

Diagnóstico de la Densidad aparente en relación con otras propiedades físicas del suelo en tres sistemas productivos y bosque nativo, en terrazas altas del piedemonte llanero.

Ruth Lucena Marín Romero
Noviembre 2017.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia “UNAD”.
ECAPMA.
Agronomía

Dedicatoria

Dedico este proyecto de tesis a Dios, a mí esposo e hijos. A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mi familia, quienes a lo largo de este proceso han velado por mi bienestar, siendo mi apoyo en todo momento.

Depositando su confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar en mi capacidad y lucha continúa. Son ellos mi motor que me impulsaron por terminar este desafío. Los amo.

Agradecimientos

Los resultados de este proyecto están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación. Mis agradecimientos están dirigidos hacia la Dra, Maria Angelica Pichimata coordinadora nacional de la corporación, “CORPOICA”, quien con su interés y persistencia por mi formación me brindó esta oportunidad. A los compañeros de trabajo. A mi familia por brindarme siempre su apoyo, tanto emocional, como de comprensión por los momentos que los hice a un lado. Pero, principalmente mis agradecimientos están dirigidos hacia la asesora de trabajo Genidith Díaz y amigo, Jhon, sin el cual no hubiésemos podido salir adelante.

Gracias Dios, gracias Angelina, gracias esposo e hijos, y en especial, gracias Jhon Pinzón.

Abstract

With the purpose of characterizing the soil in three productive systems: rubber forest, pastures, transient crop and native forest, of different ages of management (16,11,20); in which it was measured; the apparent density and its relationship with four physical properties of the soil, such as: real density, porosity, penetrometry and texture. Through random sampling at three depths of the soil, five sites were taken in four systems for a total of 60 undisturbed soil samples and five sites in four systems at a depth to determine the texture in disturbed soil for a total of 20 samples, for establish if there are differences between the physical properties of the soil and the established production systems.

The soils of the forest, rubber and transient systems were obtained a textural classification of Franc Arcillo Arenoso (FArA), in the pasture system its classification was of Clay Loam (FAr).

With the results of the samplings a database was made, for its analysis, using the SAS statistical package, with descriptive statistics, analysis of variance and comparison test of means by Tuckey and D.M.S. with a level of significance of 5%, to determine how the systems (rubber, native forest, transients (Corn-Soya) and pastures (Brachiaria decumbens)), were related to the physical properties (apparent density, real density, porosity). In the forest system there were significant differences with respect to the other systems, where the difference was maintained in the three depths in the variables, apparent density, the real density, there were no differences between the systems and the porosity in the forest if there were significant differences with respect to the other systems, with a value of $P = 0.0000$.

Resumen

Con el propósito de caracterizar el suelo en tres sistemas productivos: forestal caucho, pasturas, cultivo transitorio y bosque nativo, de diferentes edades de manejo (16,11,20); en el que se midió; la densidad aparente y su relación con cuatro propiedades físicas del suelo, como: la densidad real, porosidad, resistencia a la penetración y textura. Mediante muestreos aleatorios en tres profundidades del suelo, se tomó cinco sitios en cuatro sistemas para un total de 60 muestreos de suelos sin disturbar y cinco sitios en cuatro sistemas a una profundidad para determinar la textura en suelo disturbado para un total de 20 muestras, para establecer si hay diferencias entre las propiedades físicas del suelo y los sistemas productivos establecidos.

Los suelos de los sistemas bosque, caucho y transitorios se obtuvo una clasificación textural de Franco Arcillo Arenoso (FArA), en el sistema de pasturas su clasificación fue de Franco Arcilloso (FAr).

Con los resultados de los muestreos se realizó una base de datos, para su análisis, utilizando el paquete estadístico SAS, con estadística descriptiva, análisis de varianza y prueba de comparación de medias por Tuckey y D.M.S. con un nivel de significancia del 5%, para determinar cómo los sistemas (caucho, bosque nativo, transitorios (Maíz- Soya) y pasturas (*Brachiaria decumbens*)), estuvieron relacionados con las propiedades físicas (densidad aparente, densidad real, porosidad). En el sistema de bosque se presentaron diferencias significativas con respecto a los otros sistemas, donde la diferencia se mantuvo en las tres profundidades en las variables, densidad aparente, la densidad real no hubo diferencias entre los sistemas y la porosidad en bosque si hubo diferencias significativas con respecto a los otros sistemas, con un valor de $P= 0.0000$.

Tabla de Contenido

Introducción	1
Objetivos	3
General	3
Específicos	3
Marco de referencia	4
Propiedades Físicas del Suelo	5
Densidad Aparente	5
Densidad Real	6
Porosidad	6
Textura	7
Resistencia a la penetración	7
Materiales y Métodos	8
Área de estudio.	8
Selección de los sistemas productivos	9
Plantación forestal de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>)	9
Pastura de <i>Brachiaria decumbens</i>	9
Cultivos transitorios de sorgo dulce (<i>Sorghum vulgare</i>), maíz (<i>Zea mays</i>) y soya (<i>Glycine max</i>).	10
Bosque Nativo	10
Selección sitios de muestreo	10
Variables evaluadas	10
Variables analizadas en el laboratorio.	11
Densidad aparente (D_a) - Método de volumen conocido	11
Densidad real (D_r) - Método de picnómetro	11
Textura por Bouyoucos - Método de Hidrómetro	12
Variables analizadas en el campo	13
Resistencia a la Penetración	13
Caracterización física de los cuatro sistemas evaluados- Caucho- Bosque- Transitorios- Pastos.	15
Análisis Estadístico	21
Lista de referencias	23
Anexos	25

Lista de tablas

Tabla 1. Valores de densidad real de los principales materiales y horizontes edáficos.....	14
Tabla 2. Valores críticos de densidad aparente en función de la textura.....	14
Tabla 3. Promedio de Variables.....	15
Tabla 4. Promedio de Variables.....	16
Tabla 5. Promedio de Variables.....	17
Tabla 6. Comportamiento de la Resistencia a la Penetración en los cuatro sistemas.....	18
Tabla 7. Comparación múltiple.....	21

Lista de figuras

Ilustración 1. sitio de muestreo	8
Ilustración 2. Equipo determinador de la Densidad real.....	12
Ilustración 3. Método de hidrómetro- registro fotográfico	13
Ilustración 4. Gráfica residencia mecánica a la penetración en los cuatro	19
Ilustración 5. Texturas	20

Lista de anexos

Anexo A. Resultados Física de suelos - Caucho.....	25
Anexo B. Resultados física de suelos Bosque	26
Anexo C. Resultados física de suelos Transitorios.....	27
Anexo D. Resultados física de suelos Pastos.....	28
Anexo E. Triángulo de texturas según la USDA	29
Anexo F. Prueba de Tukey.....	30
Anexo G. Presentación de la textura en los sistemas.....	31

Introducción

El suelo es un subsistema importante de los ecosistemas productivos con características físicas, químicas y biológicas decisivas en su desarrollo, que en su ciclo determinan sus propiedades y los cambios que ocurren a través de un largo lapso, como también la influencia por el resultado del cambio de uso del suelo. El uso excesivo de los suelos ha permitido cambios en sus propiedades consiguiendo la disminución en su capacidad productiva mediante la influencia sobre el follaje y tipos de usos potenciales en la agricultura (Hernández A A. M., 2004; Hernández A A. M., 2006)

Las propiedades físicas que influyen sobre la estructura del suelo son la profundidad del espacio donde se hace posible el desarrollo de raíces, la retención de humedad (capacidad de agua útil, drenaje) y del aire (macroporosidad), son estas junto con las condiciones climáticas, los principales actores del cambio en la composición de la vegetación de los sistemas productivos, además de la actividad del hombre que provocan el apareamiento de procesos de degradación de las propiedades de los suelos (Oldeman IR, 1990; Kumar A, 2009). Procesos que afectan principalmente en las propiedades físicas, como son: la densidad aparente (D_a), porosidad total (P_t), la capacidad de campo (C_C) y la humedad.

El papel del agrónomo es mejorar el suelo, mantener la productividad a través de un manejo planeado, minimizando el impacto ambiental (Shibu, 2009). En este contexto, es importante saber la influencia de las especies arbóreas sobre la estructura de los suelos, de ahí lo importante de los proyectos en recuperación de áreas degradadas o en el manejo de sistemas que tiendan a la

sostenibilidad de la producción de alimentos y la seguridad alimentaria de las generaciones futuras. (Gliessman, 2002; Montagnini F., 1995)

Los cambios en la estructura de los suelos modifican las propiedades físicas como la Densidad aparente (Da), la Porosidad Total (Pt), la infiltración y la Capacidad de Campo (CC) (Montiel, 2000). Cambios que pueden ser alterados por las labores de los cultivos, entretanto la textura no cambia por las operaciones usuales de laboreo, el predominio de la textura arcillosa, permite que la velocidad de infiltración disminuya a medida que se reduce el espacio poroso del mismo; donde la dimensión de los poros ocasiona un aumento de la Densidad aparente (Da) (Duchaufour Ph, 1987).

Objetivos

General

Determinar la densidad aparente en tres sistemas productivos: forestal, pastura, cultivo transitorio y bosque nativo en terraza altas del piedemonte llanero, para relacionarlas con otras propiedades del suelo como: la Densidad real, porosidad, resistencia a la penetración y la textura.

Específicos

- Estudiar la variabilidad de la densidad aparente en los sistemas productivos y relacionarlos con algunas propiedades del suelo.
- Determinar las diferencias de las propiedades físicas del suelo con relación al sistema productivo establecido.
- Establecer cuáles de estas propiedades tiene mayor relevancia en la compactación, de los sistemas productivos

Marco de referencia

En la región de la Orinoquia Colombiana, está ubicado el piedemonte llanero en la cordillera oriental con alturas que van desde los 200 a 700 msnm. Es un paisaje depositacional, correspondiente a una planicie ligeramente inclinada (CORPOICA, 2007), es una zona de transición entre la vertiente de la cordillera oriental y la llanura, se extiende desde la sierra de la macarena, al sur del departamento del Meta, hasta Arauca, en los límites con Venezuela, tiene una extensión total de 2.010.000 hectáreas. (Rincón & Caicedo, 2010)

La cobertura vegetal en el piedemonte presenta actualmente pocas áreas en bosque y pasto nativo, predominando pastos introducidos del género *Brachiaria*, manejados en sistemas de producción intensivos, dedicados principalmente a la ceba y en menor proporción al doble propósito, siendo uno de los paisajes más productivos económicamente y el de mejor manejo agrícola y pecuario.

El detrimento y la degradación paulatina del recurso suelo es un problema ambiental, debido al cambio en su uso y a prácticas inadecuadas de manejo agrícola y pecuario, esto ha permitido a los científicos a indagar métodos que permitan evaluar la influencia y los efectos que los sistemas productivos creados en sitios que eran bosques o sabanas naturales han generado sobre el sistema suelo, estableciendo parámetros que permitan evaluar el impacto ambiental. (Valenzuela B. & Torrente T., 2010).

Según los investigadores, (Rincón & Caicedo, 2010) los suelos del piedemonte son físicamente frágiles, lo que limitan el uso de maquinaria agrícola. Son suelos de un nivel de

fertilidad superior al resto de los suelos de los Llanos Orientales, poco lixiviados y reciben nutrimentos de la zona alta de la cordillera.

Propiedades Físicas del Suelo

Las propiedades físicas del suelo, y los métodos físicos que ocurren intrínsecamente y en su superficie favorecen a un uso más ecuánime de estos, ocasionando disminuir debidamente ciertas situaciones al momento de solucionar contratiempos en la producción, las propiedades físicas del suelo establecen el crecimiento de las raíces, la dinámica del agua y aire.

Densidad Aparente

Masa de suelo por unidad de volumen (g/cm^3), refiere a la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Håkansson, 2010). Es una forma de evaluar la resistencia del suelo al crecimiento de las raíces, además para convertir datos expresados en concentraciones a masa o volumen, datos que se utilizan en fertilidad y fertilización de cultivos, la densidad aparente varía con la textura y el contenido de materia orgánica; se puede modificar debido al efecto de labranza y con la humedad del suelo, siendo más frecuentes en los suelos con arcillas. (Taboada & Alvarez, 2008).

La densidad aparente puede variar en su resultado debido a diferentes factores como la textura, estructura, tipo de mecanización, contrario a la densidad real, que es más constante.

Los suelos de textura fina, bien estructurados y con altos contenidos de materia orgánica presentan valores más bajos de densidad aparente que los suelos de textura gruesa, poco estructurados y con bajos contenidos de materia orgánica. (Tabla 2)

Densidad Real

Es la relación entre el peso del suelo y el volumen de las partículas que lo conforman, sin incluir el espacio poroso, su variación está entre 2,6 y 2,7 g/cm³ (Taboada & Alvarez, 2008), con contenido de partículas individuales de arena, limo, arcilla y materia orgánica, se determina obteniendo el peso seco de la muestra del suelos y el volumen ocupado por los sólidos de la muestra, el volumen se halla por medio de un picnómetro, que es un instrumento de medición, la densidad de los diferentes minerales de formación del suelo son muy semejante. Por lo general los suelos tienen un promedio de alrededor de 2,65 g/cm³ (Plaster, 2004) que corresponde al peso ponderado de las partículas minerales constituyentes. (Tabla1).

Porosidad

Esta propiedad está determinada por las características cuantitativas y cualitativas del espacio del suelo no ocupado por sólidos, denominado espacio poroso. La porosidad está relacionada con la textura. La densidad aparente, la consistencia y la estructura. (RucksL, 2004)

La porosidad se mide por la relación en la densidad aparente y la densidad real, la porosidad también se puede definir como la máxima capacidad para almacenar agua. (Ramirez R. & Salazar C., 2009).

La porosidad total (PT), determina la capacidad que tiene para almacenar agua o aire, siendo una medida principal para el desarrollo y conservación de las plantas y para la actividad biológica del suelo. Puede calcularse a partir de los valores de densidad aparente (Da) y densidad real (Dr) considerando la relación de estos dos parámetros con el volumen total (VT):

$$PT = 1 - \frac{Da}{Dr} \times 100$$

Textura

La textura propiedad que constituye las cantidades en que se hallan las partículas de diámetro menor de 2mm, agrupadas en tres clases por tamaños; Arena, Limo y Arcillas, siendo uno de los atributos más inalterables en el suelo.

Los suelos con alto contenido de arenas retienen poca agua, debido a los grandes espacios entre sus partículas, caso contrario a las arcillas en un suelo tiende a la retención del movimiento del agua y aire, siendo adhesivo a altos contenidos de humedad con capacidad de retener agua y difíciles de laborar. (RucksL, 2004)

Resistencia a la penetración

Indicador de calidad del suelo, como producto de los efectos de algunas propiedades como la Densidad aparente y el contenido de humedad, se considera de gran importancia sobre la compactación del suelo y su relación con el enraizamiento, esta propiedad sea usada como una herramienta de determinación inicial sobre la condición física del suelo (Raper & Kirby, 2006); el valor crítico de resistencia mecánica a la penetración que impide la elongación radical de los cultivos varía entre 0,9 y 3 MPa, (Taboada & Alvarez, 2008).

Materiales y Métodos

Área de estudio.

El trabajo se desarrolló en el centro de investigación La Libertad de CORPOICA, localizado en el departamento del Meta, con una posición geográfica $4^{\circ} 04'$ de latitud Norte $73^{\circ} 30'$ longitud Oeste a una altura 336 msnm, en el kilómetro 17 de la vía Villavicencio Puerto López; cuyo clima es tropical con temperatura promedio de 26°C , una precipitación anual promedio de 2900 mm y una humedad relativa promedio de 85%.



Ilustración 1. Sitio de muestreo

El Centro de Investigación La Libertad cuenta con una superficie de 1342 hectáreas conformada por terrazas aluviales de topografía ligeramente plana. La vegetación natural

corresponde al bosque húmedo tropical de acuerdo al sistema Holdridge y actualmente se ha eliminado en su gran mayoría para establecer distintos sistemas agropecuarios productivos característicos del piedemonte llanero (Rincón & Caicedo, 2010).

Los suelos de La Libertad geomorfológicamente se encuentran divididos en terrazas altas, medias y bajas.

Selección de los sistemas productivos

Se seleccionaron tres sistemas productivos predominantes en la región y un bosque nativo:

Plantación forestal de caucho (*Hevea brasiliensis*).

Este sitio hizo parte de una pradera de *Brachiaria decumbens*, seguidamente en 2001 se establece la plantación de caucho, destinado a formar parte de un sistema agroforestal, con un sistema de siembra en triángulo en surcos dobles a 3 por 2.5 metros, 13 metros entre cada surco doble, con una densidad de 560 árboles por hectárea, en el espacio entre los surcos dobles se asociaron cultivos de leguminosas.

Pastura de *Brachiaria decumbens*.

El suelo en donde se encuentra la pastura probablemente en un principio estuvo bajo bosque nativo, el cual se cambió para establecer praderas de *Brachiaria decumbens*, que en el 2006 se establece paralelamente arroz y pasto Llanero, desde el año 2010 se renueva con *Decumbens*, como pastoreo que es el existente.

Cultivos transitorios de sorgo dulce (*Sorghum vulgare*), maíz (*Zea mays*) y soya (*Glycine max*).

En este sitio en donde se encuentran ubicados los cultivos transitorios, originalmente pasto nativo, el cual se remplazó en la década de los 80 para establecer praderas de *Brachiaria decumbens*, en 1996 las pasturas se habían degradado que fueron remplazadas por cultivos transitorios hasta la fecha, encontrándose maíz- soya.

Bosque Nativo.

En este espacio no ha sido intervenido por el hombre, encontrándose vegetación natural.

Selección sitios de muestreo

Para la realización de los muestreos se selecciona tres sistemas productivos consistentes en Plantación forestal de Caucho, Pastura, cultivos Transitorios y Bosque nativo, característicos del piedemonte llanero, en cada uno de ellos se ubican cinco sitios, en los cuales se hace muestreos de manera aleatoria.

Variables evaluadas

Densidad Aparente	Volumen conocido – cilindro
Densidad Real	Picnómetro
Porosidad total	Formula $P = 1 - (D_a/D_r) * 100$
Textura	Bouyoucos –Hidrómetro
Resistencia a la penetración	Penetrometro (Eijkelkamp Penetro Viewer Vs. 6.08)

En total se muestrearon 5 sitios; para determinar textura por Bouyoucos se tomaron 20 muestras de suelo disturbadas a una profundidad de 20cm en bolsas plásticas rotuladas; para determinar Densidad aparente (D_a), Densidad Real (D_r), Porosidad Total(PT), 60 muestras de suelo sin disturbar en cilindros de acero inoxidable de 2 pulgadas de diámetro y 5 cm de altura, a tres profundidades 0-10, 10-20, 30-40 y para el análisis de la resistencia a la penetración se realizó con un penetrometro (Eijkelkamp Penetro Viewer Vs. 6.08) tomando lecturas cada 2cm hasta una profundidad de 40cm, evaluando 60 sitios alrededor de cada uno de los sitios de muestreo.

VARIABLES ANALIZADAS EN EL LABORATORIO.

Densidad aparente (D_a) - Método de volumen conocido

Para determinar la densidad aparente de la muestra que se toma en el campo, la muestra de suelo de volumen conocido se seca en el horno (memmert U40) a 105°C por 24 horas; para calcular la densidad aparente se divide el peso seco del suelo por el volumen del anillo de acero, el resultado corresponde a la D_a de la muestra.

Densidad real (D_r) - Método de picnómetro

A partir de la muestra de suelo utilizada para determinar la D_a ya seca, se muele y se pasa por tamiz de 2mm, se toman los picnómetros y se pesan vacíos, a los picnómetros se les agregan 2g de suelo, se pesa nuevamente, y se agrega agua destilada hasta un 1/3 del picnómetro, se lleva el picnómetro destapado a la campana de vidrio al vacío por dos horas, se saca y se agrega agua destilada hasta 2/3 partes del volumen se lleva nuevamente a la campana de vacío y se coloca

por una hora, hasta que hayan salido las burbujas de aire que contiene el suelo, se saca de la campana el picnómetro se tapa y se pesa, con este valor se realizan los cálculos de Dr.



Ilustración 2. Equipo determinador de la Densidad real

Textura por Bouyoucos - Método de Hidrómetro

Para determinar el porcentaje de fracciones granulométricas, a las muestras previamente tomadas en campo se les retira la materia orgánica: se secan a medio ambiente; luego se pasan por un tamiz de 2mm, se pesan 50 gramos de muestra y se vierten en un Beaker de 250ml, se agrega 10 ml de solución de agente dispersante (hexametáfosfato de sodio y carbonato de sodio), se agrega 200ml de agua, se pasa a un agitador (Batidora Hamilton Beach) por 10 minutos, seguidamente se llevan a una probeta de 1000ml, completando el volumen, se agita manualmente, a los 40 segundo se introduce el hidrómetro se toma lectura para hallar las arenas,

se deja en reposo por 2 horas para hallar las arcillas, para hallar limos se hace mediante la diferencia de 100- (Arena – Arcilla). Para clasificar la textura se utiliza el triángulo textural según USDA. (Anexo E).



Ilustración 3. Método de hidrómetro- registro fotográfico

Variables analizadas en el campo

Resistencia a la Penetración

Para realizar la medición de la resistencia a la penetración mecánica se utilizó un Penetrometro Eijkelkamp Penetro Viewer Vs. 6.08 de cono, en cinco puntos diferentes de cada uno de los sistemas, con lecturas cada 2cm hasta que una profundidad de 40 cm.

Figuras y Tablas

Tabla 1. Valores de densidad real de los principales materiales y horizontes edáficos

Materiales minerales	
<i>Minerales de arcilla</i>	<i>2,00-2,60 Mg.m⁻³</i>
<i>Cuarzo, Feldespato</i>	<i>2,50-2,60 Mg.m⁻³</i>
<i>Minerales con elementos metálicos</i>	<i>4,90-5,30 Mg.m⁻³</i>
<i>Horizontes minerales</i>	<i>2,60-2,75 Mg.m⁻³</i>
<i>Horizontes orgánicos</i>	<i>1,10-1,40 Mg.m⁻³</i>
<i>Horizontes ricos en metales pesados</i>	<i>2,75 Mg.m⁻³</i>
<i>Valor medio para suelos minerales</i>	<i>2,65 Mg.m⁻³</i>

Fuente (Modificada de Porta y cols., 1999)

Tabla 2. Valores críticos de densidad aparente en función de la textura

Textura	Densidad Aparente crítica (mg m⁻³)
Franco arcilla	1,55
Franco limosa	1,65
Franco arenosa fina	1,80
Arenosa franca fina	1,85

Fuente: (Porta y cols., 1999)

Resultados y discusión

Caracterización física de los cuatro sistemas evaluados- Caucho- Bosque- Transitorios- Pastos.

El análisis descriptivo físico se obtiene de los anexos A, B, C y D.

Tabla 3. Promedio de Variables

Propiedades físicas a 0-10			
Sistema	Da	Dr	Poros
	g/cm ³		%
Caucho	1,35	2,66	49
Bosque Nativo	0,89	2,65	66
Transitorios	1,35	2,62	48
Pasturas	1,29	2,65	51

Datos obtenidos en análisis físico (fuente propia)

Los suelos analizados en cada uno de los sistemas presentan porosidad total mayor del 50% a una profundidad de 0-10cm en bosque nativo y pasturas, a excepción de caucho y transitorios que está por debajo del 50%.

Los suelos con porosidades menores a 50% presentan una mala aireación y el drenaje está catalogado entre moderado a regular, contrario en bosque nativo que presenta una porosidad mayor del 50% lo que permite un drenaje mayor, esto quizás por la no intervención del hombre.

El valor de la porosidad encontrada en los sistemas productivos estudiados es superior a la normal según reporte de Amézquita, Molina y Hoyos (2003) para suelos franco-arcillosos (45%) y franco arenoso (40%) de la Orinoquia colombiana

Tabla 4. Promedio de Variables

Propiedades físicas a 10-20			
Sistema	Da	Dr	Poros
		g/cm³	%
Caucho	1,41	2,65	47
Bosque Nativo	1,11	2,63	58
Transitorios	1,41	2,63	46
Pasturas	1,47	2,65	44

Datos obtenidos en análisis físico (fuente propia)

Los análisis en la profundidad de 10-20 cm, presentan una porosidad total menor a 50% en los sistemas de caucho, transitorios y pasturas, el bosque nativo presenta un valor mayor al 50% de poros.

Tabla 5. Promedio de Variables

Propiedades físicas a 20-30						
Sistema	Da	Dr	Poros	Textura		
	g/cm³		%	Arena	Limo	Arcillas
Caucho	1,48	2,67	45	45,58	27,17	27,26
Bosque Nativo	1,19	2,64	55	57,52	20,19	22,29
Transitorios	1,18	2,61	55	56,22	21,03	22,74
Pasturas	1,45	2,66	45	32,49	31,27	36,24

Datos obtenidos en análisis físico (fuente propia)

Los datos obtenidos para la densidad aparente oscilan entre y 0.80 g/cm³ y 1,46 para la profundidad 0-10cm, en la profundidad 10-20 varía entre 0,81 y 1,57 g/cm³, para las profundidades 20-30 varía entre 1,0 y 1,53 g/cm³.

El valor promedio de la densidad aparente en los cuatro sistemas en el primer perfil 0-10 es de 1,22 g/cm³, en el perfil de 10-20cm fue de 1.35g/cm³, en el perfil de 20-30 fue de 1,32 g/cm³.

El análisis en la profundidad de 20-30, se presenta porosidades entre 45 y 55%, siendo los mejores el sistema de bosque nativo y sistema de transitorios con mejor porosidad y mayor porcentaje de Arenas; para los sistemas de pasturas y caucho, presentan un valor menor al 50% de poros y arenas.

El valor de la densidad aparente encontrada en los sistemas caucho, bosque y transitorios, en las tres profundidades es inferior a la normal reportada por Amézquita, Molina y Hoyos (2003) para un suelo franco arcilloso de la Orinoquia colombiana (1,46 g/cm³). Para los mismos suelos,

Almansa, Bernal y Argüello (2006) consideran que un valor de $1,3 \text{ g/cm}^3$ permite una adecuada aireación y movimiento del agua. (Imagen 4)

Tabla 6. Comportamiento de la Resistencia a la Penetración en los cuatro sistemas

Profundidad	Caucho	Bosque	Transitorios	Pastos
0	0,8	0,5	0,6	0,9
10	1,42	0,95	0,70	1,49
20	1,90	1,24	1,30	
30	2,10	1,60	1,70	
40	2,30	1,81	2,00	

Fuente obtenida en análisis físico (Elaboración propia)

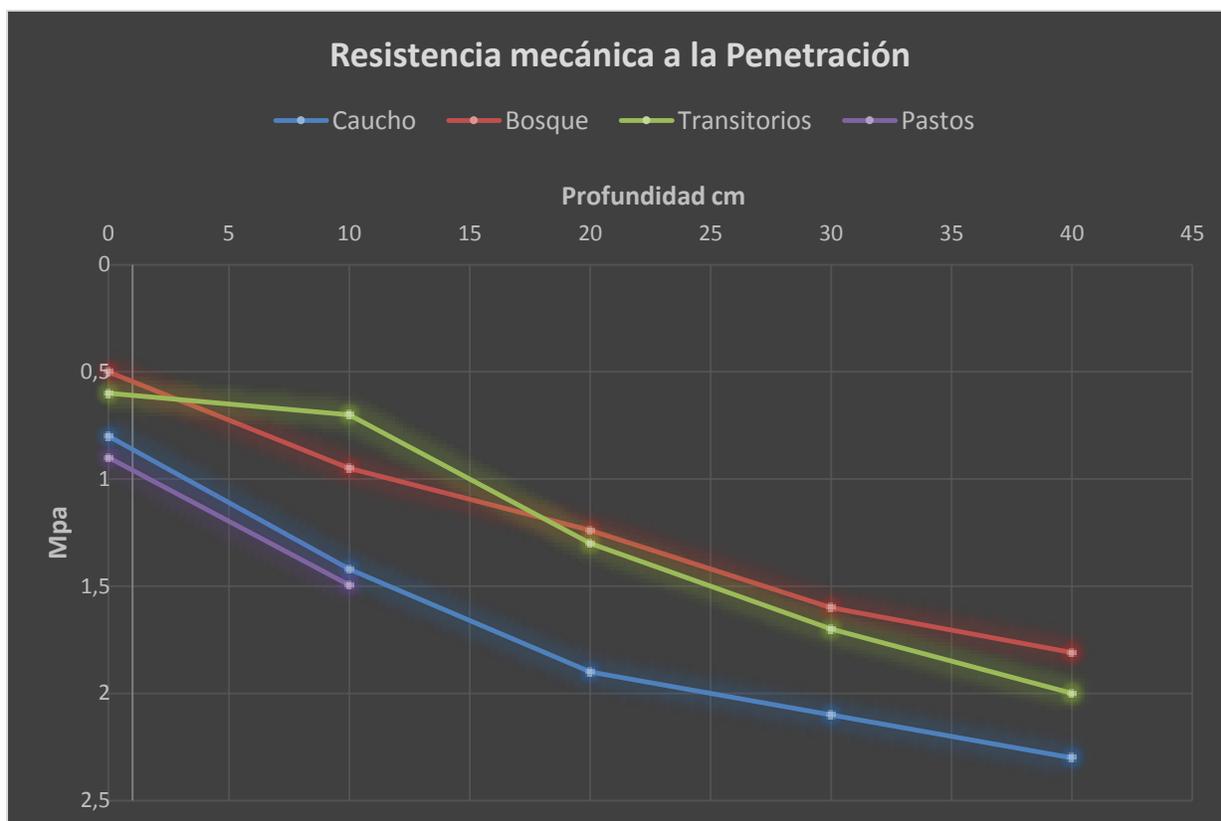


Ilustración 4. Gráfica resistencia mecánica a la penetración en los cuatro sistemas

La resistencia a la penetración presenta valores mayores de 2,0 MPa, en los sistemas de caucho y transitorios a una profundidad de 40cm. Los valores son mayores en caucho, que varía entre 0,8 y 2,30 MPa, los sistemas con valores menores a 2.0 MPa, fue en Bosque que varía entre 0,5 y 1,81; en pastos los valores fueron menores con respecto a los otros sistemas a una profundidad de 10cm, donde variaron entre 0.9 y 1,49 MPa, aunque la resistencia en algunos de los sistemas es crítica, en el transitorios a 10cm presenta una resistencia de 0,7 MPa.

El valor crítico de resistencia mecánica a la penetración que impide el desarrollo radical de los cultivos varía entre 0,9 y 3 MPa. (Taboada & Alvarez, 2008).

Los suelos en los sistemas bosque, caucho y transitorios se obtuvo una clasificación

textural de Franco Arcillo Arenoso (FArA), en el sistema de pasturas su clasificación fue de Franco Arcilloso (FAr), siendo pasturas con el mayor porcentaje de Arcillas. (Anexo E).

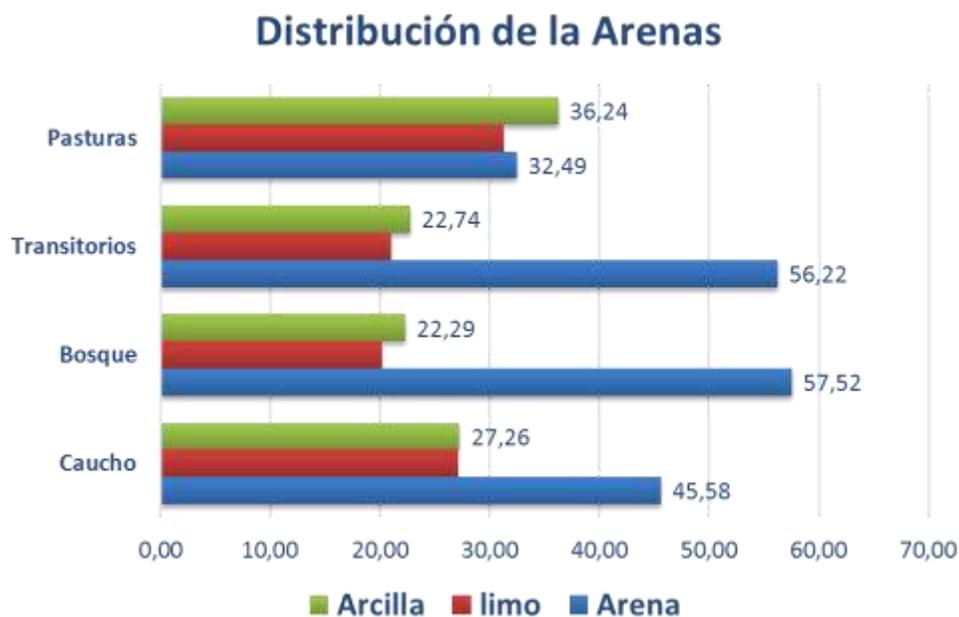


Ilustración 5. Texturas

Para los sistemas se presentaron los porcentajes de las siguientes texturas (Anexo G):

En caucho con un 60% Franco Arcilloso Arenoso (FArA) y 40% Franco Arcilloso (FAr).

Bosque con un 80% de Franco Arenosa (FA) y un 20% Franco Arcilloso (FAr)

Transitorio con un 40% Franco Arenoso (FA), 40% Franco Arcilloso Arenoso (FArA) y 20% Franco Arcillosa (FAr).

Pasturas con un 100% Franco Arcillosa (FAr)

Análisis Estadístico

El procesamiento de los datos se hizo mediante el paquete SAS.

En el sistema de bosque en las variables de densidad aparente y porosidad hubo diferencia significativa en las tres profundidades, con respecto a los otros sistemas.

Pruebas de múltiples rangos para densidad aparente por sistema

Se realizó el método de ANOVA simple, procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, donde muestran diferencias significativas con un nivel del 95% de confianza. Tukey HSD, con el método empleado para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 7. Comparación múltiple

<i>Sistema</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Bosque	15	1.064	X
Transitorios	15	1.31267	X
Pasturas	15	1.40333	X
Caucho	15	1.414	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Bosque - Caucho	*	-0.35	0.130363
Bosque - Pasturas	*	-0.339333	0.130363
Bosque - Transitorios	*	-0.248667	0.130363
Caucho - Pasturas		0.0106667	0.130363
Caucho - Transitorios		0.101333	0.130363
Pasturas - Transitorios		0.0906667	0.130363

Dato obtenido de ANOVA Simple

Lista de referencias

- Amézquita E.; Hoyos P.; Molina D. L. 2003. Porqué construir capas arables en Suelos de la Altillanura Colombiana. (En prensa).recuperado el 09 de noviembre de 2017.
- CORPOICA. (2007). Fundamentos biofísicos y socioeconómicos para la formulación de propuestas productivas para la Orinoquia alta Colombiana. En C. M. Corpoica.. Villavicencio, Meta, Colombia. Recuperado el 25 de 06 de 2017
- Duchaufour Ph, S. B. (1987). Edafología. 2 Constituyentes y Propiedades del Suelo. Bio Ciencias, 461. Recuperado el 06 de noviembre de 2017
- Gliessman, R. (2002). Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Bio Ciencias. Recuperado el 09 de noviembre de 2017
- Håkansson, K. &. (2010). Estmation of referente bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter conten. 398-406. Recuperado el 21 de 04 de 2017
- Hernández A, A. M. (2004). Problemas Actuales de Clasificación énfasis en Cuba. Bio Ciencias, 221. Recuperado el 11 de noviembre de 2017
- Hernández A, A. M. (2006). Fundamentos de la formación del suelo, cambios globales y su manejo. Bio Ciencias, 1(3), 15-25. Recuperado el 11 de noviembre de 2017
- Kumar A, &. K. (2009). Land degradation issues in Nepal and its management trough agroforestry. Agrícola y Medio Ambiente, 115-123. Recuperado el 11 de noviembre de 2017
- Montagnini F., F. A. (1995). Estudios de restauración en la Región del Bosque Atlántico de Bahía. Bio Ciencias, 5-12. Recuperado el 11 de noviembre de 2017
- Montiel, N. (2000). Bases del enfoque ecosistémico para la restauración ambiental. UNAM. Recuperado el 10 de noviembre de 2017
- Oldeman IR, V. V. (1990). The extent of human induced soil degradation. Bio Ciencias.
- Plaster, E. J. (2004). La ciencia del suelo y su manejo. Recuperado el 04 de noviembre de 2017
- Ramirez R. & Salazar C. (2009). En C. d.-m. montaña. Colombia: Universidad Ncional de Colombia. Recuperado el 12 de 06 de 2017
- Raper, J., & Kirby, R. &. (2006). Soil compaction: how to do it, undo it, or avoid doing it. Estados Unidos. Recuperado el 10 de 04 de 2017

- Rincón, A., & Caicedo, S. (2010). Monitoreo de las condiciones de los suelos establecidos con la asociación maíz/pastos para la recuperación praderas degradadas en el piedemonte llanero. Recuperado el 04 de 05 de 2017
- RucksL, G. F. (2004). propiedades físicas del suelo. Uruguay: Facultad de Agronomía- Universidad de la República. Recuperado el 17 de 05 de 2017
- Shibu, J. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. Agroforestry systems. 76, 1-10. Recuperado el 11 de noviembre de 2017
- Taboada & Alvarez. (2008). Fertilidad física de los suelos. (2ª, Ed.) Recuperado el 18 de 05 de 2017
- Valenzuela B., I., & Torrente T., A. (2010). Física de suelos. En: Burbano O., H. y Silva M., F. (Eds). SCC,S sociedad colombiana de la ciencia del suelo, 139-211. Recuperado el 08 de noviembre de 2017.

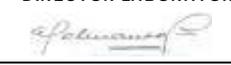
Anexos

Anexo A. Resultados Física de suelos - Caucho

										C.I LA LIBERTAD SERVICIO DE LABORATORIO										REGISTRO N° 54			
SOLICITANTE: <u>RUTH LUCENA MARIN</u>					NOMBRE FINCA: <u>LA LIBERTAD</u>					DIA <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">12</div>		MES <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">11</div>		AÑO <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2017</div>									
DIRECCION: <u>Km 17 via Puerto ópez</u>					ENTIDAD SOLICITANTE: <u>UNAD</u>																		
					DEPARTAMENTO: <u>META</u>											MUNICIPIO: <u>VILLAVICENCIO</u>							
RESULTADO DE ANALISIS FISICO DE SUELOS																							
No. LABORAT.	PROF. Cm	SISTEMA	CONDUCC. HIDRA (cm/h)		HUMEDAD %	TENSION (BARES)					D. A g/cm ³	D. R. g/cm ³	POROS TOTAL (%)	TEXTURA POR BOUYUCOS (%)									
			VALOR	CLASIFICACION		%	SATURACION	0,1	0,3	1,5				5,0	15,0	ARENA	LIMO	ARCILLA	CLASE				
FS17-15601	0-10	CAUCHO										1,39	2,64	48									
FS17-15602	10-20												1,39	2,62	47								
FS17-15603	20-30												1,43	2,60	45	54	21	24	F.Ar-A				
FS17-15604	0-10												1,26	2,69	53								
FS17-15605	10-20												1,39	2,65	48								
FS17-15606	20-30												1,46	2,69	46	46	27	26	F.Ar-A				
FS17-15607	0-10												1,33	2,66	50								
FS17-15608	10-20												1,48	2,63	44								
FS17-15609	20-30												1,53	2,68	43	59	23	18	F.Ar-A				
FS17-15610	0-10												1,45	2,65	45								
FS17-15611	10-20												1,46	2,66	45								
FS17-15612	20-30												1,49	2,68	44	34	31	35	F.Ar				
FS17-15613	0-10												1,34	2,67	50								
FS17-15614	10-20												1,34	2,66	50								
FS17-15615	20-30												1,47	2,70	45	34	33	33	F.Ar				
METODOLOGIAS Densidad Aparente Volumen conocido Densidad Real Pienometro Porosidad Calculo (1-(Da/Dr))*100 Textura Boutoucos-Hidrometro					FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS <u>Noviembre 13/2017</u>					DIRECTOR LABORATORIO  <u>Edgar Fernando Almanza M.</u>													

Anexo B. Resultados física de suelos Bosque

No.		PROF.	SISTEMA	CONDUCT. HIDRA (cm/h)		HUMEDAD	%	TENSION (BARES)					D. A	D. R.	POROS	TEXTURA POR BOUYUCOS (%)				
LABORAT.		Cm		VALOR	CLASIFICACION	%	SATURACION	0,1	0,3	1,5	5,0	15,0	g/cm ³	g/cm ³	TOTAL (%)	ARENA	LIMO	ARCILLA	CLASE	
FS17-15616		0-10	BOSQUE										0,84	2,67	69					
FS17-15617		10-20												1,30	2,59	50				
FS17-15618		20-30												1,20	2,61	54	63	17	20	F-A
FS17-15619		0-10												0,90	2,63	66				
FS17-15620		10-20												1,20	2,63	55				
FS17-15621		20-30												1,29	2,63	51	67	15	18	F-A
FS17-15622		0-10												0,81	2,66	70				
FS17-15623		10-20												0,81	2,66	70				
FS17-15624		20-30												1,14	2,66	57	65	17	18	F-A
FS17-15625		0-10												1,01	2,63	62				
FS17-15626		10-20												1,06	2,63	60				
FS17-15627		20-30												1,22	2,64	54	59	19	22	F-A
FS17-15628		0-10												0,90	2,65	66				
FS17-15629		10-20												1,18	2,63	55				
FS17-15630		20-30												1,10	2,63	58	34	33	33	F-Ar

METODOLOGIAS Densidad Aparente Volumenes conocido Densidad Real Pícnometro Porosidad Cálculo $(1 - (D_a/D_r)) * 100$ Textura Boutoucos-Hidrometro		FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS Noviembre 13/2017	DIRECTOR LABORATORIO  Edgar Fernando Almanza M.
--	--	--	---

Anexo C. Resultados física de suelos Transitorios

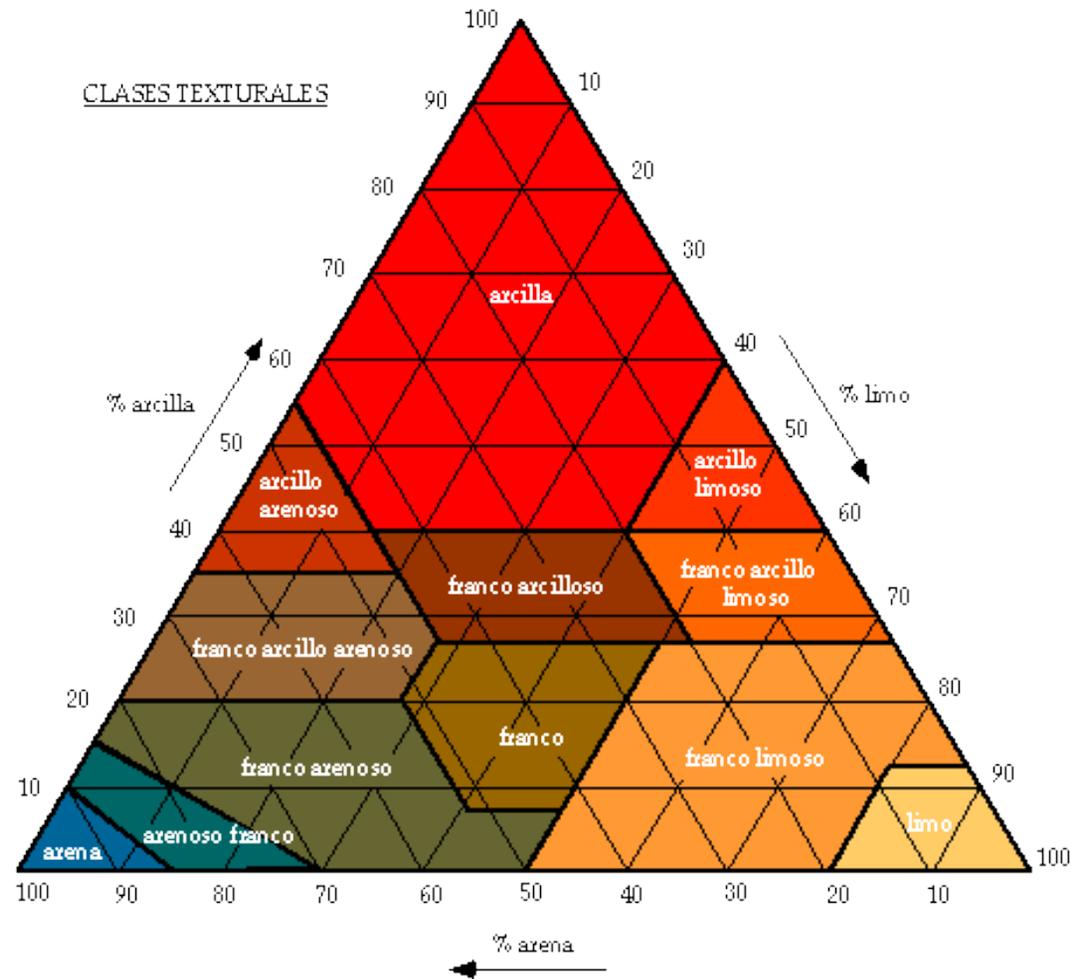
C.I LA LIBERTAD SERVICIO DE LABORATORIO														REGISTRO N° 56				
SOLICITANTE: <u>RUTH LUCENA MARIN</u>				NOMBRE FINCA: <u>LA LIBERTAD</u>				DIA: <u>12</u>		MES: <u>10</u>		AÑO: <u>2017</u>		FECHA ANALISIS:				
DIRECCION: <u>Km 17 via Puerto ópez</u>				ENTIDAD SOLICITANTE: <u>UNAD</u>				DEPARTAMENTO: <u>META</u>				MUNICIPIO: <u>VILLAVICENCIO</u>						
RESULTADO DE ANALISIS FISICO DE SUELOS																		
No. LABORAT.	PROF. Cm	SISTEMA	CONDUC. HIDRA (cm/h)		HUMEDAD %	TENSION (BARES)	D. A g/cm ³	D. R. g/cm ³	POROS TOTAL (%)	TEXTURA POR BOUYUCOS (%)								
			VALOR	CLASIFICACION						0,1	0,3	1,5	5,0	15,0	ARENA	LIMO	ARCILLA	CLASE
FS17-15631	0-10	TRANSIT ORIOS																
FS17-15632	10-20																	
FS17-15633	20-30																	
FS17-15634	0-10																	
FS17-15635	10-20																	
FS17-15636	20-30																	
FS17-15637	0-10																	
FS17-15638	10-20																	
FS17-15639	20-30																	
FS17-15640	0-10																	
FS17-15641	10-20																	
FS17-15642	20-30																	
FS17-15643	0-10																	
FS17-15644	10-20																	
FS17-15645	20-30																	
METODOLOGIAS					FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS					DIRECTOR LABORATORIO								
Densidad Aparente Volumen conocido					Noviembre 13/2017					 Edgar Fernando Almansa M.								
Densidad Real Pícnometro																		
Porosidad Calculo (1-(Da/Dr))*100																		
Textura Boutoucos-Hidrometro																		

Anexo D. Resultados física de suelos pastos

No.		PROF.	SISTEMA	CONDUC. HIDRA (cm/h)		HUMEDAD	%	TENSION (BARES)					D. A	D. R.	POROS	TEXTURA POR BOUYUCOS (%)				
LABORAT.	Cm			VALOR	CLASIFICACION	%	SATURACION	0,1	0,3	1,5	5,0	15,0	g/cm ³	g/cm ³	TOTAL (%)	ARENA	LIMO	ARCILLA	CLASE	
FS17-15646	0-10		PASTOS										1,47	2,65	45					
FS17-15647	10-20													1,50	2,63	43				
FS17-15648	20-30													1,53	2,68	43	36	29	35	F-Ar
FS17-15649	0-10													1,39	2,70	49				
FS17-15650	10-20													1,43	2,66	46				
FS17-15651	20-30													1,41	2,64	46	40	31	28	F-Ar
FS17-15652	0-10													1,16	2,60	55				
FS17-15653	10-20													1,50	2,66	43				
FS17-15654	20-30													1,50	2,66	44	24	27	49	F-Ar
FS17-15655	0-10													1,34	2,65	50				
FS17-15656	10-20													1,51	2,67	43				
FS17-15657	20-30													1,47	2,66	45	34	31	35	F-Ar
FS17-15658	0-10													1,10	2,63	58				
FS17-15659	10-20													1,40	2,61	46				
FS17-15660	20-30													1,34	2,67	50	28	37	35	F-Ar

METODOLOGIAS Densidad Aparente Volumen conocido Densidad Real Picnometro Porosidad Calculo $(1 - (D_a/D_r)) * 100$ Textura Boutoucos-Hidrometro		FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS <u>Noviembre 13/2017</u>	DIRECTOR LABORATORIO  <u>Edgar Fernando Almanza M.</u>
--	--	---	--

Anexo E. Triángulo de texturas según la USDA



Anexo F. Prueba de Tukey.

DA 0-10 cm

Sistema	Da	Tukey 5%
Caucho	1,34	a
Transitorios	1,34	a
Pasto	1,3	a
Bosque	0,88	b

DMS: 0,187

Dr 0-10 cm

Sistema	Dr	Tukey 5%
Caucho	2,66	a
Pasto	2,66	a
Bosque	2,64	a
Transitorios	2,62	a

DMS: 2099

Poros 0-10 cm

Sistema	Poros	Tukey 5%
Bosque	66,34	a
Pasto	51,28	b
Caucho	49,2	b
Transitorios	48,28	b

DMS: 6,31

DA 10-20 cm

Sistema	Da	Tukey 5%
Pasto	1,46	a
Caucho	1,42	a
Transitorios	1,42	a
Bosque	1,12	b

DMS: 0,247

Dr 10-20 cm

Sistema	Dr	Tukey 5%
Caucho	2,66	a
Transitorios	2,66	a
Pasto	2,66	a
Bosque	2,62	a

DMS: 0,107

Poros 10-20 cm

Sistema	Poros	Tukey 5%
Bosque	57,64	a
Caucho	46,62	b
Transitorios	46,48	b
Pasto	44,48	b

DMS: 8,83

DA 20-30 cm

Sistema	Da	Tukey 5%
Caucho	1,48	a
Pasto	1,44	a
Transitorios	1,18	b
Bosque	1,18	b

DMS: 0,212

Dr 20-30 cm

Sistema	Dr	Tukey 5%
Caucho	2,68	a
Pasto	2,68	a
Bosque	2,62	ab
Transitorios	2,58	b

DMS: 0,092

Poros 20-30 cm

Sistema	Poros	Tukey 5%
Bosque	54,94	a
Transitorios	57,8	a
Pasto	45,5	b
Caucho	44,72	b

DMS: 6,67

Porcentaje de presentación de la textura por sistema productivo

