



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS EN SUELO
ENTISOL CON CULTIVO DE BANANO Y CACAO, MACHALA - EL ORO

QUEZADA SANCHEZ MIGUEL ANGEL
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS EN
SUELO ENTISOL CON CULTIVO DE BANANO Y CACAO,
MACHALA - EL ORO

QUEZADA SANCHEZ MIGUEL ANGEL
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS EN SUELO ENTISOL
CON CULTIVO DE BANANO Y CACAO, MACHALA - EL ORO

QUEZADA SANCHEZ MIGUEL ANGEL
INGENIERO AGRÓNOMO

CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE

MACHALA, 17 DE MARZO DE 2020

MACHALA
2020

Variabilidad espacial de las propiedades físicas en suelo entisol con cultivo de banano y cacao, Machala-El Oro

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE
INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

1%

★ Submitted to ECCI

Trabajo del estudiante

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

< 50 words

Excluir bibliografía

Apagado

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

El que suscribe, QUEZADA SANCHEZ MIGUEL ANGEL, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS EN SUELO ENTISOL CON CULTIVO DE BANANO Y CACAO, MACHALA - EL ORO, 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.

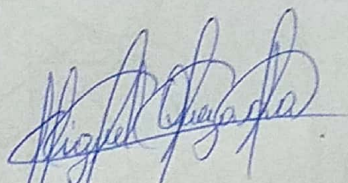
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

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.

El autor 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



QUEZADA SANCHEZ MIGUEL ANGEL
0750028300

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo se lo dedico primeramente a Dios, quien me ha brindado la vida, salud y sabiduría durante todo este proceso académico.

A mis padres quienes han sido un pilar fundamental, que con su amor y sacrificio me han permitido culminar con mi carrera.

A la Sra. María Ester Quezada quien ha sido como una madre, no de sangre, pero sí de corazón, que con su amor, dedicación y ternura me ha sabido guiar por buen camino, dándome ánimos y consejos para culminar este proceso.

A mis hermanos, primos y tíos que día a día me han brindado su apoyo, fuerzas y aliento para no rendirme.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, por jamás abandonarme en los momentos más difíciles de mi vida universitaria.

A mi padre Luis Quezada, quien me ha apoyado económicamente durante todo este proceso académico brindándome consejos y valores que llevaré siempre conmigo y me han permitido culminar con éxitos mi carrera profesional.

A la Sra. María Quezada, quien me ha brindado amor y ha sido como una madre y en los momentos más difíciles durante estos años ha estado siempre conmigo.

Al Ing. Agrícola Julio Enrique Chabla Carrillo PhD. en calidad de tutor, por estar siempre presente apoyándome con sus conocimientos, tiempo y dedicación, ya que su ayuda ha sido fundamental para culminar este trabajo de investigación.

Finalmente, a mis amigos Emerson Cuenca, Nayelhi Valarezo, María Aguilar, Edison Cueva y otros que de manera desinteresada me apoyaron y fueron parte en este trabajo.

RESUMEN

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS EN SUELO ENTISOL CON CULTIVO DE BANANO Y CACAO, MACHALA – EL ORO

Autor

Miguel Angel Quezada Sanchez

Tutor

Julio Chabla Carrillo, PhD

Las propiedades físicas del suelo presentan un alto grado de variabilidad tanto espacial como su variación en el tiempo. La variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo se debe conocer para efectuar el uso correcto de este recurso en el ámbito agrícola. Esta investigación fue realizada en un suelo de orden Entisol que fue localizado en el mapa taxonómico de los suelos en la provincia de El Oro. Estos suelos tienen un desarrollo bajo en su estructura y son formados por poseer problemas de drenaje. Se localizaron dos fincas con diferentes cultivos, de banano en la finca “La Libertad” con un área de 7,14 ha y de cacao en la finca “La Tola” con un área de 2,43 ha. Se planteó como objetivo realizar un análisis estadístico y geoestadístico para la elaboración de mapas de las variables de estudio que son: textura, densidad aparente, densidad real, porosidad, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, basado en dos tipos de interpolación, el esférico y el exponencial por el método del krigreado utilizando el modelo más ajustado en cada variable. El muestreo de suelo se ejecutó con la ayuda del GPS y el software AUTOCAD se diseñó el plano planímetro cumpliendo con las normativas dadas por Ministerio de Agricultura en donde se efectuó el grilleado en ambas áreas. El área de banano se realizó una grilla o malla de 90x90 m y en el área de cacao la malla fue de 70x70 m dando como resultado 7 puntos en ambas áreas. Los puntos quedaron perfectamente señalados georeferenciados para la toma de muestra correspondiente y posterior uso en la mapificación de los dos usos de suelo. Las muestras fueron extraídas a profundidades de 0-25 y 25-50 cm, así mismo se tomaron las muestras inalteradas con los cilindros para la determinación de la densidad aparente. Como resultado, las partículas de arcillas se encuentran en mayor cantidad en el área de banano con 20,47%, en el área de cacao la mayor cantidad es de limo con 43,01% en la primera capa (0-25cm). Por otra parte, en la segunda capa (25-50 cm) la cantidad de las partículas de arena son superiores en el área de cacao con 49,26%, seguido de limo con 47%. En

cuanto a la D_a y la D_r fueron valores similares en ambos cultivos en la primera capa, en cambio en la segunda capa la D_a fue mayor en el área de banano y la D_r en el área de cacao. Para la realización de los mapas se utilizó el software de ARCGIS obteniendo ocho mapas en cada área. Se efectuó la prueba de infiltración del agua en el suelo por el método de anillos infiltrómetros realizando dos repeticiones en ambos cultivos, tomando puntos estratégicos en representación de cada área en el suelo en el área de banano su velocidad inicial fue de 7,5 cm/h hasta llegar a una velocidad constante de 1,6 cm/h, considerada como la infiltración básica del suelo, este suelo se encontraba húmedo, mientras que en el área de cacao se presentó un suelo seco, con una velocidad de infiltración inicial de 24 cm/h hasta llegar a una velocidad constante de 1,4 cm/h, la prueba fue efectuada en ambos casos en 106 minutos.

Palabras clave: propiedades físicas, variabilidad espacial, Entisol, geoestadística, infiltración.

SUMMARY

SPACE VARIABILITY OF PHYSICAL PROPERTIES IN ENTISOL FLOOR WITH BANANO AND CACAO CULTIVATION, MACHALA – EI ORO

Autor

Miguel Angel Quezada Sanchez

Tutor

Julio Chabla Carrillo, PhD

The physical properties of the soil have a high degree of variability both spatial and its variation over time. The spatial variability of the physical properties of the soil must be known in order to make the correct use of this resource in the agricultural field. This investigation was conducted on a soil of order Entisol that was located on the taxonomic map of the soils in the province of El Oro. These soils have a low development in their structure and are formed by having drainage problems. Two farms with different crops were located, bananas on the farm "La Libertad" with an area of 7.14 ha and cocoa in the farm "La Tola" with an area of 2.43 ha. The objective was made of a statistical and geostatistical analysis for the elaboration of study variables that are: texture, apparent density, actual density, porosity, field capacity and permanent withering point, based on two types of interpolation, spherical and exponential by the kriging method using the tightest model in each variable. The ground sampling was executed with the help of GPS and AUTOCAD software was designed the planimeter plane in compliance with the regulations given by the Ministry of Agriculture where the shackle was performed in both areas. The banana area was made a grid or mesh of 90x90 m and in the cocoa area the mesh was 70x70 m resulting in 7 points in both areas. The points were perfectly marked georeferenced for the corresponding sampling and subsequent use in the mapping of the two floors. The samples were extracted at depths of 0-25 and 25-50 cm, as well as the unchanged samples were taken with the cylinders for the determination of apparent density. As a result, clay particles are found in greater quantity in the banana area with 20.47%, in the cocoa area the largest amount is slime with 43.01% in the first layer (0-25cm). Moreover, in the second layer (25-50 cm) the amount of sand particles are higher in the cocoa area with 49.26%, followed by silt with 47%. As for The Da and Dr were similar values in both crops in the first layer, instead in the second layer the Da was higher

in the banana area and dr in the cocoa area. ArcGIS software was used to make the maps, obtaining eight maps in each area. The water infiltration test in the soil was performed by the infiltrometer ring method by performing two repetitions on both crops, taking strategic points representing each area in the soil in the banana area its initial speed was 7.5 cm/h to reach a constant speed of 1.6 cm/h, Considered as the basic infiltration of the soil, this soil was moist, while in the cocoa area a dry soil was presented, with an initial infiltration rate of 24 cm/h until reaching a constant speed of 1.4 cm/h, the test was performed in both cases in 106 minutes.

Keywords: physical properties, spatial variability, Entisol, geostatistics, infiltration.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	13
2.	MARCO TEÓRICO	15
2.1	Suelo.....	15
2.2	Componentes.....	15
2.3	Suelo Entisol	16
2.4	Propiedades físicas del suelo.....	16
2.4.1	Textura	16
2.4.2	Densidad aparente	17
2.4.3	Densidad real.....	17
2.4.4	Porosidad total.....	17
2.4.5	Agua disponible en el suelo.....	18
2.4.6	Capacidad de campo.....	18
2.4.7	Punto de marchitez permanente	18
2.4.8	Infiltración.....	19
2.4.8.1	Velocidad de infiltración.....	19
2.4.8.2	Infiltración básica (Ib).....	20
2.4.8.3	Infiltración acumulada.....	20
2.4.8.4	Factores que afectan la tasa de infiltración	21
2.5	Variabilidad de las propiedades físicas del suelo	21
2.6	Variabilidad espacial del suelo.....	21
2.7	Agricultura de precisión	22
2.8	Geoestadística	22
2.8.1	Análisis Semivarianza.....	22
2.8.2	Semivariograma	23
2.8.2.1	Método de interpolación Kriging	24
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1	Ubicación geográfica de la investigación.....	25
3.1.1	Caracterización climática y ecológica de la zona.....	26
3.2	Materiales.....	26
3.2.1	Determinación de las propiedades físicas	26
3.2.2	Determinación de la Infiltración del Suelo.....	27
3.3	Metodología para la localización de las muestras de suelo	27
3.3.1	Toma de muestras.....	27
3.3.2	Clase textural.....	28
3.3.3	Densidad aparente	29

3.3.4	Densidad real.....	30
3.3.5	Porosidad total.....	31
3.3.6	Capacidad de campo.....	31
3.3.7	Punto de marchitez permanente	31
3.4	Elaboración de mapas.....	32
3.4.1	Infiltración.....	32
3.4.1.1	Método de doble anillo.....	32
3.4.1.2	Pasos para la toma de datos	33
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1	Análisis descriptivo de las propiedades físicas del suelo	35
4.2	Análisis de la variabilidad espacial	44
4.3	Distribución espacial del contenido de arcilla.....	46
4.4	Distribución espacial del contenido de limo	46
4.5	Distribución espacial del contenido de arena.....	47
4.6	Distribución espacial de la densidad aparente.....	48
4.7	Distribución espacial de la densidad real	49
4.8	Distribución espacial del porcentaje de porosidad	50
4.9	Distribución espacial del porcentaje de capacidad de campo	51
4.10	Distribución espacial del porcentaje del punto de marchitez permanente.....	52
4.11	Infiltración del agua en el suelo en el área de banano y cacao.....	53
5.	CONCLUSIONES	56
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	57
7.	ANEXOS.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas geográficas de la fincas	25
Tabla 2: Coordenadas de los puntos de infiltración	33
Tabla 3: Estadísticos para las variables evaluadas en el área de banano.....	41
Tabla 4: Estadísticos para las variables evaluadas en el área de cacao	42
Tabla 5: Matriz de correlación de Pearson de las propiedades físicas del suelo en el área de banano.....	43
Tabla 6: Matriz de correlación de Pearson de las propiedades físicas del suelo en el área de cacao	44
Tabla 7: Parámetros del semivariogramas de las propiedades estudiadas en el área de banano.....	45
Tabla 8: Parámetros del semivariogramas de las propiedades estudiadas en el área de cacao	45
Tabla 9: Ecuaciones de la velocidad de infiltración e infiltración acumulada, de los suelos (cm/minuto)	54
Tabla 10: Infiltración instantánea (cm/hora) en el área de banano	61
Tabla 11: Lámina acumulada en cm en el área de banano	61
Tabla 12: Infiltración instantánea (cm/hora) en el área de cacao	61
Tabla 13: Lámina acumulada en cm en el área de cacao	62
Tabla 14: Datos para la ecuación de la velocidad de infiltración del agua en el suelo del área de banano	62
Tabla 15: Datos para la ecuación de la infiltración acumulada del área de banano	62
Tabla 16: Datos para la ecuación de la velocidad de infiltración del agua en el suelo del área de cacao.....	63
Tabla 17: Datos para la ecuación de la infiltración acumulada del área de cacao	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes expresado en porcentaje de un buen suelo.....	15
Figura 2: Perfil de suelo Entisol típico de la provincia del El Oro	16
Figura 3: Características del agua frente a las texturas	17
Figura 4: Estimación de agua disponible	18
Figura 5: Modelo de estimación en la capacidad de campo y punto de marchitez permanente en relación a la clase textural	19
Figura 6: Curvas de velocidad de infiltración según la textura de suelo.....	20
Figura 7: Diseño de curva de infiltración acumulada y velocidad de infiltración de agua en el suelo	20
Figura 8: Modelo de semivariograma obtenido del software arcgis	23
Figura 9: Plano de taxonomía de suelos.....	25
Figura 10: Ubicación espacial de los predios.....	26
Figura 11: Distribución de puntos. a) Finca Libertad, b) Finca la tola	28
Figura 12: Calicata con horizontes de 0-25 y de 25-50 cm en forma de escaleras	28
Figura 13: Esquema de infiltración por el método de doble anillo	32
Figura 14: Ubicación de puntos de infiltración.....	33
Figura 15: Procedimiento de infiltración del agua en el suelo	34
Figura 16: Contenido de arcilla en porcentaje a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote.....	35
Figura 17: Contenido de limo en porcentaje a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote.....	36
Figura 18: Contenido de arena en porcentaje a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote.....	36
Figura 19: Valores de densidad aparente a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote	37
Figura 20: Valores de densidad real a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote	38
Figura 21: Contenido de porosidad en porcentaje a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote	38
Figura 22: Capacidad de campo en porcentaje a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote.....	39
Figura 23: Punto de marchitez permanente en porcentaje a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote	40

Figura 24: Variabilidad espacial del contenido de arcilla: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm.....	46
Figura 25: Variabilidad espacial del contenido de limo: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm	47
Figura 26: Variabilidad espacial del contenido de arena: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm	48
Figura 27: Variabilidad espacial de la densidad aparente: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm.....	49
Figura 28: Variabilidad espacial de la densidad real: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm	50
Figura 29: Variabilidad espacial del %porosidad: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm	51
Figura 30: Variabilidad espacial del %capacidad de campo: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm.....	52
Figura 31: Variabilidad espacial del %punto de marchitez permanente: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm	53
Figura 32: Curva de la infiltración instantánea (cm/h) en el área de la finca La libertad con el cultivo de banano	54
Figura 33: Curva de la lámina acumulada (cm) en el área de la finca La Libertad con el cultivo de banano.....	54
Figura 34: Curva de la infiltración instantánea (cm/h) en el área de la finca La Tola con el cultivo de cacao	55
Figura 35: Curva de la lámina acumulada (cm) en el área de la finca La Tola con el cultivo de cacao	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Elaboración de la calicata en forma de escaleras	64
Anexo 2: toma de muestra con el cilindro a una profundidad de 25-50 cm para la determinación de la densidad aparente	64
Anexo 3: Muestras extraídas en el punto 3	65
Anexo 4: Muestras de cilindro en el laboratorio para realizar el respectivo procedimiento	65
Anexo 5: Toma de peso para la determinación de la densidad aparente	66
Anexo 6: Determinación de textura en el proceso de 7 horas de reposo	66
Anexo 7: Introducción del hidrómetro para la toma de la densidad	67
Anexo 8: Procedimiento para determinar la densidad real	67
Anexo 9: Procedimiento de secado para la determinación de la densidad real	68
Anexo 10: Proceso de secado para la determinación de la capacidad de campo	68
Anexo 11: Ubicación de una funda para evitar la infiltración	69
Anexo 12: Toma de lecturas de la velocidad de infiltración.....	69

1. INTRODUCCIÓN

Las propiedades físicas del suelo presentan un alto grado de variabilidad tanto espacial como su variación en el tiempo. Esto puede ser el resultado de dos factores: el primer factor el origen del material parental, el clima, la topografía y el tiempo mientras que el segundo es, considerar debidos procesos evolutivos por causas de eluviación de los estratos superiores del suelo.

El efectuar estudios detallados del suelo puede ser impracticable debido a sus costos, por no disponer de laboratorios especializados y las técnicas que se requieren para su determinación.

Es fundamental efectuar ciertas prácticas de manejo que conlleven hacer uso más eficiente de los recursos disponibles y lograr un menor impacto ambiental.

El estudio de la variabilidad de las propiedades físicas permite un mejor manejo en la sustentabilidad del recurso suelo. Una de las altas exigencias es aumentar la producción y su distribución mediante un incremento de beneficio con respecto a un manejo homogéneo mientras que existen dos sistemas agrícolas: convencionales y orgánico proyectándose a una agricultura de precisión (Arango & Jaramillo, 2016).

El desarrollo tecnológicos de la variabilidad espacial como la temporal del suelo sumado los aspectos de la producción agrícola, para aumentar el rendimiento y mantener la calidad ambiental (Vargas S. et al., 2015).

Las variabilidades espaciales de los suelos fueron estudiados a través de técnicas geoestadísticas que permitió elaborar mapas para definir áreas para un mejor manejo de las fincas agrícolas.

Objetivo General

Evaluar la variabilidad espacial de las propiedades físicas en un suelo Entisol con dos tipos de cultivos banano y cacao situados en la Provincia de El Oro, Cantón Machala.

Objetivos específicos

- ✓ Efectuar el análisis descriptivo de las variables usando el software SPSS.
- ✓ Ejecutar el análisis geo estadístico basado en la interpolación por el método del krigreado analizando dos modelos.
- ✓ Realizar mapas de las propiedades físicas usando el software de ARCMAP 10.3 utilizando el modelo ajustado.
- ✓ Elaborar curvas de infiltración del agua en el suelo, mediante el método de doble anillo en las fincas “La Libertad” y “La Tola”.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Suelo

El suelo es un recurso natural que constituye la capa superficial de la tierra y el medio en el que crecen y se desarrollan las plantas. Es de vital importancia ya que todos dependen de él para la producción de alimentos, también aporta nutrientes fundamentales para el crecimiento de los vegetales y el almacenamiento de agua (INIA, 2015).

2.2 Componentes

Según INIA, (2015) el suelo se subdivide en 4 componentes (Figura 1):

Materia Orgánica: Es quien le da color oscuro al suelo, se forma al incorporarse restos vegetales y animales, es muy importante ya que aporta grandes cantidades de nutrientes y estos son consumidos por las plantas.

Materia Inorgánica: Está formada por partículas desde pequeñas piedras hasta partículas que no se pueden observar.

Aire: Este es necesario para que respiren las raíces y pequeños animales que viven en el suelo.

Agua: Es un recurso muy importante ya que tiene sustancias minerales necesarias para la nutrición y crecimiento de las plantas.

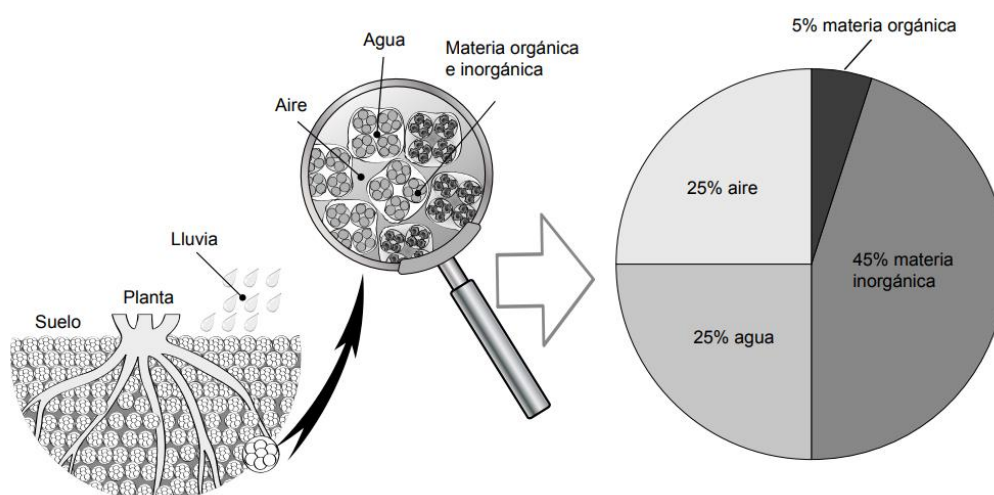


Figura 1: Componentes expresado en porcentaje de un suelo idóneo
Fuente: (INATEC 2016)

2.3 Suelo Entisol

Estos suelos son jóvenes, por lo tanto tienen un desarrollo bajo en su estructura. Son formados porque poseen problemas de drenaje y presentan una alta actividad fluvial, encontramos dos subgrupos: el Fluvaquentic Udipsamments y Aquic Ustipsamments (Villaseñor et al., 2015).

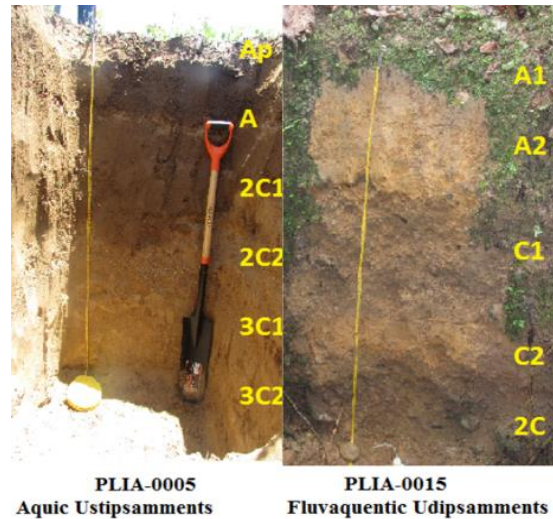


Figura 2: Perfil de suelo Entisol típico de la provincia del El Oro
Fuente: (Villaseñor et al., 2015)

2.4 Propiedades físicas del suelo

2.4.1 Textura

La proporción de componentes inorgánicos hace referencia a la textura del suelo, cuando estos son de diferentes tamaños y formas como son las partículas de arcilla, limo y arena, que constituyen considerablemente la propiedad física del suelo principal, influyen en los factores de, aireación, retención de agua, drenaje y demás propiedades del suelo como se observa en la figura 3 (Molera & Llitjós, 1995).

En la figura 3 también se puede observar, una alta proporción en macro porosidad de la textura gruesa que son las arenas mientras que, las arcillas que son de partículas finas predominando en microporosidad. Una textura arenosa tiene un bajo número de microporos en comparación de la textura arcillosa. Dando un resultado de que los suelos arcillosos tienen una alta capacidad de retener agua (Angella & Salgado, 2018).

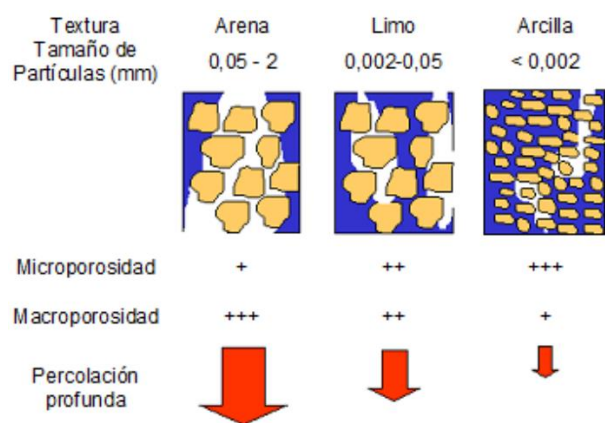


Figura 3: Características del agua frente a las texturas
Fuente: (Angella & Salgado, 2018)

2.4.2 Densidad aparente

Es una propiedad que está altamente relacionada con las prácticas de manejo de los suelos y aguas, tienen características que influyen en la producción de los cultivos, debido a su estrecha relación con el suelo. En ciertas investigaciones la densidad aparente fue incluida dentro de un sistema integrado de la calidad del suelo, como indicadores a ser examinados por dos veces al año, debida a la rapidez ante los cambios manejo de los suelos (Amaro et al., 2019).

2.4.3 Densidad real

La densidad real es la relación entre la masa y el volumen del total de partículas sólidas que se encuentran en el suelo, se la utiliza en algunas expresiones matemáticas, considerando la masa o el volumen de la muestra de suelo, luego tomando su valor para hacer conversiones exactas entre datos de base-masa a base-volumétrica, para calcular el número de poros o porosidad total y también en la sedimentación de los fluidos. (Villaseñor, 2016).

2.4.4 Porosidad total

Representa el total de poros del suelo expresado en porcentaje, se debe tomar en cuenta todos los espacios ya sean: accesibles, no accesibles, abiertos y cerrados, además está constituido por materiales sólidos y espacios porosos, donde pueden circular el aire, gases y agua. Para su determinación se debe partir del valor de las densidades (Novillo et al., 2018).

2.4.5 Agua disponible en el suelo

El suelo está formado por un sistema poroso de agregados y partículas de distintos tamaños. En medio de las partículas aparecen poros o espacios vacíos que los ocupan el aire y el agua. Estos poros da una alta variabilidad en su forma y tamaño, su rango de acuerdo al tamaño varía entre diámetros menores a 0,0002 mm que son denominados microporos. Se han realizado publicaciones confirmando que influye el sistema de labranza y la textura en la disponibilidad de agua (Figura 4) (Piastrellini, 2016).

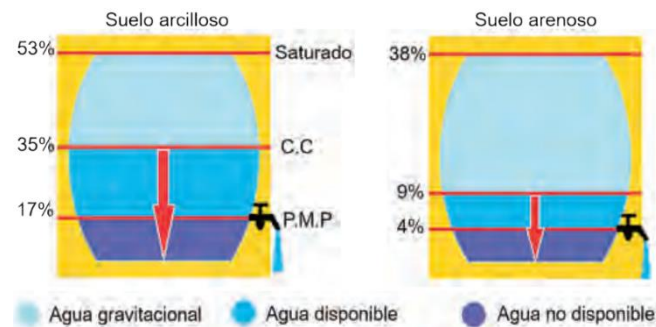


Figura 4: Estimación de agua disponible

Fuente: (Ojeda et al., 2018).

2.4.6 Capacidad de campo

Es la capacidad de agua que queda retenida en el suelo después de ser drenada el agua gravitacional. Este dato también se lo conoce como: capacidad capilar, capacidad normal de campo, límite máxima relacionada ante el cultivo y capacidad de retención del agua aunque varía su resultado pero en algunos suelos su valor se encuentra de 10 – 33 kpa que es igual a 0,1 – 0,33 bares (Poca et al., 2017).

Según Martin, (2017) cuando se encuentra un perfil de suelo abastecido de agua ha alcanzado la capacidad de campo, es decir que el suelo este al 100% de humedad disponible o cerca de 0,1 bares de tensión. La tensión se refiere a una medida de la fuerza de las partículas que retienen agua en el suelo, mientras más alta es la tensión es mayor la retención de humedad. Cuando existe un valor 0,1 bares y se encuentra a capacidad de campo esta no tiene una alta retención sobre las partículas del suelo.

2.4.7 Punto de marchitez permanente

Se lo define por la cantidad baja de humedad que se encuentra en la zona de las raíces es decir, la planta le es imposible absolver agua y se marchita. El PMP está asociado a los valores de potencial mátrico de -1,5 MPa y 2 MPa en el suelo. El valor del PMP es expresado en porcentaje en relación a la masa es decir gramos de agua por gramos de

suelo (Ojeda et al., 2018). La figura 5 indica que los arcillosos tienen una mayor disponibilidad de agua que los suelos arenosos.

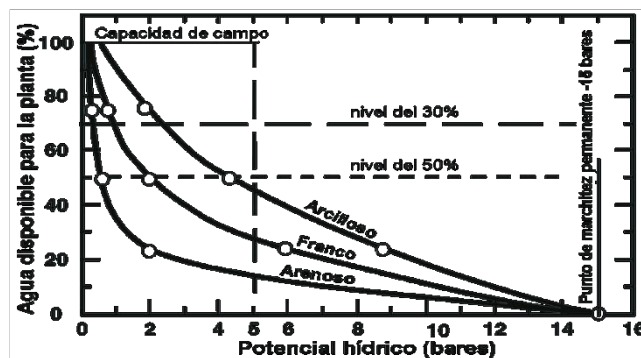


Figura 5: Modelo de estimación en la capacidad de campo y punto de marchitez permanente en relación a la clase textural

Fuente: (Oribátidos et al., 2018).

2.4.8 Infiltración

La infiltración es el ingreso del agua en un perfil del suelo de una manera vertical, la infiltración puede presentar poca uniformidad en el área o parcela, como también una gran pérdida de agua en el proceso de percolación o escorrentía (Delgadillo & Pérez, 2016). Los marcos de la ecuación de la infiltración poseen una variabilidad espacial para un mismo tipo de suelo, se han realizado estudios en variabilidad espacial del suelo sobre las propiedades hidrodinámicas, que resultan que los suelos aparentan ser homogéneos, pero presentan una variabilidad considerable en el aspecto de las propiedades física (Rodríguez et al., 2008).

La infiltración está altamente relacionada con la conductividad hidráulica del suelo. Esta infiltración es gobernada por la fuerza de la gravedad y la fuerza de la acción capilar. La acción capilar es cuando los micro poros desplazan el agua incluso contra la fuerza de la gravedad (Carnero & Carnero, 2018).

2.4.8.1 Velocidad de infiltración

Se define a la velocidad de infiltración a la captación de agua de un suelo empezando desde la superficie a su interior, es decir la relación que tiene el agua infiltrada con el tiempo que transcurre en infiltrarse. Se suele expresar en cm/h o también en mm/min (Delgadillo & Pérez, 2016). La succión que ejerce el suelo es debido a la presión que ejerce el agua, es decir el estado potencial del agua en el suelo (Carnero & Carnero, 2018). Su cálculo es de mucha importancia para la aplicación en el ámbito agrícola, permite tener una estimación de la escorrentía, la capacidad de llenado de los acuíferos, la

disponibilidad de sedimentos, la erosión y la programación de los sistemas de riego (Rodríguez et al., 2008).

2.4.8.2 Infiltración básica (Ib)

La infiltración básica se refiere a la velocidad de infiltración del agua en el suelo en el instante que su variación tiene relación con el tiempo y esta es muy lenta, Teniendo casi constante la velocidad de infiltración encontrándose el suelo a capacidad de campo en su totalidad (Moro et al., 2005). En la figura 6 indica que los suelos arenosos presentan una mayor infiltración que en los suelos arcillosos.

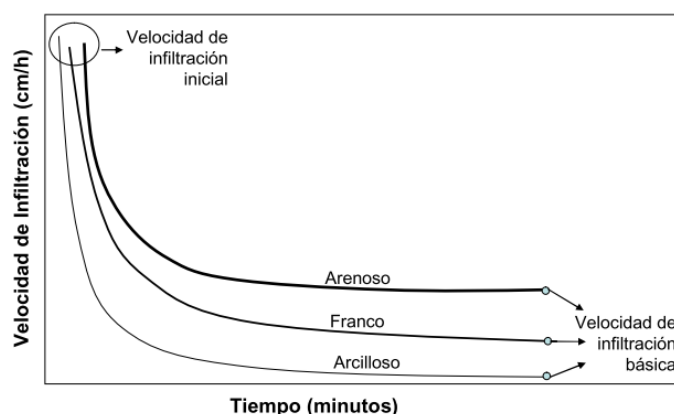


Figura 6: Curvas de velocidad de infiltración según la textura de suelo

Fuente: (Delgadillo & Pérez, 2016)

2.4.8.3 Infiltración acumulada

Es la acumulación de agua desde el momento que se infiltra en el suelo teniendo una forma curvilínea del tiempo y una pendiente que desciende gradualmente (Figura 7). Este valor va a depender del contenido inicial del agua y de la succión, así como de la estructura, uniformidad del perfil del suelo y textura (Pizarro et al., 2015).

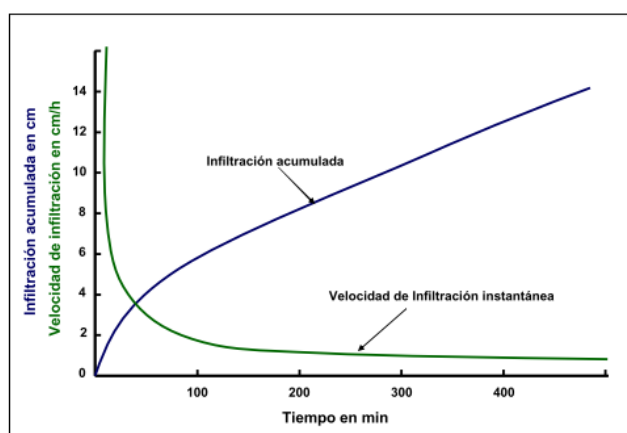


Figura 7: Diseño de curva de infiltración acumulada y velocidad de infiltración de agua en el suelo

Fuente: (Delgadillo & Pérez, 2016)

2.4.8.4 Factores que afectan la tasa de infiltración

Los factores que afectan la velocidad de infiltración son las características del suelo, como la suma de material orgánico e inorgánico, la estructura, la textura, la cantidad de espacio poroso. Un factor para elevar el espacio poroso que al igual eleva la permeabilidad es la presencia del sistema radicular de las plantas. Según estudios realizados, por encima del 50% que contiene un volumen de suelo es porosidad gracias a la fase de intercambio propiciado entre la raíz y el suelo. El movimiento del agua y del aire dependen de la forma, tamaño y de la continuidad de los poros. La estructura del suelo determina la característica porosa y también su interconexión influye en la permeabilidad y la infiltración del suelo. (García, 2008).

2.5 Variabilidad de las propiedades físicas del suelo

Con referencia al suelo, una de las altas exigencias es utilizar en aumentar la producción incrementando el beneficio con respecto a un manejo homogéneo mientras que existe diferencias entre dos sistemas agrícolas: orgánica y convencional tendiendo hacia una agricultura de precisión, una diferencia fundamental es que la información en aplicaciones modernas es para procesar, analizar y proveer datos con una mayor resolución y espacial que nos sirven para las recomendaciones de los cultivos (Arango & Jaramillo, 2016).

Esta variabilidad se tiene que conocer para lograr un mejor manejo adecuado por lotes o sitios de manera uniforme. También la variabilidad se ve reflejada por las propiedades que se estén analizando teniendo en cuenta que existe una mayor variabilidad cuando es sometida a un uso que cuando es de forma natural (Vargas et al., 2015).

2.6 Variabilidad espacial del suelo

La variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo dentro de la agronomía está prácticamente ligada por la naturaleza geológica del suelo, pero en muchos casos la variabilidad puede ser inducida por la labranza y otras prácticas de manejo (Barrios & Florentino, 2009).

Dado el valor de una propiedad en una zona depende de la dirección y de la distancia en la que se localiza a otro lugar vecino, se muestra una variable de dependencia espacial. Estas propiedades de dependencia espacial son denominadas variables regionalizadas. Estas variables regionalizadas son una función que explican un fenómeno natural geográficamente dividido y tienen, algún nivel de autocorrelación. Para el estudio de este

tipo de variables se tiene un conjunto de herramientas estadísticas llamada Estadística espacial o Geoestadística (Jaramillo, 2012).

2.7 Agricultura de precisión

La agricultura de precisión (AP), basado en la existencia de la variabilidad que existe en el campo. Se requiere al uso de sistemas de posicionamiento global (GPS), satélites, imágenes y sensores unido con el sistema de información geográfica (SIG) para evaluar, entender y estimar dicha variación. La información recolectada sirve para evaluar con precisión la estimación de fertilizantes, densidad de siembra, predecir la producción, entre otras (González et al., 2011). Los sensores unidos al sistema de posicionamiento global son utilizados de manera más habitual para deducir la distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos. También son utilizadas en delimitar zonas dentro de un área para luego tener un manejo bajo agricultura sitio-especifico (Córdoba et al., 2012).

2.8 Geoestadística

Es un proceso de análisis de datos correlacionados para obtener modelos de la variable espacial. El uso del semivariograma es un elemento principal para efectuar el respectivo análisis y también se utilizan técnicas relacionadas para modelar y cuantificar la correlación espacial. La geoestadística utiliza métodos que son usados en toda la ciencia. Se puede utilizar para investigar los procesos de la variación espacial. Además se aplica donde se encuentre alguna información completa adquirida por percepción remota, para establecer muestreos eficientes y determinar la estimación de datos en zonas no muestreadas. La herramienta estadística puede ser mapeada por los interpolados spline o kriging (Erazo & Sandoval, 2015).

2.8.1 Análisis Semivarianza

Es una medida de semejanza que existe entre observaciones situadas a una determinada distancia.

Se la puede encontrar mediante la siguiente ecuación (1):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2 \quad (1)$$

En donde:

$\gamma(\mathbf{h})$: Semivarianza.

$N(\mathbf{h})$: Número de observaciones.

$Z(\mathbf{x}_i)$: Valor de la variable en el sitio x .

$Z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})$: Valor de la variable en una zona ubicada a cierta distancia.

Para efectuar este análisis el grupo de datos debe mostrar simetría en la distribución, en todos los grupos de distancias definidas (Jaramillo, 2012).

2.8.2 Semivariograma

Según Giraldo, (2011) el semivariograma ayuda analizar el alcance de una variable en una determinada área, es decir la máxima distancia que tiene una muestra sobre la otra. También permite realizar una estimación a partir de datos recopilados usando la metodología del krigreado. Se requiere una autocorrección de la distancia entre puntos dentro del área de estudio para la predicción su predicción.

Pepita o nugget: Es el valor de una discontinuidad puntual respecto a la curva en el origen, es decir el punto donde se intersecta la curva en el eje de la ordenada (Y).

Meseta o sill: Es la cota mayor de la curva, es decir donde la curva se hace paralela al eje de las abscisas.

Rango o alcance: Es la distancia de dos observaciones independientes, es decir la distancia donde la muestra es homogénea.

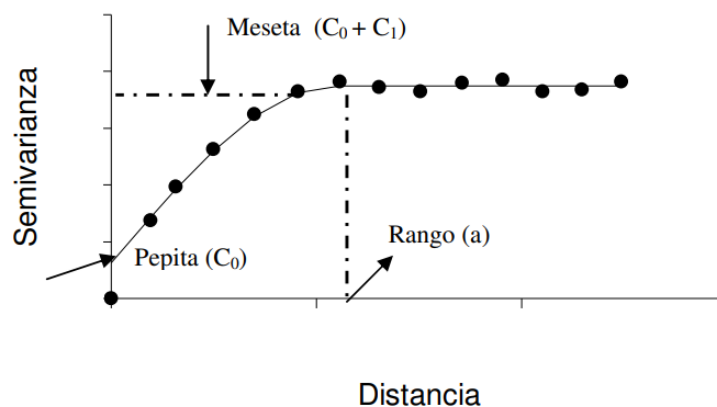


Figura 8: Modelo de semivariograma obtenido del software arcgis

Fuente: (Giraldo, 2011)

2.8.2.1 Método de interpolación Kriging

Es un método que permite interpolar datos de variables que se encuentran distribuidos en el espacio donde no existen valores medidos, en otros términos, consiste en hallar la mejor estimación del valor de una variable. Esto se puede realizar utilizando técnicas geoestadísticas. Existen muchas aplicaciones comerciales como el software ARCGIS 10.3 que resulta rápido y fácil su manejo, también es definida como la aplicación del formalismo de las variables aleatorias al reconocimiento y estimación de variables naturales (Giménez et al., 2014).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación geográfica de la investigación

Esta investigación se realizó en un suelo Entisol en las fincas “La Libertad” con el cultivo de banano y “La Tola” con cacao, ubicadas en la Parroquia El Retiro, cantón Machala, provincia de El Oro.

Tabla 1: Coordenadas geográficas de las fincas

Fincas	Datum	Zona	Coordenadas geográficas
La Libertad	WGS 84	17 Sur	3°24'18.85"S; 79°56'43.24"O
La Tola	WGS84	17 Sur	3°24'25.37"S; 79°56'11.35"O

En la figura 9 se presenta el plano de taxonomía de los suelos, se encontró con un orden Entisol en ambas fincas, que se encuentran distanciadas a un kilómetro.

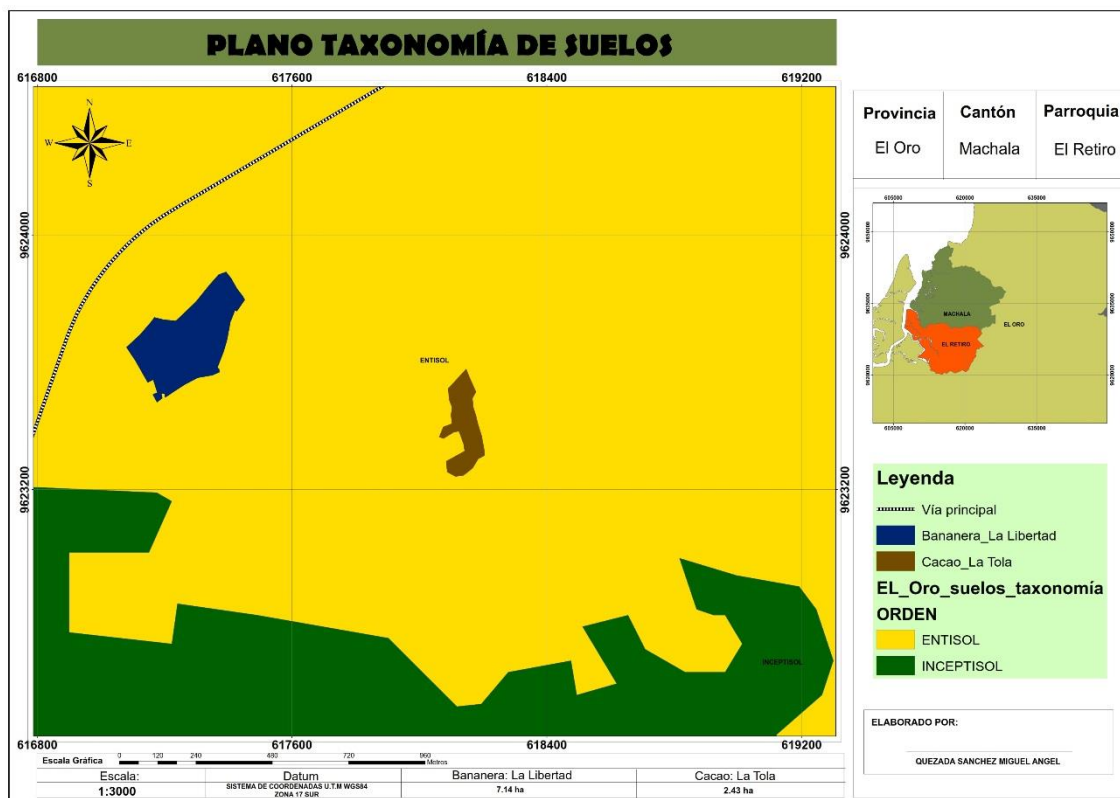


Figura 9: Plano de taxonomía de suelos

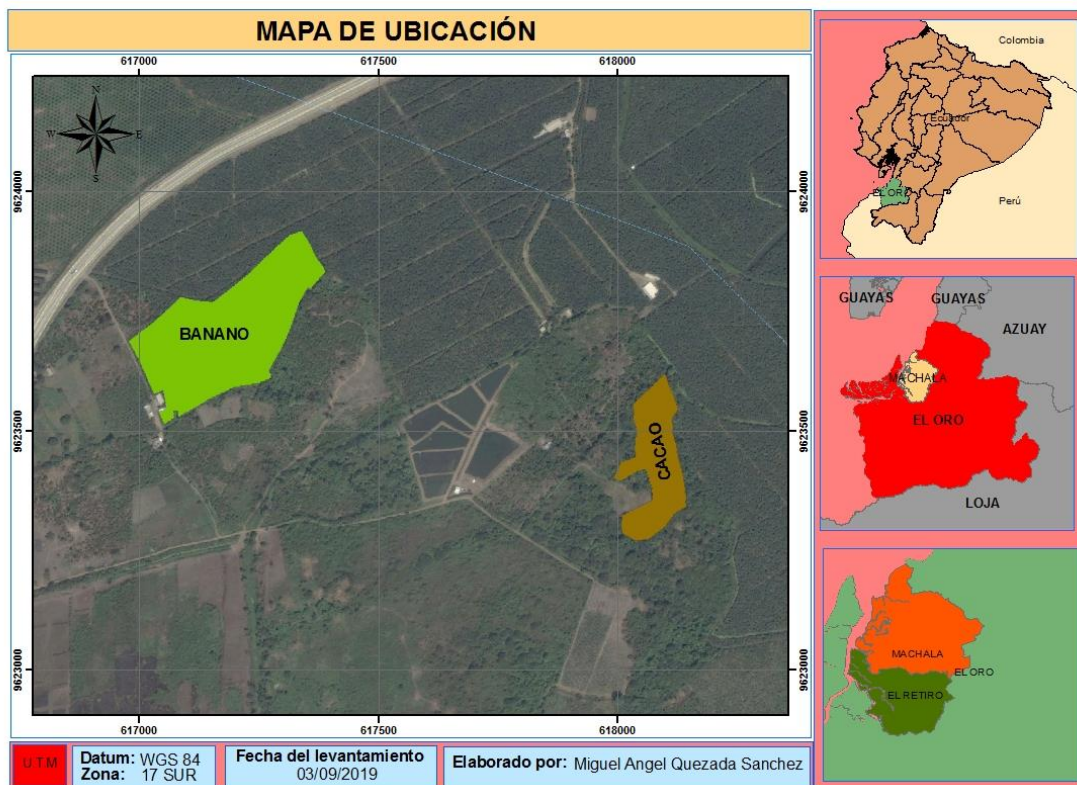


Figura 10: Ubicación espacial de los predios

3.1.1 Caracterización climática y ecológica de la zona

Según datos tomados de la Estación meteorológica “Granja Santa Inés” ubicada en el cantón Machala y subidos en la plataforma del INAMHI los parámetros meteorológicos promedios en la zona de estudio son:

Temperatura: 25° C.

Precipitación anual: 600 mm

Horas Luz: 2,8

Humedad Relativa: 83%

3.2 Materiales

3.2.1 Determinación de las propiedades físicas

- GPS
- Funda
- Cilindros de hierro galvanizados
- Pala
- Espátula
- Estufa

- Balanza (500 g)
- Balones (50 ml)
- Probetas
- Reactivo (Oxalato de sodio)
- Hidrómetro
- Termómetro
- Cinta métrica

3.2.2 Determinación de la infiltración de agua en el Suelo

- Anillos de infiltración
- Cuartón de Madera
- Baldes
- Agua
- Alambre
- Baliza
- Regla
- Fundas al vacío
- Combo (5 lb)

3.3 Metodología para la localización de las muestras de suelo

3.3.1 Toma de muestras

Con la ayuda del GPS y el software AUTOCAD 2014, se realizó un grillado de 90x90 m (Finca Libertad) y 70x70 m (Finca La Tola) para la obtención de 7 puntos en cada finca (Figura 11), luego se marcaron en campo para la recolección de las muestras de suelo que fueron tomadas a profundidades de 0-25 y de 25-50 cm (Figura 12), para lograr determinar las propiedades físicas del suelo en el laboratorio.

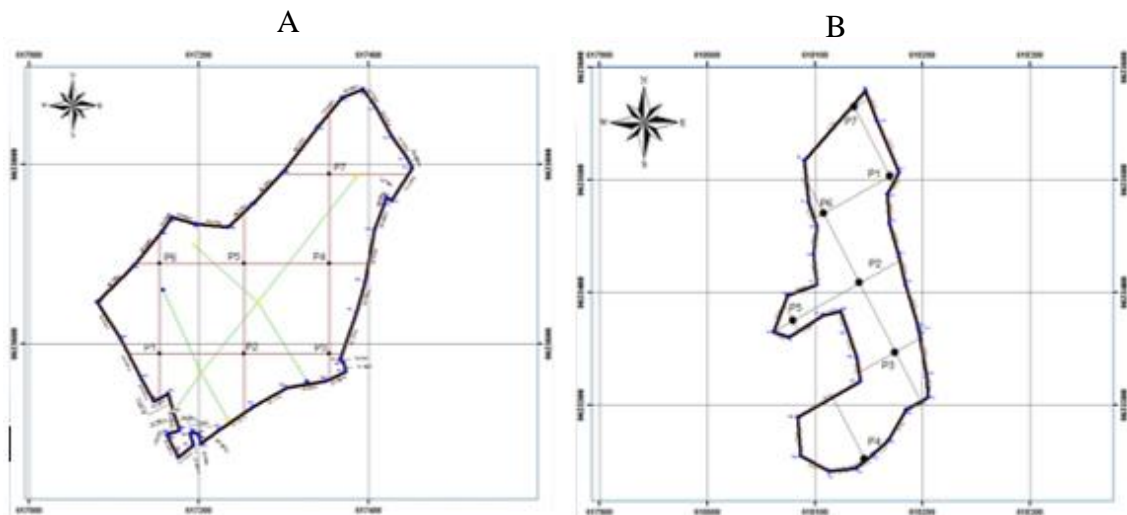


Figura 11: Distribución de puntos. a) Finca Libertad, b) Finca la tola



Figura 12: Calicata en forma de escalera en estratos de 0-25 y de 25-50 cm

3.3.2 Clase textural

Con las 14 muestras de la primer capa (0-25 cm) y las 14 de la segunda capa (25-50 cm) obteniendo un total de 28 muestras se realizó la determinación de la clase textural por el método de bouyoucus, que consistió en pesar 50 gramos de la muestra de suelo dejando reposar por 24 horas con agua y 10 ml de oxalato de sodio saturado, una vez transcurrido el tiempo se ubicó en una agitadora por 3 minutos, luego se colocó la muestra en una probeta aforando a 1130 ml a excepción de un suelo arenoso que fue en el punto 7 de la segunda capa (25-50 cm) que se pesaron 100 gramos por lo tanto su aforo fue de 1205 ml, tomando las lecturas a los 40 segundos y a las 7 horas.

Se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$(1 + a)\% = \frac{\left(La_{40s} - ((20 - Ta_{40s}) \times 0,35) \right) - \left(Lb_{40s} - ((20 - Tb_{40s}) \times 0,35) \right)}{m} \times 100 \quad (2)$$

En donde:

l + a = limo + arcilla

La_{40s}= Lectura de la densidad de la muestra los 40 segundos

Ta_{40s}= Temperatura de la muestra a los 40 segundos

Lb_{40s}= Lectura de la densidad del blanco a los 40 segundos

Tb_{40s}= Temperatura del blanco a los 40 segundos

m =El peso de la muestra

$$(a)\% = \frac{(La_{7h} - ((20 - Ta_{7h}) \times 0,35)) - (Lb_{7h} - ((20 - Tb_{7h}) \times 0,35))}{m} \times 100 \quad (3)$$

En donde:

a = arcilla

La_{7h}= Lectura de la densidad de la muestra a las 7 horas

Ta_{7h}= Temperatura de la muestra a las 7 horas

Lb_{7h}= Lectura de la densidad del blanco a los 40 segundos

Tb_{7h}= Temperatura del blanco a las 7 horas

m =El peso de la muestra

$$(\text{limo})\% = (\text{limo} + \text{arcilla})\% - (\text{arcilla})\% \quad (4)$$

$$(\text{arena})\% = 100 - (l + a) \quad (5)$$

3.3.3 Densidad aparente

Se determinó mediante el método del cilindro que consistió en tomar la muestras de 0 - 25 y 25 - 50 cm, se utilizó un cilindro de 5 cm de altura y un radio de 5,4 cm, para la toma de la muestra se eliminó una capa de suelo para lograr introducir el cilindro y tomar el suelo a una profundidad de 10 - 15 cm en función de no disturbar la muestra, así mismo se extrajo la muestra del segundo horizonte 25 - 50 cm, luego se envolvió con plástico para mantener la muestra en buen estado como se observa en la figura 7, posteriormente se llevó a laboratorio para ser secado por 24 horas a 105 °C, Finalmente se pesa las muestras secas.

Se utilizó la siguiente ecuación (6),

$$Da = \frac{pss - pc}{vc} \quad (6)$$

En donde:

Da = densidad aparente g/cm^3

pps = Peso del suelo seco a 105°C por 24 horas (g)

pc = Peso del cilindro vacío (g)

vc = volumen del cilindro (cm^3)



Figura 7: Muestras para la determinación de la densidad aparente

3.3.4 Densidad real

Se determinó mediante el balón aforado de 50 ml que consistió en pesar el balón vacío y con agua aforado previamente, obtenidos estos datos se llena hasta la mitad el balón con agua más 5 gramos de la muestra de suelo, luego se extraen las burbujas que se encuentran en el interior del balón y se afora, y por último se toma el dato del peso total.

Se utilizó la siguiente ecuación (7).

$$Dr = \frac{b - a}{(d - a) - (c - b)} \quad (7)$$

En donde

Dr = densidad real (g/cm^3)

a = Peso del balón (g)

b = Peso del balón + muestra de suelo (g)

c = Peso del balón + muestra de suelo + agua (g)

d = Peso del balón + agua (g)

3.3.5 Porosidad total

Para la determinación de la porosidad total, se relacionó entre la densidad aparente y la densidad real menos una unidad, su valor es expresado en porcentaje determinando por la ecuación (8).

$$Pt = \left(1 - \frac{da}{dr}\right) \times 100 \quad (8)$$

En donde:

Pt = porosidad total (%)

da = densidad aparente (g/cm³)

dr = densidad real (g/cm³)

3.3.6 Capacidad de campo

Se utilizó un tubo de plástico con filtro de gasa en un extremo, se depositó 100 gramos de la muestra de suelo compactando levemente, posterior se los ubicó en un recipiente con agua para lograr tener contacto y que el agua suba por capilaridad, luego se dejó reposar para que se efectuó el proceso de drenaje siendo el tiempo de 72 hora en clases arcillosas 48 horas en francas y 24 horas en arenosas. Una vez transcurrido el tiempo de drenaje se extrajo 10 gramos de la muestra para proceder al secado durante 24 horas a una temperatura de 105 °C y finalmente se determina la capacidad de campo por la diferencia de peso, utilizando la siguiente ecuación (9).

$$C.C = \frac{msh - mss}{mss} * 100 \quad (9)$$

En donde:

C.C = capacidad de campo (%)

msh = masa del suelo húmedo (g)

mss = masa del suelo seco (g)

3.3.7 Punto de marchitez permanente (P.M.P)

Para la determinación del P.M.P, se pesaron 15 gramos de la muestra de suelo que fueron esparcidos en una hoja de papel para lograr tener un mayor contacto entre las partículas de la muestra de suelo con el aire, por un tiempo de 24 horas. Luego se extrajeron 10 gramos de muestra para proceder al secado durante 24 horas a una temperatura de 105 °C y finalmente se sustituyen los datos en la ecuación (10).

$$P. M. P = \frac{\frac{msh-mss}{mss}}{0,68} * 100 \quad (10)$$

En donde:

P.M.P = punto de marchitez permanente (%)

msh = masa del suelo húmedo (g)

mss = masa del suelo seco (g)

3.4 Elaboración de mapas

Para la elaboración de los mapas, se utilizó el software de ARCGIS 2014 versión 10.3 para el análisis geoestadístico de los datos utilizando los modelos esférico y exponencial para efectuar interpolación por el método de kriging con el modelo ajustado.

3.4.1 Infiltración

3.4.1.1 Método de doble anillo

El método consiste en introducir los dos anillos infiltrómetros en el suelo a una profundidad de 10 a 15 cm sin alterar el suelo. El anillo interno tiene un flujo vertical gracias al anillo externo. En ambos anillos se mantiene una carga constante agregando agua necesaria, éste es calculado versus el tiempo de infiltración (Montecinos et al., 2008)

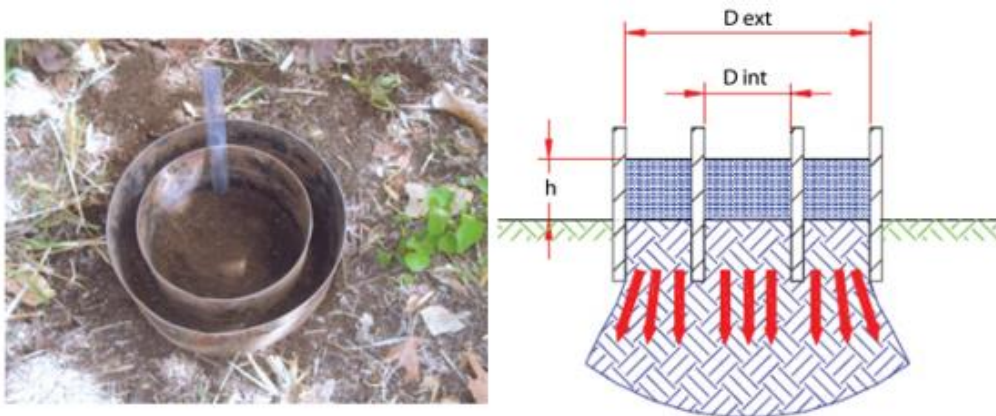


Figura 13: Esquema de infiltración por el método de doble anillo

Fuente: (Alvarado Batres & Barahona-Palomo, 2017)

Para determinar la infiltración del agua en el suelo se tomaron tres puntos en el cultivo de banano y tres en el cultivo de cacao (Figura 14), luego se procedió a realizar los siguientes pasos:

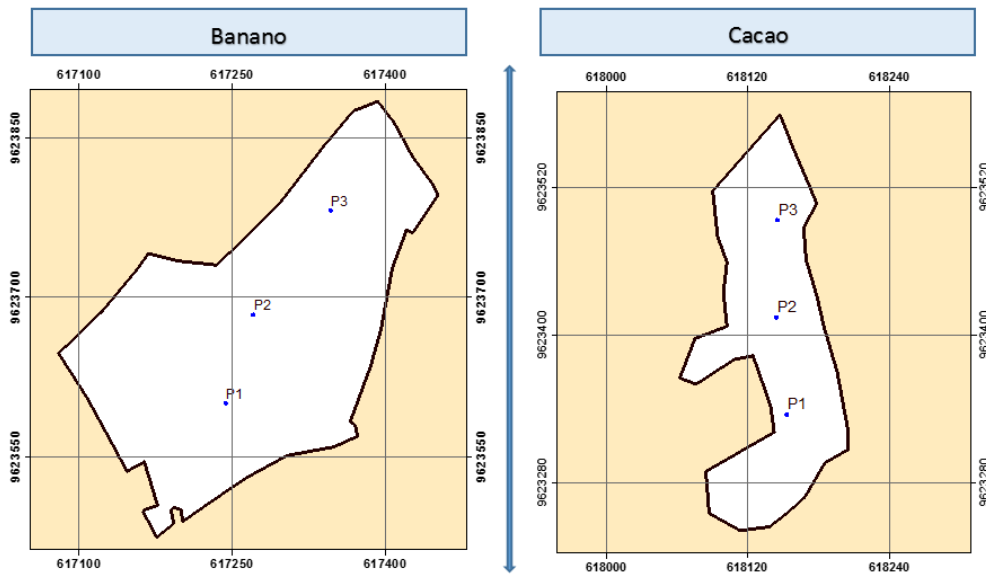


Figura 14: Ubicación de puntos de infiltración

Tabla 2: Coordenadas de los puntos de infiltración

Banano			Cacao	
N	X	Y	X	y
P1	617244	9623600	618153	9623335
P2	617271	9623683	618144	9623414
P3	617347	9623781	618145	9623493

3.4.1.2 Pasos para la toma de datos

- 1) Nivelación del terreno y eliminación de la materia orgánica del mismo.
- 2) Ubicación del cilindro exterior, a este cilindro se lo introdujo a 10 cm de profundidad en el suelo, con la ayuda de un cuartón y de un combo de aproximadamente 5 libras se dieron golpes de manera homogénea en todo el cilindro dejándolo anivelado
- 3) Ubicación del cilindro interno, se lo centro en función del cilindro exterior y luego se lo introdujo con el mismo procedimiento que el anillo exterior.
- 4) Ubicación de una funda al vacío en el anillo interior para evitar la infiltración y depositar una lámina de 12cm de agua.
- 5) Se depositó agua en el cilindro exterior (zona bufer) dejando una lámina mínima de 8cm, luego romper la funda al vacío y sacarla inmediatamente se coloca el instrumento de medición previamente elaborado con una tira de madera insertada una regla con un alambre tipo anzuelo para realizar las tomas la lectura.

6) Se tomaron lecturas en tiempos de 2, 2, 2, 5, 5, 15, 15, 30 y 30 minutos dando un total de 106 minutos.



Figura 15: Procedimiento de infiltración del agua en el suelo

7) Finalmente se calculan la ecuación de la velocidad de infiltración y lamina acumulada mediante las siguientes ecuaciones.

Velocidad de infiltración

$$I = AT_0^B \quad (11)$$

$$A_0 = \frac{\sum Y_i - B \sum X_i}{n} \quad (12)$$

$$B = \frac{n \sum X_i \cdot Y_i - \sum x_i \cdot \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (13)$$

A= Antilogaritmo de A₀

Infiltración acumulada

$$I_{cum} = aT_0^b \quad (14)$$

$$a_0 = \frac{\sum Y_i - B \sum X_i}{n} \quad (15)$$

$$b = \frac{n \sum X_i \cdot Y_i - \sum x_i \cdot \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (16)$$

a= Antilogaritmo de a₀

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis descriptivo de las propiedades físicas del suelo

En la figura 16, presenta la distribución de las partículas de arcilla a dos estratos (0-25 y 25-50 cm) en los dos usos del suelo (banano y cacao). El contenido de arcilla se mostró menor al 24%, en la capa superficial los valores oscilan entre 15-24%, en uso de suelo banano. En el suelo con cultivo de cacao el valor de arcilla fue menor al 14% en la primera capa y entre 1-7% en la segunda capa. Barrezueta et al., (2017) indican que los niveles de arcilla en la provincia de El Oro tiene un rango de 9 a 52 % con una media de 28% en un estrato de 30 cm, valores que difieren de los resultados obtenidos. La formación del suelo de tipo aluvial ocurre una menor acumulación de arcillas en las capas entre 0 a 50 cm.

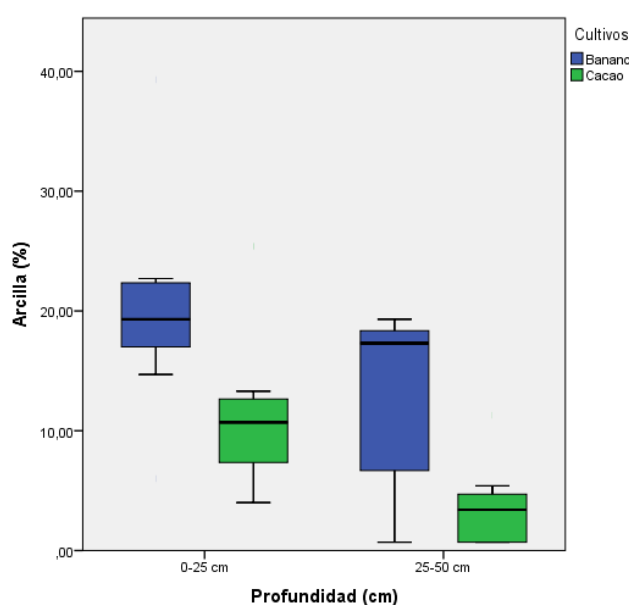


Figura 16: Contenido de arcilla en porcentaje a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote

En la figura 17, muestra la dispersión del contenido de limo, Los valores indican un rango de 15 a 60% a una profundidad de 0-25 cm y de 19 a 63% entre 25-50 cm en el uso de suelo banano. En el uso de suelo cacao, el rango fue de 22 a 60% a una profundidad de 0-25 cm y de 20 a 60% entre 25-50 cm. Barrezueta et al., (2017) encontraron rangos de limo entre 14,7 a 61,4% en la provincia de El Oro y una media de 34,02% en un estrato de 30 cm, valores similares a los de la investigación.

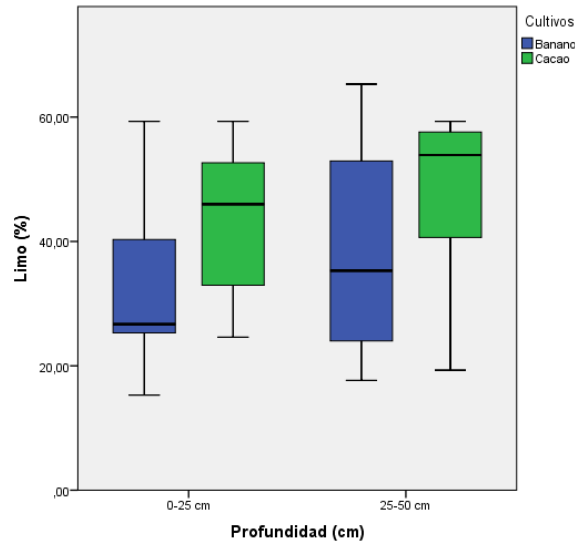


Figura 17: Contenido de limo en porcentaje a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote

En la figura 18, el porcentaje de las partículas de arena muestran una variabilidad alta en el uso de suelo banano, con un rango de 22 a 68% de 0-25 cm de profundidad y 22 a 80% entre 25-50 cm en el uso de suelo con cultivo de cacao tiene una menor variación con un rango de 42 a 48% en la primera capa (0-25 cm) y de 40 a 70% en la segunda capa (25-50 cm). Barrezueta et al., (2017), mencionan que en la provincia de EL Oro el contenido de arena oscila entre 16,0 y 72,0% teniendo una media de 38,32% en un estrato de 30 cm. Valores similares a la presente investigación. En el cultivo de banano presenta una mayor cantidad de las partículas de arena que en el área de cacao, esto puede deberse al sistema de drenaje en el área de banano y el área de cacao no cuenta con dicho sistema.

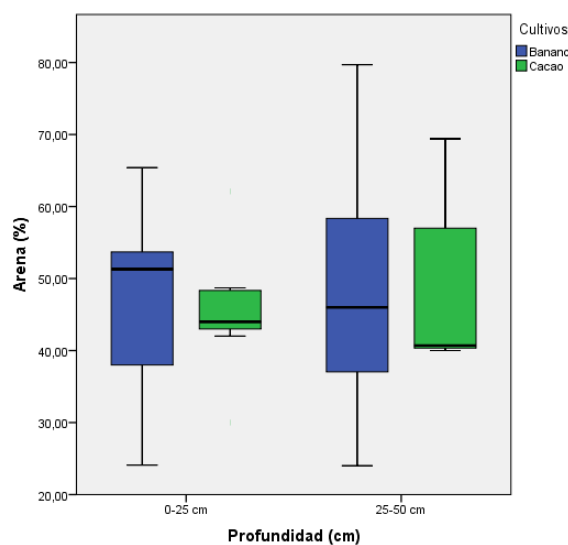


Figura 18: Contenido de arena en porcentaje a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote

La distribución de la densidad aparente (D_a) (Figura 19), se incrementó en los dos usos del suelo a medida que se profundiza el muestreo. La densidad más elevada fue de $1,72 \text{ g/cm}^3$, pudiendo ser por excesivo laboreo del suelo o prácticas inadecuadas de manejo del cultivo. Por otra parte, el valor más bajo de la D_a fue en el estrato 0-25 cm con $1,35 \text{ g/cm}^3$ posible compactación. En el uso de suelo cacao la D_a mayor es $1,60 \text{ g/cm}^3$ en un perfil de 0-50 cm y el menor con $1,34 \text{ g/cm}^3$. Se menciona que durante el estudio se observó restos de ollas de barro y caparazones de conchas lo que probablemente incidió en estos valores.

Villaseñor et al., (2017) encontraron que los suelos del orden Entisol tiene una variación de $1,55 \text{ g/cm}^3$ a $1,8$ y Alvarado & Forsythe, (2005) indican que la variación de la D_a en suelo Entisol tiene un rango entre $0,87$ y $1,62 \text{ g/cm}^3$. La investigación fue similar a los valores de Villaseñor et al., (2017).

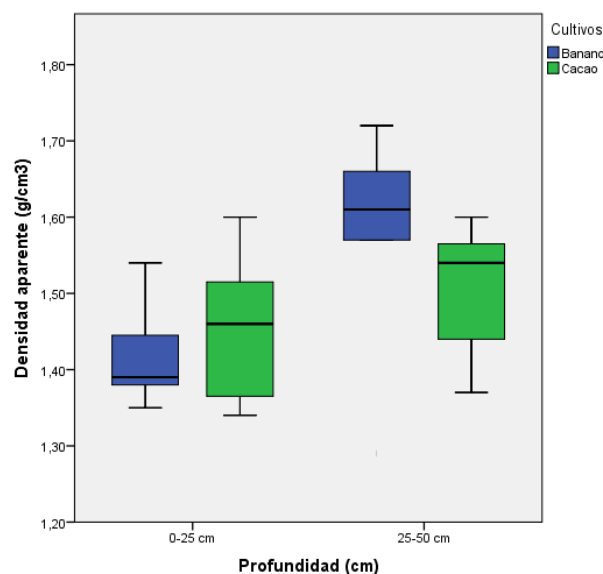


Figura 19: Valores de densidad aparente a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote

En la figura 20, muestra la distribución de la densidad real (D_r), a medida que se profundiza el muestreo, el valor de la D_r aumentaba en ambos usos de suelo, el rango en el uso de suelo banano fue de $2,18$ a $2,39 \text{ g/cm}^3$ entre 0-25 cm de profundidad y 2 a $2,62 \text{ g/cm}^3$ entre 25-50 cm. En cambio en el uso de suelo cacao fue de $1,9$ a $2,5 \text{ g/cm}^3$ entre 0-25 cm y $2,39$ a $2,62 \text{ g/cm}^3$ entre 25-50 cm. Chinchilla et al., (2011) encontraron que los suelos Entisoles tienen un máximo de $2,65 \text{ g/cm}^3$ y un mínimo de $2,08 \text{ g/cm}^3$. Valores similares a los encontrados en ambos usos de suelo.

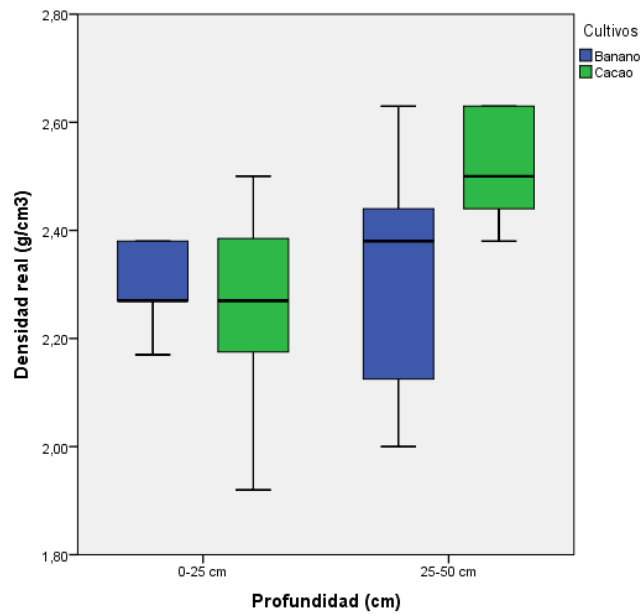


Figura 20: Valores de densidad real a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote

La distribución de la porosidad se muestra en la figura 21, en el área de banano tiene un rango de 32 a 43% en la primera capa (0-25cm) y de 24 a 41% en la segunda capa (25-50 cm). Por otro lado en el área de cacao el rango fue de 22 a 48% en la primera capa y de 39 a 43% en la segunda. Chinchilla et al., (2011) menciona que un rango de 44 a 55% es debido al alto contenido de arena. Valores que difieren debido al contenido de las partículas del suelo.

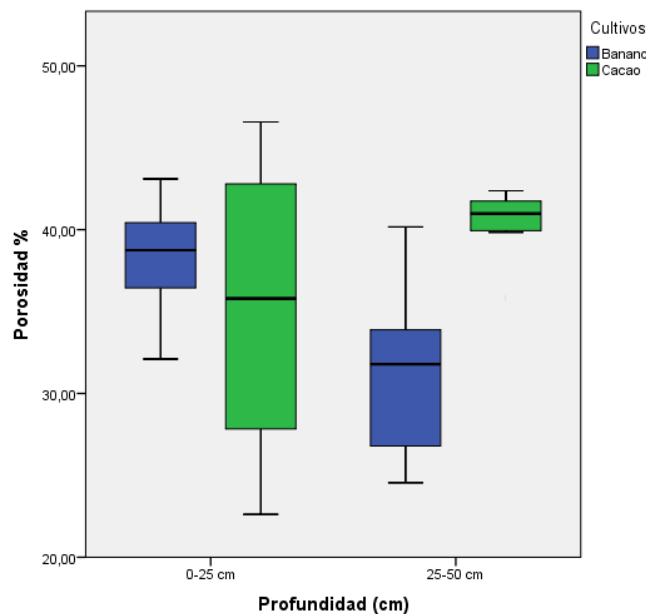


Figura 21: Contenido de porosidad en porcentaje a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote

En la figura 22 se observa la capacidad de campo expresado en porcentaje, teniendo un mayor porcentaje en el uso de suelo banano, con un rango de 47 a 56% entre 0-25 cm de profundidad y de 41 a 52% entre 25-50 cm. En cambio, en el uso de suelo cacao tiene rango de 44 a 49% entre 0-25 cm y de 37 a 44% ente 25-50 cm. Diaz, (2018) indica que en su investigación la capacidad de campo tiene un rango de 27 a 41% en un extracto de 0-50 cm. Valores similares a los de la investigación.

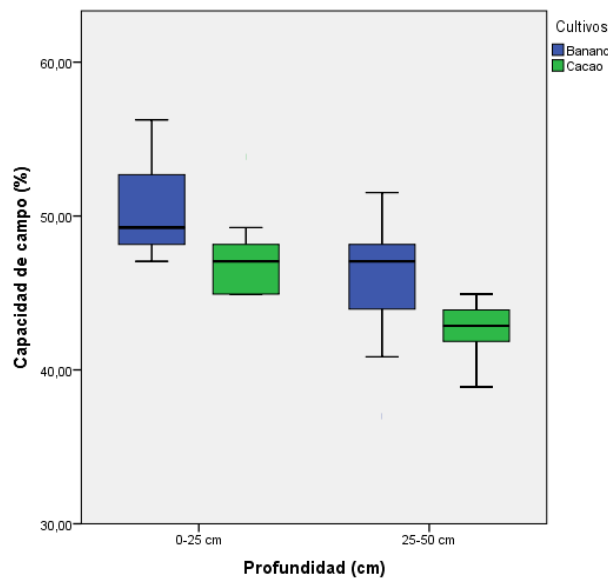


Figura 22: Capacidad de campo en porcentaje a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote

En la figura 23 se observa el punto de marchitez permanente expresado en porcentaje, en el uso de suelo banano tiene un mayor valor que en el uso de suelo cacao. En el área de banano tiene un rango de 3 a 7,8% entre 0-50 cm de profundidad y en área de cacao tiene de 3 a 6% entre 0-50 cm. Valores que difieren a los encontrados por (Diaz, 2018), en la que señala que los suelos Entisol en un estrato de 0-50 cm obtuvo un rango de 7,5 a 19,2%.

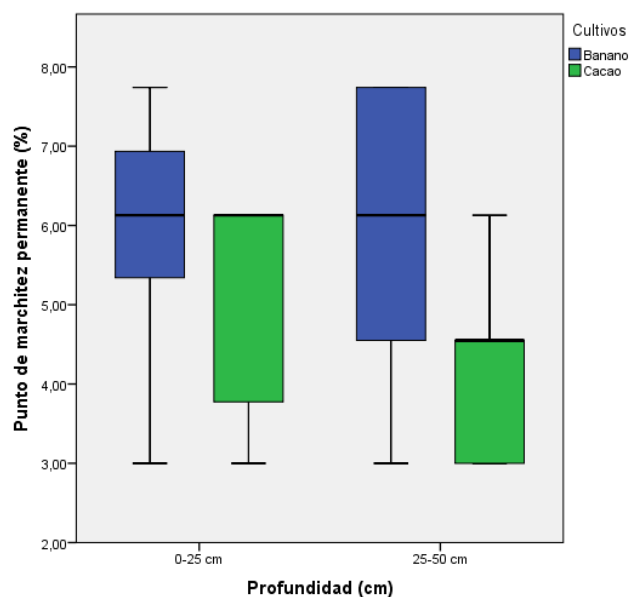


Figura 23: Punto de marchitez permanente en porcentaje a dos profundidades y en dos cultivos de estudio utilizando el diagrama de caja y bigote

Se utilizó el análisis exploratorio para determinar la estadística descriptiva para las variables: %arcilla, %limo, %arena, densidad aparente (D_a), densidad real (D_r), %porosidad, %capacidad de campo (C.C) y el %de punto de marchitez permanente en los diferentes estratos de las fincas estudiadas en el presente trabajo, cuyos resultados aparecen en las tablas 3 y 4 para el área de banano y cacao respectivamente.

En el área de banano las partículas de arcilla en promedio presentan un 20,47% tendiendo a disminuir a una mediana de 19,3% en la profundidad de 0-25 cm teniendo un coeficiente de variación de 49,14 y con una desviación estándar de 10,6, al aumenta la profundidad a 25-50 cm el contenido disminuye a 12,48% tendiendo a una media a aumentar a 17,3% teniendo un coeficiente de variación de 63,56 y una desviación estándar de 7,93.

El limo, densidad aparente, densidad real y la capacidad de campo su promedio tiende a disminuir según la mediana en la profundidad de 0-25 cm presentando coeficientes de variación que van desde 3,44 a 6,85 a excepción del limo que presenta un coeficiente de variación de 44,26. En cambio el contenido de arena, porosidad y el punto de marchitez permanente tienden a aumentar según su mediana. En cuanto a la profundidad de 25-50 cm su promedio tiende a aumentar según los valores de la mediana a excepción del %limo y %arena.

Los valores positivos en el parámetro de asimetría tenemos a las variables arcilla, limo, densidad aparente y capacidad de campo, es decir valores que se encuentra a la derecha de la media y una Asimetría negativa en las variables de arena, densidad real, porosidad

y punto de marchitez permanente es decir valores que se encuentra a la izquierda de la media mientras que en la Curtosis tiene una distribución normal a una profundidad de 0-25 cm. A una profundidad de 25-50 cm tiene una asimetría negativa a excepción de las variables limo, arena y porosidad con valor de curtosis anómalo en la densidad aparente con 3,75.

Marcano & Fermín, (2013), indican que, varios autores dicen que los valores anómalos legítimos son por errores en el momento que se recopila la información pero, si el valor proviene de una variación natural, no debe ser removido.

Tabla 3: Estadísticos para las variables evaluadas en el área de banano

Prof.(cm)	Variable	Prom.	Mediana	Des. Est	C.V	Asimetría	Curtosis
0-25	Arcilla (%)	20,47	19,30	10,06	49,14	0,79	2,37
	Limo (%)	33,21	26,70	14,70	44,26	0,88	0,49
	Arena (%)	46,31	51,30	15,40	33,26	-0,72	-0,80
	Da g/cm ³	1,42	1,39	0,06	4,48	1,23	1,48
	Dr g/cm ³	2,30	2,27	0,08	3,44	-0,49	-0,67
	Porosidad (%)	38,24	38,75	3,65	9,53	-0,46	0,16
	C.C (%)	50,61	49,25	3,46	6,85	0,68	-0,70
	P.M.P	5,92	6,13	1,69	28,58	-0,73	0,19
25-50	Arcilla (%)	12,48	17,30	7,93	63,56	-0,82	-1,42
	Limo (%)	38,88	35,30	18,31	47,10	0,31	-1,74
	Arena (%)	48,64	46,00	18,86	38,78	0,36	-0,10
	Da g/cm ³	1,58	1,61	0,14	9,00	-1,71	3,75
	Dr g/cm ³	2,31	2,38	0,23	9,94	-0,01	-1,31
	Porosidad (%)	31,12	31,79	5,56	17,87	0,48	-0,59
	C.C (%)	45,68	47,06	5,02	11,00	-0,95	0,16
	P.M.P	5,92	6,13	1,93	32,53	-0,39	-1,58

En el área de cacao las partículas de arcilla presentan un promedio de 11,44% tendiendo a disminuir a una mediana de 10,7% a una profundidad de 0-25 cm teniendo un coeficiente de variación de 62,01%, una desviación estándar de 7,1 y con una asimetría positiva, al aumentar la profundidad a 25-50 cm el contenido disminuye a 3,74% tendiendo a una media a disminuir a 3,4% teniendo un coeficiente de variación alto de

102,21%, una desviación estándar de 3,83 y con asimetría positiva. El limo, densidad aparente, densidad real, la porosidad y el punto de marchitez permanente su promedio tienden a aumentar según la mediana en la profundidad de 0-25 cm presentando coeficientes de variación que van desde 6,95 a 31,54. En cambio el contenido de arena y la capacidad de campo tienden a disminuir según su mediana. En cuanto a la profundidad de 25-50 cm su promedio tiende a disminuir según los valores de la mediana a excepción de la arcilla, arena y densidad aparente. En el parámetro de Curtosis se muestra una distribución normal a una profundidad de 0-25 cm y 25 a 50 cm a excepción de la porosidad.

Tabla 4: Estadísticos para las variables evaluadas en el área de cacao

Prof.(cm)	Variable	Prom.	Mediana	Des. Est	C.V	Asimetría	Curtosis
0-25	Arcilla (%)	11,44	10,70	7,10	62,01	1,31	2,54
	Limo (%)	43,01	46,00	13,57	31,54	-0,47	-1,40
	Arena (%)	45,54	44,00	9,57	21,00	0,21	2,06
	Da g/cm ³	1,45	1,46	0,10	6,95	0,26	-1,53
	Dr g/cm ³	2,26	2,27	0,21	9,22	-0,43	-0,31
	Porosidad (%)	35,18	35,80	9,50	27,01	-0,02	-1,69
	C.C (%)	47,43	47,06	3,25	6,86	1,51	2,19
	P.M.P	5,01	6,13	1,49	29,70	-0,76	-1,70
25-50	Arcilla (%)	3,74	3,40	3,83	102,21	1,47	2,28
	Limo (%)	47,00	53,90	14,60	31,05	-1,28	1,25
	Arena (%)	49,26	40,70	11,87	24,10	0,88	-0,75
	Da g/cm ³	1,50	1,54	0,09	6,27	-0,75	-1,24
	Dr g/cm ³	2,52	2,50	0,11	4,48	-0,29	-1,90
	Porosidad (%)	40,36	40,98	2,21	5,48	-1,69	3,30
	C.C (%)	42,59	42,86	2,16	5,06	-0,72	0,16
	P.M.P	4,11	4,55	1,18	28,67	0,62	-0,27

Se realizó el análisis de correlación de Pearson a las propiedades físicas estudiadas, los resultados se reflejan en las tablas 5 y 6. Tabla 5 comprende el área de banano, La correlación negativa alta se da entre arena y limo (-0,8289), Densidad real y limo (-0,637), arena y capacidad de campo (-0,798) ya que las partículas de arena tienen menos capacidad de retener agua, arena y punto de marchitez permanente (-0,829), densidad

aparente y porosidad (-0,682). Ramirez et al., (2008) mencionan que la densidad aparente y la porosidad total muestran si un suelo presentan las condiciones adecuadas para la exploración y desarrollo de las raíces. La correlación negativa moderada entre densidad aparente y capacidad de campo (-0,601), Si una variable aumenta la otra disminuye o viceversa. La alta correlación positiva se da entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente (0,7039) y una correlación positiva moderada entre limo y punto de marchitez permanente, Aumentan o disminuyen ambas variables.

Tabla 6 comprende al área de cacao, la correlación negativa alta se da entre limo y arena (-0,875), densidad aparente y punto marchitez permanente (-0,693) y una correlación negativa moderada entre densidad real y capacidad de campo (-0,613). Cosentino & Pecorari, (2002) mencionan que la baja densidad real es provocada por la presencia de materia orgánica contribuyendo a una mayor retención de agua. Existe una correlación directa entre densidad real y porosidad (0,801).

Tabla 5: Matriz de correlación de Pearson de las propiedades físicas del suelo en el área de banano

	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Da (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	Porosidad %	CC (%)	PMP (%)
Arcilla (%)	1							
Limo (%)	-0,259 0,372	1						
Arena (%)	-0,328 0,252	-0,828** 0,000	1					
Da (g/cm ³)	-0,301 0,295	-0,292 0,311	0,461 0,097	1				
Dr (g/cm ³)	-0,052 0,860	-0,637* 0,014	0,653* 0,011	0,408 0,148	1			
Porosidad %	0,251 0,387	-0,201 0,491	0,051 0,863	-0,682** 0,007	0,386 0,173	1		
CC (%)	0,510 0,063	0,513 0,061	-0,798** 0,001	-0,601* 0,023	-0,494 0,073	0,229 0,432	1	
PMP (%)	0,487 0,078	0,558* 0,038	-0,829** 0,000	-0,364 0,200	-0,518 0,058	-0,051 0,863	0,703** 0,005	1

Tabla 6: Matriz de correlación de Pearson de las propiedades físicas del suelo en el área de cacao

	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Da (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	Porosidad %	CC (%)	PMP (%)
Arcilla (%)	1							
Limo (%)	-0,660* 0,010	1						
Arena (%)	0,214 0,462	-0,875** 0,000	1					
Da (g/cm ³)	-0,286 0,321	-0,263 0,364	0,526 0,054	1				
Dr (g/cm ³)	-0,193 0,509	0,120 0,684	-0,032 0,915	0,074 0,800	1			
Porosidad %	-0,027 0,926	0,297 0,303	-0,368 0,195	-0,531 0,051	0,801** 0,001	1		
CC (%)	0,463 0,096	-0,264 0,362	0,045 0,878	-0,188 0,520	-0,613* 0,020	-0,400 0,156	1	
PMP (%)	0,443 0,113	-0,016 0,958	-0,265 0,360	-0,693** 0,006	-0,225 0,440	0,207 0,477	0,421 0,134	1

4.2 Análisis de la variabilidad espacial

En las tablas se muestran los parámetros del semivariograma, siendo el que más se ajustó el modelo esférico en el área de banano tabla 6, con un alcance o rango de 95 a 100 metros, un valor de cero en nugget y el valor del sill tiene un rango de 0,00003 a 95,44 mostrando valores del Nash que van desde 0,9998 a 1, RMSE de 0,0006 a 0,2, y R² de 0,99999 a 1 resultando una dependencia espacial fuerte. En el área de cacao tabla 7, el modelo que más se ajustó fue el exponencial a excepción de la densidad aparente y del punto de marchitez permanente, estos se ajustaron al modelo esférico con la profundidad de 25-50 cm con un nugget de cero, el sill que va desde 0,0001 a 5,9785, y un rango de 100 a 143 metros, mostrando valores del Nash que van de 0,9995 a 1, el RMSE de 0,0003 a 0,1 y con un R² de 0,99 a 1, resultando una dependencia espacial fuerte.

Con los datos que se obtuvieron en las tablas 7 y 8, se procedió a utilizar el interpolador Kriging para representar la variabilidad de las propiedades físicas, se utilizó técnicas geoestadísticas para determinar los modelos que mejor se ajustan para las variables del estudio (Largaespada & Henríquez, 2015).

Tabla 7: Parámetros del semivariogramas de las propiedades estudiadas en el área de banano

Prof.(cm)	Variable	Modelo	Nuget	Sill	Rango	Nash	RMSE	R2	De
0-25	Arcilla	Esférico	0	0,04479	95	1,000	0,1	1,00000	0 F
	Limo	Esférico	0	0,00865	98	1,000	0,2	1,00000	0 F
	Arena	Esférico	0	0,00191	104	1,000	0,2	1,00000	0 F
	Da	Esférico	0	0,00012	100	0,9999	0,0006	0,99999	0 F
	Dr	Esférico	0	0,00455	100	1,000	0,001	1,00000	0 F
	Porosidad	Esférico	0	1,81392	95	0,9999	0,04	1,00000	0 F
	CC	Esférico	0	0,00015	95	0,9998	0,04	0,99999	0 F
	PMP	Esférico	0	0,26404	96	0,9999	0,02	0,99999	0 F
25-50	Arcilla	Esférico	0	0,88775	100	1,000	0,1	0,99999	0 F
	Limo	Esférico	0	95,4371	98	1,000	0,2	0,99999	0 F
	Arena	Esférico	0	34,3801	96	1,000	0,2	0,99999	0 F
	Da	Esférico	0	0,00256	100	1,000	0,002	1,000000	0 F
	Dr	Esférico	0	0,00347	95	1,000	0,003	0,99999	0 F
	Porosidad	Esférico	0	17,14826	95	0,9999	0,06	0,99999	0 F
	CC	Esférico	0	0,00025	95	0,9999	0,06	0,99999	0 F
	PMP	Esférico	0	0,00003	95	0,9999	0,02	0,99999	0 F

Tabla 8: Parámetros del semivariogramas de las propiedades estudiadas en el área de cacao

Prof.(cm)	Variable	Modelo	Nuget	Sill	Rango	Nash	RMSE	R2	De
0-25	Arcilla	Exponencial	0	0,7294	105	1,000	0,04	1,00000	0 F
	Limo	Exponencial	0	0,0005	100	1,000	0,1	1,00000	0 F
	Arena	Exponencial	0	0,7267	100	1,000	0,1	0,99999	0 F
	Da	Exponencial	0	0,0101	143	0,9995	0,0013	0,99997	0 F
	Dr	Exponencial	0	0,0044	100	1,000	0,002	0,99999	0 F
	Porosidad	Exponencial	0	5,9785	100	0,9999	0,08	0,99999	0 F
	CC	Exponencial	0	1,1943	100	0,9999	0,02	0,999999	0 F
	PMP	Exponencial	0	0,0685	100	0,9995	0,04	0,99997	0 F
25-50	Arcilla	Exponencial	0	5,3520	100	1,000	0,03	0,99999	0 F
	Limo	Exponencial	0	0,0508	100	1,000	0,1	0,999994	0 F
	Arena	Exponencial	0	0,0116	100	1,000	0,1	0,99999	0 F
	Da	Esférico	0	0,0001	100	1,000	0,0003	1,00000	0 F
	Dr	Exponencial	0	0,0013	100	1,000	0,001	1,00000	0 F
	Porosidad	Exponencial	0	0,1147	100	1,0000	0,01	1,00000	0 F
	CC	Exponencial	0	1,4212	100	1,0000	0,01	1,00000	0 F
	PMP	Esférico	0	0,3707	100	0,99999	0,004	0,99999	0 F

4.3 Distribución espacial del contenido de arcilla

Se observa la variabilidad espacial del %arcilla en un suelo Entisol con dos cultivos que son: el área de banano en la parte superior y el área de cacao en la parte inferior (Figura 24). El mayor contenido de arcilla se encuentra a una profundidad de 0-25 cm, en el centro del área de banano en cuanto se acerca al lindero su valor va disminuyendo, Lozada et al.,(2014) indica que en los suelos arcillosos y con un mal drenaje se produce un fenómeno llamado “sequía fisiológica”. En el área de cacao tiene un contenido bajo en comparación del área de banano.

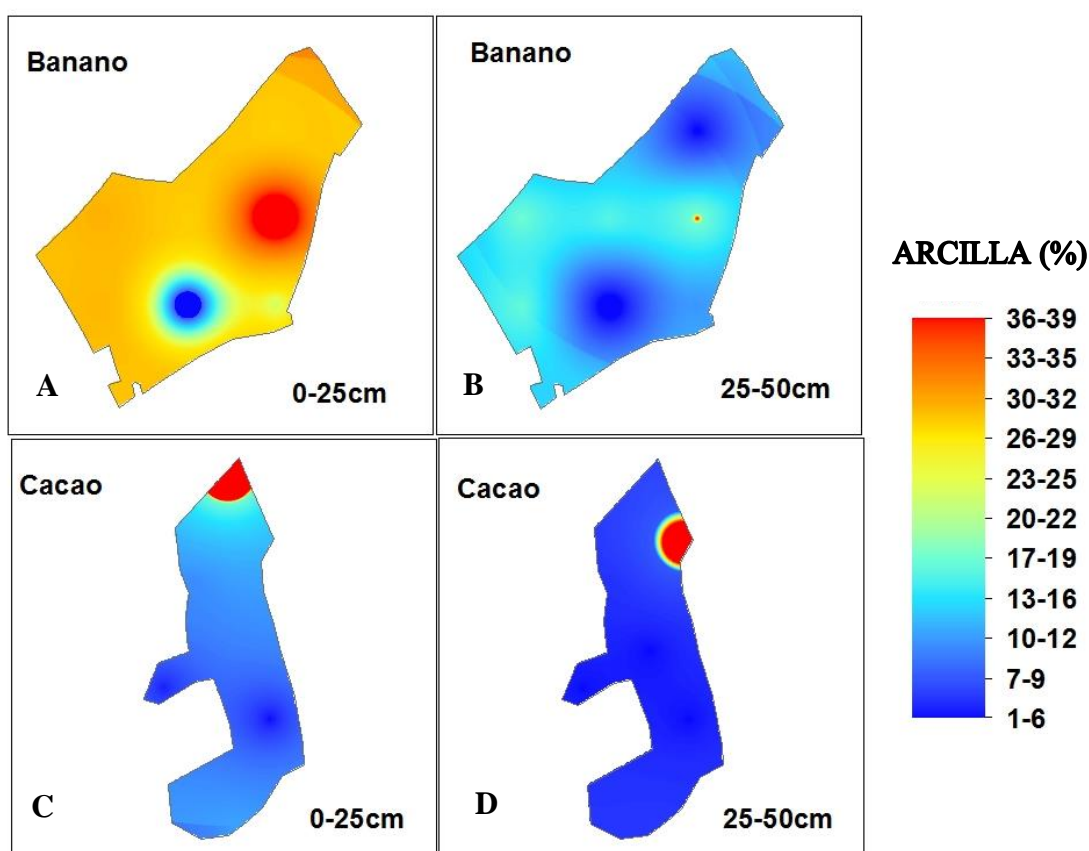


Figura 24: Variabilidad espacial del contenido de arcilla: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm

4.4 Distribución espacial del contenido de limo

Las mayores cantidades de limo en el área de banano se encuentran en la parte lateral central derecha a una profundidad de 0-25 cm y de 25-50 cm su valor aumenta. En el área de cacao en la parte lateral izquierda se registra un mayor contenido y un menor en la parte norte. Según Álvarez et al., (2012) dice que alto %limo es mencionado como la causa de una menor resiliencia de una clase textural franco limoso.

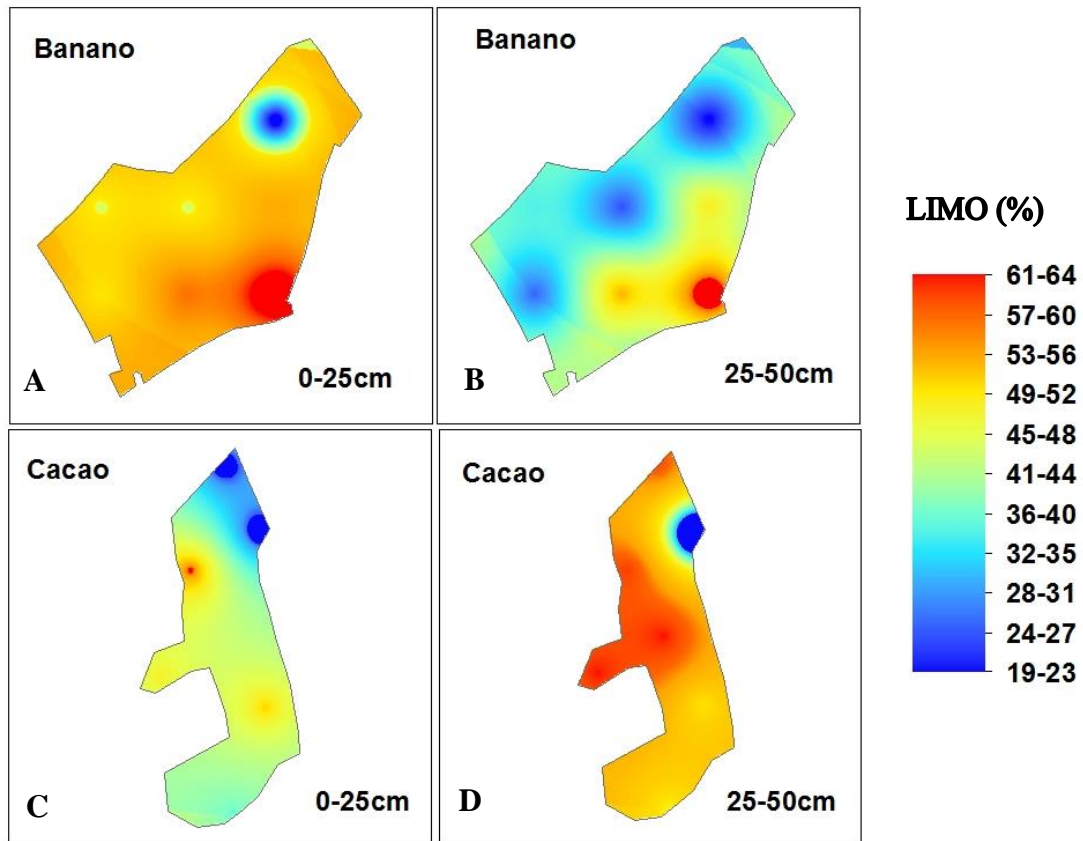


Figura 25: Variabilidad espacial del contenido de limo: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm

4.5 Distribución espacial del contenido de arena

El mayor contenido de arena se localiza en el área de banano a una profundidad de 0-25 cm aumentando de 25-50 cm en la zona norte. En el área de cacao el mayor contenido se encuentra a mayor profundidad (25-50 cm). Torres et al., (2017) en su investigación obtuvieron un 50% superior en los contenidos de arena, lo que limita la retención de humedad, disminuyendo el agua disponible para los cultivos y aumento de lixiviación de los agroquímicos.

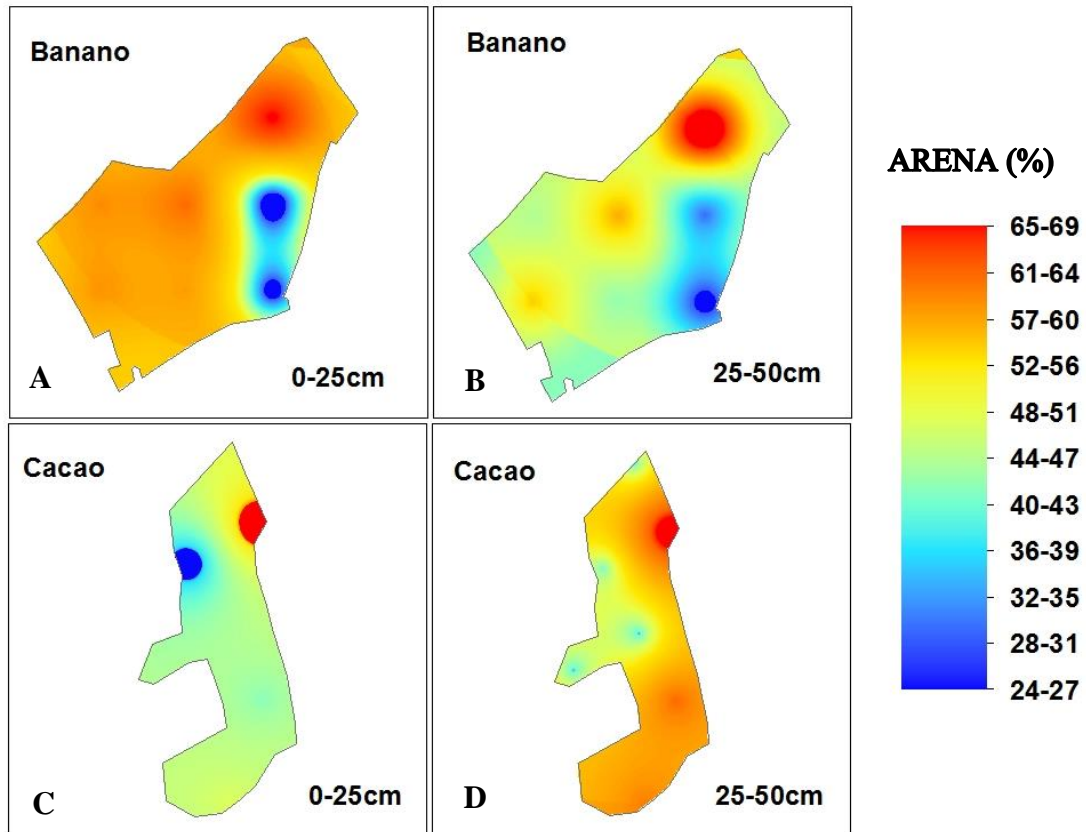


Figura 26: Variabilidad espacial del contenido de arena: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm

4.6 Distribución espacial de la densidad aparente

En la figura 27 se observa la variabilidad espacial de la densidad aparente (D_a), a una profundidad de 0-25 cm en el área de banano con un rango de 1,2 a 1,4 g/cm^3 a excepción del punto siete (zona norte) que tiene un rango de 1,5 a 1,7 g/cm^3 y en el área de cacao tiene un rango de 1,2 a 1,6 g/cm^3 situándose un alto valor en la parte sur. A una profundidad de 25-50 cm el área de banano aumenta la densidad aparente en un rango de 1,4 a 1,7 g/cm^3 , por otra parte en el área de banano aumenta levemente en un rango de 1,4 a 1,7 g/cm^3 situándose altos valores en el lado lateral derecho e inferior del área.

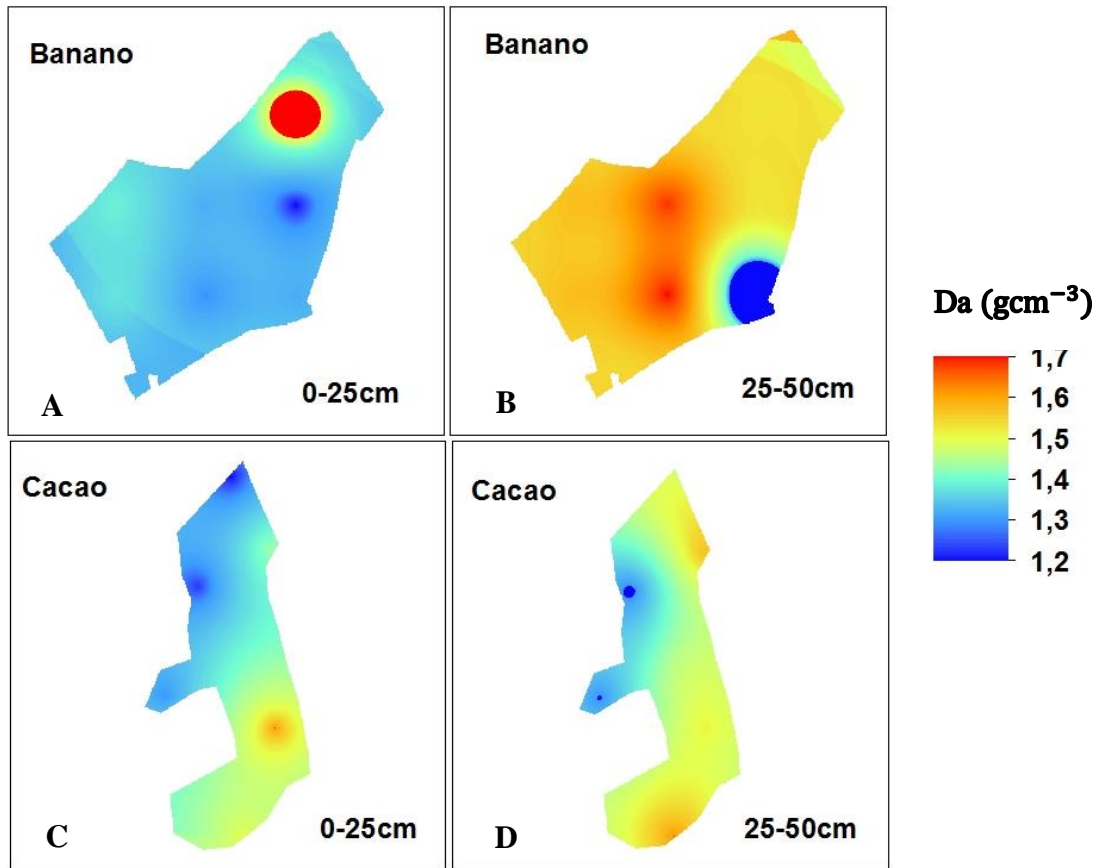


Figura 27: Variabilidad espacial de la densidad aparente: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm

4.7 Distribución espacial de la densidad real

En la figura 28 se observa la variabilidad espacial de la densidad real, en el área de banano con una alta variabilidad en ambas profundidades (0-25 y 25-50 cm), en el área de cacao a una profundidad de 0-25 cm la variación es en la zona norte y de 25-50 cm una leve variación en la zona este.

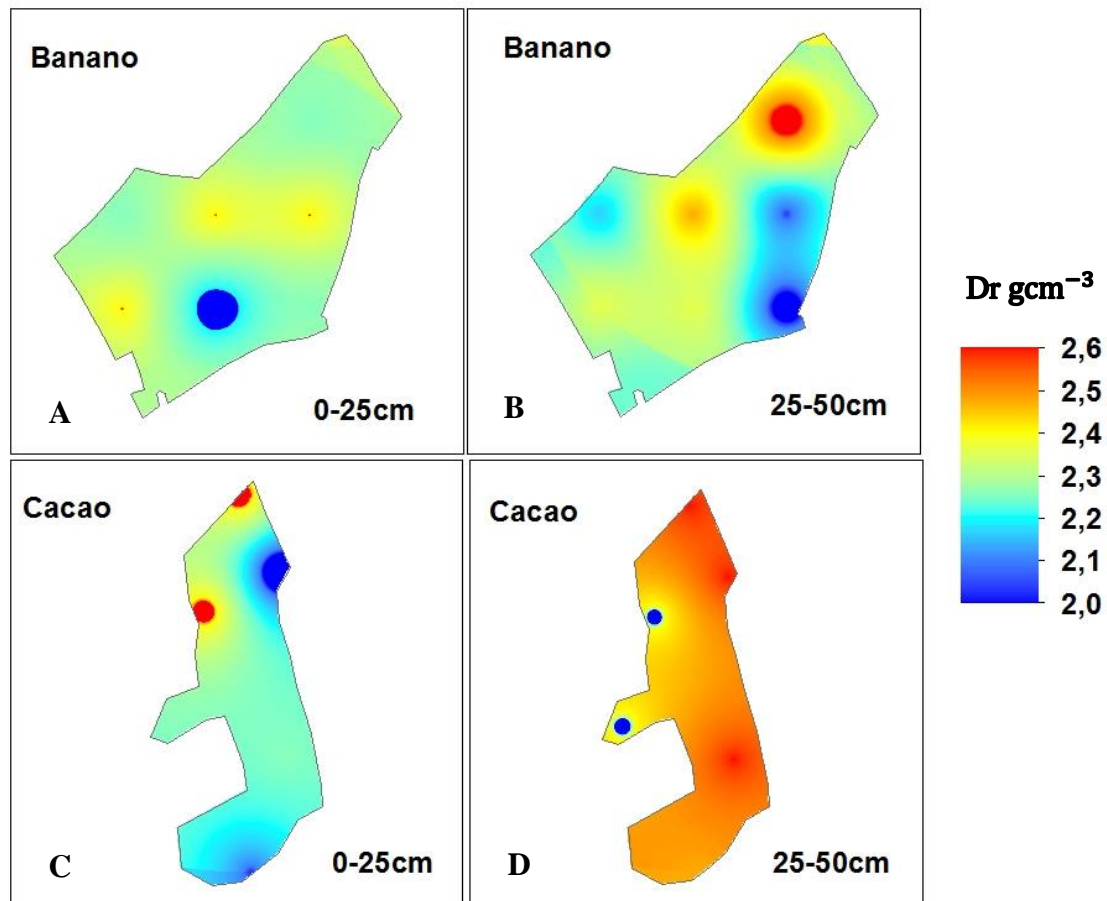


Figura 28: Variabilidad espacial de la densidad real: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm

4.8 Distribución espacial del porcentaje de porosidad

En la figura 29 se observa que en el área de banano tiene la mayor porosidad a una profundidad de 0-25 cm, por presentar una mayor cantidad de arcilla y un cultivo con sistema radicular superficial, con un rango de 34 a 46%. En el área de cacao ocurre lo contrario, la mayor porosidad está a una profundidad de 25-50 cm con un rango de 39 a 48% a excepción de la parte sur con un menor porcentaje.

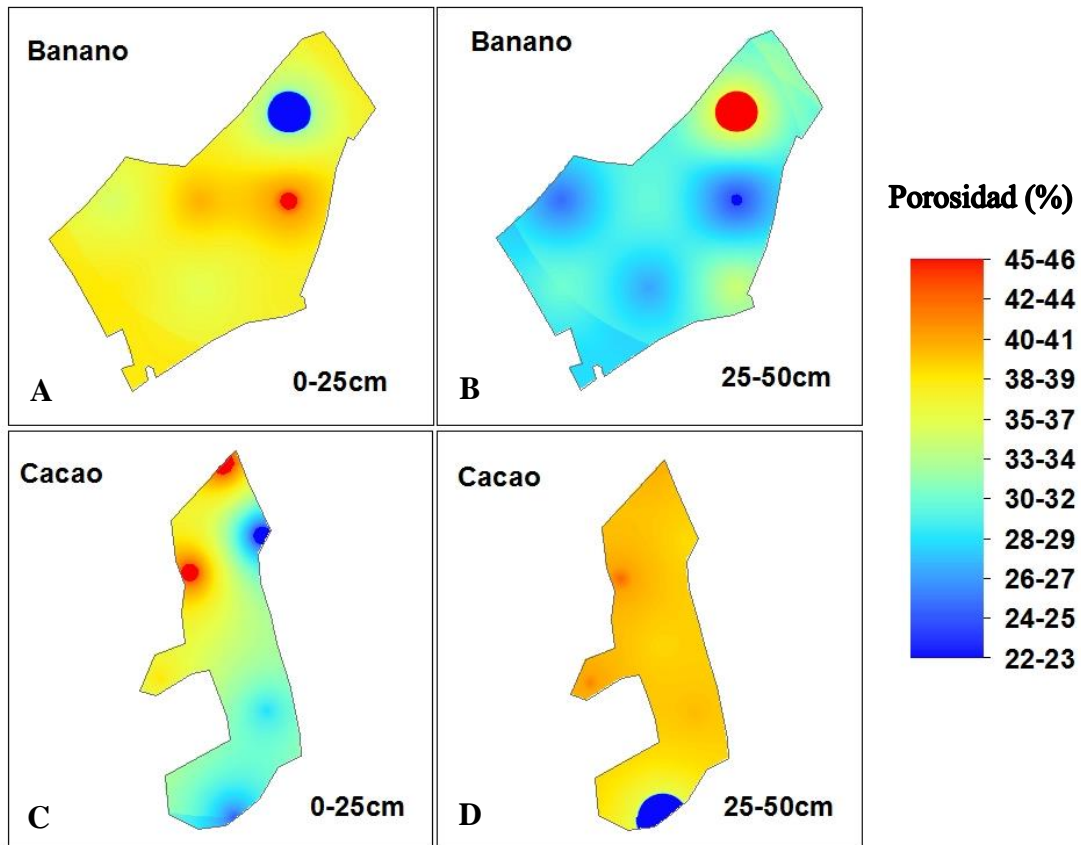


Figura 29: Variabilidad espacial del %porosidad: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm

4.9 Distribución espacial del porcentaje de capacidad de campo

En la figura 30 se observa la variabilidad espacial del porcentaje de capacidad de campo, en el área de banano a una profundidad de 0-25 cm con una baja variación de 47 a 49%, en la profundidad de 25-50 cm con una mayor variación en la parte lateral central derecha y su menor contenido en la parte norte. En el área de cacao a una profundidad de 0-25 cm en la parte central se encuentra un 51% y alrededor va disminuyendo su valor, en cambio a una profundidad de 25-50 cm se tiene un rango de 37 a 43% en su área.

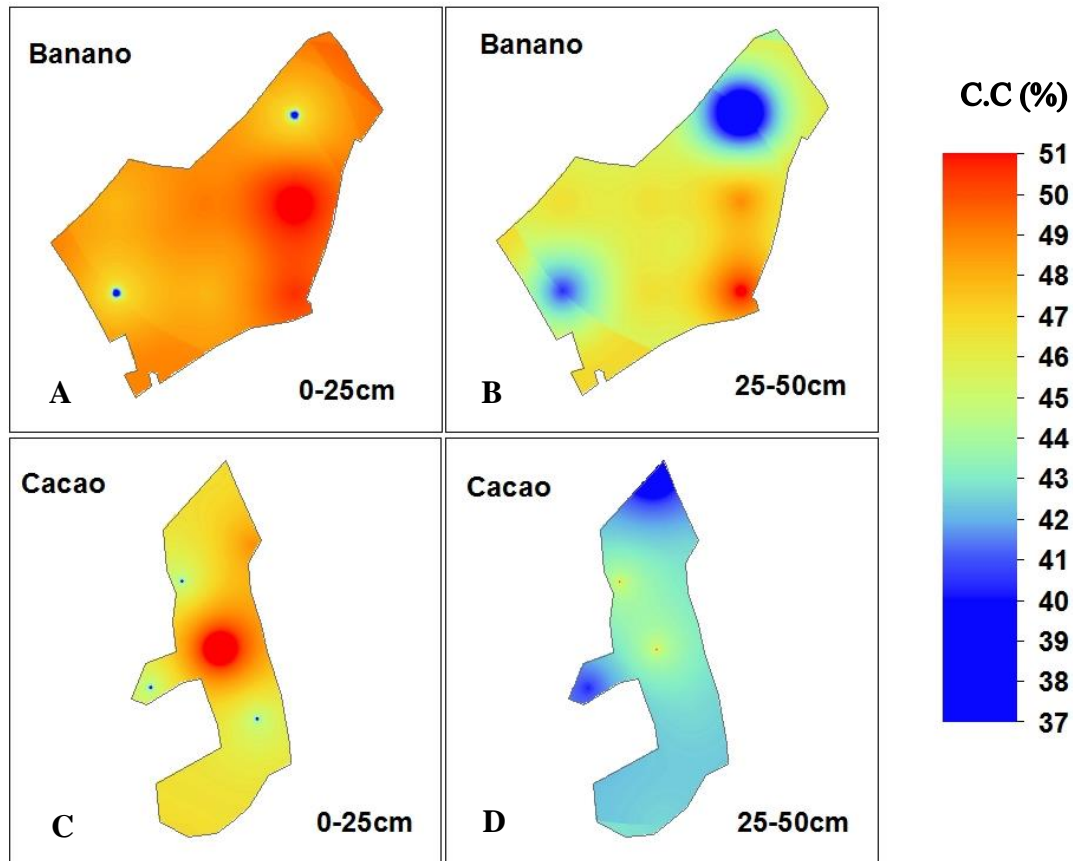


Figura 30: Variabilidad espacial del %capacidad de campo: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm

4.10 Distribución espacial del porcentaje del punto de marchitez permanente

En el área de banano a una profundidad de 0-25 cm en la parte norte su valor oscila en el rango de 3 a 5%, en la parte central de 5 a 7% y en la parte sur de 5 a 6%. Al aumentar la profundidad de 25-50 cm se observa una leve variación conforme a la profundidad de 0-25 cm. En el área de cacao en el estrato de 0-25 cm en la parte norte se encuentra un rango de 5 a 6% y en el sur de 3 a 4%, en cambio de 25-50 cm de profundidad los altos porcentajes están en las zonas norte y sur con un rango de 5 a 7%.

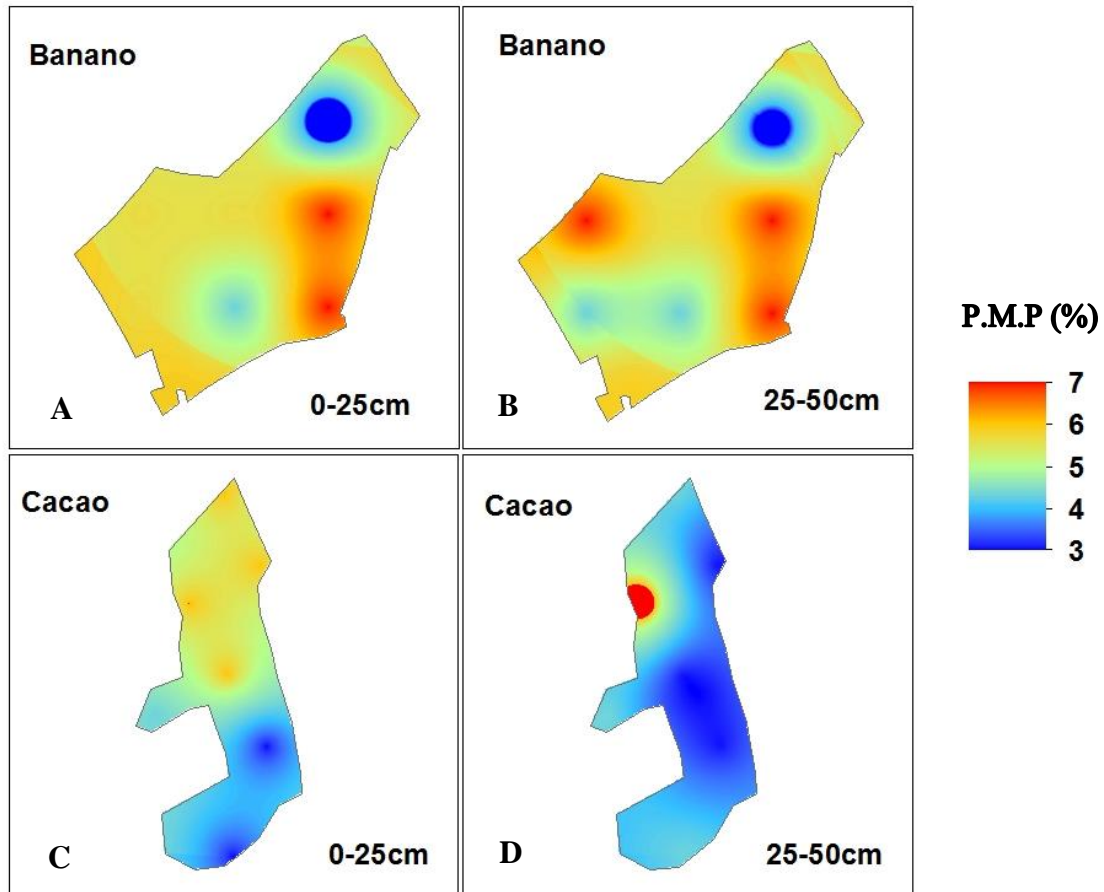


Figura 31: Variabilidad espacial del % punto de marchitez permanente: a) banano profundidad 0-25 cm, b) banano profundidad 25-50 cm c) cacao profundidad 0-25 cm d) cacao profundidad 25-50 cm

4.11 Infiltración del agua en el suelo en el área de banano y cacao

El alto contenido de arcilla incrementa la susceptibilidad al encharcamiento en el suelo, limitando la infiltración del agua en el suelo y favoreciendo la escorrentía, obteniendo procesos erosivos como la formación de cárcavas (Torres et al., 2017). En el área de banano el suelo presentó humedad, al inicio de la prueba tuvo una velocidad de 7,5 cm/h al minuto dos y al minuto 106 tuvo una velocidad constante de 1,6 cm/h. resultando la ecuación (17), dando una velocidad de infiltración (I_b) de 17,47 mm/h, en el área de cacao el suelo presentó seco, al inicio de la prueba tuvo una velocidad mayor que el área de banano siendo de 24 cm/h al minuto dos y al minuto 106 tuvo una velocidad constante menor que al área de banano siendo de 1,4 cm/h. Resultando la ecuación (19), dando una velocidad de infiltración (I_b) de 21,09 mm/h. Martinez et al., (2015) en su investigación obtuvieron u valor de infiltración básica de 53 mm/h en un suelo Vertisol. Chabla, (2017) realizó la prueba en suelos bananero para determinar si el agua de riego puede provocar

erosión y escorrentía de las partículas finas del suelo, obteniendo un velocidad de infiltración (I_b) de 10,358 mm/h. En la investigación se obtuvo un resultado mayor que Chabla Carrillo, (2017) y menor que Martinez et al., (2015).

Tabla 9: Ecuaciones de la velocidad de infiltración e infiltración acumulada, de los suelos (cm/minuto)

Área	Infiltración instantánea	Infiltración acumulada
Banano	$I = 7,6613T_0^{-0,361}$ (17)	$I_{cum} = 0,1634T^{-0,6584}$ (18)
Cacao	$I = 44,746T_0^{-0,746}$ (19)	$I_{cum} = 0,6938T^{-0,4841}$ (20)

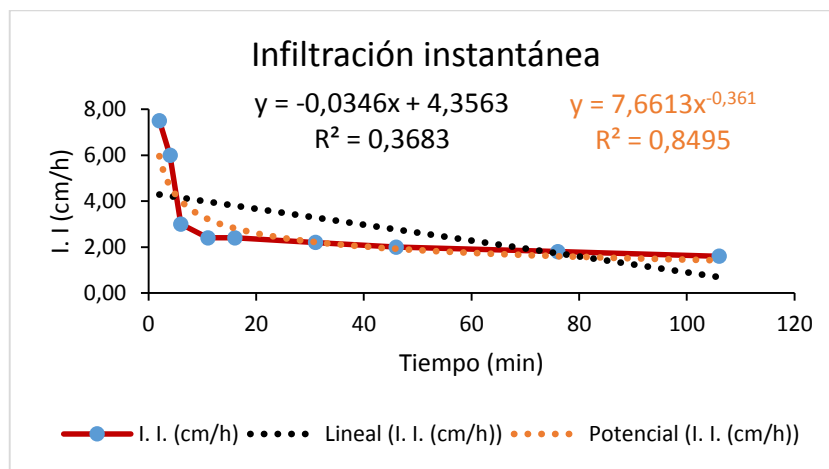


Figura 32: Curva de la infiltración instantánea (cm/h) en el área de la finca La libertad con el cultivo de banano

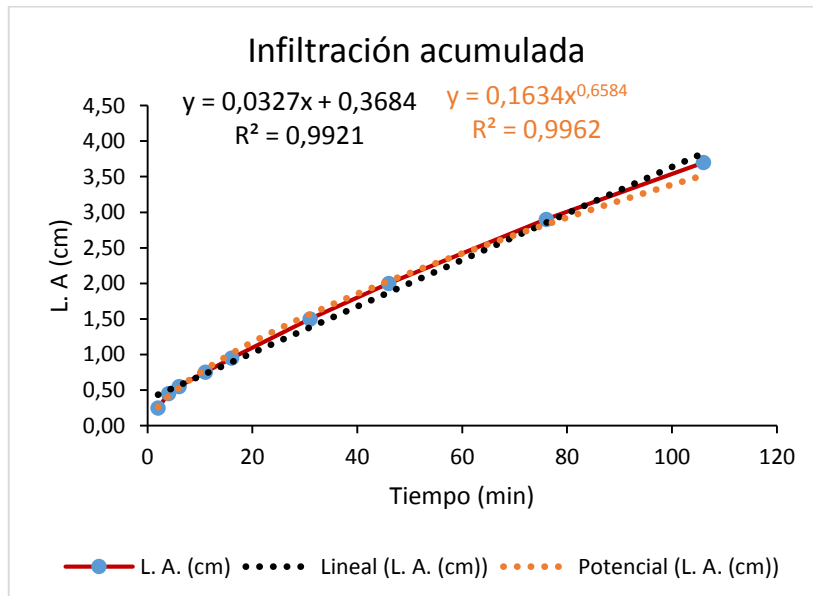


Figura 33: Curva de la lámina acumulada (cm) en el área de la finca La Libertad con el cultivo de banano

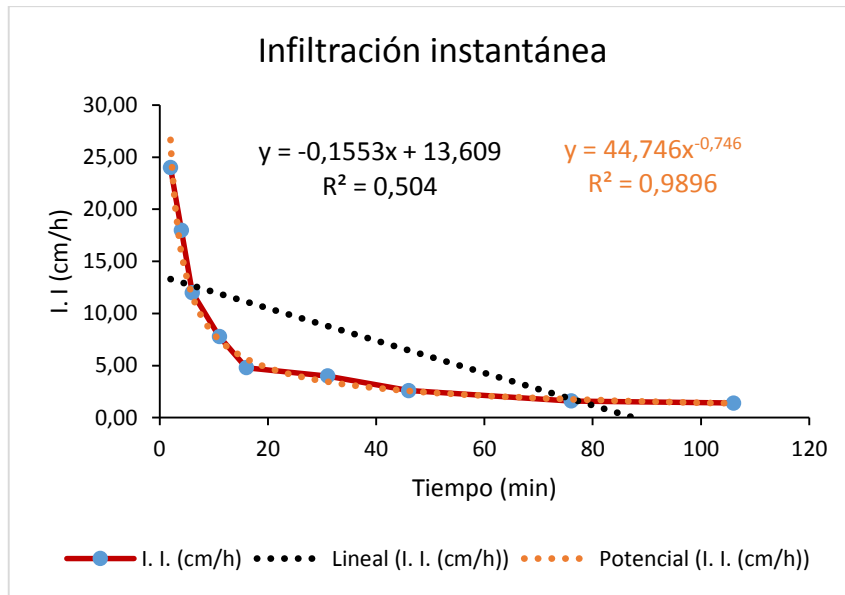


Figura 34: Curva de la infiltración instantánea (cm/h) en el área de la finca La Tola con el cultivo de cacao

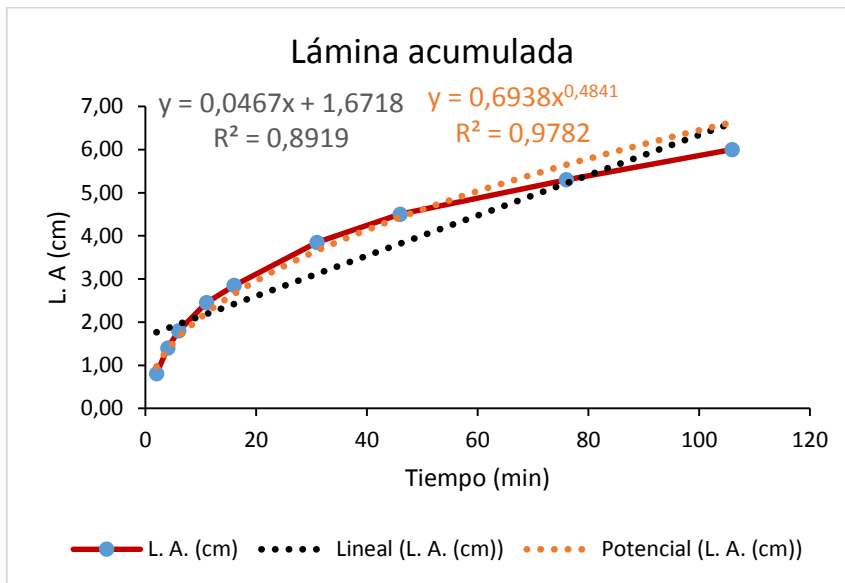


Figura 35: Curva de la lámina acumulada (cm) en el área de la finca La Tola con el cultivo de cacao

5. CONCLUSIONES

- Las propiedades físicas que resultaron relativamente homogéneas fueron el contenido de arcilla, densidad aparente, capacidad de campo medianamente heterogéneas fue limo y con mayor heterogeneidad las partículas de arena, densidad real, porosidad y punto de marchitez permanente.
- El modelo del semivariograma que mejor se ajustó en la finca La Libertad con el cultivo de banano fue el esférico con una distancia de 95 a 104 metros mientras, que en la finca la Tola fue el exponencial con una distancia de 100 a 143 metros.
- La variabilidad espacial de las propiedades físicas se las represento gráficamente por mapas mostrando las variaciones marcadas entre capas en especial entre profundidades. Siendo la alta variación en la parte norte debido al mayor contenido de arena en el área de banano.
- En la finca La Libertad y La Tola se determinaron las ecuaciones ya que, a través de estos cálculos se selecciona el tipo de aspersor y el tiempo de riego según la infiltración del agua en el suelo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado Batres, C., & Barahona-Palomo, M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración utilizados para el cálculo del balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *UNED Research Journal*, 9(1), 23–33.
<https://doi.org/10.22458/urj.v9i1.1674>
- Alvarado, A., & Forsythe, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 85–94.
- Álvarez, C. R., Fernández, P. L., & Taboada, M. A. (2012). Relación de la inestabilidad estructural con el manejo y propiedades de los suelos en la región Pampeana. *Ciencia Del Suelo*, 30(2), 173–178.
- Amaro, E. J., |marquez, E., & |llanes, J. (2019). *Diagnóstico inicial de la evolución de un suelo degradado Initial diagnosis of the evolution of a degraded soil*. 21(1), 129–138.
- Angella, G., & Salgado, R. (2018). *Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta*. October 2016.
- Arango, L. A., & Jaramillo, D. F. (2016). *Variabilidad espacial de algunas propiedades físicas y químicas de un Alfisol en el departamento de Antioquia*. 47, 9–16.
- Barrezueta Unda, S., Paz González, A., & Chabla Carrillo, J. (2017). Determinación de indicadores para calidad de suelos cultivados con cacao en provincia de El Oro-Ecuador Determination of indicators for quality of soils cultivated with cocoa in the province El Oro-Ecuador. *Revista CUMBRES*, 3(1), 17–24.
<https://doi.org/1390-9541>
- Barrios Maestre, R., & de Florentino Andreu, A. (2009). Variabilidad espacial de las propiedades físicas de dos suelos cultivados con palma aceitera en el estado monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(4), 912–924.
- Carnero, E., & Carnero, G. (2018). Análisis numérico de infiltración de agua en un suelo residual no saturado utilizando la curva de retención de agua. *Revista de Investigaciones Altoandinas -Journal of High Andean Research*, 20(4), 439–450.
<https://doi.org/10.18271/ria.2018.421>
- Chabla Carrillo, J. E. (2017). *Efecto de mejoradores físicos , químicos y biológicos de la compactación de suelos bananeros bajo sistemas de riego Autor : Julio Enrique Chabla Carrillo*. 220.
- Chinchilla, M., Mata, R., & Alvarado, A. (2011). Andisoles, Inceptisoles Y Entisoles De La Subcuenca Del Río Pirrís, Región De Los Santos, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 35(1), 83–107.
- Córdoba, M., Bruno, C., Balzarini, M., & Costa, J. L. (2012). Análisis de componentes principales con datos georreferenciados una aplicación en agricultura de precisión. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 44(1), 27–39.
- Cosentino, D., & Pecorari, C. (2002). Limos de baja densidad: Impacto sobre el comportamiento físico de los suelos de la región Pampeana. *Ciencia Del Suelo*, 20(1), 9–16.
- Delgadillo, O., & Pérez, L. (2016). Medición de infiltración del agua en el suelo:

- Método de doble anilla. *Texto de Apoyo Para Capacitación En Riego*, 34.
- Díaz, F. (2018). *Unidad académica de ciencias agropecuarias carrera de ingeniería agronómica*.
- Erazo, E., & Sandoval, D. (2015). Desarrollo de una herramienta geoestadística para elaborar mapas de variabilidad espacial de suelos. *Suelos Ecuatoriales*, 45(1), 36–40. <https://doi.org/ISSN 0562-5351>
- García-hernández, M. A., & García-hernández, M. A. (2008). Variación De La Velocidad De Infiltración Media En Seis Ecosistemas Inalterados. *Terra Latinoamericana*, 26(1), 21–27.
- Giménez, F., Monsoriu, J., & Cuador, J. (2014). A virtual laboratory for the teaching of Kriging. *Modelling in Science Education and Learning*, 7, 73–82. <https://doi.org/10.4995/msel.2014.2120>
- Giraldo h, R. (2011). Teoría y Aplicación. *Introducción a La Geoestadística*, 94.
- González, C. L., Peña, J. C. S., Abreu, R. B., Peña, F. Ó. F., Pérez, F. M., & Lorenzo, J. (2011). Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión. *Idesia*, 29(1), 59–69. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292011000100009>
- INATEC. (2016). *Prácticas De Conservación De Suelos Y Agua*. 1–122. <https://doi.org/10.1007/s10592-009-9907-z>
- INIA. (2015). Composico. *Inia Tacuarembó*, 2, 3–19.
- Jaramillo, D. (2012). Variabilidad Espacial Del Suelo: Bases Para Su Estudio. *Revista de La Facultad de Ciencias*, 1(1), 73–87.
- Largaespada, K., & Henríquez, C. (2015). *Distribución espacial de la humedad y su relación con la textura en un suelo*. 39(3), 137–147.
- Lozada, J., Lugo, L., Sánchez, D., Villarreal, A., Soriano, P., & Costa, M. (2014). *Influencia del suelo sobre las variaciones del sotobosque, en patios de rolas abandonados, Estación Experimental Caparo, Venezuela. December 2016*.
- Marcano, L., & Fermín, W. (2013). Comparación de métodos de detección de datos anómalos multivariantes mediante un estudio de simulación. *Saber*, 25, 192–201.
- Martin, E. C. (2017). *Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego. Enero*.
- Martínez, J., Vaca, V., Esteller, M., González, A., Rubí, M., & Gutiérrez, F. (2015). Mean Infiltration Speed in a Vertisol Under Different Tillage Systems. *Terra Latinoamericana*, 33(1), 95–99.
- Molera, J., & Llitjós, A. (1995). Estudio de cuatro adaptaciones escolares de método de observación y determinación de la textura del suelo. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra: Revista de La Asociación Española Para La Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 3(1), 35–39.
- Montecinos, A. J., Montalva, G. A., & Vargas, J. (2008). Comparación y proposición de métodos para determinar la conductividad hidráulica en arenas limosas. *Ingeniería Hidráulica En Mexico*, 23(2), 147–152.

- Moro, E. C., Ingaramo, O. E., Venialgo, C. A., & Gutierrez, N. C. (2005). Infiltración en un Argiustol Udico con diferentes sistemas de uso en el Departamento 9 de Julio – Chaco. *Agrotecnia*, 14(14), 14. <https://doi.org/10.30972/agr.014430>
- Novillo Espinoza, I. D., Carrillo Zenteno, M. D., Cargua Chavez, J. E., Nabel Moreiral, V., Albán Solarte, K. E., & Morales Intriago, F. L. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301>
- Ojeda, A., Mc Leod, C., Águila, K., & Pino, M. (2018). *Bases para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo del calafate in situ, para su adaptación al manejo agronómico*. 1–6.
- Oribátidos, D. D. E., Oribatida, A., Paseo, D. E. L., Bosque, D. E. L., Plata, L. A., Aires, B., Schnack, J. A., & Plata, M. (2018). *Ciencia del Suelo*. 28(2), 26.
- Piastrellini, R. (2016). Aportes a la determinación de la Huella ambiental de biocombustibles en Argentina. Influencia de los sistemas de manejo de cultivos sobre el impacto del consumo de agua, del uso del suelo y de las emisiones de gases de efecto invernadero para el biodiesel. *Ecosistemas*, 25(2), 106–109. <https://doi.org/10.7818/ecos.2016.25-2.14>
- Pizarro, R., Flores, J., Martínez, E., & Sanguesa, C. (2015). Curvas de Infiltración. *Módulo 3: Curvas de Infiltración*, 1–6.
- Poca, M., Cingolani, A. M., Gurvich, D. E., Whitworth-Hulse, J. I., & Saur Palmieri, V. (2017). La degradación de los bosques de altura del centro de Argentina reduce su capacidad de almacenamiento de agua. *Ecología Austral*, 28(1bis). <https://doi.org/10.25260/ea.18.28.1.1.497>
- Ramirez, L., Reina, A., & Camacho, J. (2008). *Variabilidad espacial de atributos físicos de un tunic haplustox de los llanos orientales de Colombia*. 4(1), 74. https://doi.org/10.14941/pregrass.4.1-2_74_1
- Rodriguez, A., Aristizábal, A., & Camacho, J. (2008). Variabilidad espacial de los modelos de infiltración de Philip y Kostiakov en un suelo Ándico Andrés. *Journal of Food System Research*, 14(2), 70–75. https://doi.org/10.5874/jfsr.14.2_70
- Torres, D., Álvarez, J., Contreras, J., Henríquez, M., Hernández, W., Lorbes, J., & Mogollón, J. P. (2017). Identificación De potencialidades y limitaciones de suelos agrícolas Del Estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 29(3), 207–218.
- Vargas S., R. D. P., Serrato C., F., & Torrente Trujillo, A. (2015). Variabilidad espacial de las propiedades físicas de un suelo Fluventic Ustropepts en la cuenca baja del río Las Ceibas - Huila. *Ingeniería Y Región*, 13(1), 113. <https://doi.org/10.25054/22161325.713>
- Villaseñor Ortiz, D. (2016). *Fundamentos y procedimientos para análisis físico morfológicos del suelo* (Primera ed).
- Villaseñor Ortiz, D., Luna Romero, E., & Jaramillo Aguilar, E. (2017). Caracterización de las propiedades morfológicas, físicas y químicas de los suelos del humedal “La Tembladera”, provincia de El Oro, Ecuador. *La Técnica: Revista de Las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, 17, 84. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i17.696

Villaseñor, D., Chabla, J., & Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia de El Oro. *Ordenamiento Territorial, Urbanismo Y Sostenibilidad*, 1, 28–34.

7. ANEXOS

Tabla 10: Infiltración instantánea (cm/hora) en el área de banano

Tiempo (min)	R1	R2	Promedio	Desv. Est.	C.V (%)
2	6	9	7,50	2,12	28,28
4	6	6	6,00	0,00	0,00
6	3	3	3,00	0,00	0,00
11	2,4	2,4	2,40	0,00	0,00
16	2,4	2,4	2,40	0,00	0,00
31	2,4	2	2,20	0,28	12,86
46	2	2	2,00	0,00	0,00
76	1,8	1,8	1,80	0,00	0,00
106	1,6	1,6	1,60	0,00	0,00

Tabla 11: Lámina acumulada en cm en el área de banano

Tiempo (min)	R1	R2	Promedio	Desv. Est.	C.V (%)
2	0,2	0,3	0,25	0,07	28,28
4	0,4	0,5	0,45	0,07	15,71
6	0,5	0,6	0,55	0,07	12,86
11	0,7	0,8	0,75	0,07	9,43
16	0,9	1	0,95	0,07	7,44
31	1,5	1,5	1,50	0,00	0,00
46	2	2	2,00	0,00	0,00
76	2,9	2,9	2,90	0,00	0,00
106	3,7	3,7	3,70	0,00	0,00

R = repetición – **C.V** = coeficiente de variación

Tabla 12: Infiltración instantánea (cm/hora) en el área de cacao

Tiempo (min)	R1	R2	Promedio	Desv. Est.	C.V (%)
2	27	21	24,00	4,24	17,68
4	21	15	18,00	4,24	23,57
6	12	12	12,00	0,00	0,00
11	8,4	7,2	7,80	0,85	10,88
16	4,8	4,8	4,80	0,00	0,00
31	4	4	4,00	0,00	0,00
46	2,8	2,4	2,60	0,28	10,88
76	1,6	1,6	1,60	0,00	0,00
106	1,4	1,4	1,40	0,00	0,00

Tabla 13: Lámina acumulada en cm en el área de cacao

Tiempo (min)	R1	R2	Promedio	Desv. Est.	C.V (%)
2	0,9	0,7	0,80	0,14	17,68
4	1,6	1,2	1,40	0,28	20,20
6	2	1,6	1,80	0,28	15,71
11	2,7	2,2	2,45	0,35	14,43
16	3,1	2,6	2,85	0,35	12,41
31	4,1	3,6	3,85	0,35	9,18
46	4,8	4,2	4,50	0,42	9,43
76	5,6	5	5,30	0,42	8,00
106	6,3	5,7	6,00	0,42	7,07

R = repetición – **C.V** = coeficiente de variación

Tabla 14: Datos para la ecuación de la velocidad de infiltración del agua en el suelo del área de banano

N°	T. (min)	I. (cm)	Log T = X	Log I = Y	X ²	Y ²	X.Y
1	2	7,50	0,301	0,875	0,091	0,766	0,263
2	4	6,00	0,602	0,778	0,362	0,606	0,468
3	6	3,00	0,778	0,477	0,606	0,228	0,371
4	11	2,40	1,041	0,380	1,084	0,145	0,396
5	16	2,40	1,204	0,380	1,450	0,145	0,458
6	31	2,20	1,491	0,342	2,224	0,117	0,511
7	46	2,00	1,663	0,301	2,765	0,091	0,501
8	76	1,80	1,881	0,255	3,537	0,065	0,480
9	106	1,60	2,025	0,204	4,102	0,042	0,413
		∑	10,987	3,994	16,221	2,203	3,862

N = número de toma de datos – **T** = tiempo – **I** = infiltración

Tabla 15: Datos para la ecuación de la infiltración acumulada del área de banano

N°	T. (min)	L. a. (cm)	Log T = X	Log L. a. = Y	X ²	Y ²	X.Y
1	2	0,25	0,301	-0,602	0,091	0,362	-0,181
2	4	0,45	0,602	-0,347	0,362	0,120	-0,209
3	6	0,55	0,778	-0,260	0,606	0,067	-0,202
4	11	0,75	1,041	-0,125	1,084	0,016	-0,130
5	16	0,95	1,204	-0,022	1,450	0,000	-0,027
6	31	1,50	1,491	0,176	2,224	0,031	0,263
7	46	2,00	1,663	0,301	2,765	0,091	0,501
8	76	2,90	1,881	0,462	3,537	0,214	0,870
9	106	3,70	2,025	0,568	4,102	0,323	1,151
		∑	10,987	0,152	16,221	1,225	2,035

N = número de toma de datos – **T** = tiempo – **L. a.** = lamina acumulada

Tabla 16: Datos para la ecuación de la velocidad de infiltración del agua en el suelo del área de cacao

N°	T. (min)	I. (cm/h)	Log T = X	Log I = Y	X ²	Y ²	X.Y
1	2	24,00	0,301	1,380	0,091	1,905	0,415
2	4	18,00	0,602	1,255	0,362	1,576	0,756
3	6	12,00	0,778	1,079	0,606	1,165	0,840
4	11	7,80	1,041	0,892	1,084	0,796	0,929
5	16	4,80	1,204	0,681	1,450	0,464	0,820
6	31	4,00	1,491	0,602	2,224	0,362	0,898
7	46	2,60	1,663	0,415	2,765	0,172	0,690
8	76	1,60	1,881	0,204	3,537	0,042	0,384
9	106	1,40	2,025	0,146	4,102	0,021	0,296
		Σ	10,987	6,655	16,221	6,503	6,028

N = número de toma de datos – T = tiempo – I = infiltración

Tabla 17: Datos para la ecuación de la infiltración acumulada del área de cacao

N°	T. (min)	L. a. (cm)	Log T = X	Log I = Y	X ²	Y ²	X.Y
1	2	0,80	0,301	-0,097	0,091	0,009	-0,029
2	4	1,40	0,602	0,146	0,362	0,021	0,088
3	6	1,80	0,778	0,255	0,606	0,065	0,199
4	11	2,45	1,041	0,389	1,084	0,151	0,405
5	16	2,85	1,204	0,455	1,450	0,207	0,548
6	31	3,85	1,491	0,585	2,224	0,343	0,873
7	46	4,50	1,663	0,653	2,765	0,427	1,086
8	76	5,30	1,881	0,724	3,537	0,525	1,362
9	106	6,00	2,025	0,778	4,102	0,606	1,576
		Σ	10,987	3,890	16,221	2,354	6,108

N = número de toma de datos – T = tiempo – L. a. = lamina acumulada



Anexo 1: Elaboración de la calicata en forma de escaleras



Anexo 2: toma de muestra con el cilindro a una profundidad de 25-50 cm para la determinación de la densidad aparente



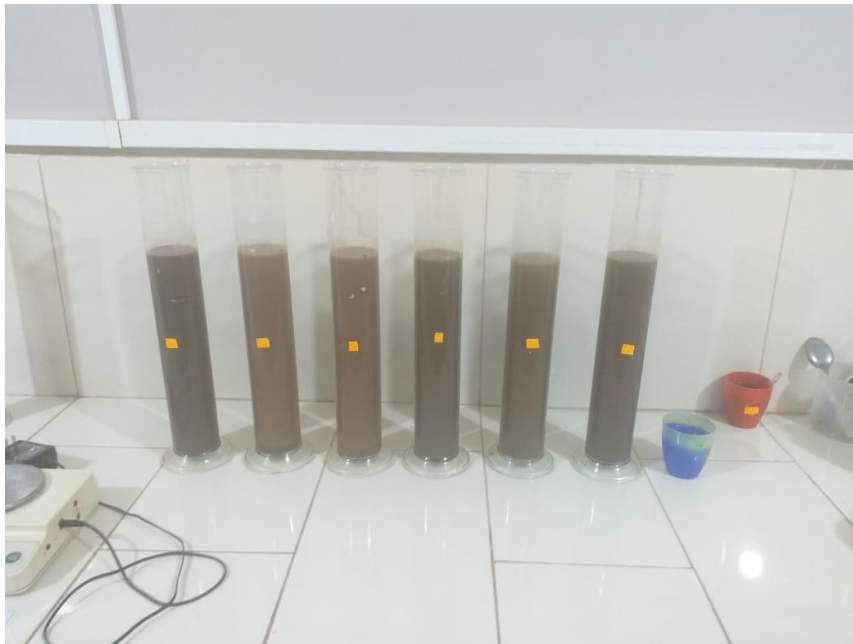
Anexo 3: Muestras extraídas en el punto 3



Anexo 4: Muestras de cilindro en el laboratorio para realizar el respectivo procedimiento



Anexo 5: Toma de peso para la determinación de la densidad aparente



Anexo 6: Determinación de textura en el proceso de 7 horas de reposo



Anexo 7: Introducción del hidrómetro para la toma de la densidad



Anexo 8: Procedimiento para determinar la densidad real



Anexo 9: Procedimiento de secado para la determinación de la densidad real



Anexo 10: Proceso de secado para la determinación de la capacidad de campo



Anexo 11: Ubicación de una funda para evitar la infiltración



Anexo 12: Toma de lecturas de la velocidad de infiltración