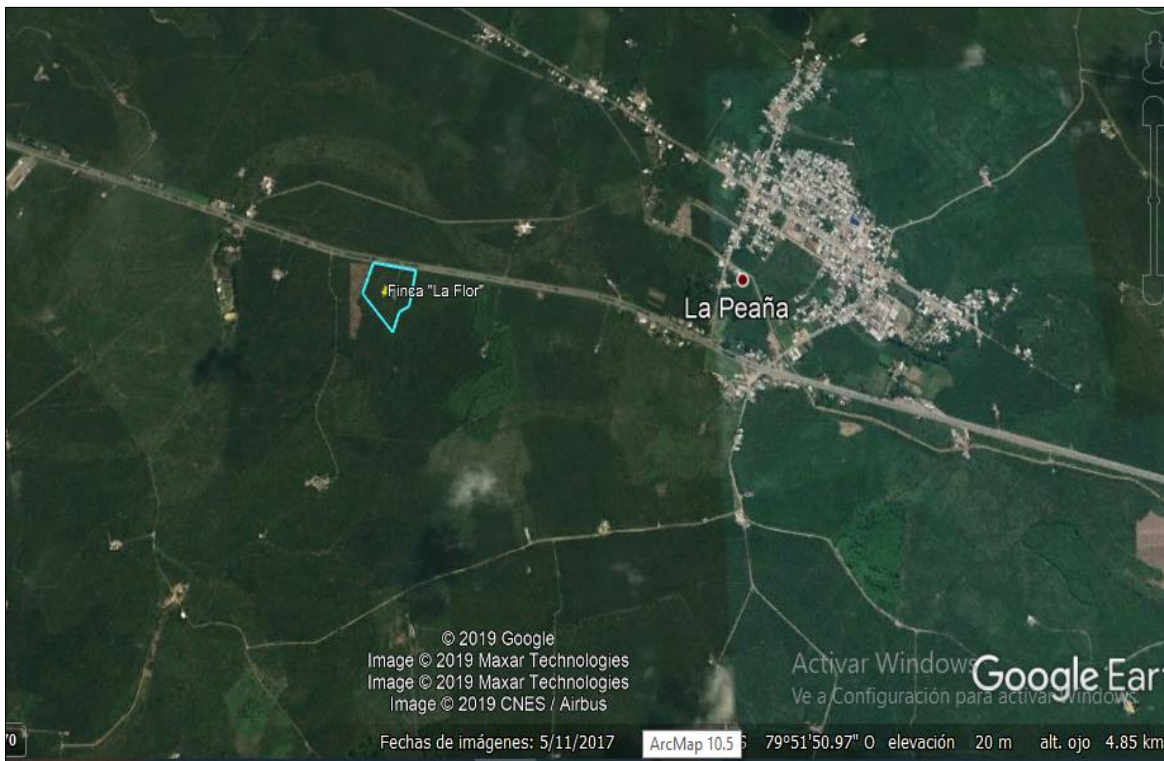


Figura 4. Ubicación geográfica del área de estudio

Fuente: Google Earth

3.1.2. Clima y ecología

En el área de investigación y de acuerdo a los registros de la estación meteorológica Granja Santa Inés consta con temperatura media de 25 °C, precipitación media anual de 600 mm, el promedio de horas luz es de 2.8 y una humedad relativa del 83%.

3.1.3. Definición de la grilla de muestreo

En la (figura 5) se observa los puntos que fueron repartidos a una distancia equidistante de 75m x 75m teniendo un total de 15 puntos dentro del área de estudio, luego de eso se procedió hacer la respectiva toma de muestras de suelo para su respectivo análisis.

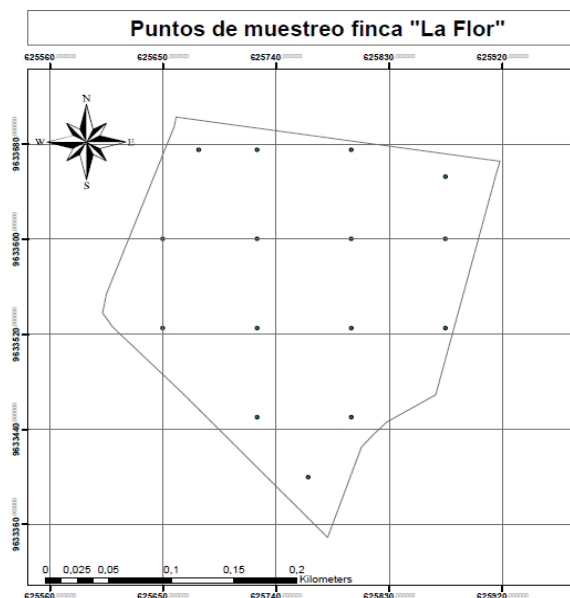


Figura 5. Puntos de muestreo del área de estudio

3.1.4. Toma de muestras de suelo

Equipos y materiales

- Pala
- Cinta métrica
- Tubo de PVC de 90mm a 15 cm de altura
- Funda plástica
- Etiquetas

- Estilete

Metodología utilizada para la toma de muestra

Para sacar las muestras de suelo, se realizaron los siguientes pasos:

- Una vez realizada la grilla, se debe ir al área de estudio a señalar los puntos de referencia junto con un GPS.
- Se debe de limpiar el área donde se va a tomar la muestra y realizar una calicata de 50x50x50 cm (Anexo 1).
- Se retira los primeros cinco centímetros de suelo.
- Se introduce el tubo de PVC (Figura 6) en el suelo, donde ya se retiró la primera capa de suelo y con la ayuda de un combo de madera golpear al tubo despacio para que este se vaya introduciendo al suelo poco a poco, hasta que quede un espacio vacío de cinco centímetros aproximadamente.
- Para retirar la muestra se debe de medir cinco centímetros desde la superficie del tubo, luego introducir la lampa y con mucha precaución se debe retirar la muestra del suelo.
- Una vez retirada la muestra se procede a sellarla con la funda plástica para que no se desparrame y causar alteraciones en la muestra.
- Poner una etiqueta para poder identificar, teniendo en cuenta el Punto de referencia y la profundidad.
- Este proceso se lo debe realizar para cada horizonte y para cada punto de referencia.



Figura 6. Toma de muestra de suelo en tubo de PVC

Equipos y materiales para determinar la conductividad hidráulica a través del método inverso de Auge Hole

- Pelotas de pimpón
- Piola
- Estilete
- Cinta métrica
- Estaca de 80 cm
- Barreno de 5.4 cm de diámetro
- Flexómetro
- Cronometro
- Lápiz
- Cuaderno

Metodología para determinar la conductividad hidráulica a través del método inverso de Auge Hole

- Con el barreno de acero se taladra el suelo hasta llegar a la primera profundidad de 25 cm (Anexo 3).
- Se toma dos pelotas de pimpón que deben de ir colgadas una en cada extremo de una piola bien fina.
- La cinta métrica debe de ir pegada en la estaca de 80 centímetros de altura.
- Se debe de colocar la estaca cerca del hoyo para que la pelota de pimpón quede en el centro del hueco, una vez realizado todo esto se debe de llenar el agujero con agua hasta que el agua llegue al nivel cero del suelo (Anexo 4).
- Cuando el agua llega al ras del suelo, se toma un cronometro para saber cuál sería el tiempo en que el agua comenzó a infiltrarse en el suelo.
- Se marca la piola en la cinta métrica para saber cuál es la distancia cero.
- Una vez transcurrido una distancia considerable se para el anota cual es el tiempo y la distancia en el que el agua se infiltro en el suelo.
- Para realizar la toma de datos del segundo horizonte se introduce de nuevo al barreno y se repite lo mismo que se hizo en el primero.

Equipos y materiales para la toma de dato de producción

- GPS
- Cinta métrica
- Cuaderno
- Lápiz
- Escalera

Metodología para toma de datos de producción

En cada punto se eligieron cinco plantas al azar para evaluar el número de hojas, número de racimo/ planta y se midió el fuste. A continuación, se detalla cada una de ellas:

- A una altura de 1.30 metros se debe medir el diámetro del fuste.
- Se contabilizaron el número de hojas por cada una de las plantas
- Para contabilizar el número de manos, se debe de colocar una escalera en la planta de banano para alzar la funda donde cubre al racimo y poder registrar datos.

3.2. Fase de laboratorio

3.2.1. Equipos, Reactivos y Materiales para determinar la conductividad hidráulica por medio del método de FINIELTZ

- Tubo de PVC de 90 mm
- Soporte metálico
- Piseta de 1000 ml
- Embudo o cilindro metálico
- Papel filtro
- Vaso de precipitación
- Agua
- Probeta

3.2.2. Método para determinar la conductividad hidráulica por medio del método de FINIELTZ

Para poder realizar este método se realizar los siguientes pasos:

- Se toma el tubo de PVC que contiene la muestra de suelo del sitio donde se está realizando la investigación, esta debe de estar totalmente libre de residuos y el piso de la parte inferior debe de estar totalmente plano al ras del tubo (Serie A), en la parte inferior debe de contener un espacio vacío de aproximadamente unos 5 cm.
- Se debe de tomar datos de la sección “S” que ya es conocida.
- Medir la altura “h”, que es el largo del tubo de PVC (serie B) y tomar datos.
- En un soporte metálico se colocan dos pinzas para que puedan sujetar al embudo o cilindro metálico.
- En el embudo o soporte metálico va a colocarse el tubo de PVC donde este debe de ir acompañado con un círculo metálico que sea como colador y el papel filtro (Serie C), para tener precaución de que la muestra de suelo pueda caer y perjudicar a la investigación.
- Añadir agua al tubo de PVC hasta llegar a una altura “H”, la cual tiene que ser constante;
- Para que H sea constante se debe de poner en el mismo soporte metálico dos pinzas metálicas lo cual darán soporte a la Píseta de 1000 ml que contiene agua. La Píseta debe de llevar en la tapa un tubo fino afilado en forma de bisel, el frasco debe de ir invertido sobre el cilindro de este modo el agua debe de llegar hasta el borde del bisel. Se debe de tomar muy en cuenta que para que el agua salga del frasco debe de penetrar en él una burbuja de aire, la cual al momento de que el agua comience a infiltrar en el suelo, el nivel de agua baja y deja al descubierto la parte superior del bisel del tubo, y este comienza a regularse automáticamente, la altura “H”.
- Una vez que el agua comience a infiltrarse al suelo, y lo sature por completo, este va a comenzar a caer gotas donde se lo recolectará en un vaso de precipitación (Anexo 2) y una vez que comience a caer la primera gota se tomará el tiempo, la cual para la investigación se estimó un tiempo de dos horas por cada muestra evaluada.

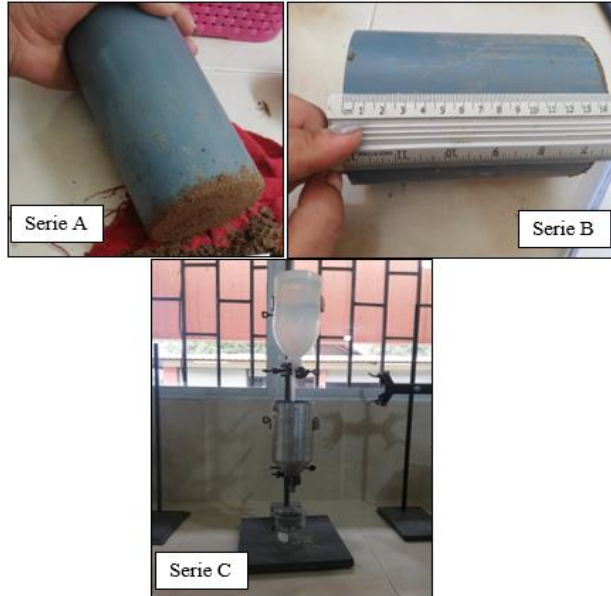


Figura 7. Preparación de muestra para el análisis de conductividad hidráulica en laboratorio

3.2.3. Determinación de la Capacidad de Campo (CC)

- Pesar una capsula al vacío.
- Con una espátula se tomó una pequeña parte de suelo en húmedo.
- Se colocó la capsula más el suelo en húmedo en una estufa a una temperatura de 105° C por 24 horas.
- Una vez transcurrida las 24 horas se saca la capsula de la estufa y se deja enfriar para luego pesar.

Se aplicó la siguiente formula:

$$CC = \frac{Psh - Pss}{Pss}$$

Donde:

Psh: Peso suelo húmedo

Pss: Peso de suelo seco

CC: capacidad de campo

3.2.4. Determinación de la densidad aparente (Da)

Se debe de pesar un cilindro de hierro galvanizado con un volumen conocido, para luego este ser introducido al suelo hasta que se enrase los bordes del cilindro, envolver con una funda plástica

para no alterar la muestra. Llevarla a laboratorio y colocar en una estufa a una temperatura de 105°C hasta 24 horas, retirar la muestra seca y pesarla. Se retira el suelo del cilindro para ser pesado y así obtener el peso seco de la muestra. Obteniendo los resultados se aplica la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{m_{ss}-m_c}{V_c} \quad (4)$$

Donde:

m_{ss}: masa del suelo seco a 105°C, dado en g.

m_c: masa del cilindro, dada en g.

V_c: volumen del cilindro, dada en cm³

3.2.5. Determinación de la densidad Real (DR)

Se pesa un balón de 50 ml este debe de estar limpio y seco, luego se añade agua hasta aforar y de nuevo se pesa, botar el líquido del balón para luego añadir 5 gramos de suelo mullido y tamizado a 2 mm se debe de pesar nuevamente y, por último, de debe de añadir agua al balón donde se encuentra el suelo, agitar suavemente para que se incorpore bien y finalmente aforar y pesar. A continuación, la ecuación que se debe de utilizar para los cálculos respectivos:

$$Dr = \frac{b-a}{(d-a)-(c-b)} \quad (5)$$

Donde:

a: Peso del balón vacío.

b: Peso del balón + muestra de suelo.

c: Peso del balón + suelo + agua.

d: Peso del balón aforado con agua.

3.2.6. Determinación de la porosidad total (Pt)

La porosidad total se la determino a través de la relación entre la densidad aparente (Da), la densidad real (Dr) y la diferencia de la parte sólida. Se reemplazaron datos en la siguiente ecuación:

$$Pt = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) \times 100 \quad (6)$$

Donde:

Pt: Porosidad total, dada en (%)

Da: Densidad aparente, dada en g.cm^{-3}

Dr: Densidad real, dada en g.

3.3. Creación de mapa de suelos

Para la elaboración de los mapas se tomaron datos que fueron recopilados desde campo y tabulados en tablas de Excel donde se ubicaran los puntos geo-referenciados, para iniciar la digitalización del mapa en el Sistema de Información Geográfica (SIG) mediante la ayuda de la herramienta ArcGis 10.5.

Con la aplicación de ArcMap se realizó los mapas de la perimetral de la propiedad con sus linderos, además con la ayuda de la función “*Spline*” que se encuentra ubicada en *ArcToolBox/SpatialAnalystTools/Inerpolation/Spline*; para que los colores solo queden dentro del mapa se usó la función *ArcToolBox/SpatialAnalystTools/Extraction/Estract by Mask*, lo que fueron usados para analizar las variables de Conductividad hidráulica (Campo y Laboratorio), Capacidad de Campo (CC), Densidad aparente (Da), Porosidad (%P), Textura como: Arcilla (%Arc), Limo (%Li), Arena (%A) y por último la producción (Fuste, No hojas, No manos).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis estadístico descriptivo

En la Tabla 2 se puede observar los análisis descriptivos de las variables presentes en la misma. Los resultados del coeficiente de variación (CV%) de la conductividad hidráulica en los dos métodos empleados como laboratorio (CH. Lab) y de campo (CH. Camp) están dentro de un rango de 87,937 % a 99,570 %. Guatibonza (2009) señala que cuando el CV es mayor al 85,49 % es porque va a presentar una alta variabilidad, ya sea esta por los diferentes usos que se le da al suelo.

El contenido de arcilla (A) es uno de los parámetros donde se observa un CV demasiado alto de 158,416 % , datos similares también lo presenta Arias (2019) con un CV de 106,474 %. La asimetría y curtosis para todas las variables están dentro del rango de 0 a 3, esto quiere decir que no presentas valores anómalos.

Tabla 2. Análisis estadístico descriptivo de las variables

	Mínimo	Máximo	Media	S	S2	CV (%)	Asimetría	Curtosis
CH. Lab (cm/ h)	1,050	17,430	4,680	4,660	21,714	99,570	1,687	1,931
CH. Camp (cm/ h)	1,050	16,500	6,213	5,464	29,853	87,937	0,792	-1,008
CC	0,281	0,525	0,402	0,064	0,004	16,032	-0,215	-0,729
Da	1,446	1,797	1,587	0,068	0,005	4,288	0,765	2,386
% P	20,517	41,380	31,685	4,855	23,570	15,322	-0,084	-0,034
% Arc	0	26	4,80	7,604	57,821	158,416	1,701	1,838
% Li	0	42	17,17	13,277	176,282	77,342	0,337	-0,901
% A	48	100	78,10	17,633	310,921	22,577	-0,307	-1,284
Fuste	51,96	66,62	58,488	3,099	9,605	5,299	0,550	2,563
No. hojas	10	12	10,73	0,785	0,616	7,313	0,524	-1,153
No. manos	4	7	5,47	0,819	0,671	14,987	-0,289	-0,403

Fuente: Propia del autor

4.2. Correlación de todas las variables

La correlación lineal de Pearson nos permite identificar las variables que se correlacionan dependiendo al nivel de significancia que es al 5 % (0.05). De acuerdo a la tabla 3 se puede observar que las variables que más se correlación con la conductividad hidráulica mediante el método de laboratorio (CH. Lab) son: densidad aparente (Da) con 0.684, porosidad (%P) con 0.566 y arena (A) con 0.617, todas estas actúan de una manera directa. En cambio, la arcilla (%Arc) con

-0.698 y el limo (%Li) con -0.654, lo que quiere decir que son inversamente proporcionales a la conductividad hidráulica, a medida que esta aumente la filtración de agua en el suelo va a existir menos arcilla y limo en el suelo. Todas estas variables evaluadas tienen un nivel de significancia <0.05, lo cual las hace muy significativas.

La capacidad de campo (cc) muestra una relación con los dos métodos empleados, pero no tiene un nivel de significancia ya que esta es mayor al 5%.

Las variables que no tienen ninguna relación con los métodos estudiados son con los parámetros de producción como: el fuste con -0.063, número de hojas con -0.008 y el número de manos con -0.024, estos valores están relacionados con el método de laboratorio o CH. Lab. En cambio, para el método de campo o CH. Camp los valores de fuste de 0.000, número de hojas de 0.197 y el número de racimos de 0.016. Haciendo una comparación entre los dos métodos no se relacionan con ninguno al igual con el nivel de significancia que es mayor al 5 %.

El número de manos (0.507) está relacionando directamente proporcional con el fuste, teniendo en cuenta su nivel de significancia de 0.004 que es menor al *p* valor de 0.01.

Tabla 3. Correlación de Pearson de todas las variables analizadas en la Finca "La Flor"

		CH. Lab	CH. Camp	CC	Da	% P	% Arc	% Li	% A	Fuste	Nº hojas	Nº manos
CH. Lab	Correlación de Pearson	1										
	Sig. (bilateral)											
CH. Camp	Correlación de Pearson	0,584**	1									
	Sig. (bilateral)	0,001										
CC	Correlación de Pearson	0,123	-	1								
	Sig. (bilateral)	0,517	0,340									
Da	Correlación de Pearson	0,684	0,046	0,080	1							
	Sig. (bilateral)	0,028	0,809	0,673								
% P	Correlación de Pearson	0,566	0,264	0,154	-0,493**	1						
	Sig. (bilateral)	0,016	0,159	0,417	0,006							
% Arc	Correlación de Pearson	-0,698	-	0,118	-0,497**	0,087	1					
	Sig. (bilateral)	0,019	0,691	0,536	0,005	0,649						
% Li	Correlación de Pearson	-0,654	-	0,097	-0,424*	0,379*	0,400*	1				

	Sig. (bilateral)	0,015	0,731	0,610	0,019	0,039	0,028						
% A	Correlación de Pearson	0,617	0,079	0,123	0,526**	-0,323	0,724**	0,922**	1				
	Sig. (bilateral)	0,027	0,680	0,516	0,003	0,081	0,000	0,000					
Fuste	Correlación de Pearson	-0,063	0,000	0,162	-0,091	0,235	-0,284	0,170	0,006	1			
	Sig. (bilateral)	0,743	0,998	0,392	0,631	0,211	0,128	0,369	0,974				
Nº hojas	Correlación de Pearson	-0,008	0,197	0,039	-0,185	0,155	-0,113	0,018	0,032	0,422*	1		
	Sig. (bilateral)	0,968	0,296	0,839	0,327	0,412	0,551	0,926	0,867	0,020			
Nº manos	Correlación de Pearson	-0,024	0,016	0,182	0,117	0,160	-0,361	-0,137	0,257	0,507**	0,122	1	
	Sig. (bilateral)	0,900	0,932	0,335	0,539	0,399	0,050	0,469	0,171	0,004	0,522		

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

4.3. Mapas de Conductividad hidráulica

4.3.1. Método de laboratorio o FINIELTZ

Por medio del método de laboratorio se estudió el comportamiento del agua en el suelo, lo cual se obtuvieron valores que se pueden observar en la leyenda de los mapas de la Figura 8, ya que se encuentran en un rango de 1, 330 cm/ h a 5, 275 cm/ h, según Guzman, (2010) la conductividad hidráulica va de muy lenta a moderada como se presenta en la Tabla 1. Dentro de los mapas de la primera profundidad de (0 – 25 cm) la velocidad del agua de manera muy lenta se presenta más en la parte inferior del mapa y la mayor parte del suelo se presenta de forma moderada. En la siguiente profundidad (25 – 50 cm) la conductividad es moderada, notando con más exactitud en las zonas superiores e inferiores.

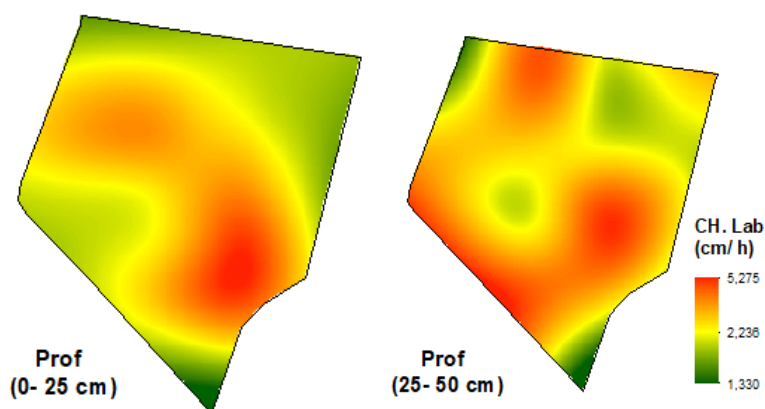


Figura 8. Mapa de conductividad hidráulica empleando el método de laboratorio

4.3.2. Método de campo o método de pozo invertido

Mediante el método de pozo invertido se puede observar en la leyenda (Figura 9) que presenta un rango de 2, 463 cm/ h hasta 19, 081 cm/ h, según Guzmán, (2010) estos valores según su rango permite que la conductividad sea moderada hasta muy rápida, como se puede apreciar en la Tabla 1. Este método presente valores más altos al que se pudo observar en el método de laboratorio (Figura 8). Según las profundidades estudiadas y los rangos se puede diferenciar las zonas que permite que el agua atraviese de una muy rápida a moderada, identificándose por los colores de los mapas. Permitiendo así decir que las zonas de un color anaranjado intenso (muy rápido) se presenta en la primera profundidad en la parte superior del mapa y se desliza una parte hasta la zona central, para la segunda profundidad la mayor parte del terreno presenta una conductividad rápida.

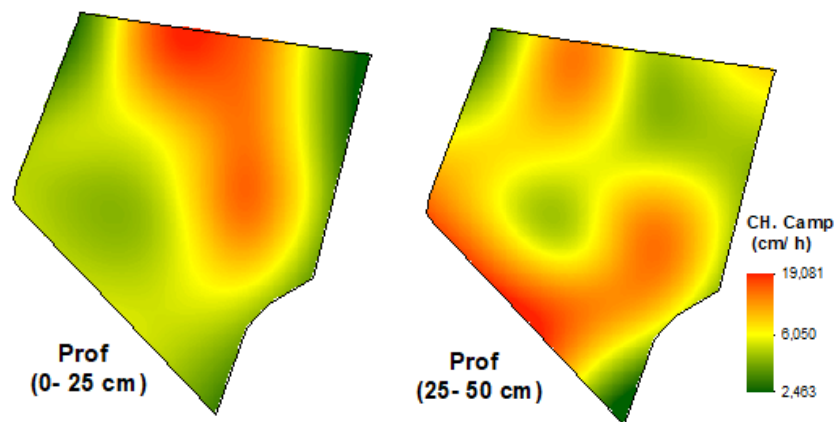


Figura 9. Mapa de conductividad hidráulica mediante el método de campo

4.4. Mapa de Capacidad de campo

En la figura 10 se puede observar que en las dos profundidades estudiadas la capacidad de campo es baja para este nivel, Daza, Flórez & Triana (2013), nos dice que cuando los valores son bajos dentro de una finca pueden estar siendo afectados por los drenajes internos o también por la falta de aguas subterráneas.

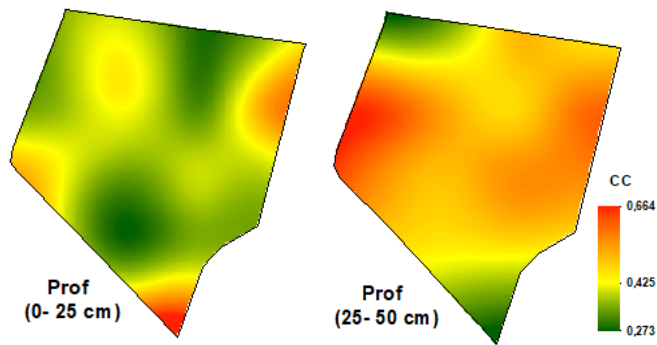


Figure 10. Mapa de la capacidad de campo

4.5. Mapa de Densidad aparente

En la figura 11 se puede observar que la densidad aparente tiene un mínimo de $1,38 \text{ g. cm}^{-3}$ y el máximo de $1,69 \text{ g. cm}^{-3}$, de acuerdo con Antúnez & González (2015), indica que cuando los suelos presentan niveles bajos de Da su textura es franco arcilloso lo que permite que la conductividad hidráulica sea menor y cuando los suelos tienen un Da alto la textura es arenoso lo que indica que la conductividad va hacer alta. La conductividad no se verá afecta por la Da, teniendo en cuenta el estudio estadístico de correlación (Figura 8) estos son directamente proporcionales.

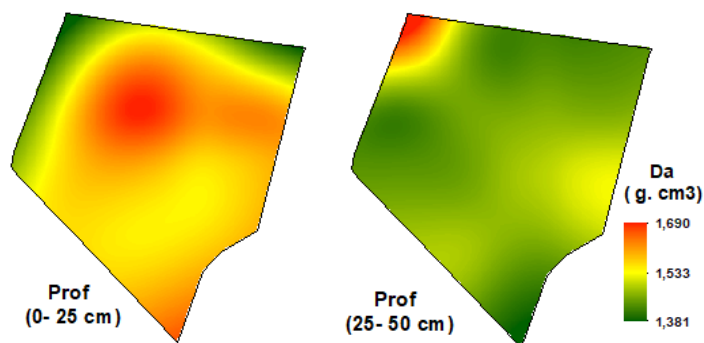


Figura 11. Mapa de Densidad Aparente

4.6. Mapa de Porosidad

Los niveles de porosidad presentes en la figura 12, tienen como mínimo de 22,97 % y el máximo de 49,88 %. En los primeros 25 centímetros se puede apreciar que la porosidad es baja en la mayor parte de la finca lo que permite estipular que la conductividad hidráulica en ese perfil será menor, en cambio para el siguiente horizonte los niveles de porosidad son mayores. De acuerdo con

González & Valenzuela (2011), donde indica que en los primeros centímetros se determina la medida de infiltración y escurrimiento del agua que va a hacia la profundidad del suelo.

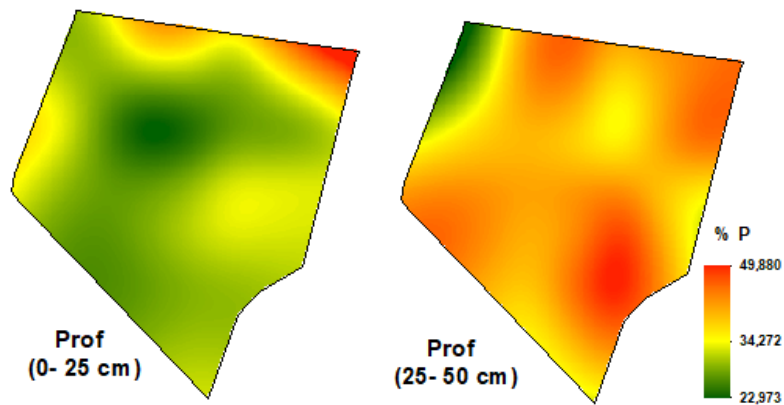


Figura 12. Mapa de porcentaje de porosidad

4.7. Mapas de Textura

4.7.1. Arcilla

Los porcentajes de arcilla de acuerdo a la escala van de 0,06 % a 32,73%. De acuerdo (Salazar, 2016) indica que las partículas más pequeñas son de las arcillas y relacionándolo con la figura 13 una pequeña parte de la finca la conductividad sería menor, teniendo en cuenta el criterio de Pizarro, (1977), donde señala que los suelos que contengan un alto porcentaje de arcilla serán suelos permeables o de baja infiltración. A medida que los suelos contengas mayor porcentaje de arcilla la conductividad hidráulica será menor.

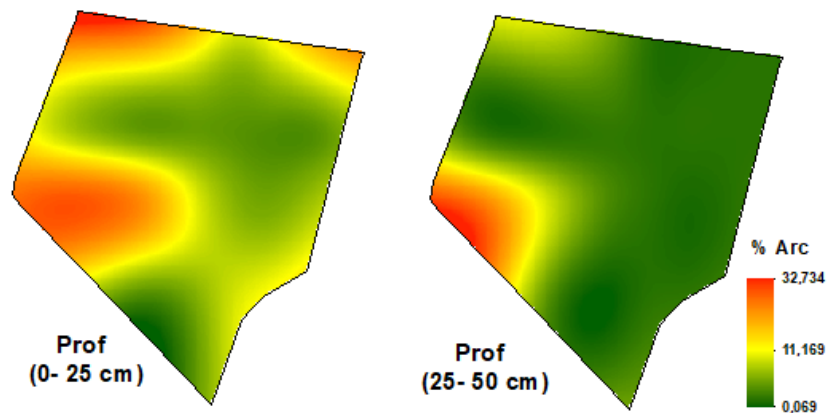


Figure 13. Mapa del porcentaje de arcilla

4.7.2. Limo

En la figura 14 los porcentajes de limo son de 0,887 % como mínimo y un máximo de 67,88 %, lo que representa que a diferencia del porcentaje de arcilla (figura 13) que tiene muy poca representación en los primeros 25 centímetros en toda la finca, el % de limo representa una gran mayoría en todo el terreno, teniendo esto en cuenta la conductividad hidráulica va hacer de forma moderada.

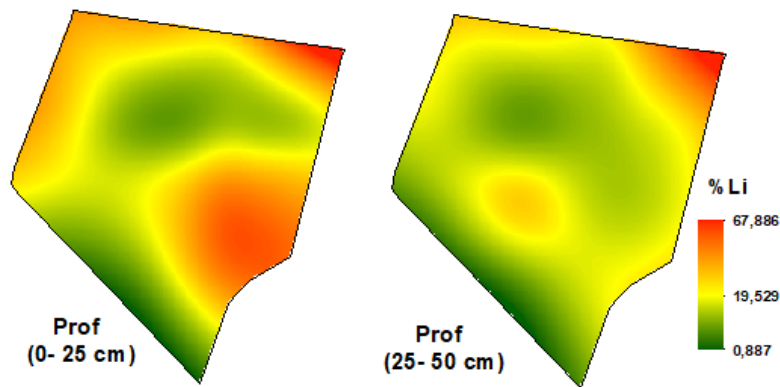


Figura 14. Mapa de porcentaje de limo

4.7.3. Arena

El porcentaje de arena presenta un rango de 11,187 % como mínimo y de 125, 623 % como máximo, lo que permiten observarse en la Figura 15 que el segundo horizonte gran parte del terreno tiene una conductividad muy rápida, lo que puede ocurrir que el agua atraviese más rápido a los acuíferos subterráneos.

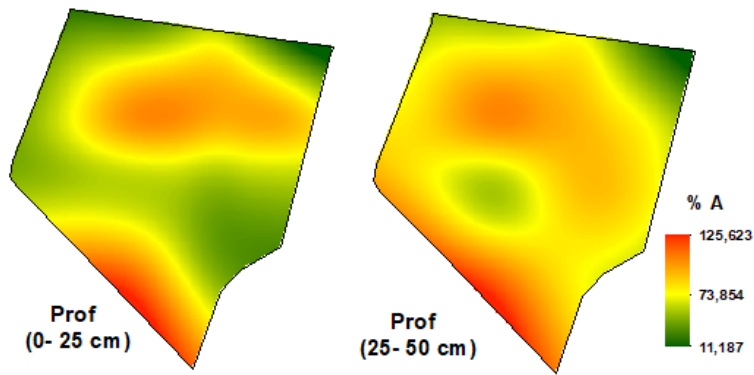


Figure 15. Mapa de porcentaje de arena

4.8. Mapas de Producción del cultivo de banano

En los presentes mapas (Figura 16), se puede verificar que en las zonas donde el fuste del pseudotallo es más grueso o más vigoroso, el número de hojas y el número de manos en el racimo de banano van a ser mayores. De acuerdo con Saavedra (2017), donde señala que si la altura del pseudotallo incrementa, va a existir aumento del peso del racimo y el número de manos y frutos.

En las áreas donde la conductividad hidráulica fue menor, tendrá un manejo diferente en los tiempos de riego y en la construcción de los sistemas de drenaje.

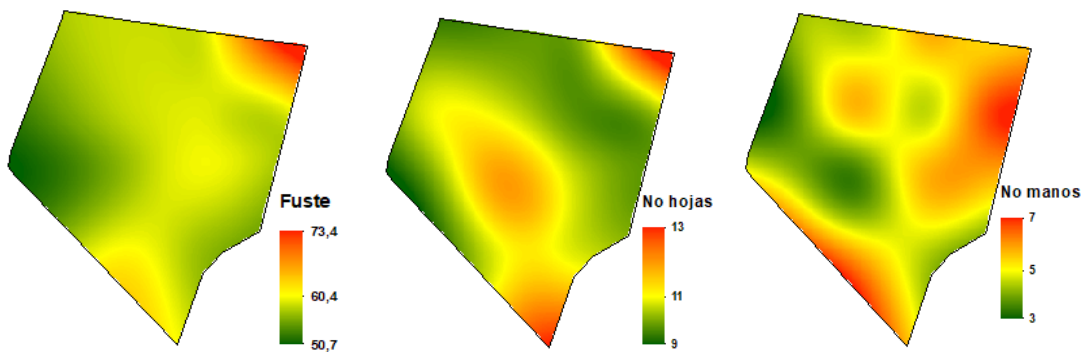


Figure 16. Mapas de producción teniendo en cuenta el fuste (cm), número de hojas y número de manos

5. CONCLUSIONES

En las zonas o áreas donde se presentó un porcentaje de arcilla alto, la conductividad hidráulica fue menor, causando problemas de drenaje e incidiendo en la producción.

La conductividad hidráulica presenta valores promedios de 1,330 a 5, 275 cm/h, en los estratos de 0- 0.25 y 0.25 - 0.50 cm, es decir, que el movimiento de agua en el suelo de la finca está en el rango muy lento a moderado, dependiendo de su textura.

Se determinó que existió una alta correlación, entre la conductividad hidráulica determinada por el método de laboratorio de Finieltz, con las variables: densidad aparente, porosidad y la textura del suelo.

En las áreas que contienen un alto porcentaje de Arena, baja Densidad aparente y alta Porosidad, la conductividad hidráulica fue mayor, lo que incide, en el movimiento del agua en el suelo y por ende en la separación de los drenes

La determinación de los valores de la conductividad hidráulica y la construcción de sus mapas, define zonas donde el diseño de los sistemas de drenaje no será lo mismo en toda la finca, motivo de esta investigación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Amaya, M. (2019). *Uso de la incidencia del agua de riego mediante sondas de capacitancia FDR, en el cultivo de banano*. Machala, Ecuador. Obtenido de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15156/1/DE00012_TRABAJO DETITULACION.pdf
- Amézquita, E. (1999). *Requerimientos de agua y nutrición de cultivos de flores*. Calí, Colombia: CIAT. Obtenido de http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_215.pdf
- Angelone, S., Garibay, M., & Cauhapé, M. (2006). *Geología y Geotecnia; "Permeabilidad de suelos"*. Santa Fe, Argentina: Universidad Nacional del Rosario. Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Permeabilidad_en_Suelos.pdf
- Antúnez, A., Vidal, M., Felmer, S., & González, M. (2015). *Riego por pulsos en Maíz Grano*. Rengo, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Obtenido de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40307.pdf>
- Arias, C. (2019). *Distribución espacial de las propiedades físicas y de la curva de retención de la humedad en suelos con cultivo de banano*. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala.
- Barbecho, J., & Calle, J. (2012). *Caracterización de la conductividad hidráulica de los suelos de la subcuenca del Río Tarqui*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Barrios, R., & Florentino, A. (2009). *Variabilidad espacial de las propiedades físicas de dos suelos cultivados con palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela*. Monagas, Venezuela: INIA. Obtenido de <http://www.bioline.org.br/pdf?cg09108>
- Beltrán, C., & Vintimilla, J. (2014). *Estudio de la instrumentación a utilizar en las presas de tierra del proyecto pacalori*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20891/1/TESIS%20.pdf>
- Chimbo, G., & Calvache, M. (2010). *Conductividad hidráulica saturada y no saturada en condiciones de campo utilizando el DIVINER 2000*. La concordía- Esmeraldas, Ecuador: XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del suelo. Obtenido de http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/20.-Gabriel-Chimbo-diviner.pdf?fbclid=IwAR0twkEq7x1vgWYT8IR3n5VvT2A9VI5xU1gXeEACPvWMjQlfvCxtK_r4uvq
- Cortés, Á. (2006). *Análisis de los contenidos sobre "permeabilidad" en los libros de texto de Educación Primaria*. (Vol. 5). Zaragoza: Electrónica de Enseñanza de las Ciencias. Obtenido de http://reec.webs.uvigo.es/volumenes/volumen5/ART8_Vol5_N1.pdf
- Cutillas, P., Barberá, G., & Conesa, C. (2015). *Estimación de la humedad del suelo a niveles de capacidad de campo y punto de marchitez mediante modelos predictos a escala regional*. España: Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles. Obtenido de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-EstimacionDeLaHumedadDelSueloANivelesDeCapacidadDe-5138505%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-EstimacionDeLaHumedadDelSueloANivelesDeCapacidadDe-5138505%20(1).pdf)

- Dorner, J., & Dec, D. (2007). *La permeabilidad del aire y conductividad hidráulica saturada como herramienta para la caracterización funcional de los poros del suelo* (Vol. 7). Temuco: Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. 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* (Vol. 15). Ocaña, Colombia: Universidad Francisco de Paula Santander. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v15n1/1692-1798-itec-15-01-00024.pdf>
- Gastelo, J., & Vallejos, J. (2015). *Procedimiento para determinar la conductividad hidráulica en un suelo*. Perú: Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/290109997/Conductividad-Hidraulica-en-El-Suelo>
- González, J., González, G., Sánchez, I., López, A., & Valenzuela, L. (2011). *Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo* (Vol. 29). Chapingo, México: Tierra Latinoamericana. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57322342002.pdf>
- Guatibonza, M., Álvarez, J., & Sanabria, J. (2009). *Distribución espacial de la conductividad hidráulica en un lote de la granja Tunguavita (Paipa, Colombia)* (Vol. 27). Paipa, Colombia: Agronomía Colombiana.
- Gutiérrez, M. (2015). *Variación espacial de las propiedades hidráulicas de un Andisol bajo régimen de riego en un cultivo de arándano*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile. Obtenido de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/bvariacion%20espacial%20de%20las%20propiedades%20hidraulicas%20de%20un%20andisol%20bajo%20regimen%20de%20riego%20en%20un%20cultivo%20de%20banano.pdf>
- Guzman, S. (2010). *Evaluación de la productividad del agua en un cultivo de banano (Musa AAA simmonds) para la zona de santa marta por medio de la variación de tres coeficientes de cultivo (Kc)*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/3926/1/822100.2011.pdf>
- Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2012). *Método de Auger- Hole*. Valencia, España. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16573/AD%20Auger%20Hole.pdf;jsessionid=B4299C29163CCA60339105C309E68D0B?sequence=1>
- Israelsen, O., & Hansen, V. (2003). *Principios y aplicaciones del riego* (Segunda ed.). España: Reverte. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=vRtP-aU0QU8C&pg=PA348&lpg=PA348&dq=piezometros+hidraulicos+para+suelos&source=bl&ots=8OM5xPleL2&sig=ACfU3U1bUjvInGpoYLuauZ3tyHbdci-6sA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjrtZ2gnajnAhWKm1kKHZwHC2QQ6AEwGXoECAoQAQ#v=onepage&q&f=false>
- Jaramillo, D. (2012). *Variabilidad espacial de algunas propiedades de un MOLLISOL de clima cálido seco*. Antioquia, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de [http://vip.ucaldas.edu.co/agronomia/downloads/Agronomia20\(2\)_2.pdf](http://vip.ucaldas.edu.co/agronomia/downloads/Agronomia20(2)_2.pdf)

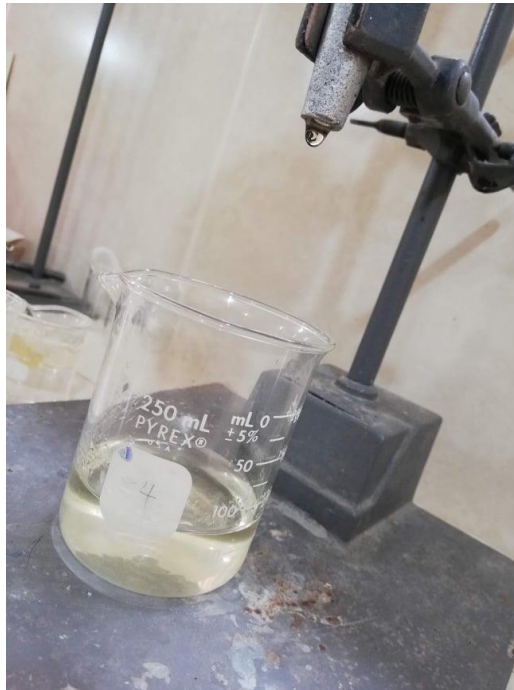
- Klute, A. (1986). *Methods of soil analysis* (Segunda ed.). USA: Physical and mineralogi methods.
- Loyola, C., Rivas, J., & Gacitúa, M. J. (2015). *Permeabilidad del suelo de la cuenca del río Chillán entre Estero Peladillas y río Ñuble, Chile* (Vol. 24). Bogotá, Colombia: Cuadernos de Geografía. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2818/281832840006.pdf>
- Lozano, J., & Amézquita, E. (2005). *La conductividad hidráulica del suelo estudiada en el valle del Cauca con el nuevo indicador del USDA* (Vol. 54). Palmira, Colombia: Acta agronómica. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169920338002.pdf>
- M. Aoki, A., & Sereno, R. (2005). *Modificaciones de la conductividad hidráulica y porosidad del suelo estimadas mediante infiltrómetro de disco a tensión* (Vol. 65). Chillán, Chile: Agricultura Técnica. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072005000300007
- Meza, V. (2012). *Suelos parcialmente saturados, de la investigación a la cátedra universitaria*. Medellín, Colombia: Boletín de las ciencias de la tierra. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n31/n31a02.pdf>
- Núñez, J. (1981). *Fundamentos de la edafología* (Primera ed.). San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=dpAchUt7xxoC&pg=PA59&dq=conductividad+hidraulica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjjw8z9ypfnAhUio1kKHfH1AtY4ChDoAQhCMAQ#v=onepage&q=conductividad%20hidraulica&f=false>
- Orjuela- Matt, H., Rubiano, Y., & Camacho, J. (2010). *Comportamiento de la infiltración en un oxisol*. Bogotá, Colombia: U.D.C.A. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v13n2/v13n2a05.pdf>
- Pizarro, F. (1977). *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Madrid, España: Agrícola Española.
- Porta, J., López- Acevedo, M., & M. Poch, R. (2019). *Edafología: Uso y protección de suelos* (Cuarta ed.). Madrid, España: Mundi- Prensa. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=SZ3BDwAAQBAJ&pg=PA149&dq=permeabilidad+del+suelo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjZofXq3vHmAhWdpFkKHdJ0Dn4Q6AEIPjAD#v=onepage&q&f=false>
- Rodoñez, J. (2011). *Aguas subterráneas- acuíferos* (Primera ed.). (Z. Novoa, Ed.) Lima, Perú: Sociedad Geográfica de Lima. Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterranas.pdf
- Rodriguez, M., & Teresa, L. (2014). *Comportamiento de la zona radical activa del banano en un ferrazol bajo riego por goteo superficial y subsuperficial*. La Habana, Cuba: Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000300001
- Romaña, J. (2012). *Los limites de la Ley de Darcy*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

- Saavedra, J. (2017). *Efectos de las malas prácticas agrícolas sobre el retorno en plantas de banano (Musa x paradisiaca L.) Subgrupo Cavendish*. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala.
- Salazar, J. (2016). *Aprovechamiento de recursos y manejo del suelo ecológico*. AGAU0108 (Primera ed.). Málaga, España: IC Editorial. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=3m9gDwAAQBAJ&pg=PT108&dq=textura+del+suelo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjn6_Sa0vDmAhWLSlkKHVG2DgUQ6AEIMDAB#v=onepage&q&f=false
- Sepúlveda, R. (1999). *El infiltrómetro de cilindro simple como método de cálculo de la conductividad hidráulica de los suelos. Experiencias de campo en ámbitos de montaña mediterránea*. Málaga, España: Baetica. Estudios de arte, geografía e historia. Obtenido de <http://www.revistas.uma.es/index.php/baetica/article/view/480/428>
- Torres, C., Etcheveres, J., Fuentes, M., Govaerts, B., & Herrera, J. (2013). *Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo* (Vol. 31). Chapingo, México: Tierra latinoamericana. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000100071
- Úbeda, J., & Delgado, Y. (2018). *La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utiliza en ellos para la agricultura* (Vol. 4). Nicaragua: Iberoamericana de Bioeconomía y cambio climático. Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/6299-Texto%20del%20art%C3%ADculo-21102-1-10-20180720.pdf
- Vargas, R. d., Serrato, F., & Torrente, A. (2015). *Variabilidad espacial de las propiedades físicas de un suelo Fluventic Ustropepts en la cuenca baja del río las Ceibas-Huila*. Huila, Colombia: Revista Ingeniería y Región. Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-VariabilidadEspacialDeLasPropiedadesFisicasDeUnSue-5432275%20(4).pdf
- Villaseñor, D. (2016). *Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo*. Machala, El Oro, Ecuador: Universidad Técnica de Machala. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10690/1/FUNDAMENTOS%20Y%20PROCEDIMIENTOS.pdf>
- Villón, M. (2007). *Drenaje* (Primera ed.). Costa Rica: Tecnología de Costa Rica. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=CmZpRBTAAn0C&pg=PA83&dq=ley+de+darcy&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjV3sqcpp_nAhXRmVkJKHVh0B4EQ6AEIMDAB#v=onepage&q=ley%20de%20darcy&f=false
- Volverás, B., & Amézquita, C. (2009). *Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia*. Nariño: CORPOICA. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v58n1/v58n1a06.pdf>
- Zimmermann, E., & Basile, P. (2014). *Metodología de agregación para estimar conductividades hidráulicas en suelos heterogéneos insaturados*. (Vol. 5). Argentina: Tecnología y ciencias del agua. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000400003&fbclid=IwAR3aW9ueWTw8rvHSRIHqG9DQMS62t8L0cpVz-ngZ2QqE3pguxxZYRf5fLCQ

7. ANEXOS



Anexo 1. Área de toma de muestras de suelo



Anexo 2. Determinación de la conductividad hidráulica a través del método de laboratorio.



Anexo 3. Uso de barreno para la perforación del suelo.



Anexo 4. Determinación de la conductividad hidráulica a través del método inverso de Auger Hole.



Anexo 5. Determinación de la capacidad de campo en relación al peso.