

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 11 de Enero del 2017

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Cristian Ronnie Reyes Morales, con C.C. No. 1075599485,
Ronald Camilo Salazar Gonalvez, con C.C. No. 1075257780,
_____, con C.C. No. _____,
_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

titulado caracterización de las propiedades físico-químicas e hidrodinámicas de los suelos en zonas de vida bosque tropical seco en el alto magdalena (Colombia).

presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de: Ingeniero Agrícola

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

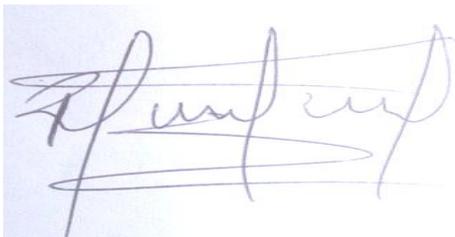
EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:



EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:



	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						   
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 5

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E HIDRODINÁMICAS DE SUELOS EN ZONAS DE VIDA BOSQUE TROPICAL SECO EN EL ALTO MAGDALENA (COLOMBIA)

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Cristian Ronney Reyes morales	Ronald Camilo Salazar Gonzalez

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Armando Torrente Trujillo	Luz Piedad Romero Duque

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRÍCOLA

FACULTAD: INGENIERÍA

PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERÍA AGRÍCOLA

CIUDAD: NEIVA-HUILA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2017

NÚMERO DE PÁGINAS: 55

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías__X_ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general_X_ Grabados___ Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros_X_

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 5

MATERIAL ANEXO:

1. *Propiedades físicas*
2. *Curvas de retención de humedad*
3. *Propiedades químicas.*
4. *Interpretación general de la química del suelo.*

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Bosque tropical seco	Tropical dry forest
2. Cuenca Alta del Rio Magdalena	Magdalena River High Basin
3. Propiedades del suelo	Soil properties
4. textura	texture
5. pH	pH
6. Propiedades físicas del suelo	Physical properties of soil
7. Propiedades químicas del suelo	Chemical properties of soil
8. Carbono orgánico	Organic carbon
9. conductividad eléctrica	electrical conductivity
10. curvas de retención de humedad	moisture retention curves

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El objetivo principal es identificar y caracterizar algunas propiedades físicas e hidrodinámicas de los suelos del Bosque Tropical seco (Bts) de la Cuenca Alta del Rio Magdalena al sur de Colombia entre

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 5

los departamentos de Cundinamarca y Huila, en donde se estudiaron doce sitios. Se realizaron pruebas hidrodinámicas a 40 cm de profundidad, la descripción morfológica de los suelos y se colectaron muestras inalteradas para determinar las propiedades físicas y químicas del suelo. Se determinó que el Orden dominante son los *Entisoles* del grupo textural grueso, isohipertérmico, de régimen de humedad ústico con baja retención de humedad y de ligera a moderadamente ácidos, con estructuras muy estables y baja presencia de materia orgánica, la infiltración y la conductividad hidráulica varió de moderadamente lenta a moderadamente rápida, la densidad aparente osciló entre 1.53 y 1.85 g. cm⁻³, la porosidad entre el 15 y 40%, evidenciando en algunos sitios un alto grado de compactación por acción de la ganadería extensiva.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The main objective is to identify and characterize some physical and hydrodynamic properties of the soils of the Tropical Dry Forest (Bts) of the Upper Magdalena River Basin in southern Colombia between the departments of Cundinamarca and Huila, where twelve sites were studied. Hydrodynamic tests were carried out at 40 cm depth, the morphological description of the soils and samples were collected unchanged to determine the physical and chemical properties of the soil. It was determined that the dominant order is the *Entisoles* of the coarse, isohyperthermal, moisture-resistive, low moisture and lightly to moderately acidic texural group with very stable structures and low organic matter presence, infiltration and hydraulic conductivity Ranged from moderately slowly to moderately rapid, the apparent density ranged from 1.53 to 1.85 g. Cm³, the porosity between 15 and 40%, evidencing in some places a high degree of compaction by the action of the extensive cattle ranching.



GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

4 de 5

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: John Jairo Arévalo Hernández

Firma:

Nombre Jurado: John Jairo Arévalo Hernández

Firma:

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	5 de 5

Nombre Jurado: Jaime Izquierdo Bautista

Firma:



CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E
HIDRODINÁMICAS DE SUELOS EN ZONAS DE VIDA BOSQUE TROPICAL
SECO EN EL ALTO MAGDALENA (COLOMBIA)

CRISTIAN RONNEY REYES MORALES
RONALD CAMILO SALAZAR GONZALEZ

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA
2016

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS E
HIDRODINÁMICAS DE SUELOS EN ZONAS DE VIDA BOSQUE TROPICAL
SECO EN EL ALTO MAGDALENA (COLOMBIA)

CRISTIAN RONNEY REYES MORALES
RONALD CAMILO SALAZAR GONZALEZ

TESIS (Proyecto de Investigación)

Director:

Ph.D. Armando Torrente Trujillo

Codirector:

Ph.D. Luz Piedad Romero Duque

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA
2016

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Neiva Huila, 20 de Diciembre de 2016

DEDICATORIA

A Dios primeramente a mis ángeles y a mis santos, a mi madre Martha Stella González Hernández, por su esfuerzo y la dedicación brindada a lo largo de mi carrera, su ejemplo es mi principal aliciente para seguir creciendo profesionalmente, eres y serás mi súper heroína, a mi padre Camilo Salazar Santofimio por el cariño y por el amor brindado. A mi abuela Rosaura Hernández y mi tía Sandra Patricia González por confiar en mi y siempre estar ahí al pie del cañón.

A mi compañero de tesis y maestro Cristian Ronney Reyes por todo el conocimiento brindado, por la paciencia y por la dedicación.

Ronald Camilo Salazar González

A mi madre Norma Constanza Morales Ortigoza, vanidosa ella en el cielo viéndome triunfar y a mi segunda madre Yormary Galindo Gaitán porque sin ellas nada de esto sería posible.

Cristian Ronney Reyes Morales

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a nuestros directores, profesor **Armando Torrente Trujillo** y Doctora **Luz Piedad Romero**, al Laboratorio de Suelos de la Universidad Surcolombiana, al Laboratorio de Suelos de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. A la ingeniera **Natalia Quevedo Trujillo**, al ingeniero químico **Cesar Hernando Bolívar** y al director del laboratorio **John Jairo Arévalo** por todo el conocimiento y la paciencia brindada a lo largo de la ejecución de esta tesis. A todos los que participaron en el proyecto denominado *“Diversidad y Servicios Ecosistémicos del Bosque Tropical Seco en el Alto Magdalena-Colombia”*, especialmente a Maria Fernanda Batista, Alejandra Vargas, Luisa Cifuentes, Francly Lorena Medina, Jhon Eder Montero y Darío Conda.

A todos y cada uno de las personas que nos motivaron y estuvieron ejerciendo presión para la ejecución de nuestra tesis. A nuestros compañeros de carrera y de código a nuestra secretaria del programa Gladys Quino, a nuestros concejeros Miguel Ángel Díaz Y Carlos Emilio Reyna y a la jefe de programa ingeniera Jennifer Katusca Castro.

RONALD CAMILO SALAZAR GONZÁLEZ
CRISTIAN RONNEY REYES MORALES

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
3. MARCO TEORICO	13
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
4.1 Localización.....	17
4.2 Metodología.....	19
5. RESULTADOS Y DISCUSION	24
5.1 Características generales de los suelos estudiados.....	24
5.2 Propiedades físicas.	24
5.3 Propiedades Hidrodinámicas del suelo	32
5.4 Propiedades químicas	35
5.5 Análisis estadístico	42
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS	49

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Sitios de estudio en la Cuenca Alta del Río Magdalena</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2. Pruebas, propiedades y métodos de caracterización del suelo.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 3. Color del suelo en el primer horizonte</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 4. Características generales de las zonas de estudio</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 5. Infiltración básica e instantánea evaluadas en los sitios de estudio</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 6. Resumen estadístico</i>	<i>43</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa de Bosque seco en Colombia.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2. Localización del Bosque tropical seco seleccionado como área de estudio</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3. Procedimiento metodológico de la investigación.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4. Trabajo de Campo: a) Prueba de infiltración, b) Prueba de Conductividad Hidráulica, c) Toma de muestras.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5. Trabajo de laboratorio: a) Extracción de menores b) Extracción de bases y determinación de CIC, c) determinación de metales con fotometría y absorción atómica.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 6. Fracción mineral del suelo a) Arena, b) Limo y c) Arcilla</i>	<i>27</i>
<i>Figura 7. Aireación del suelo: a) Densidad Aparente b) Espacio Aéreo.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 8. Valores de estabilidad estructural</i>	<i>29</i>
<i>Figura 9. Humedad del suelo a) Capacidad de Campo b) Punto de Marchitez Permanente c) Agua aprovechable</i>	<i>31</i>
<i>Figura 10. Valores de la velocidad de infiltración</i>	<i>33</i>
<i>Figura 11. Valores de conductividad hidráulica: a) Ks con pozo barrenado b) Ks con permeámetro de guelph</i>	<i>34</i>
<i>Figura 12. Indicadores químicos a) Valores de pH. b). Valores de % carbono orgánico. c) Valores de la capacidad de intercambio catiónico, d) Valores de C.E36</i>	
<i>Figura 13. Valores de fosforo</i>	<i>37</i>
<i>Figura 14. Valores de azufre</i>	<i>38</i>
<i>Figura 15. Bases intercambiables. a). Valores de Sodio b). Valores de calcio c). Valores de Potasio d). Valores de Magnesio.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 16. Relaciones catiónicas: a) Ca/Mg b) Ca+Mg)/K.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 17. Elementos menores a). Valores de Cobre, b). Valores de Zinc, c). Valores de Hierro, d). Valores de Manganeso.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 18. Dendrograma de los suelos estudiados</i>	<i>43</i>

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo A. Anexo A. Propiedades físicas</i>	50
<i>Anexo B. Curvas de retención de humedad</i>	51
<i>Anexo C. Propiedades químicas</i>	54
<i>Anexo D. Interpretación general de la química del suelo</i>	55

RESUMEN

El objetivo principal es identificar y caracterizar algunas propiedades físicas e hidrodinámicas de los suelos del Bosque Tropical seco (Bts) de la Cuenca Alta del Río Magdalena al sur de Colombia entre los departamentos de Cundinamarca y Huila, en donde se estudiaron doce sitios. Se realizaron pruebas hidrodinámicas a 40 cm de profundidad, la descripción morfológica de los suelos y se colectaron muestras inalteradas para determinar las propiedades físicas y químicas del suelo. Se determinó que el Orden dominante son los *Entisoles* del grupo textural grueso, isohipertérmico, de régimen de humedad ústico con baja retención de humedad y de ligera a moderadamente ácidos, con estructuras muy estables y baja presencia de materia orgánica, la infiltración y la conductividad hidráulica varió de moderadamente lenta a moderadamente rápida, la densidad aparente osciló entre 1.53 y 1.85 g. cm⁻³, la porosidad entre el 15 y 40%, evidenciando en algunos sitios un alto grado de compactación por acción de la ganadería extensiva.

Palabras clave: Bosque tropical seco, Cuenca Alta del Río Magdalena, Propiedades del suelo.

SUMMARY

The main objective is to identify and characterize some physical and hydrodynamic properties of the soils of the Tropical Dry Forest (Bts) of the Upper Magdalena River Basin in southern Colombia between the departments of Cundinamarca and Huila, where twelve sites were studied. Hydrodynamic tests were carried out at 40 cm depth, the morphological description of the soils and samples were collected unchanged to determine the physical and chemical properties of the soil. It was determined that the dominant order is the *Entisoles* of the coarse, isohyperthermal, moisture-resistive, low moisture and lightly to moderately acidic textural group with very stable structures and low organic matter presence, infiltration and hydraulic conductivity Ranged from moderately slowly to moderately rapid, the apparent density ranged from 1.53 to 1.85 g. Cm³, the porosity between 15 and 40%, evidencing in some places a high degree of compaction by the action of the extensive cattle ranching.

Key words: Dry tropical forest, Magdalena River High Basin, Soil properties.

1. INTRODUCCIÓN

El Bosque seco Tropical (Bts) es toda formación vegetal que presenta una cobertura boscosa continua y que se encuentra entre los 0-1000 m de altitud; con temperaturas superiores a los 24°C (cálido) y precipitaciones entre los 700 y 2000 mm anuales, con uno o dos periodos de sequía al año (Espinal 1985; Murphy & Lugo 1986, IAVH 1997). Hernández (1990) lo define como *bosques higrotropofíticos*, *bosque tropical caducifolio* de diversos autores, *bosque seco Tropical de Hooldrige*, y *bosque tropical de baja altitud deciduo por sequía* clasificación propuesta por la UNESCO. El Bts es considerado como un ecosistema con prioridad para la conservación, debido a sus altos grados de endemismo y por localizarse en zonas con fuertes presiones antrópicas, que inciden en la disminución de su cobertura y pérdida de biodiversidad (Espinal & Montenegro, 1977; Miles et al., 2006; Pennington *et al.*, 2009). Este ecosistema se encuentra sobre las regiones tropicales y subtropicales del globo, con una extensión aproximada entre 1 y 7 millones de km² (dependiendo de los criterios para su definición).

En Colombia aun no existen datos consolidados a nivel regional sobre el área real ocupada por Bts. Según Etter (1993), en la actualidad solo se mantiene el 1.5% de la cobertura original y así este ecosistema sea un sitio prioritario para la conservación, no existen iniciativas reales que garanticen su protección (Pennington *et al.*, 2009).

Actualmente los Bts han cambiado drásticamente su cobertura, estructura y composición de factores como el ambiente, el suelo, su vegetación y su biodiversidad esto debido a la intervención humana, la deforestación y el cambio climático; por ello se hace importante conocer claramente las características que definen actualmente dicho ecosistema, convirtiéndose así en una herramienta de conservación. Este proyecto plantea una caracterización físico-química e hidrodinámica de los suelos que corresponden según sus características biogeográficas a zonas de vida de Bts que se extienden a lo largo de la Cuenca Alta del Rio Magdalena (CARM).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los sistemas agrícolas tradicionales en Colombia que se han venido desarrollando en los bosques tropicales secos y se han caracterizado por el manejo extensivo de la tierra, principalmente dedicados al pastoreo, lo que conlleva al deterioro de su calidad. Con esta investigación se pretende identificar las propiedades físicas, químicas e hidrodinámicas del suelo, tales como conductividad hidráulica, infiltración, textura, la densidad aparente, densidad real, porosidad, retención de humedad, materia orgánica y elementos esenciales para la nutrición de las plantas. Logrando así una identificación de las características que presenta los suelos del bosque seco tropical en CARM y con esto contribuir a su cuidado y conservación.

El conocimiento de las propiedades hidrodinámicas de los suelos aporta una información valiosa no solo desde el punto de vista agrícola, sino también en áreas relacionadas a la hidrogeología, contaminación de aguas subterráneas y evaluación ambiental.

Este proyecto nace de la necesidad de evaluar y conocer los suelos de 12 zonas identificadas como Bts para hacer una correlación de la información y lograr una estandarización de las características reales de dichos biomas. El procedimiento metodológico está enmarcado en pruebas *in-situ* y de laboratorio con métodos avalados por la normatividad colombiana (ICONTEC) y por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, los cuales permiten conocer el tipo y la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo, considerados esenciales para el proceso nutricional de las plantas, así como también la presencia de iones tóxicos, permitiendo evaluar sus posibles efectos y facilitar la formulación de planes para su manejo y conservación.

3. MARCO TEORICO

Históricamente el bosque tropical se ha visualizado como un ecosistema de árboles altos y densos con un sotobosque oscuro, húmedo y con una fauna diversa y abundante. Sin embargo esta percepción no corresponde a la realidad del bosque tropical seco (Bts), inicialmente uno de los tipos de bosque más extensos en Colombia, ya que cubría gran parte de los valles de los Ríos Cauca y Magdalena, la Costa Caribe y los Llanos Orientales. En este bosque predominan especies arbóreas adaptadas a las condiciones de sequía, lianas, cactus, reptiles e insectos gigantes. (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humbolt, 2014)

A nivel mundial, en los últimos años el deterioro de las áreas naturales ha aumentado debido a las intervenciones humanas (Scolozzi *et al.*, 2012; Ruiz *et al.*, 2013). El Bosque Seco Tropical (Bts) es uno de los ecosistemas más afectados por las acciones humanas. Este se encuentra distribuido en Suramérica, Centroamérica, Eurasia, Australasia, África y el Sudeste de Asia sobre la franja tropical (Miles *et al.*, 2006). En Suramérica y la región Caribe presentó una deforestación del 80% entre el periodo 2001-2010. El clima y las condiciones de los suelos favorecen el desarrollo agrícola y ganadero, así como los asentamientos humanos. Como resultado, el Bts actualmente se encuentra altamente fragmentado y degradado siendo reconocido como el ecosistema más perturbado y el menos conocido (Fajardo *et al.*, 2013).

La extensión del bioma de los Bts en Colombia es aproximadamente 8.882.854 ha y comprende un mosaico de bosques y arbustales (Etter *et al.* 2008). Este bioma se agrupa en tres clases: bosques secos de 1.844.365 ha, Bosques secos semi-húmedos transicionales (1.844.365 ha) y bosques secos andinos (2.157.362 ha). Su distribución biogeográfica general, se encuentra en el árido pericaribeño (71%), seguido por el valle del río Magdalena (21%), mientras que en el valle del río Cauca estaría el 7% y en la región Norandina y Catatumbo el 1% (Figura 1).

La forma de delimitar un ecosistema, también puede influir en su estado de conservación actual y futuro. En el caso del Bts, su delimitación, y por ende, su definición, ha tenido varias interpretaciones (Miles *et al.*, 2006; Powers *et al.*, 2009).

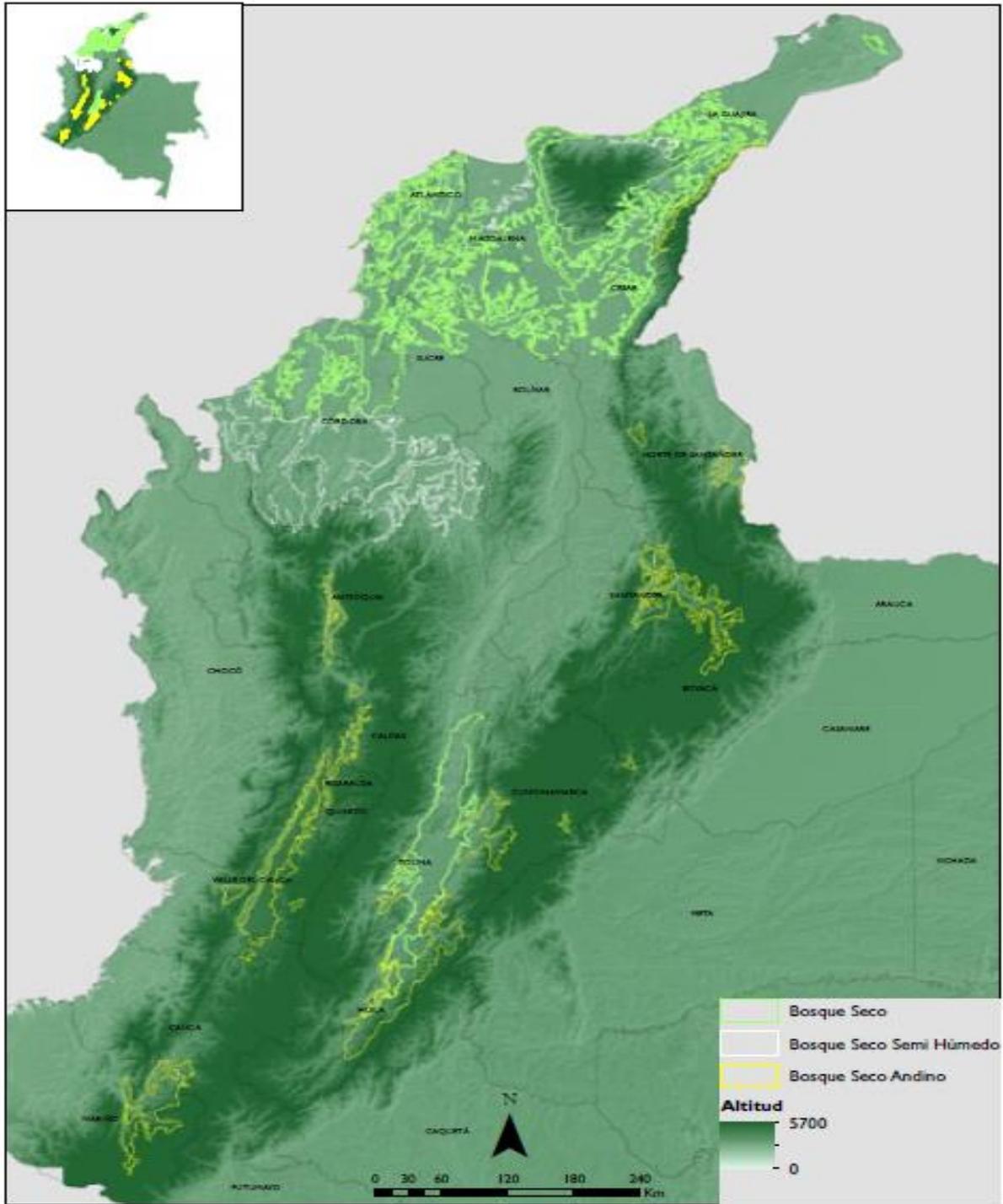


Figura 1. Mapa de Bosque seco en Colombia

Fuente: Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt 2014.

Dentro de los criterios para su delimitación se encuentran: 1) la precipitación media anual: que puede variar entre 700 y 2000 mm (Murphy y Lugo, 1986), 250 y 2000 mm (Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2005; Arcila Cardona *et al.*, 2012) o entre 1000 y 2000 mm (Espinal, 1964; Chacón de Ulloa *et al.*, 2012); 2) la temperatura media anual: parámetro cuyo valor varía entre diferentes autores, por ejemplo, que los valores de temperatura media anual superen los 17°C (Arcila-Cardona *et al.*, 2012), o los 24°C (Espinal, 1964; Torres *et al.*, 2012; Arcila-Cardona *et al.*, 2012; Chacón de Ulloa *et al.*, 2012) o que ésta sea mayor de 25°C (Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2005); 3) la duración del periodo seco: que generalmente se prolonga por tres meses o más (Murphy y Lugo, 1986; Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2005); 4) las características deciduas de la vegetación (Murphy y Lugo, 1986; Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2005); y 5) el rango altitudinal: siendo este el criterio que ha sido más utilizado para delimitar el bosque seco a nivel departamental, donde se emplean los rangos entre los 900 y 1200 m s.n.m. (Arcila Cardona *et al.*, 2012), entre 900 y 1100 m s.n.m. (Chacón de Ulloa *et al.*, 2012) o entre 0 y 1000 m s.n.m. para el caso de la delimitación a nivel nacional (Espinal, 1964; IDEAM *et al.*, 2007).

Es en la definición de los valores de estas variables donde se han presentado diferencias. La falta de unificación de estos criterios ha resultado en esfuerzos de conservación ineficientes. De allí la importancia que presenta el trabajo realizado por las entidades nacionales y regionales para la producción de cartografía ecológica basada en información geopedológica, zonificación climática y coberturas de la tierra (Montoya, 2010).

Los bosques secos del valle del Magdalena están en los departamentos de Huila, Tolima, Cundinamarca y un pequeño sector al oriente del departamento de Caldas, en un área de aproximadamente 130,000 ha. Sólo un 36% de esta área son bosques de galerías y arbustales en diferentes estados de conservación que se distribuyen de manera dispersa, donde el mayor número de remanentes se encuentran en los municipios de Alpujarra, Coyaima, Piedras y Coello (Departamento de Tolima) y Aipe (Departamento del Huila). La superficie restante está formada por mosaicos de pastos para la ganadería, cultivos, y áreas naturales que corresponden a vegetación secundaria y que varían significativamente en cuanto a distribución espacial, estado sucesional, forma y tamaño.

El suelo es el medio natural dinámico en el cual ocurren transformaciones resultado de la interacción de procesos físicos, químicos, biológicos y de actividades antrópicas. Estos procesos ocurren de forma simultánea generando un sustrato que brindará nutrientes, agua y sostén para el desarrollo de las plantas terrestres y otros organismos (Soil Survey Staff. 2006; Henríquez, C. y Calbaceta, A. 1999; Gliessman, R. 2002). El suelo está condicionado por cinco factores formadores

naturales que son: 1. Material Parental. 2. Tiempo. 3. Clima. 4. Organismos. Y 5. El Relieve. Estos factores locales deben ser tomados en cuenta en cualquier estudio de suelo, sin embargo esta investigación se enfocará en las características físico-químicas e hidrodinámicas de los bosques secos tropicales encontrados a lo largo de la CARM entre los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Huila. El suelo tiene diversas funciones entre las cuales se encuentran: 1. es hábitat de numerosos organismos. 2. sostén y fuente de nutrientes de las plantas. 3. Influye en la mineralización, reciclaje, flujo de nutrientes y energía en especial de materia orgánica. 4. Regula parte del ciclo hídrico y del clima, etc. (Gliessman, R. 2002).

Las propiedades físicas involucran cada una de las fases de formación del suelo y desarrollo del perfil, por lo cual su estudio es imprescindible en aspectos edáficos como pedología, taxonomía, fertilidad, riegos, drenajes, manejo y conservación, este último siendo nuestro objetivo principal. Su utilidad radica en ofrecer información necesaria para conocer el comportamiento mecánico de la fase sólida. Las caracterizaciones físicas y químicas permiten conocer los requerimientos hídricos como el tipo y la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo considerados esenciales para el proceso nutricional de las plantas, así como también la presencia de iones tóxicos, permitiendo evaluar sus posibles efectos y facilitar la formulación de planes para su manejo a través de prácticas agronómicas o de ingeniería.

El área de estudio corresponde al Bosque Tropical Seco (Bts) de la CARM y se extiende al sur de Colombia entre los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Huila. Se localiza en coordenadas elipsoidales: Latitud mínima: 3° 2' 26" N; Latitud máxima: 5° 10' 31" N; Longitud mínima: 75° 7' 18" W; Longitud máxima: 76° 59' 30" W. El estudio se centró en los municipios de Venadillo, Honda, San Juan de Rio Seco (Cambao), Guataquí, Girardot, Baraya, Villavieja, y Neiva, en los cuales se identificaron zonas de vida que cumplieran las características ecológicas de Bosque tropical seco según el triángulo de Holdridge; en toda la CARM se identificaron 12 sitios (Si) y dos puntos (Pi) en cada uno de ellos.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización

La CARM abarca desde el nacimiento del río en la laguna de la Magdalena, ubicada en el páramo de las Papas en el Macizo Colombiano a 3.685 msnm, hasta los rápidos de Honda, situados a 229 msnm, es decir que en dicho trayecto desciende 3.456 m. Este trecho tiene una longitud de 565 km. En los tramos iniciales el río se caracteriza por ser muy pendiente y turbulento. Pasa por la zona arqueológica de San Agustín, asiento de la misteriosa cultura lítica que lleva este nombre, y luego va recibiendo afluentes cada vez más importantes, hasta que en Pericongo se configura como un río de llanura, pese a que aún tiene una pendiente pronunciada.

En términos generales, ésta es la parte más seca de la CARM, y desde el punto de vista ecosistémico se extiende desde el páramo húmedo, en donde nace el río, hasta el Bts característico de la zona de Honda, en el fondo del valle. La cobertura vegetal que crecía originalmente en lo profundo del valle, conformada principalmente por el bosque seco tropical, casi ha sido extinguida por las actividades agropecuarias y la demanda de leña (Cormagdalena, 2002).

El área de estudio corresponde al Bts de la CARM y se extiende al sur de Colombia entre los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Huila. Se localiza en coordenadas Elipsoidales: Latitud mínima: 3° 2' 26" N; Latitud máxima: 5° 10' 31" N; Longitud mínima: 75° 7' 18" W; Longitud máxima: 76° 59' 30" W (Figura 2). La elevación oscila desde los 279 msnm hasta los 668 msnm, con temperatura media de 27°C, precipitación media 964 mm/año y evaporación media 900 mm/año (IDEAM, 2007-2012).

El estudio se desarrolló los municipios de Venadillo, Honda, San Juan de Rio Seco (Cambao), Guataquí, Girardot, Baraya, Villavieja, y Neiva, en los cuales se identificaron zonas de vida que cumplieran las características ecológicas de Bts según el triángulo de Holdridge; en la CARM se identificaron 12 sitios (Si) y dos puntos (Pi) por sitio (Tabla 1).

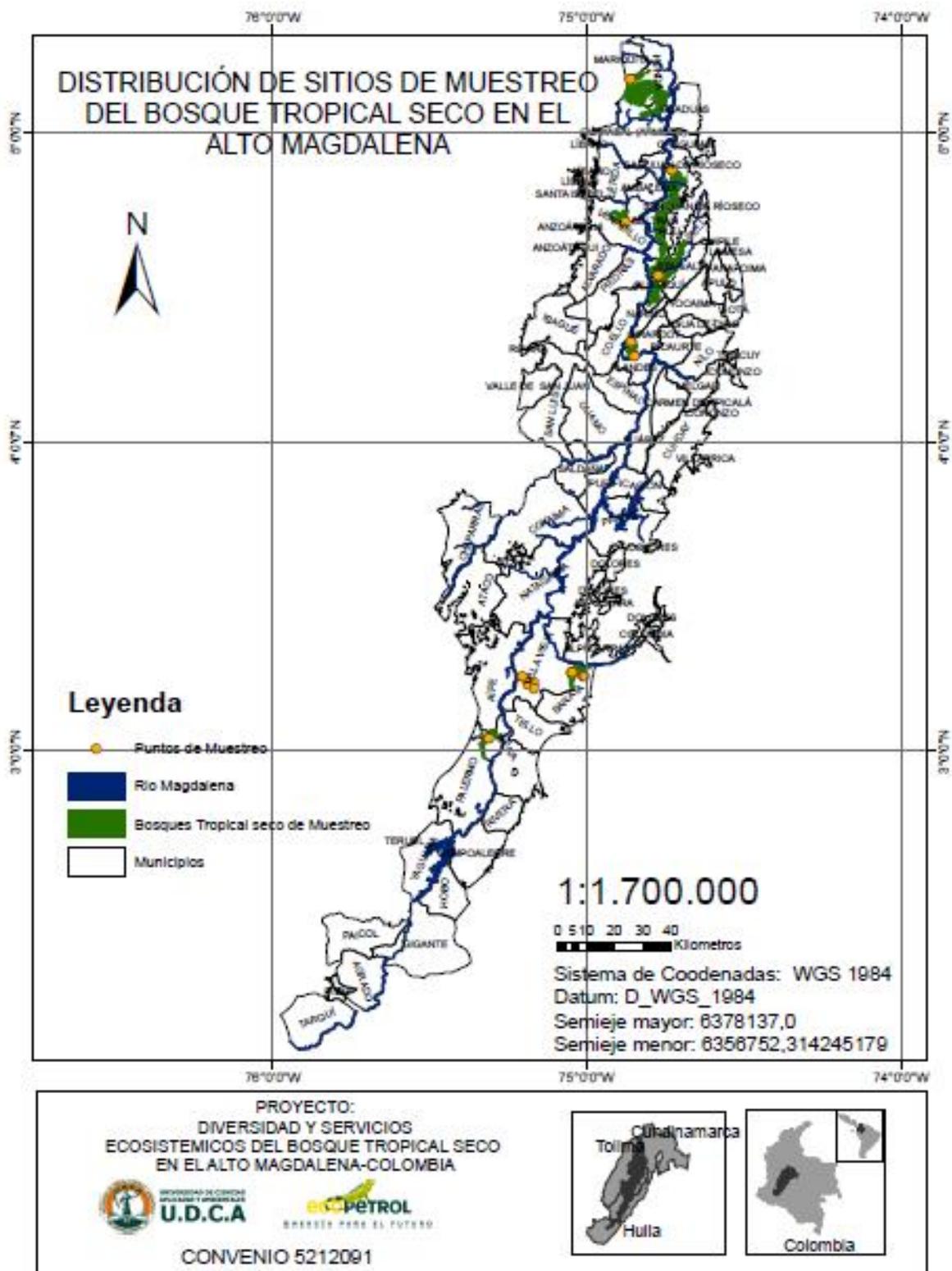


Figura 2. Localización del Bosque tropical seco seleccionado como área de estudio

Tabla 1. Sitios de estudio en la Cuenca Alta del Río Magdalena

Municipio/ Departamento	Sitio y Punto (S _P i)	Localización geográfica		Altura (m.s.n.m)
		ESTE (W)	NORTE (N)	
Venadillo (Tolima)	S1P1	75° 7' 21"	4° 42' 34"	298
	S1P2	75° 7' 18"	4° 42' 39"	331
Honda (Tolima)	S2P1	75° 8' 21"	5° 10' 31"	439
	S2P2	75° 8' 20"	5° 10' 31"	479
San Juan de Rio Seco-Cambao (Cundinamarca)	S3P1	75° 16' 11"	4° 52' 56"	280
	S3P2	75° 16' 9"	4° 52' 56"	279
Guataquí (Cundinamarca)	S4P1	75° 13' 39"	4° 32' 11"	307
	S4P2	75° 13' 38"	4° 32' 11"	280
Girardot (Cundinamarca)	S5P1	75° 8' 32"	4° 19' 26"	335
	S5P2	75° 8' 29"	4° 19' 28"	314
Girardot (Cundinamarca)	S6P1	75° 9' 5"	4° 16' 47"	338
	S6P2	75° 9' 5"	4° 16' 46"	328
Baraya (Huila)	S7P1	76° 59' 25"	3° 14' 45"	668
	S7P2	76° 59' 30"	3° 14' 45"	376
Villavieja (Huila)	S8P1	76° 48' 46"	3° 13' 9"	412
	S8P2	76° 48' 45"	3° 13' 7"	393
Villavieja (Huila)	S9P1	76° 48' 21"	3° 14' 8"	420
	S9P2	76° 47' 43"	3° 14' 31"	411
Villavieja (Huila)	S10P1	76° 57' 3"	3° 15' 21"	556
	S10P2	76° 57' 5"	3° 15' 21"	539
Villavieja (Huila)	S11P1	76° 49' 58"	3° 13' 15"	437
	S11P2	76° 49' 57"	3° 12' 19"	427
Neiva (Huila)	S12P1	76° 41' 16"	3° 2' 26"	498
	S12P2	76° 41' 14"	3° 2' 27"	498

4.2 Metodología

Siguiendo el proceso metodológico esquematizado en la figura 3, se identificó biogeográficamente la zona de estudio con ayuda de imágenes satelitales realizando un transepto de la CARM, se determinaron 12 sitios en el Bts.

En cada sitio se seleccionaron dos puntos representativos, donde se describieron algunas características morfológicas del perfil modal del suelo expuesto en cajuelas de 0.6x0.6x0.6 metros, diferenciando sus horizontes para muestreo y establecer las propiedades físicas y químicas en los Laboratorios de Suelos de la Universidad Surcolombiana (USCO) y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA). Las propiedades hidrodinámicas se determinaron *in situ*, infiltración por el

método de anillos infiltrómetros y conductividad hidráulica en pozos de 60 cm de profundidad (Tabla 2) (Figura 4 y 5).

El proceso de reconocimiento de la zona de estudio se realizó mediante una inspección visual estableciendo el tipo de relieve, la pendiente, el grado de intervención, la vegetación natural predominante, la altura y el diámetro promedio de los árboles. La identificación de las unidades cartográficas se logró georreferenciando puntos con un GPS Garmin colorado 300 en el mapa de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

El análisis de los datos se realizó con el programa MiniTab y se corrieron los análisis estadísticos descriptivos simples, correlación entre variables físicas, químicas e hidrodinámicas y pruebas *clúster* para agrupamiento de suelos con características similares.

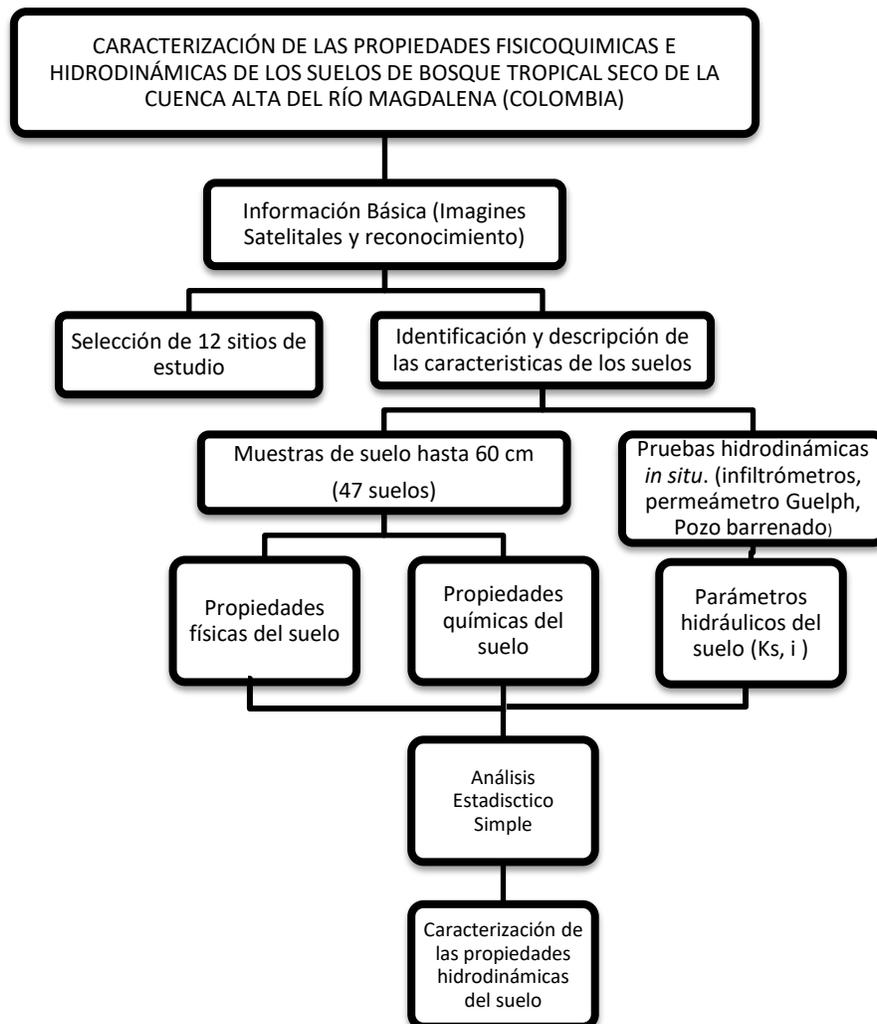


Figura 3. Procedimiento metodológico de la investigación

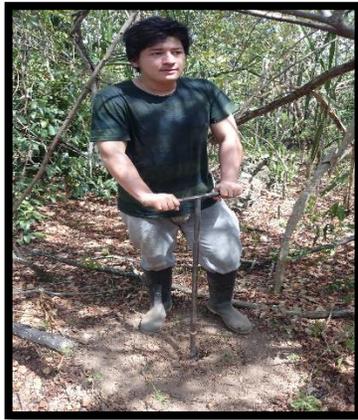
Tabla 2. Pruebas, propiedades y métodos de caracterización del suelo

Pruebas	Propiedades	Parámetro	Unidades	Método
Campo	Física	Textura	-	Organoléptica
		Color	-	Tablas Munsell
	Física e Hidrodinámica	Infiltración	m/día	Anillos Infiltrómetros
		Conductividad hidráulica	m/día, cm/h	Pozo barrenado inverso
				Permeámetro Guelph
Laboratorio	Física	Textura	-	Bouyoucos
		Densidad aparente	g.cm ⁻³	Terrón parafinado
		Densidad real	g.cm ⁻³	Picnómetro
		Porosidad	%	Relación densidades
		Retención de humedad	%	Membranas Richards
		Estabilidad estructural	mm	Yoder
	Química	pH	-	NTC 5264
		Carbono orgánico (CO)	%	NTC 5403 método B
		C.I.C.	cmol ⁺ .kg ⁻¹	NTC 5268
		Fósforo (P)	ppm	NTC 5350
		Calcio (Ca)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	NTC 5349
		Magnesio (Mg)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	
		Sodio (Na)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	
		Potasio (K)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	
		Azufre (S)	ppm	NTC 5402
		Hierro (Fe)	ppm	NTC 5526 método DTPA
		Manganeso (Mn)	ppm	
		Cobre (Cu)	ppm	
		Cinc (Zn)	ppm	
		Boro (B)	ppm	H ₂ O Caliente
		Relación Ca/Mg	-	Relación catiónica
		Relación (Ca + Mg)/K	-	

a)



b)



c)



Figura 4. Trabajo de Campo: a) Prueba de infiltración, b) Prueba de Conductividad Hidráulica, c) Toma de muestras

a)



b)



c)



Figura 5. Trabajo de laboratorio: a) Extracción de menores b) Extracción de bases y determinación de CIC, c) determinación de metales con fotometría y absorción atómica

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Características generales de los suelos estudiados

Los 12 sitios estudiados se encuentran ubicados en las cordilleras central y occidental esta zonas dominan los suelos derivados de cenizas volcánicas, *udands*, cuya fertilidad los hace altamente productivos, son suelos generalmente jóvenes contaminados o no por cenizas volcánicas asociados con suelos de laderas fuertes, *orthents*, que presentan con frecuencia capas superficiales de roca (integrados líticos) que solo permiten el crecimiento de vegetación espontanea. La actividad volcánica ha sido prácticamente permanente al igual que la producción de sedimentos por erosión, a medida que la cordillera aumenta en altura, bajo la acción continua, variable y cambiante del clima. Esta zonas presentan unas unidades genéticas de relieve correspondiente a una planicie ligeramente inclinada, que se extiende al pie del sistema montañoso, a nivel local son abanicos, depresiones, vallecillos y lomas relicto con cimas subangulares, interfluvios planos a ligeramente ondulados, localmente rodeados por talúes inclinados producto de una fuerte incisión (Espinosa, 2010).

En su gran mayoría los suelos del Bts son del orden de los *entisoles*, con régimen de humedad y temperatura ústico e isohipertérmico, de texturas gruesas con una predominancia de la fracción arena, con colores pardos y estructura blocosa subangular, de poca actividad de microorganismos y presencia de raíces (Anexo A). Los suelos tienen pendientes que oscilan entre el 15 y 35%, con un relieve en forma de lomas, colinas, crestas, escarpes, valles y terrazas (Tabla 4).

5.2 Propiedades físicas.

Color. El perfil de suelo a una profundidad de 60 cm presenta colores que van desde el negro, pardo, grisáceos, pasando por ocre, determinando la presencia de materiales orgánicos, ferruginosos, mangánicos y carbonatados. (Tabla 3).

Texturas. Los suelos corresponden a las clases texturales Arenoso, Arenoso Franco, Franco Arenoso y Franco Arcilloso Arenoso, que pertenecen a la familia de suelos livianos, con buen espacio aéreo, y características relacionadas al buen drenaje.

En la Figura 6 se presentan los contenidos de las fracciones minerales Arena, Arcilla y Limos de cada uno de los horizontes diferenciados en el perfil pedogenético,

donde prevalecen las arenas entre el 60 y 90% típico de los *Entisoles* en los cuales el horizonte A se encuentra sobre el horizonte C, las arcillas oscilan desde el 5 hasta el 30% en donde la mayoría de los casos el segundo horizonte presenta mayor cantidad de arcillas, esto deja en evidencia como las fracciones iguales e inferiores a las 2 micras migran desde el primer horizonte hasta los horizontes más profundos por efecto de las lluvias, los limos fluctúan entre el 5 y el 25% y presentan como en el caso de las arcillas dos patrones de comportamientos, el primero en el que las fracciones de limos tienden a permanecer en el primer horizonte, situación que podría deberse al tamaño de las partícula que para este caso serían superiores a las 50 micras, en el caso contrario ese patrón puede deberse a la migración conjunta de arcillas y limos hacia el horizonte iluvial, cuyo caso el tamaño de las partículas están alrededor de 2 micras (Anexo. A)

Tabla 3. Color del suelo en el primer horizonte

SITIO	COLOR	NOMBRE	INTERPRETACIÓN GENERAL *
S1P1H1	5Y 2.5/1	Black	Determinado por la presencia de materiales orgánicos e influenciados por un contenido de humedad alto.
S1P2H1	5Y 3/1	Very dark gray	Se presentan principalmente en el subsuelo y bajo condiciones de mal drenaje.
S2P1H1, S2P2H1, S9P1H1	10YR 4/2	dark grayish brown	
S3P1H1, S4P2H1, S5P1H1, S5P2H1, S6P2H1, S7P1H1, S7P2H1, S8P2H1	10YR 3/3	dark brown	Denota presencia de óxidos de hierro en adición a la materia orgánica.
S6P1H1, S8P1H1	10YR 3/4	dark yellowish brown	Su presencia en el perfil es un indicativo de drenaje deficiente, se debe a la presencia de hidróxidos de hierro (limonita).
S9P2H1	7.5YR 5/4	Brown	Denota presencia de óxidos de hierro en adición a la materia orgánica.
S10P1H1	10YR 5/2	Grayish brown	Se puede deber a la presencia de fracciones minerales como caolinita, yeso cuarzo y algunos carbonatos.
S10P2H1	10YR 3/2	Very dark grayish brown	Se presentan principalmente en el subsuelo y bajo condiciones de mal drenaje.
S3P2H1, S4P1H1, S11P1H1, S11P2H1, S12P1H1, S12P2H1	10YR 5/4	Yellowish brown	Denota presencia de óxidos de hierro en adición a la materia orgánica, la presencia de colores amarillentos se debe a la presencia de limonita.

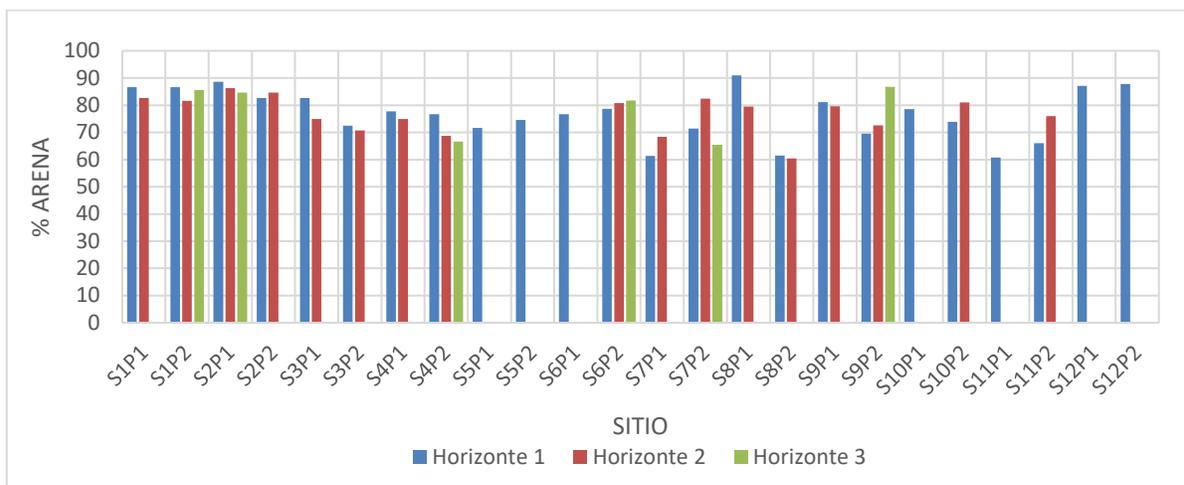
*Fuente: ciencia del suelo principios básicos. Hernán Burbano y Francisco Silva, 2010.

Tabla 4. Características generales de las zonas de estudio

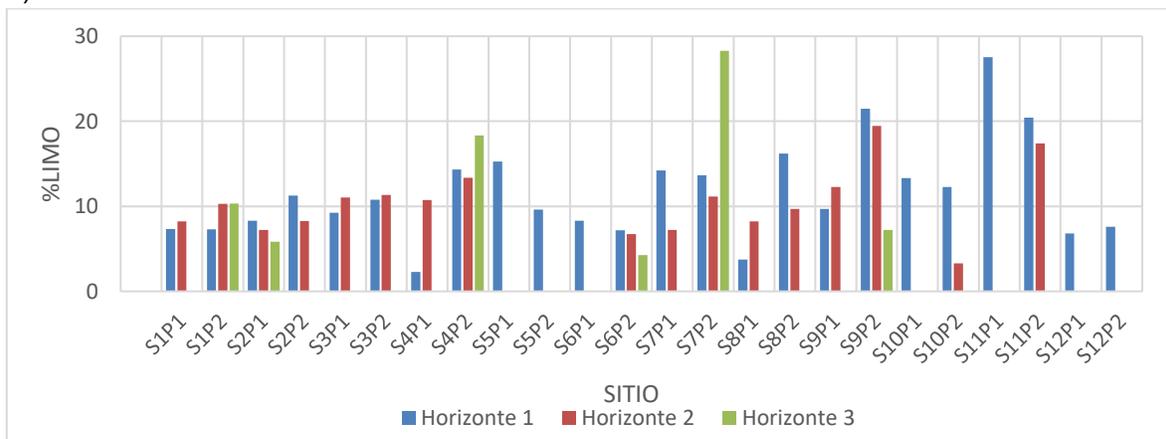
Sitio y Punto	Pendiente (%)	Tipo de Relieve	Unidad Cartográfica*	Vegetación Natural
S1P1	15	Lomas y colinas	Asociación Lithic Ustorthents Typic Ustorthents	Bosque secundario, altura máxima 15m de los árboles, los diámetros no superan los 15 cm, bosque intervenido, estado de conservación irregular.
S1P2	35			
S2P1	20	Lomas y colinas	Asociación Lithic Ustorthents Typic Ustorthents	Bosque Secundario en buen estado de conservación con presencia de palmas, altura máxima de 25-30m, diámetro promedio 4,5-5 cm, con presencia de árboles de diámetros superiores a 30-40 cm
S2P2	15			
S3P1	10	Lomas	Asociación Lithic Ustorthents Typic Ustorthents Entic Haplustolls	Bosque secundario de 25 años de regeneración, altura promedio de los arboles 10m, diámetro promedio de 6 cm, sotobosque ralo, presencia de cactus y follaje poco denso.
S3P2	15			
S4P1	28	Terrazas	Complejo Typic Haplustepts Mollic Ustifluvents Aridic Haplustepts	Bosque secundario, diámetros promedio de 10 cm, altura máxima de 10m, presencia de cactus
S4P2	2			
S5P1	2	Crestas y escarpes mayores	Consociación Lithic Ustorthents Humic Dystrustepts	Bosque secundario, sotobosque poco ralo, el estrato arbustivo está bien definido, presencia de lianas.
S5P2	1			
S6P1	27	Espinazos	Consociación Lithic Ustorthents Entic Haplustolls	Bosque secundario, altura máxima de los árboles de 7-10 m, diámetro promedio de 6-8 cm, presencia de lianas, sotobosque medianamente ralo, estrato arbustivo definido.
S6P2	21			
S7P1	3	Colinas - lomas	Asociación Typic Haplustolls Typic Haplustepts	Bosque secundario, muy intervenido, altura máxima de 5m, diámetros inferiores a 5 cm, presencia de lianas y epifitas.
S7P2	3			
S8P1	4	Vallecitos	Complejo Typic Ustifluvents Fluventic Haplustolls Typic Haplustepts	Bosque Secundario, altura máxima de 10-15m, sotobosque ralo, presencia de lianas.
S8P2	3			
S9P1	3	Colinas - lomas	Grupo indiferenciado Misceláneo erosionado y Lithic Ustorthens	Bosque Secundario de 26 años, altura máxima de 15-20 metros diámetros promedio de 15-20 cm, sotobosque ralo y presencia de lianas.
S9P2	1	Vallecitos	Complejo Typic Ustifluvents Fluventic Haplustolls Typic Haplustepts	
S10P1	3	Colinas - lomas	Complejo Typic Natrustalfs Typic Haplustepts	Bosque Secundario, Altura máxima 10 m, diámetros promedios de 5-7 cm, presencia de cactáceas, presencia de lianas, sotobosque poco ralo, arboles emergentes.
S10P2	3			
S11P1	1	Vallecitos	Complejo Typic Ustifluvents Fluventic Haplustolls Typic Haplustepts	Bosque secundario, estrato arbustivo ralo, altura máxima de 8 m, diámetros promedio de 8 -10 cm.
S11P2	2			
S12P1	2	Colinas - lomas	Asociación Lithic Ustorthens Typic Ustorthents	Bosque Secundario, Sotobosque ralo, bosque muy fragmentado, altura máxima de 4-5 m, presencia de lianas, diámetro promedio de 5-8 cm.

*Fuente: Mapa de suelos de Colombia: IGAC, 2003.

a)



b)



c)

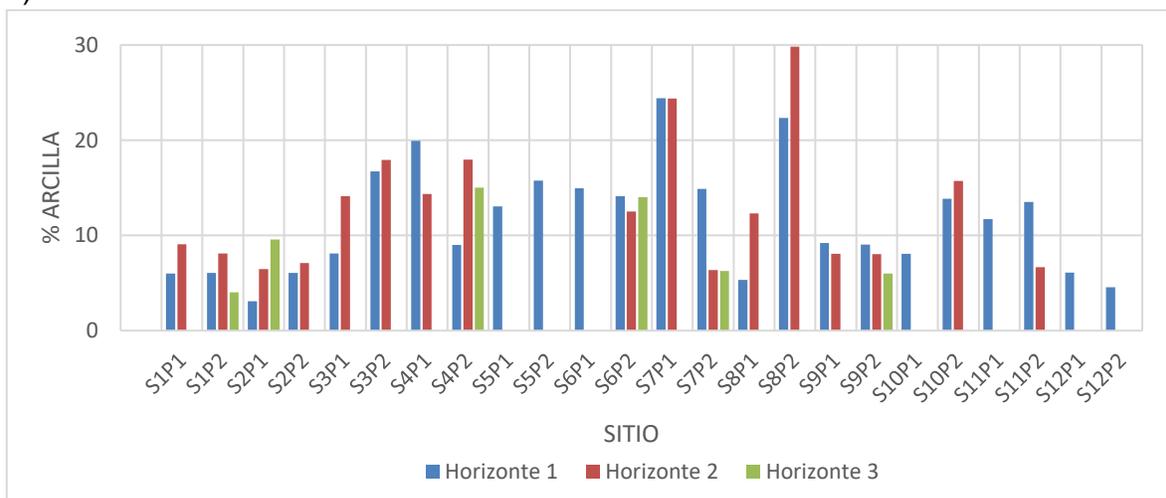


Figura 6. Fracción mineral del suelo a) Arena, b) Limo y c) Arcilla

Densidad aparente y espacio aéreo. Los suelos poseen naturalmente diferentes densidades debido a variaciones de la textura, la porosidad, el contenido de materia orgánica y su grado de compactación. Brady (1974), cita que suelos arenosos poseen una densidad del suelo de 1,20 a 1,80 g/cm³ y una porosidad de 35 a 50%, mientras que suelos arcillosos poseen una densidad de 1,00 a 1,60 g/cm³ y una porosidad de 40 a 60%, para suelos de textura arena franca alrededor de 1,75 g/cm³, 1,50 g/cm³ para suelos franco arenosos, 1,40 g/cm³ para suelos franco limosos y 1,20 g/cm³ para franco arcillosos.

En la figura 5a se presentan los valores de la densidad aparente de los suelos de Bts que oscila entre 1.53 gr/cc a 1.85 gr/cc lo cual evidencia el alto grado de compactación (Castro 1998 y Burbano y Silva, 2013). En los suelos agrícolas la densidad aparente y la porosidad del suelo son características que varían en función del tipo e intensidad de la labranza, sin embargo para los suelos de Bts se identificó que el principal indicador de compactación es el pastoreo extensivo ya que son utilizados como potreros. El porcentaje de espacio aéreo en los suelos de Bts de los 24 puntos estudiados oscila entre el 12 y 42 % (Figura. 7), la difusión de gases se considera nula en valores por debajo del 10 % (Warren, 1975).

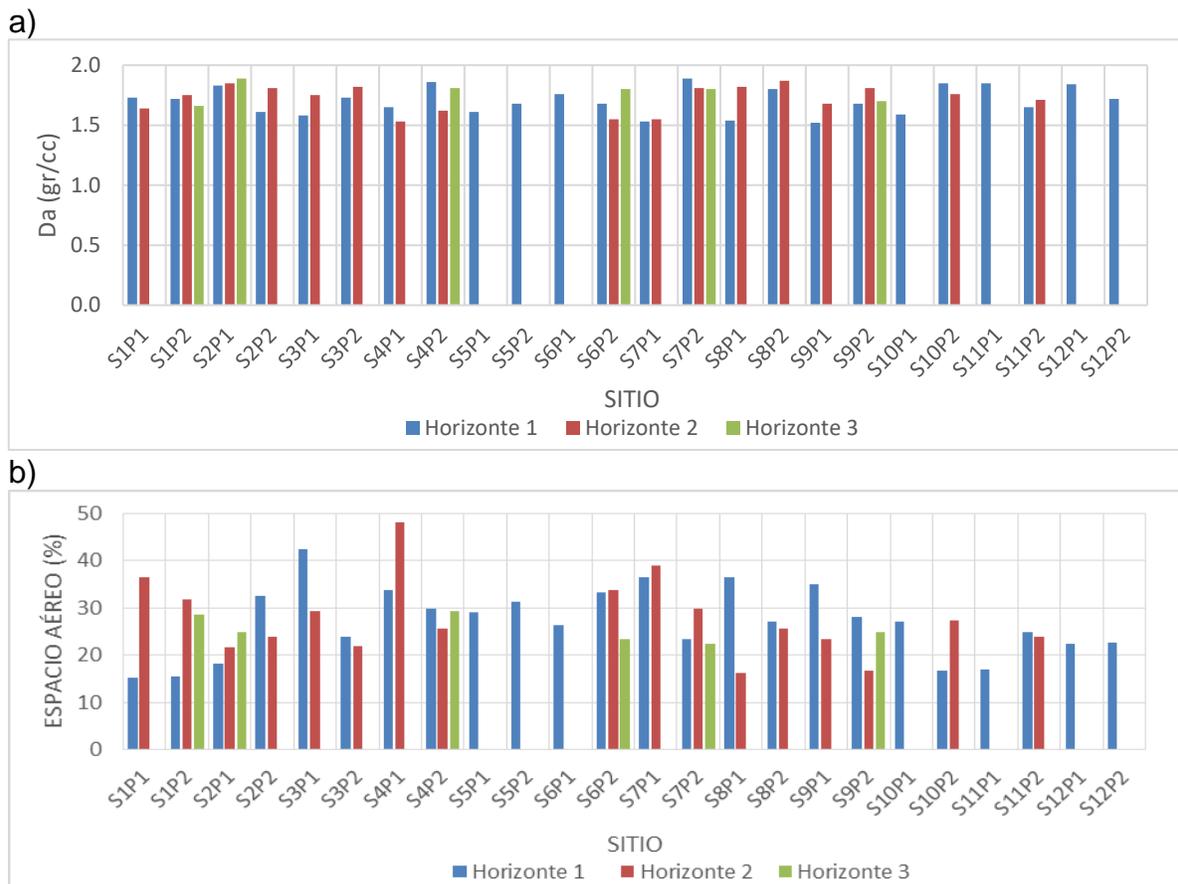


Figura 7. Aireación del suelo: a) Densidad Aparente b) Espacio Aéreo

Estabilidad Estructural. En la figura 8, se presenta el comportamiento de la estabilidad estructural de los suelos correspondientes a la zona de estudio, en donde se ha delimitado los rangos para las distintas clasificaciones que corresponden a la interpretación de los valores obtenidos en el laboratorio. Para el primer horizonte, que se encuentra sometido las acciones superficiales, se observa que el 38% de los suelos se clasifica como moderadamente estables (S2P1, S3P1, S4P1, S5P1, S5P2, S6P1, S6P2, S12P1, S12P2), el 33% estables (S1P1, S1P2, S2P2, S4P2, S7P1, S8P2, S10P2, S11P2), el 25% ligeramente estables (S3P2, S8P1, S9P1, S9P2, S10P1, S11P1) y el S7P2 ubicado en el municipio de Baraya Huila se clasificó como muy estable.

Generalmente los contenidos de arcilla están relacionados con la estabilidad de los agregados del suelo, sin embargo los suelos estudiados no presentan relaciones directas entre el contenido de arcilla y la estabilidad estructural, por lo tanto la variación de esta propiedad física puede estar siendo condicionada por la cantidad de materia orgánica, contenidos minerales de hierro en el perfil, la presencia de sales carbonatadas que favorecen la dispersión de los agregados y la acción de pastoreo de animales bovinos, ovinos y caprinos que generan la compactación de la estructura principalmente en el horizonte superficial.

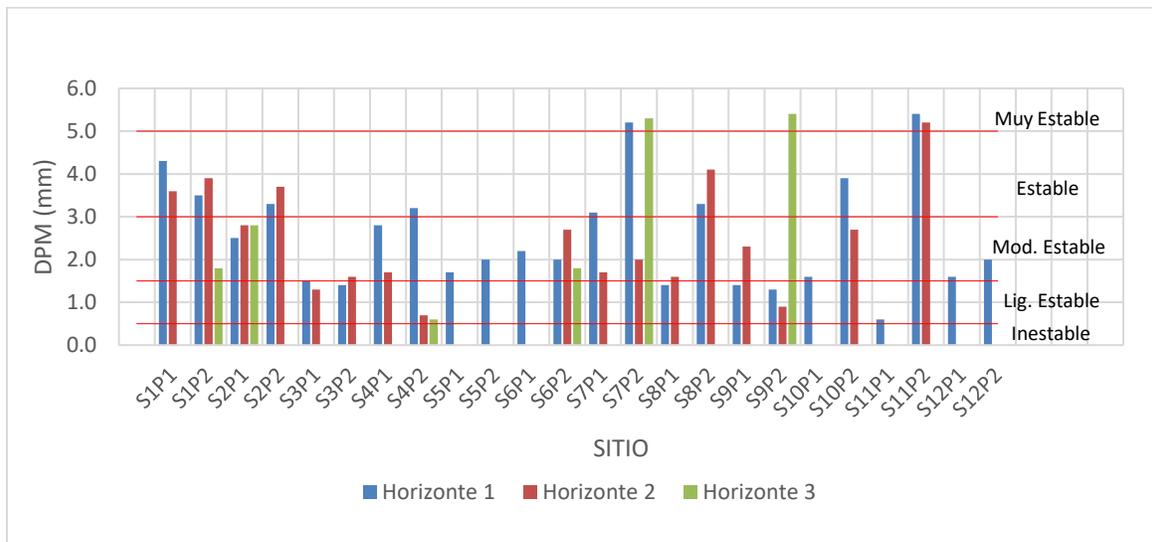


Figura 8. Valores de estabilidad estructural

Retención de Humedad. Desde el punto de vista de la planta, interesa conocer cuál es la energía con que un volumen de agua está retenido por el suelo. La relación que existe entre el contenido de humedad del suelo y el potencial o energía con que esta retenida esa humedad se llama curva de adsorción o retención de humedad (Valenzuela & Torrente, 2010).

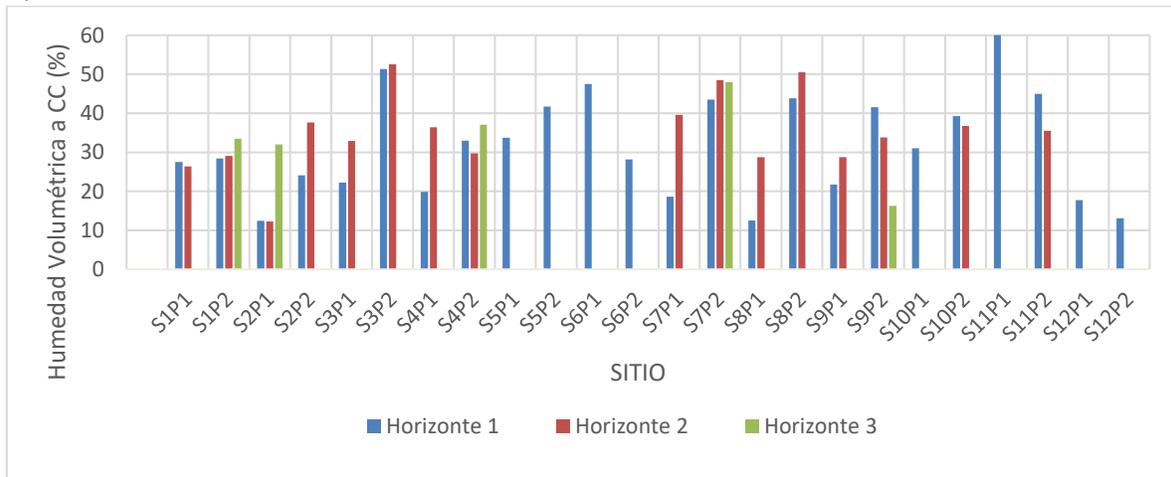
Las curvas de retención de humedad se determinan mediante el proceso de secado en las ollas de presión a partir de saturación capilar del suelo durante 24 horas, estas curvas se afinaron al modelo matemático potencial con coeficientes de correlación superiores al 97%, así se logró estimar la función de retención (Anexo. B).

En la figura 9a y 9b, se presentan los valores de humedad volumétrica a CC y PMP que varían en el primer horizonte de 14.63 a 47.16% y de 3.88 a 25.49% respectivamente, además se evidencian dos comportamientos antagónicos, en el que la retención de humedad aumenta o disminuye en el segundo horizonte, una explicación para este comportamiento puede tener fundamento en la migración de las Arcillas y los Limos finos hacia los horizontes subsuperficiales lo que favorece el aumento de la retención de Humedad, para el caso contrario se debe a que los horizontes más profundos pertenecen a suelos más gruesos con una predominancia mayor de la fracción Arena.

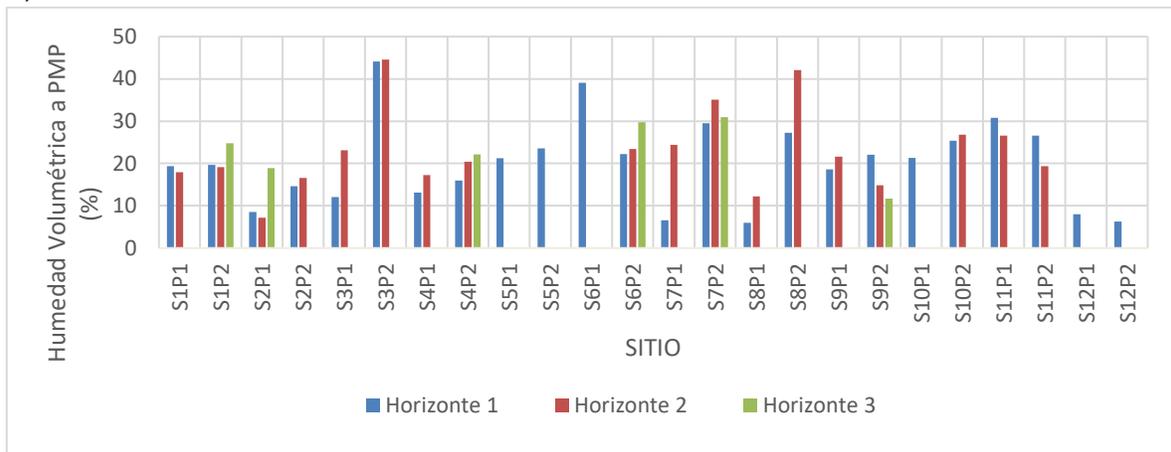
En general para el primer horizonte el 46% de los suelos tienen baja disponibilidad de agua, el 42% poseen de media a alta, el 8% muy baja los cuales corresponden al S2P1 y S9P1 ubicados en los municipios de Honda Tolima y Villavieja Huila respectivamente, encontrando una particularidad en el municipio de Villavieja en el S11P1 el cual presenta muy alta disponibilidad de agua, esta particularidad se debe a que el municipio de Villavieja presenta una alta variabilidad espacial de los suelos en donde se encuentran clases texturales desde los arenosos hasta los franco arcillosos con colores que varían desde los pardos, amarillos, grises y rojizos.

Los contenidos de agua aprovechable para las plantas en los Bts en su mayoría son bajos; esto infiere que la supervivencia de las especies vegetales está condicionada a la frecuencia de las lluvias. Dicha zona presenta lluvias del régimen bimodal con temperaturas superiores a los 30 °C sometiendo a un estado crítico los sitios que poseen muy baja agua aprovechable como el caso de Honda y Villavieja (Figura. 9c).

a)



b)



c)

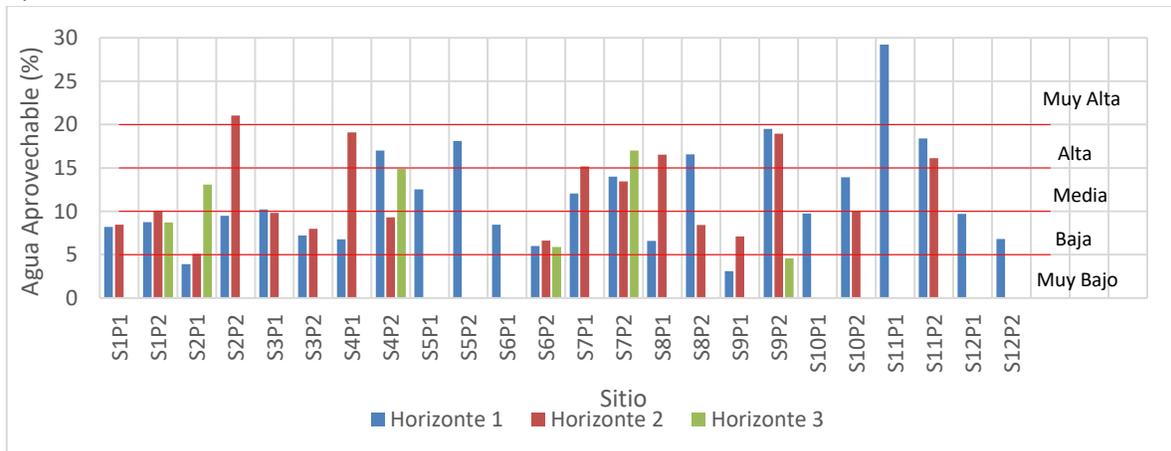


Figura 9. Humedad del suelo a) Capacidad de Campo b) Punto de Marchitez Permanente c) Agua aprovechable

5.3 Propiedades Hidrodinámicas del suelo

Velocidad de infiltración. La infiltración es el mecanismo por medio del cual el agua penetra en los horizontes de la superficie del suelo y se mueve hacia el manto freático (Alvear, 2003), las características que afectan la infiltración son principalmente la textura, la cantidad y tipo de arcillas y los contenidos de materia orgánica (Malagón, 2001), los datos de la tasa de infiltración se ajustaron al modelo matemático de Kostiakov (Tabla 5). En la Figura 10 se representan los valores de la velocidad de infiltración de los suelos objeto de estudio, en general se observa que el 38% de los suelos presentan velocidades clasificadas como rápidas, otro 38% lenta, 16% desde moderadamente lenta, pasando por moderada hasta moderadamente rápida y 4% presentan valores de infiltración que se clasifican como muy rápida. En general los suelos de Bts en la cuenca alta del río de Magdalena, en cuanto a las características de la penetración vertical del agua, presentan condiciones de buen drenaje que disminuyen los riesgos de erosión y sostiene medios favorables para el desarrollo vegetal a excepción del S7P1 ubicado en el municipio de Baraya Huila en donde las pérdidas de agua por percolación son bastante altas. Observaciones de campo permitieron establecer que la variación de esta propiedad hidrofísica se debe a la presencia de capas subsuperficiales compactadas y a la presencia o aumento de materiales arcillosos en los horizontes inferiores en el perfil del suelo.

Tabla 5. Infiltración básica e instantánea evaluadas en los sitios de estudio

PUNTO	I acumulada = $a t^b$	I instantánea = $A t^B$	T básico = $-600 B$
Venadillo S1P1	1.3255 $t^{0.3058}$	24.320274 $t^{-0.6942}$	0.369332265
Venadillo S1P2	1.3441 $t^{0.2802}$	22.5970092 $t^{-0.7198}$	0.286494711
Honda S2P1	0.6355 $t^{0.2657}$	10.131141 $t^{-0.7343}$	0.1159
Honda S2P2	0.2789 $t^{0.6465}$	10.818531 $t^{-0.3535}$	1.628306541
Cambao S3P1	1.3555 $t^{0.6963}$	56.630079 $t^{-0.3037}$	11.6548
Cambao S3P2	1.1229 $t^{0.5851}$	39.4205274 $t^{-0.4149}$	3.9956
Guataquí S4P1	1.1156 $t^{0.7547}$	50.5165992 $t^{-0.2453}$	14.8478
Guataquí S4P2	0.8356 $t^{0.8359}$	41.9086824 $t^{-0.1641}$	19.7338
Girardot S5P1	0.5269 $t^{0.5241}$	16.5688974 $t^{-0.4759}$	1.1237
Girardot S5P2	0.668 $t^{0.8663}$	34721304 $t^{-0.1337}$	19.3194
Girardot S6P1	2.3286 $t^{0.6745}$	94.238442 $t^{-0.3255}$	16.9280
Girardot S6P2	1.0285 $t^{0.8353}$	51.546363 $t^{-0.1647}$	24.1906
Baraya S7P1	15.105 $t^{0.4072}$	369.04536 $t^{-0.5928}$	11.3452
Baraya S7P2	17.502 $t^{0.4975}$	522.4347 $t^{-0.5025}$	29.6613
Villavieja S8P1	0.8459 $t^{0.7813}$	39.6541002 $t^{-0.2187}$	13.6484
Villavieja S8P2	1.0309 $t^{0.2314}$	14.3130156 $t^{-0.7886}$	0.1283
Villavieja S9P1	1.7425 $t^{0.6639}$	69.410745 $t^{-0.3361}$	11.6639
Villavieja S9P2	1.2443 $t^{0.4281}$	31.9610898 $t^{-0.5719}$	1.1339
Villavieja S10P1	1.8329 $t^{0.5769}$	63.4440006 $t^{-0.4231}$	6.0955
Villavieja S10P2	3.473 $t^{0.3}$	62.514 $t^{-0.7}$	0.9114
Villavieja S11P1	2.1079 $t^{0.239}$	30.227286 $t^{-0.761}$	0.2861
Villavieja S11P2	1.0987 $t^{0.291}$	19.183302 $t^{-0.709}$	0.26248588
Neiva S12P1	2.0559 $t^{0.6689}$	82.5114906 $t^{-0.3311}$	14.30902588
Neiva S12P2	1.0975 $t^{0.715}$	47.08275 $t^{-0.285}$	10.87571779

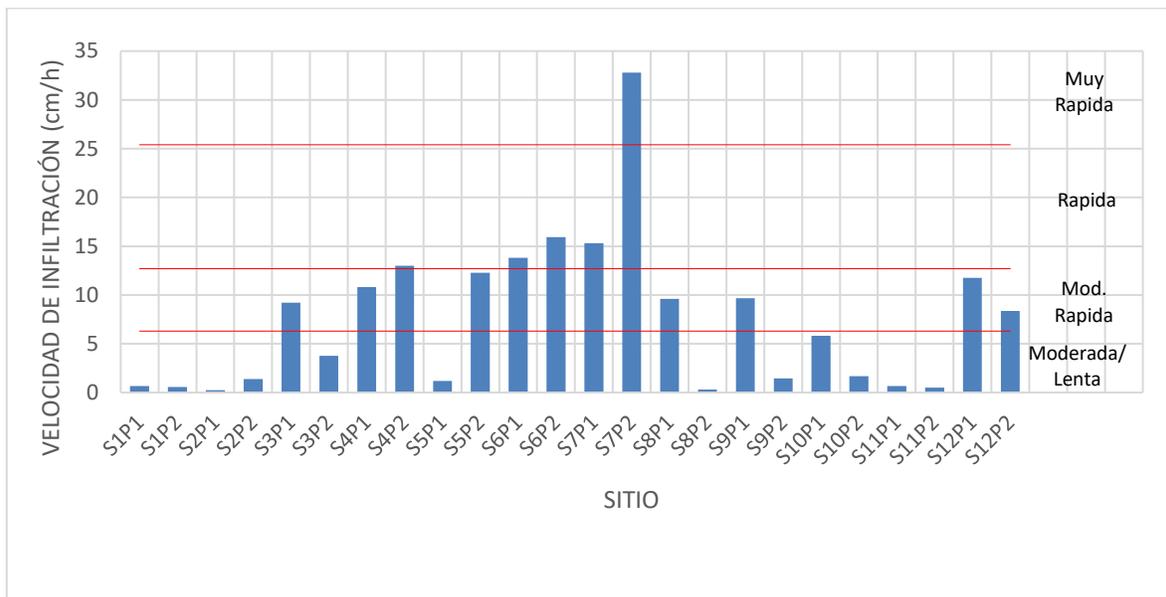


Figura 10. Valores de la velocidad de infiltración

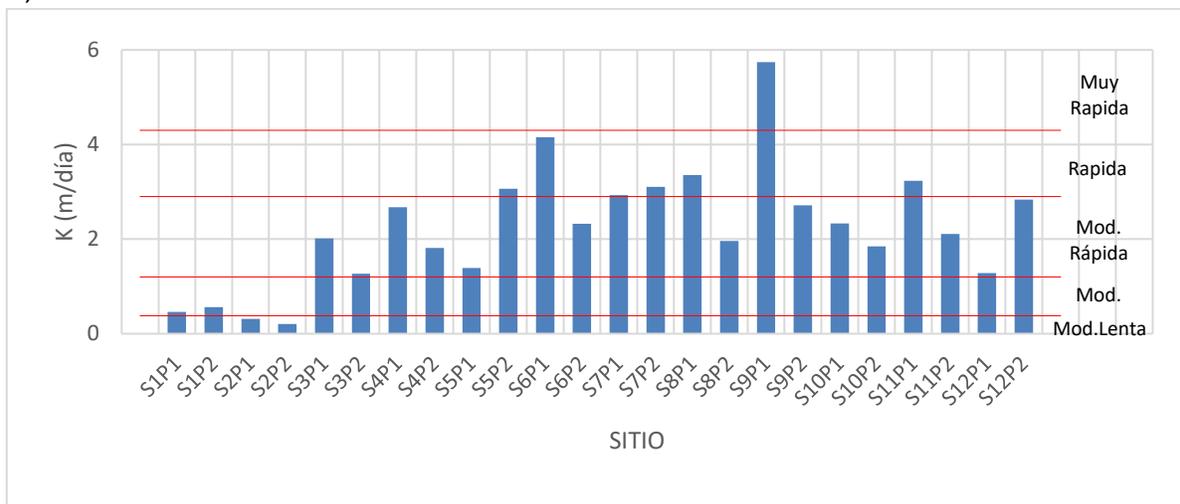
Permeabilidad y conductividad hidráulica. La conductividad hidráulica es un valor que integra microscópicamente todas las características del suelo y es la medida de la capacidad del suelo para conducir el agua bajo un gradiente de potencial (Alvear, 2003).

Las determinaciones realizadas mediante el pozo barrenado a 60 cm de profundidad mostraron que el 54% de los suelos estudiados presentan una conductividad hidráulica moderadamente rápida, el 25% rápida, 17% moderada a moderadamente lenta y el 4% presentó valores que se clasificaron como muy rápida (Figura 11a). Por otro lado las determinaciones realizadas con permeámetro de *guelph* mostraron que el 46% de los suelos presentan valores de permeabilidad clasificados como moderada, 21% muy lenta, 17% moderadamente lenta, 8% moderadamente rápida, y 8% presentaron permeabilidades que van desde rápida a muy rápida (Figura 11b).

Los valores de conductividad hidráulica obtenidos con los dos métodos son diferentes, aunque los dos son altamente confiables esto se debe a que el método de permeámetro de *guelph* realiza una determinación puntual a los 60 cm de profundidad y tiende a ser más sensible a los cambios del suelo. Por otro lado el método del pozo barrenado inverso resulta más sencillo de trabajar y arroja valores más técnicos desde el punto de vista de la ingeniería.

En general la conductividad hidráulica presenta valores de moderada a moderadamente rápida, manifestando condiciones asociadas al buen drenaje interno de los suelos. La mayoría de los suelos presentan valores más altos cuando la porosidad total también es mayor, esto se debe a que a mayor porosidad mayor área efectiva porosa de transmisión de agua, en el resto de los casos no se observa un comportamiento claro que lo relacione con la porosidad total, en este caso se puede decir que el flujo de agua en el suelo no solo está limitado a la cantidad de poros sino también al tamaño y su distribución, por lo tanto es probable que en estos suelos se presente un mayor número de microporos que restringen drásticamente la conducción de agua en el suelo.

a)



b)

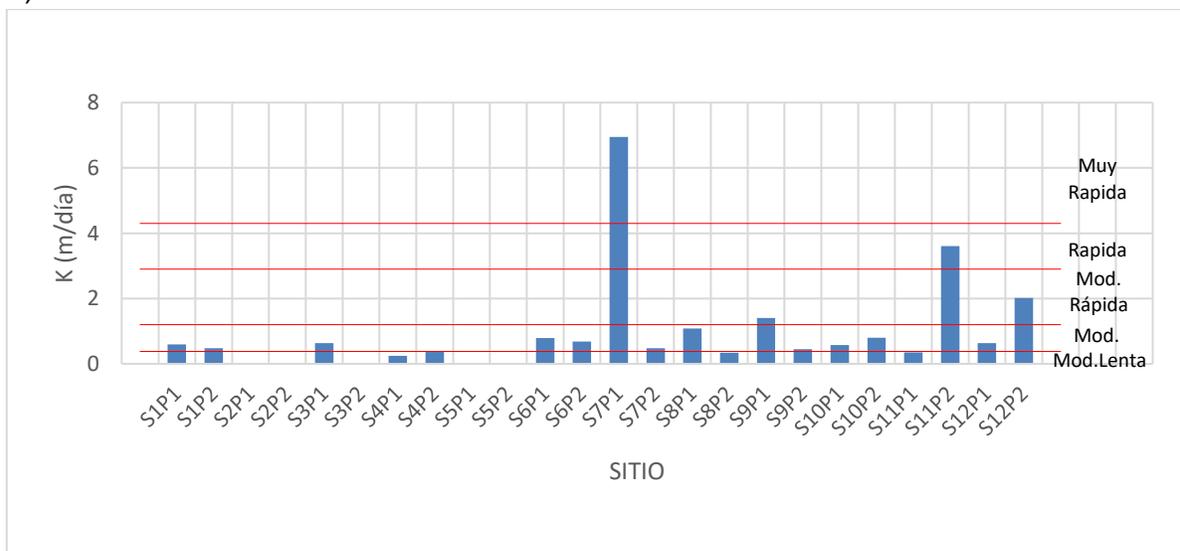


Figura 11. Valores de conductividad hidráulica: a) Ks con pozo barrenado b) Ks con permeámetro de Guelph

5.4 Propiedades químicas

De acuerdo con los análisis realizados en los laboratorios de suelos de la universidad Surcolombiana y la universidad de ciencias aplicadas y ambientales se analizaron 24 muestras de los sitios estudiados donde se obtuvieron datos individuales de pH, materia orgánica, CIC, C.E, sodio, potasio, calcio, magnesio, fósforo, azufre, elementos menores, relación Ca/Mg y (Ca+Mg)+k (Anexo. C).

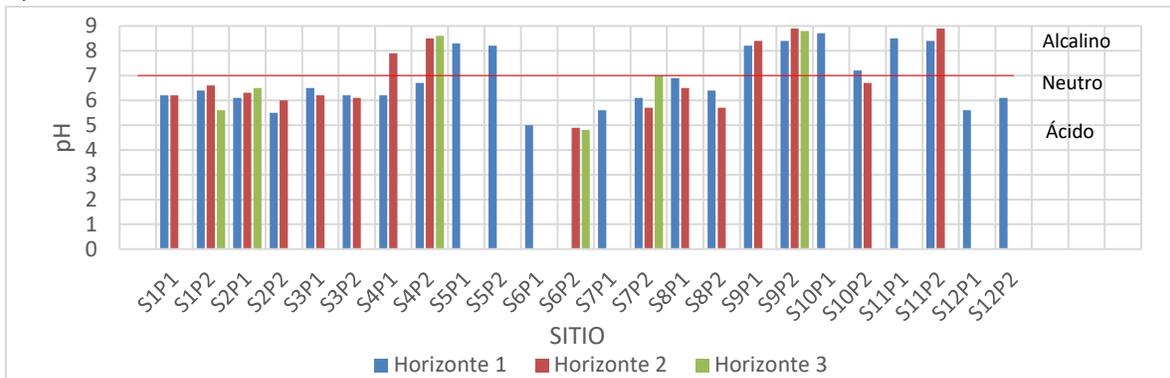
Indicadores químicos del suelo (pH, %CO, CIC, C.E). En la región norte del departamento del Tolima y Huila presentan las condiciones de climas más secos, lo que explica la ocurrencia de suelos con pH de ligeramente ácidos a fuertemente alcalinos, bajos contenidos de materia orgánica, deficiencias de las bases intercambiables y elementos menores con baja fertilidad.

De manera general, el pH de los suelos del Bts varía entre 5 y 8.7. Los suelos del norte del departamento del Tolima como Venadillo, Honda, San Juan de Rio Seco – Cambao y Guataquí en su mayoría son ligeramente ácidos (6.2-6.5); ocurriendo una variación en Honda en el S2P2 donde se presentan valores de pH fuertemente ácidos. En el municipio de Girardot ubicado al suroccidente del departamento de Cundinamarca el pH va desde muy fuertemente ácido a moderadamente alcalino (5.0-8.3). Al norte del departamento del Huila encontramos suelos moderadamente ácidos en Neiva y Baraya, en el municipio de Villavieja el pH va desde ligeramente ácido, pasando por neutro hasta fuertemente alcalino (6.4-8.7) (Figura. 12a).

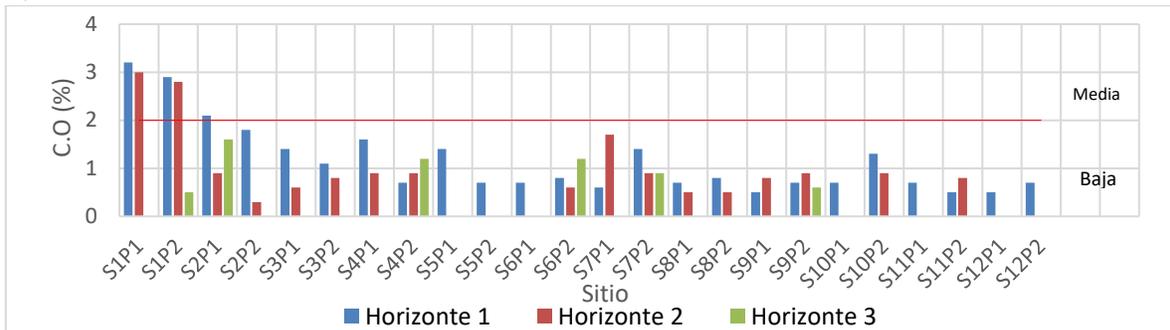
La acidez del suelo está asociada principalmente a la presencia Al^{+3} , Fe^{+3} , Mn^{+4} , esto es un problema en los suelos localizados en las cordilleras andinas y en los valles interandinos de aluviones ácidos. A pH inferiores a 5.5, la acidez del suelo puede ser un limitante para el desarrollo vegetal.

El porcentaje de carbono orgánico (%CO) en el Bts de los 24 puntos estudiados en su primer horizonte oscila entre 0,6 y 3,1%. En 17 puntos equivalentes al 70,8 % hay un segundo horizonte con un %CO que oscila de 0,3 a 3%, por último en 6 puntos equivalentes a un 25% de los suelos estudiados, el perfil modal presenta un tercer horizonte con valores de carbono orgánico entre el 0,4 y 1,6 %. Esto indica que a mayor profundidad menor es el %CO. En general los suelos de Bts en la cuenca alta del rio Magdalena contienen bajo %CO como resultado de la alta velocidad de mineralización de la materia orgánica debido a las altas temperaturas (Figura. 12b). Los valores de conductividad eléctrica son bajos y no representan ningún riesgo de salinidad por efecto de sales solubles en el suelo (Figura. 12d).

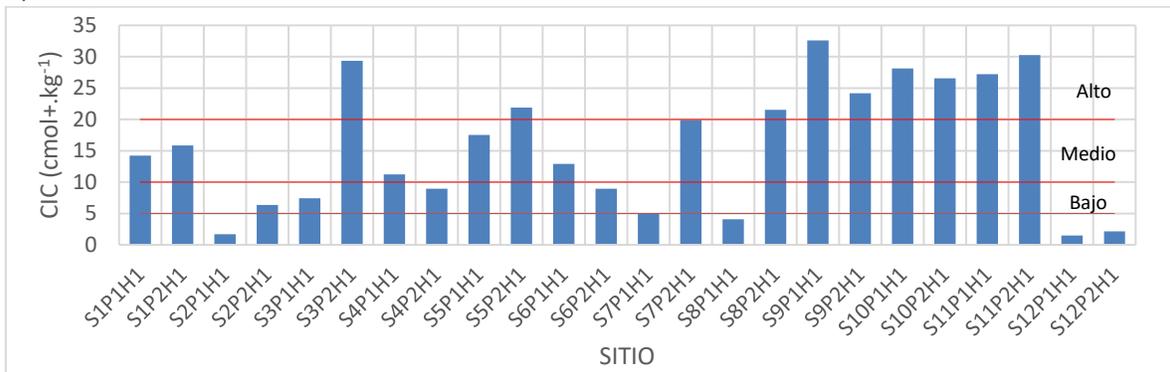
a)



b)



c)



d)

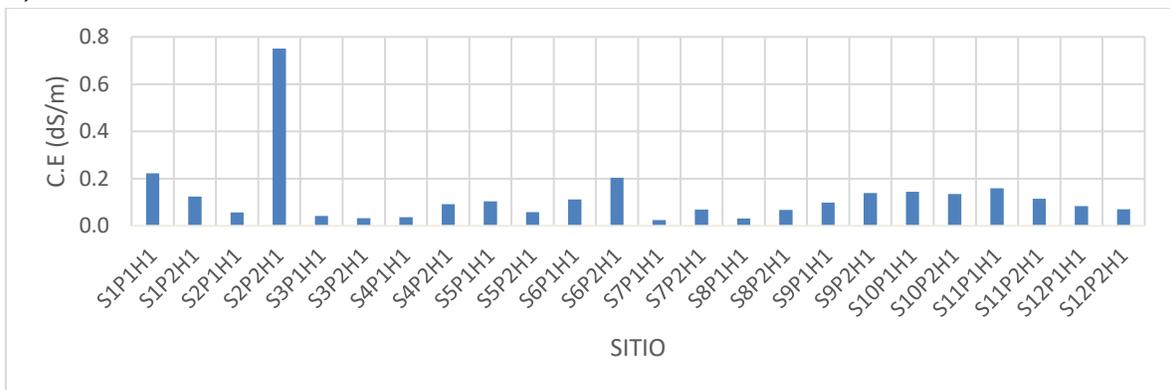


Figura 12. Indicadores químicos a) Valores de pH. b). Valores de % carbono orgánico. c) Valores de la capacidad de intercambio catiónico, d) Valores de C.E

El mayor indicador de fertilidad del suelo dada por la capacidad de intercambio catiónico (CIC) lo registran zonas ubicadas en el municipio de Villavieja (Huila) y San Juan de rio Seco (Tolima), por el contrario la menor fertilidad se da en suelos ubicados en los municipios de Honda (Tolima) y Neiva (Huila) (Figura 12c). Este parámetro depende esencialmente de los coloides compuestos por la materia orgánica y por el contenido y tipo de arcillas, conformando el almacén retenedor de cationes que se constituye como la reserva nutritiva para las plantas.

El Fosforo y el Azufre (P, S). La fijación del fosforo es mayor cuando el pH es menor a 5 y las plantas presentan deficiencias de fosforo debido a la fijación o insolubilidad efectuada por parte del aluminio y el hierro, la mayor disponibilidad del fosforo ocurre a pH entre 5.5 y 7, debido a que a este pH el Al precipita a $Al(OH)_3$ y deja de ser toxico (Torrente, 2015).

Altos contenidos de fosforo en el suelo, se registran en los sitios ubicados en los municipios de Guataquí, Venadillo y Villavieja y son bajos a muy bajos en Girardot, Neiva y Baraya. En general los contenidos más altos de fosforo se presentan a pH neutro y alcalino y los niveles más bajos se presentan a pH ácido (Figura. 13); aunque el suelo muestre contenidos de fosforo este puede no estar disponible para las plantas debido a que cuando la acidez aumenta el fosforo se fija dando lugar a compuestos insolubles de hierro y aluminio.

Los valores de azufre van desde el rango medio a alto y las mayores concentraciones se presentan en los municipios de San Juan de Río Seco- Cambao (S3P1) y Baraya (S7P1) (Figura. 14).

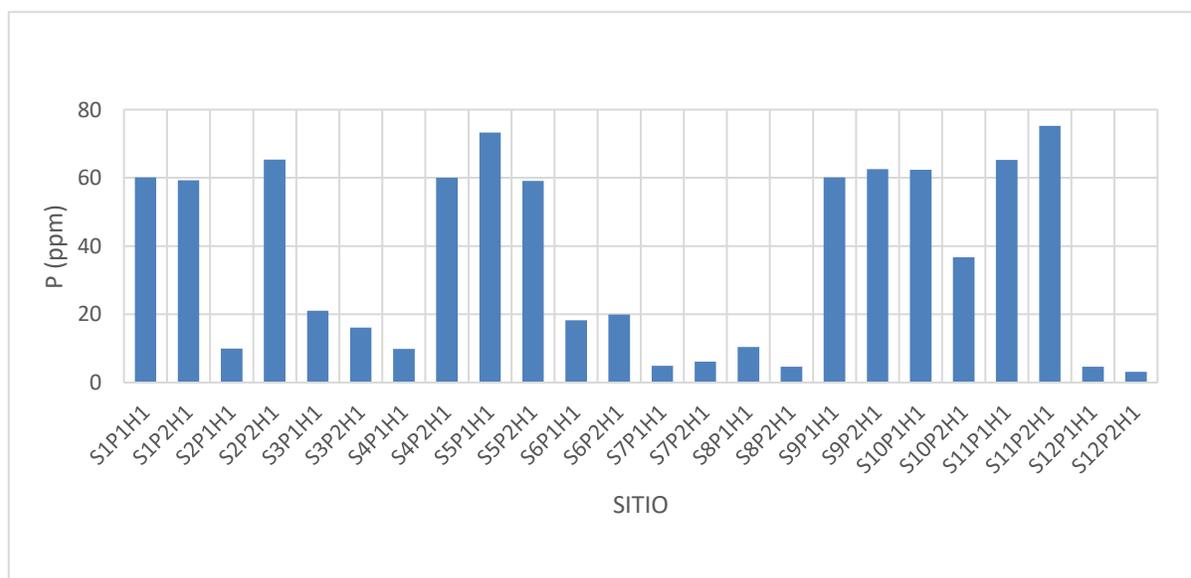


Figura 13. Valores de fosforo

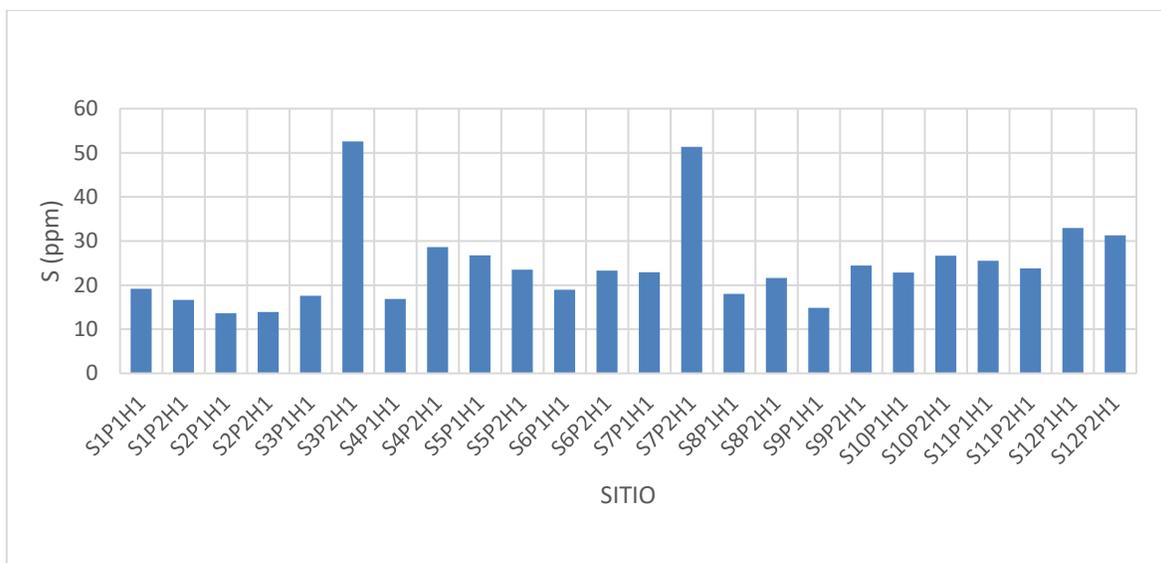


Figura 14. Valores de azufre

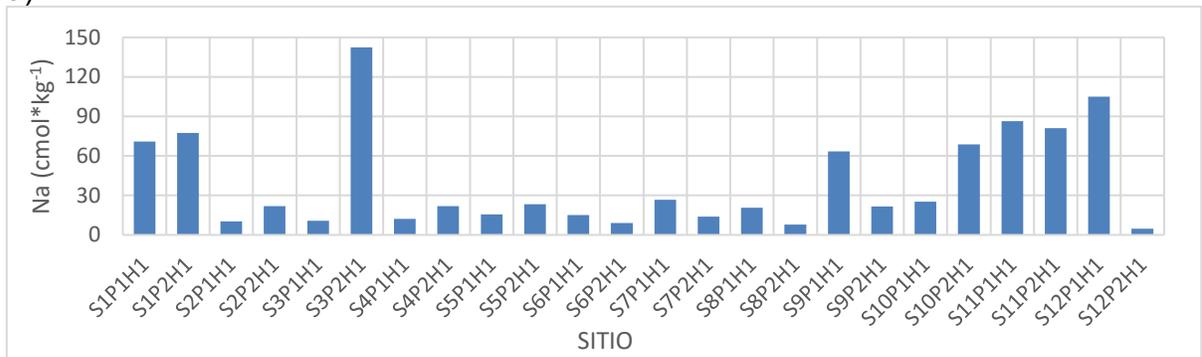
Bases intercambiables (Na, K, Ca, Mg). Las bases intercambiables corresponden a elementos alcalinos principalmente de los grupos IA como el Na y K y del grupo IIA como el Ca y Mg, estos elementos pueden ser cambiados por otros iones con carga positiva presentes en la solución del suelo.

Los niveles de sodio en el suelo son altos, propios de los climas cálidos de alta evapotranspiración que aumentan la concentración de sales en el suelo, su predominancia en el complejo catiónico indica que los suelos son sódicos a excepción de los sitios ubicados en Honda, Cambao (S3P1), Villavieja (S9P1) y Neiva (S12P2).

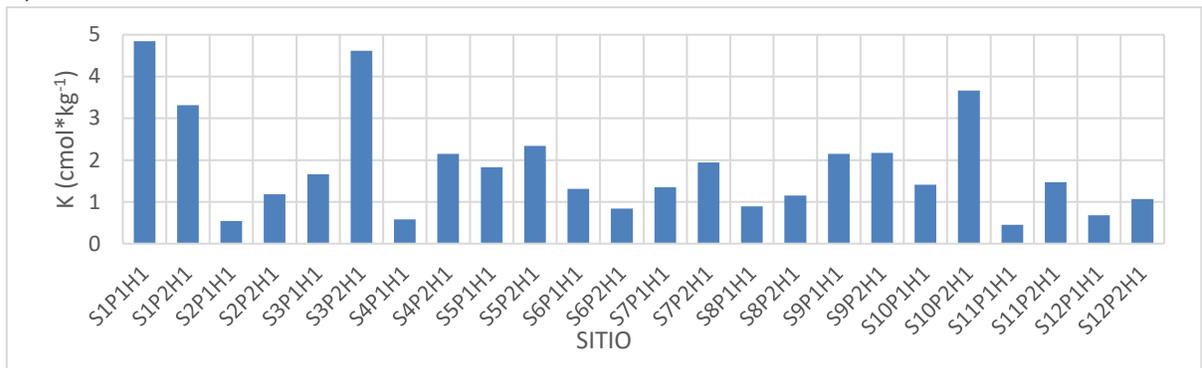
En general, se observan altos contenidos de potasio, los suelos con mayor concentración de este elemento se localizan en Venadillo, Cambao (S3P2) y Villavieja (S10P2), las mayores concentraciones de calcio se encuentran en Girardot y Villavieja, mientras que las concentraciones más altas de magnesio se ubicaron en Cambao (S3P2), Villavieja y Neiva (S12P1) (Figura. 15).

La relación $Ca + Mg/K$ confirma que los niveles de potasio son adecuados, mientras que la relación Ca/Mg muestra deficiencias de calcio especialmente en los sitios ubicados en Honda (S2P1, S2P2), Cambao (S3P2), Baraya (S7P1) y Neiva (S12P1). En Girardot y Villavieja se presentan deficiencias de magnesio por el antagonismo de los altos niveles de calcio (Figura. 16).

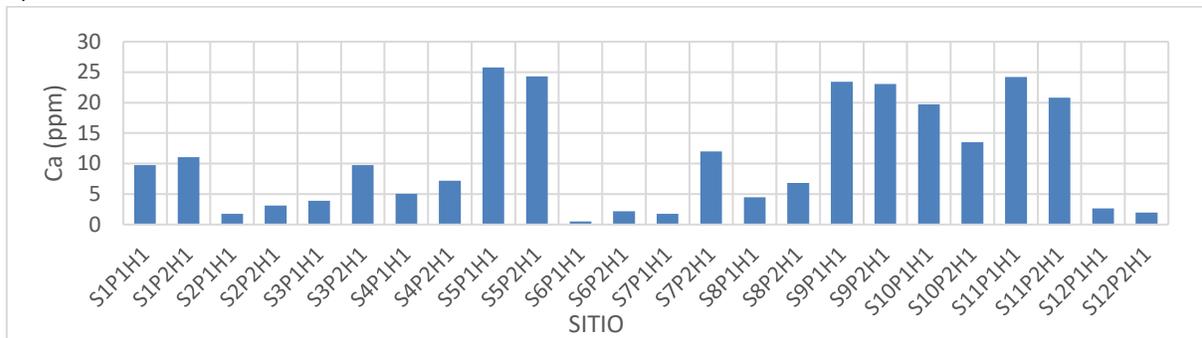
a)



b)



c)



d)

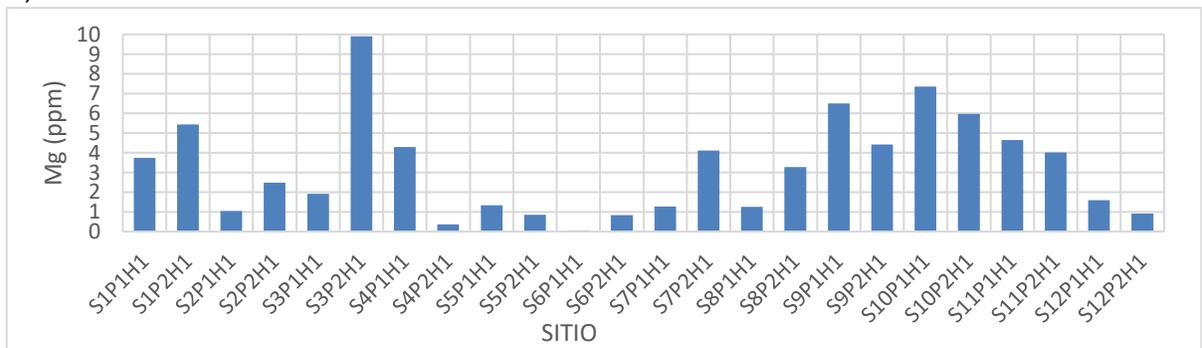
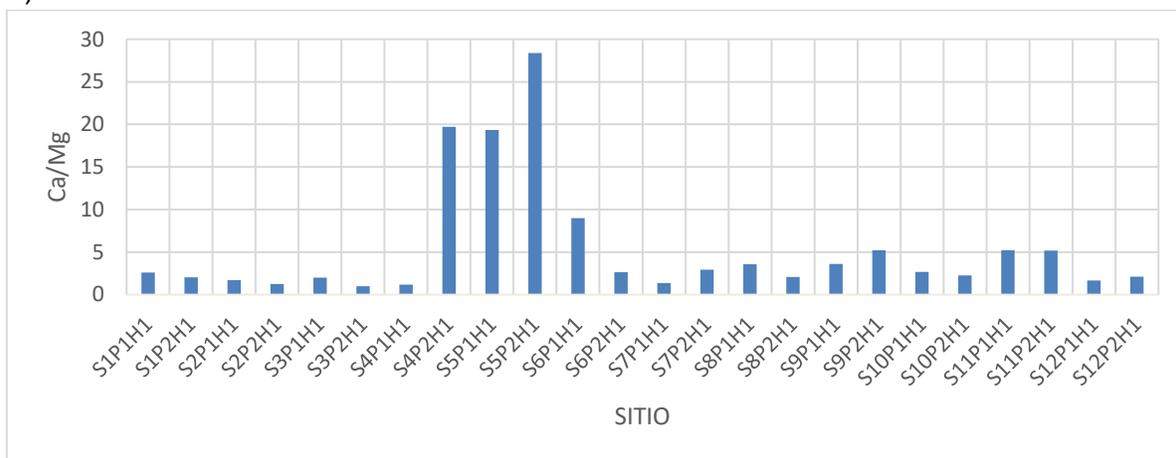


Figura 15. Bases intercambiables. a). Valores de Sodio b). Valores de calcio c). Valores de Potasio d). Valores de Magnesio.

a)



b)

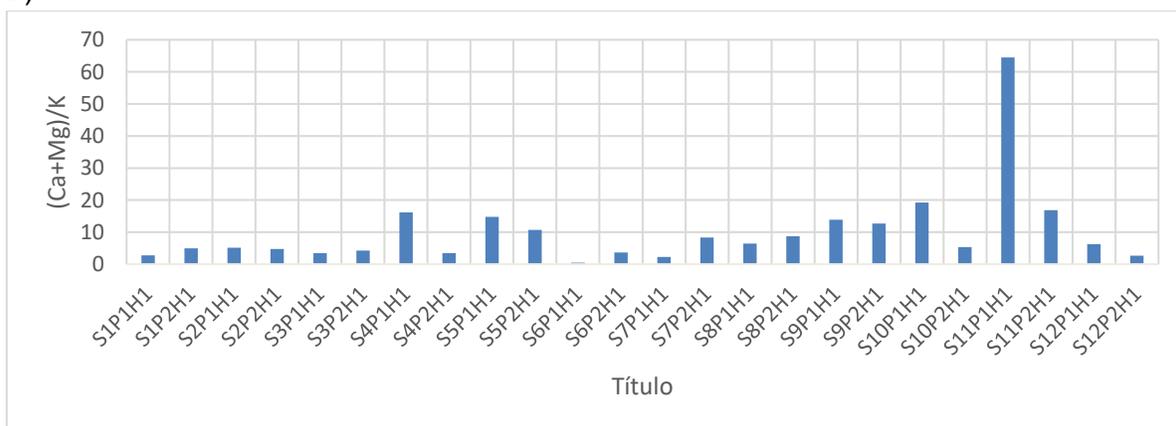


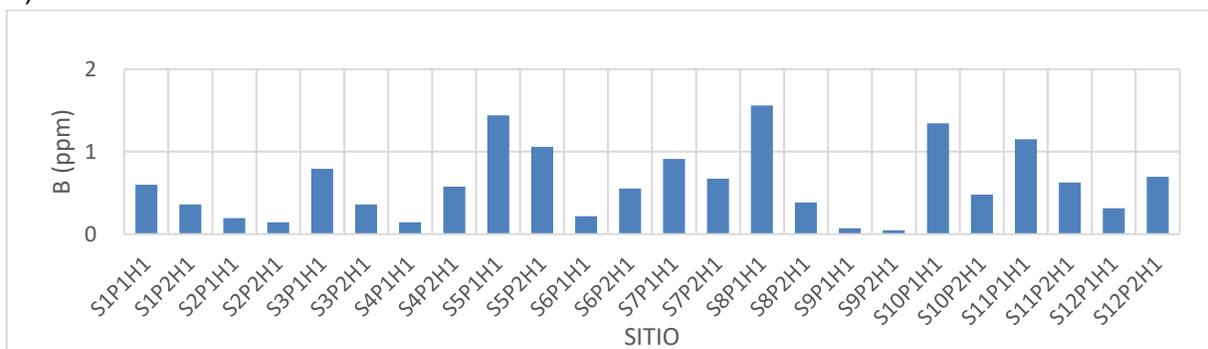
Figura 16. Relaciones catiónicas: a) Ca/Mg b) Ca+Mg)/K

Elementos menores (Fe, Mn, Cu, Zn, B). Son elementos vitales para las funciones fisiológicas prioritarias del crecimiento y desarrollo vegetal, su deficiencia puede causar graves afectaciones en las plantas y sus altas concentraciones pueden llevar a la intoxicación del suelo.

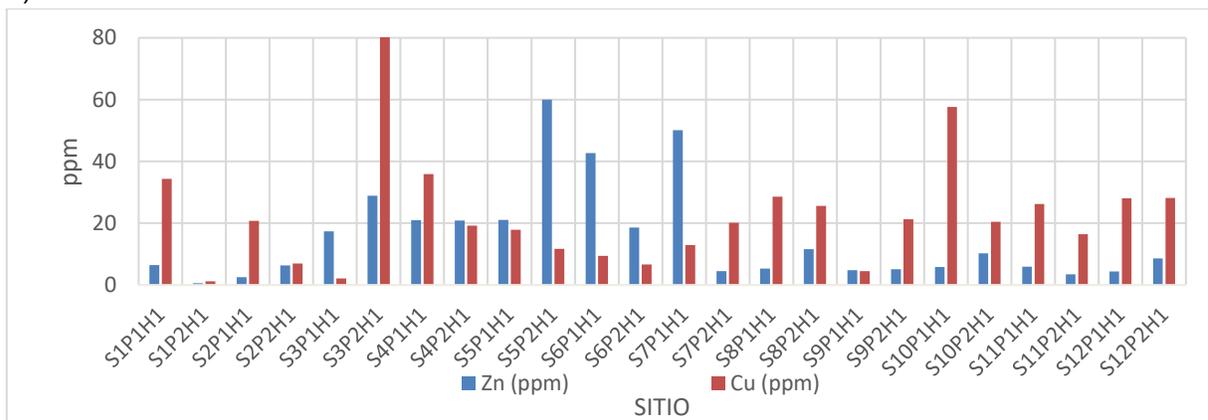
Las mayores deficiencias de micronutrientes se reportan en la planicie aluvial del río Magdalena y en la zona cálida seca, siendo las deficiencias más comunes las de B y Zn (Torrente, 2015).

En los sitios estudiados del departamento del Tolima se presentan altas concentraciones de Mn especialmente en Venadillo y Guataquí con deficiencias de B, Zn y Cu, en Cundinamarca los suelos presentan deficiencias de B y Mn, mientras que en el departamento del Huila se encuentra deficiencias de B, Cu y Zinc con altas concentraciones de Mn en el municipio de Baraya (Figura. 17).

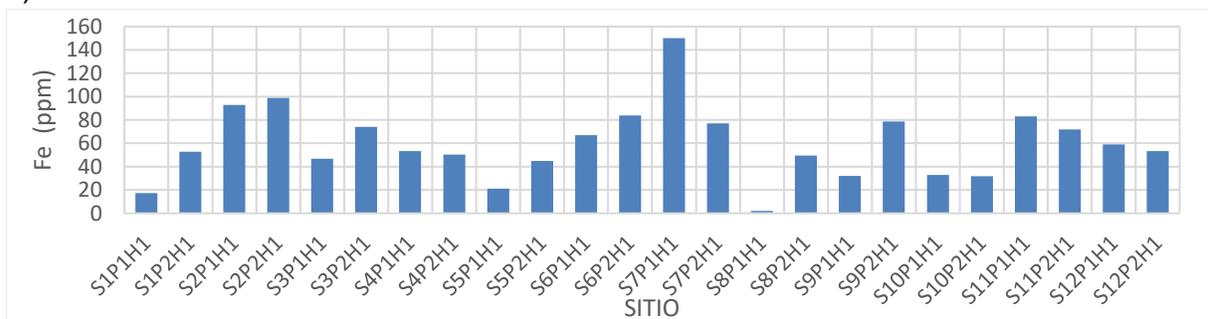
a)



b)



c)



d)

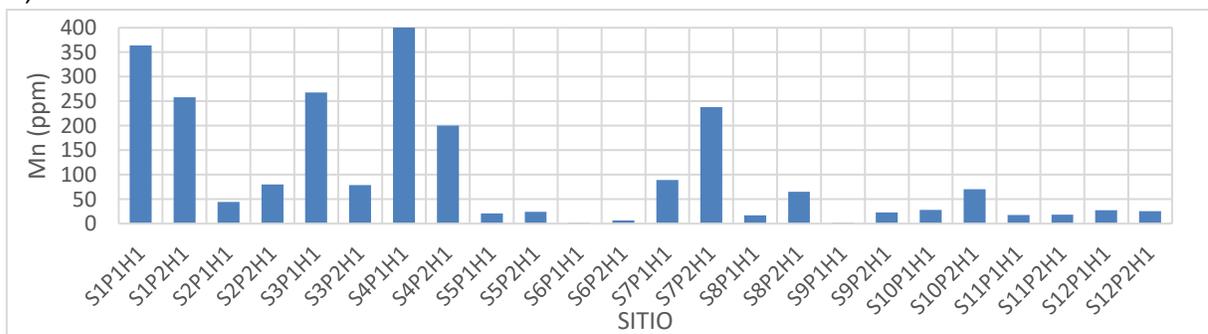


Figura 17. Elementos menores a). Valores de Cobre, b). Valores de Zinc, c). Valores de Hierro, d). Valores de Manganeso

5.5 Análisis estadístico

Los Bts en la cuenca alta del río Magdalena, entre los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Huila, se caracterizan en sus propiedades físicas en contener un porcentaje de Arenas entre el 60 y 90%, Limos entre el 2 y 30%, las Arcillas entre el 3 y 21.32%, conformando así clases texturales gruesas y suelos muy livianos con una densidad promedio de 1,64 gr/cc y una porosidad total de 21.63 a 47% denotando en algunos sitios problemas de compactación, la estabilidad estructural tiene un diámetro ponderado medio de las partículas (DPM) de 2.55 mm indicando que la estructura de los suelos es estable, la infiltración va desde 0.12 a 29.66 cm/hr, la conductividad hidráulica en promedio con pozo barrenado es de 2.24 m/día mientras que la permeabilidad medida con el permeámetro de guelph va desde 0.001 a 6.95 siendo esta la propiedad con el mayor coeficiente de variación.

En cuanto a sus propiedades químicas, el pH varía entre 5 y 8.7 con una media de 6.8 y un coeficiente de variación de 16.79%, la conductividad eléctrica oscila entre 0.02 y 0.2 dS/m y no en ningún caso representa riesgo de salinidad, los porcentajes de carbono orgánico son bajos, en promedio del 1.15% y la capacidad de intercambio catiónico de 15.81 $\text{cmol}^+.\text{kg}^{-1}$, el fósforo, azufre, boro, cobre hierro y manganeso presentan valores medios de 57.50, 24.49, 0.61, 15.25, 22.45, 58.09 y 98.60 ppm respectivamente, siendo el manganeso el elemento químico con el mayor coeficiente de variación con un recorrido que va desde 1.70 hasta 401.9 ppm, en cuanto a las bases intercambiables el sodio, potasio. Calcio y magnesio muestran valores medios de 39.83, 1.82, 10.72 y 3.23 ppm respectivamente con altos coeficientes de variación (Tabla. 6).

Una vez conocidas las propiedades, se procedió a determinar el grado de similitud y representarlo en un dendograma (análisis Clúster), en el cual se observa una similitud por encima del 65% de todos los suelos estudiados y la conformación de dos grupos (Figura. 18), en general las características más homogéneas de los suelos de Bts en el alto Magdalena son la densidad aparente, densidad real, el porcentaje de Arenas y la porosidad, mientras que las más variables son la permeabilidad (permeámetro de guelph), el manganeso, fósforo, zinc y sodio.

Tabla 6. Resumen estadístico

Variable	Media	Desv.Est.	C.V	Mín	Máx	Rango
% total Arenas	77.96	8.29	10.63	60.76	90.94	30.18
% total Limos	10.61	5.32	50.12	2.28	27.53	25.25
% total Arcillas	11.43	5.91	51.68	3.08	24.40	21.32
Da (g/cm ³)	1.64	0.10	6.12	1.50	1.84	0.34
Densidad Real (g/cc)	2.55	0.19	7.42	2.22	2.83	0.61
%P	35.10	7.13	20.31	21.63	47.16	25.53
DPM (mm)	2.55	1.27	49.63	0.60	5.40	4.80
CC (%)	32.34	9.98	30.87	14.63	49.17	34.54
PMP (%)	11.95	5.56	46.48	3.88	25.49	21.61
I (cm/hr)	8.94	8.81	98.61	0.12	29.66	29.55
Ks, pozo barrenado (m/día)	2.24	1.28	57.29	0.21	5.74	5.54
Ks, permeámetro (m/día)	0.94	1.50	159.99	0.001	6.95	6.95
pH	6.88	1.16	16.79	5.00	8.70	3.70
C.E (dS/m)	0.09	0.05	56.78	0.02	0.22	0.20
% Carbono orgánico	1.15	0.75	65.12	0.50	3.20	2.70
CIC (cmol+.kg-1)	15.81	10.13	64.06	1.49	32.59	31.09
P (ppm)	57.50	59.90	104.28	3.20	183.30	180.20
S (ppm)	24.49	9.92	40.52	13.63	52.55	38.91
B (ppm)	0.61	0.44	71.59	0.05	1.56	1.51
Zn (ppm)	15.25	15.80	103.55	0.62	59.96	59.35
Cu (ppm)	22.45	18.01	80.24	1.15	82.80	81.65
Fe (ppm)	58.09	33.01	56.83	1.96	150.12	148.16
Mn (ppm)	98.60	120.00	121.69	1.70	401.90	400.20
Na (cmol+.kg-1)	39.83	37.26	93.54	4.80	142.33	137.53
K (cmol+.kg-1)	1.82	1.21	66.56	0.45	4.85	4.40
Ca (cmol+.kg-1)	10.78	8.81	81.73	0.52	25.77	25.26
Mg (cmol+.kg-1)	3.23	2.53	78.23	0.06	9.91	9.85

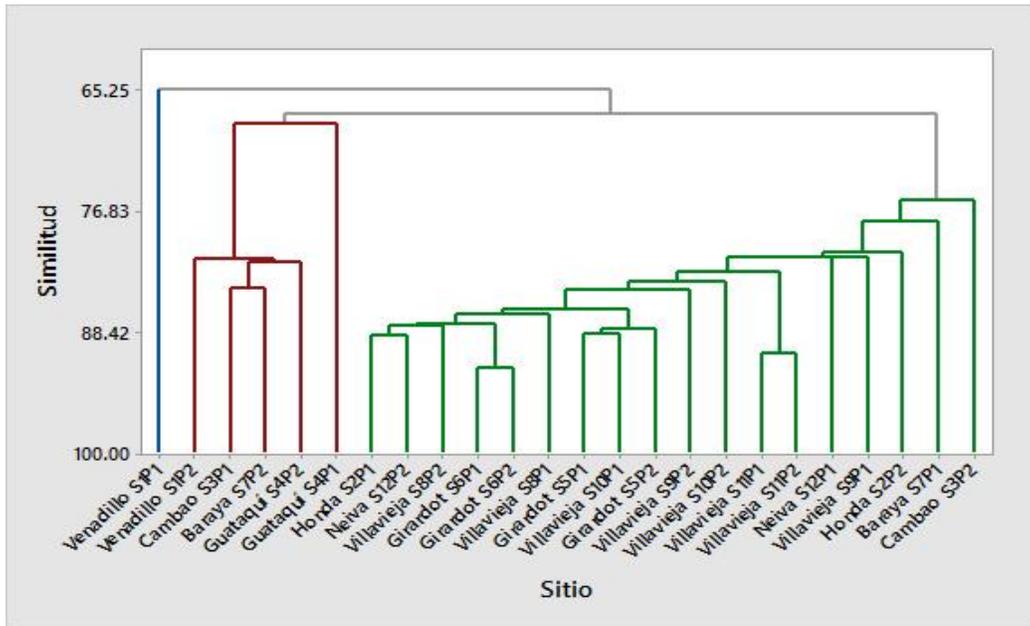


Figura 18. Dendrograma de los suelos estudiados

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los suelos pertenecientes al Bts en los municipios de Honda, San Juan de Río Seco, Baraya y Neiva son del orden de los *entisoles*, especialmente *Tipic Ustifluvents* y *Tipic Ustorthents*, por otra parte los municipios de Villavieja y Girardot presentan suelos *Entisoles* en asociación con *Inceptisoles*. Los suelos estudiados se ubican en un relieve en forma de lomas, colinas, crestas, escarpes, valles y terrazas, presentan unas pendientes que oscilan entre el 15 y 35%, ubicados a una altura que varía entre los 269 a los 556 m.s.n.m.

Los suelos de Bts localizados en el valle aluvial del río Magdalena, son superficiales a moderadamente profundos, en su mayoría del grupo textural grueso especialmente Arenoso, Arenoso Franco y Franco Arenoso, con estructuras muy estables; la infiltración y la conductividad hidráulica van desde moderadamente lenta hasta moderadamente rápida, la densidad aparente oscila entre 1.53 gr/cc a 1.85 gr/cc y la porosidad varía entre el 20% y 40% evidenciando en algunos sitios el alto grado de compactación por acción de la ganadería extensiva, en cuanto a la retención de humedad, el 46% de los suelos tienen baja disponibilidad de agua convirtiéndose las lluvias en un factor determinante para la conservación y el desarrollo vegetal.

El pH va de fuertemente ácido a moderadamente alcalino, la capacidad de intercambio catiónico de media a baja, y los suelos presentan déficit principalmente del fósforo, magnesio, boro y zinc con tendencias a las altas concentraciones de manganeso. El 58% de los suelos estudiados son de fertilidad media, el 25% de baja fertilidad y el 17% de muy baja fertilidad, el sodio presenta valores altos propios de los climas secos y su predominancia en el complejo catiónico califica estos suelos como sódicos y junto a los bajos contenidos de carbono orgánico, muestran la sodicidad y el nitrógeno como el mayor limitante de fertilidad (Anexo. D).

Los suelos de Bts son muy susceptibles a la degradación. La vegetación de la zona aunque adaptada para afrontar los periodos secos también es muy frágil y se puede perder fácilmente, las condiciones cálidas a semiáridas, temperaturas extremas, los incendios espontáneos y las lluvias erosivas de la zona hacen que el periodo de reforestación y recuperación de la cobertura vegetal sea más difícil y lenta.

Su manejo debe estar direccionado a la implementación de políticas públicas que permitan el reconocimiento y delimitación de estas áreas con fines de conservación y recuperación, las acciones deben estar orientadas a las prácticas de reforestación y disminución de las intervenciones relacionadas a la caza de especies nativas,

explotación agrícola y pecuaria, además de generar conciencia ambiental en las comunidades aledañas.

Es necesario que se potencialicen los suelos degradados o ya intervenidos por la agricultura para disminuir la inclusión de estas actividades a los suelos de Bts que por sus condiciones edáficas son los de mayor interés agrícola en la región.

BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Honda - Tolima. (04 de Marzo de 2014). *Alcaldía de Honda - Tolima*. Recuperado el 29 de Julio de 2015, de Alcaldía de Honda - Tolima: <http://www.honda-tolima.gov.co>.

Alcaldía de Venadillo. (27 de Marzo de 2015). *Alcaldía de Venadillo*. Recuperado el 26 de Julio de 2015, de Alcaldía de Venadillo: http://www.venadillo-tolima.gov.co/informacion_general.shtml.

Alvear Trujillo Victor Alfredo. (2003). Tesis: variabilidad espacial de las propiedades hidrodinámicas de algunos suelos con alta saturación de magnesio del centro de investigación corporativa, Palmira Valle del Cauca.

Amoozegar. (1992). Compact constant head permeameter: a convenient device for measuring hydraulic conductivity.

Aranda, D. F. (1992). Procesos del Ciclo Hidrológico. San Luis Potosí, Mexico.

Cormagdalena. (2002). Atlas Cuenca Río Magdalena.

Espinal, L. S. (1985). Geografía ecológica del departamento de Antioquia. Revista de la Facultad Nacional de Agronomía, p.38 (1): 24-39.

Franco, H. E. (1998). Fundamentos Para el Conocimiento y Manejo de Suelos Agrícolas Tunja: ProduMedios.

Holdridge LR. Ecología basada en Zonas de Vida. Quinta reimpresión. San José.

Ideam, Igac, Iavh, Invermar, Sinchi, Iiap. (2007). Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. p. 276.

Ideam. Metodología para la elaboración del Mapa de Ecosistemas escala 1:100.000 [Internet]. 2011 [citado 28 Dec 2014]. Disponible en https://www.siac.gov.co/documentos/Metodologia_constru_mapa_ecosistemas_s%C3%ADntesis.doc. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt IAvH. Aproximación al estado de conservación del bosque seco en Colombia [Internet]. 2013 [Citado 29 Nov 2013]. Available at: www.humboldt.org.co/iavh/component/k2/item/1403-aproximación-alestado-de-conservación-del-bosque-seco-en-colombia.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura;(2000). p. 216.

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humbolt. (2014). El Bosque Seco Tropical en Colombia. Bogotá D.C. Recuperado el 18 de Agosto de 2016

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt–IAvH. Bosques secos tropicales en Colombia [Internet]. 2014 [citado 19 Jan 2015]. Disponible en <http://humboldt.org.co/es/investigacion/proyectos/en-desarrollo/item/158-bosques-secostropicales-en-colombia>.

Instituto Alexander Von Humboldt. (1995). exploración ecológica a los Fragmentos de bosque seco en el Valle del Río Magdalena (Norte del Departamento del Tolima). Grupo de Exploraciones Ecológicas Rápidas, IAVH, Villa de Leyva. p. 56.

Instituto Alexander Von Humboldt, Iavh. (1997). Caracterización ecológica de cuatro remanentes de Bosque seco Tropical de la región Caribe colombiana. Grupo de Exploraciones Ecológicas Rápidas, IAVH, Villa de Leyva. p. 76.

Jaramillo j., D. F. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Malagòn, D. (2001). Los levantamientos de suelos y zonificación de tierras. Expresión de la relación: Suelo-Tierra-Medio Ambiente. En: X congreso de la sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Conferencias magistrales y simposios. Medellín. P. 1-25.

Miles L, Newton AC, Defries RS, Ravilious C, May I, Blyth S, et al. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *J Biogeogr.*

Murphy, P.G. & A.E. Lugo, (1986). Ecology of tropical dry forest. *Annals Review of Ecology and Systematics* .p. 17: 67-68.

Pennington, T.D. (1990). Sapotaceae. *Flora Neotropica*, New York Botanical Garden. Monografía 52. p. 770.

Portillo-Quintero C, Sánchez-Azofeifa G. Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biol Conserv.* p. 201.

Rodríguez, F. & Arroyo, J. (2004). La necesidad de la experimentación en ecología y conservación: una aproximación para la restauración forestal en el Parque Natural los Alcornocales. Almoraima, p. 3, 137-14.

Ruiz V, Savé R, Herrera A. (2013). Multitemporal analysis of land use change in the Terrestrial Protected Landscape Mirafior Moropotente. Nicaragua, 1993-2011. Ecosistemas.

Salgado S., L. (s.f.). Determinacion de Caracteristicas Hidrodinamicas del Suelo.

Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. (2010). Ciencia del Suelo Principios Basicos. Bogota,D.C., Colombia: S.C.C.S.

Scolozzi R, Morri E, Santolini R. Delphi-Based Change Assessment in Ecosystem Service Values to Support Strategic Spatial Planning in Italian Landscapes. Ecol Indic. 2012.

Torrente Trujillo armando, (2010). Seminario Nacional Actualización En Fertilidad Del Suelo, Sociedad Colombiana De La Ciencia Del Suelo. p. 53.

Valenzuela, I & Torrente, A. (2010).Física De Suelos, Ciencia Del Suelo Principios Básicos. Sociedad Colombiana De La Ciencia Del Suelo. Bogotá. p. 139-212.

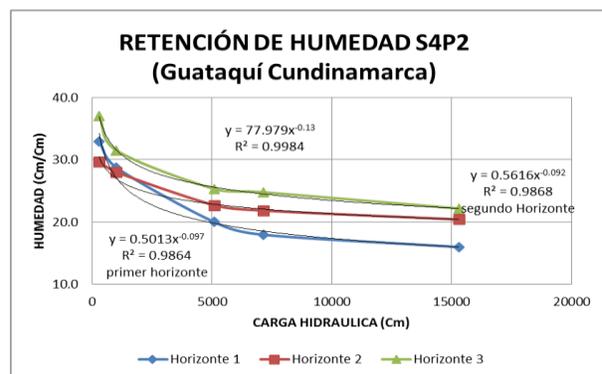
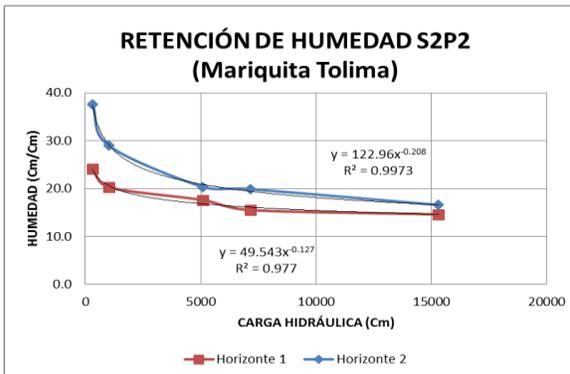
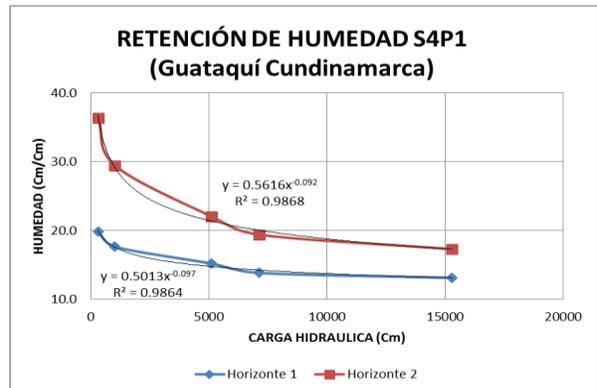
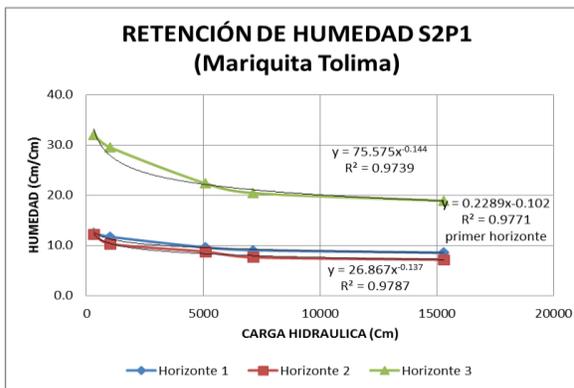
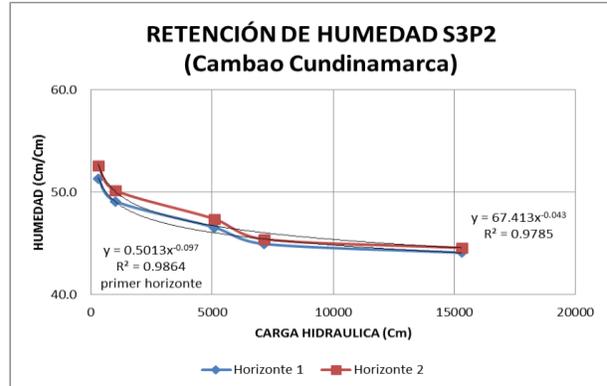
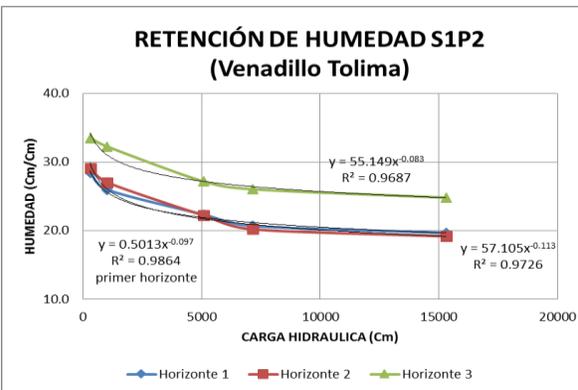
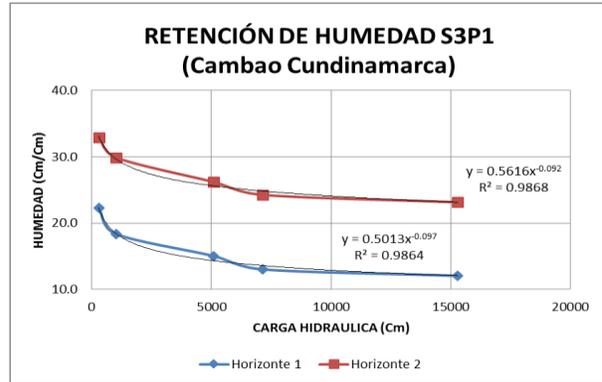
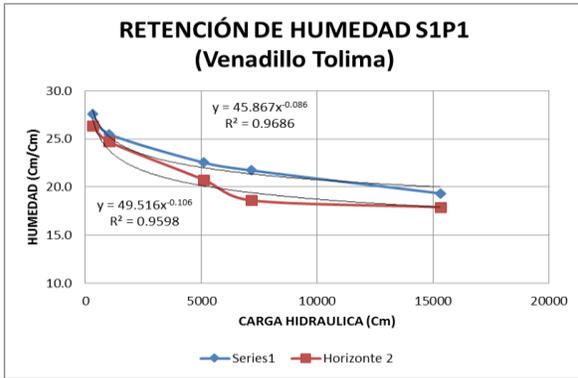
Warren, F. (1975). Física de suelos manual de laboratorio. San José, Costa Rica.

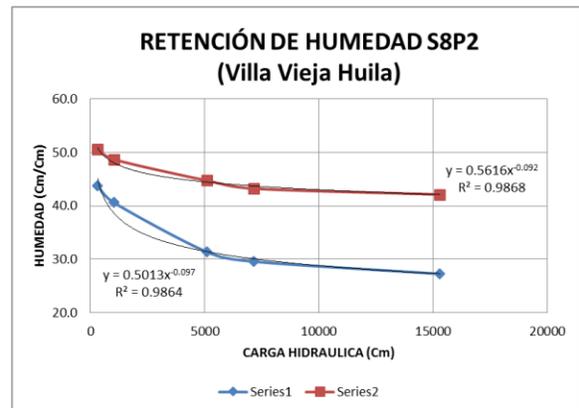
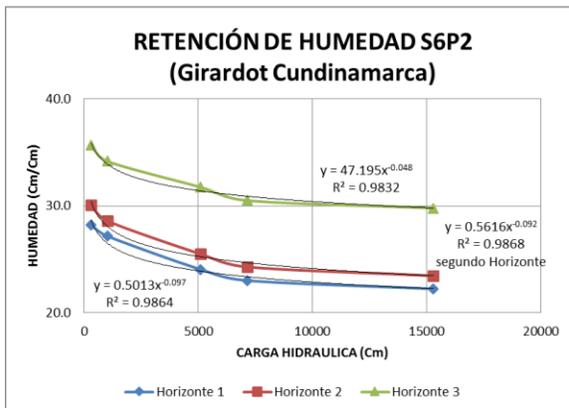
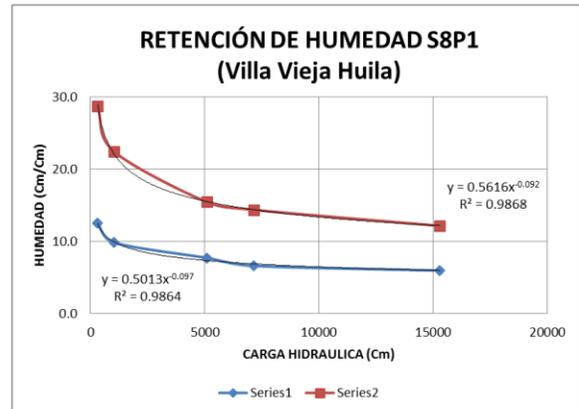
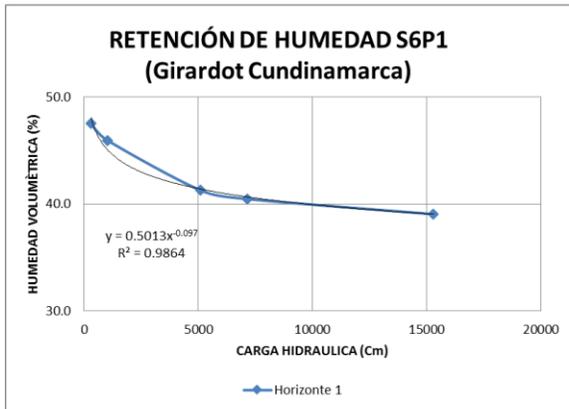
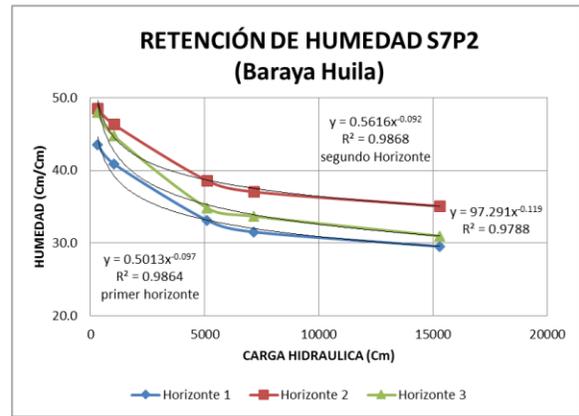
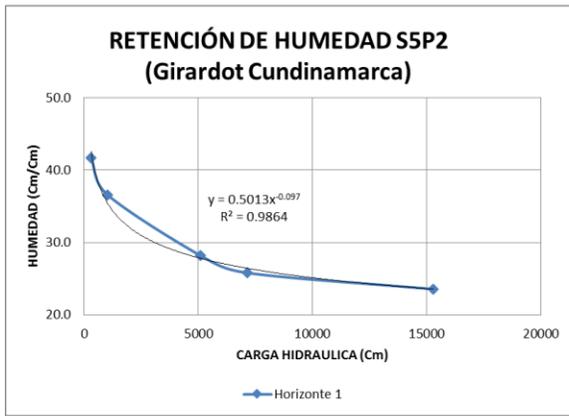
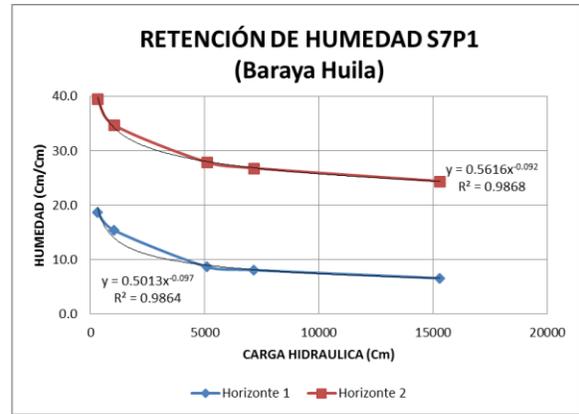
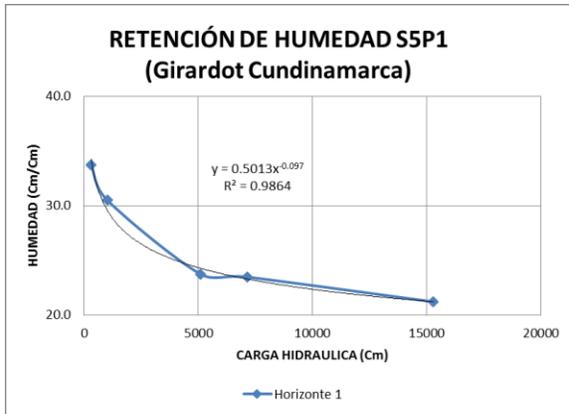
ANEXOS

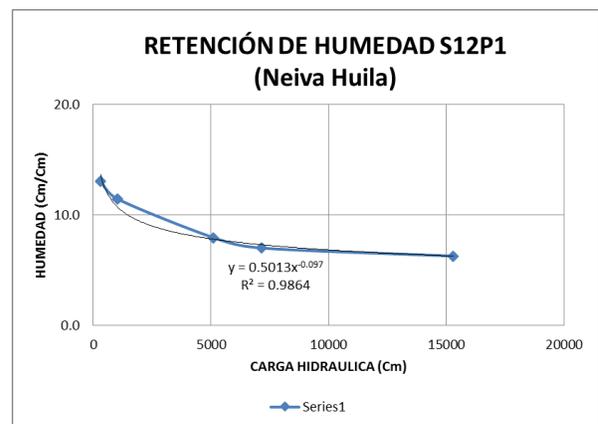
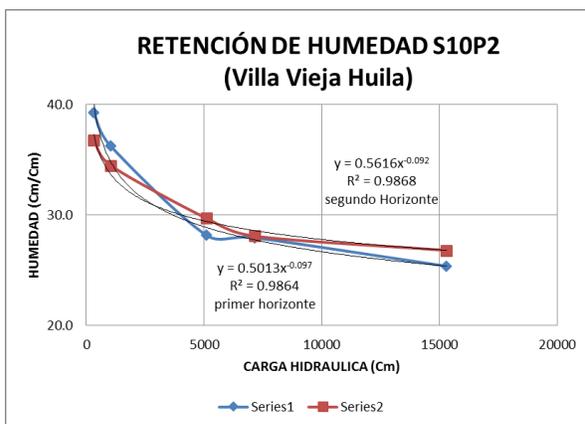
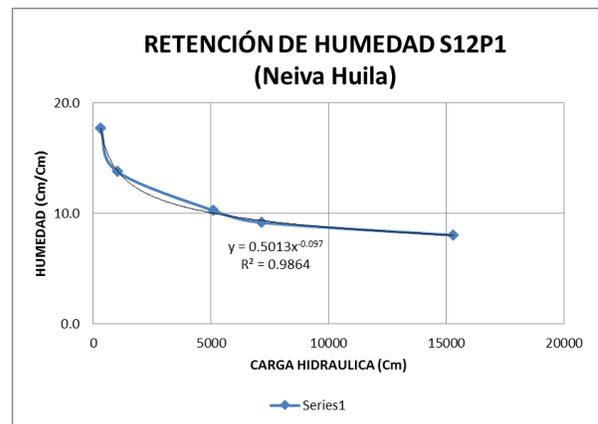
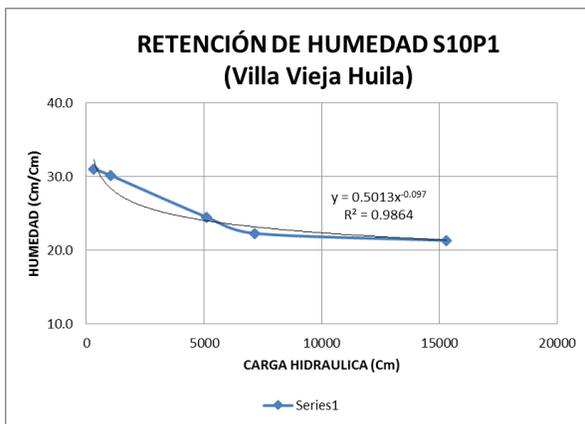
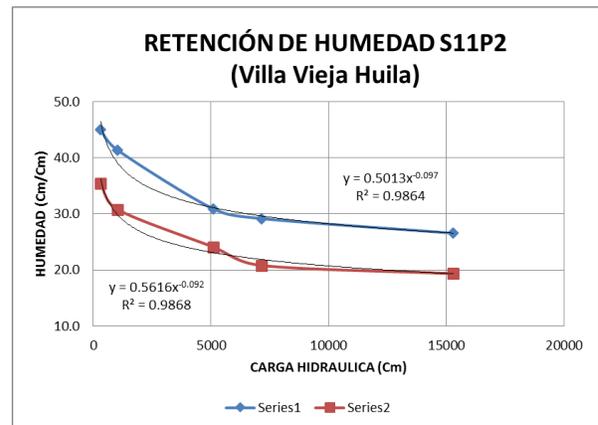
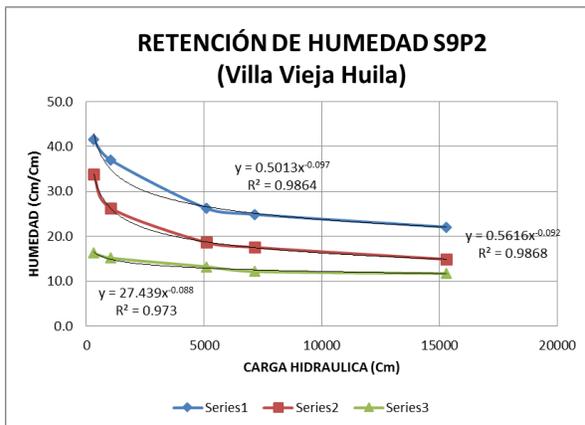
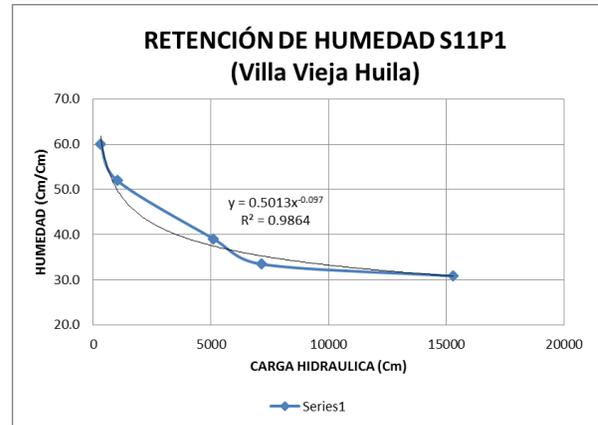
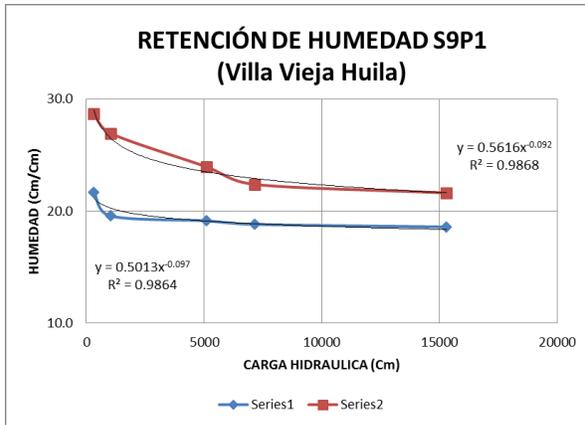
Anexo A. Anexo A. Propiedades físicas

Punto	% total Arenas	% total Limos	% total Arcillas	Da (g/cm ³)	Densidad Real (g/cc)	%P	DPM	cc (%)	pmp (%)	Infiltración (cm/hr)	Conductividad Hidráulica (m/día)	Kfs (m/día)
Venadillo S1P1	86.68	7.32	6.00	1.73	2.44	29.10	4.3	25.01	11.18	0.37	0.46	0.59
Venadillo S1P2	86.64	7.30	6.06	1.72	2.43	29.35	3.5	28.86	11.42	0.29	0.56	0.48
Honda S2P1	88.62	8.30	3.08	1.83	2.34	21.63	2.5	16.80	4.67	0.12	0.31	0.00
Honda S2P2	82.66	11.28	6.06	1.61	2.38	32.41	3.3	27.97	9.07	1.63	0.21	0.00
Cambao S3P1	82.64	9.26	8.10	1.58	2.75	42.55	1.5	27.06	7.62	11.65	2.01	0.63
Cambao S3P2	72.50	10.77	16.73	1.53	2.82	45.74	1.4	46.46	25.49	4.00	1.27	0.00
Guataquí S4P1	77.80	2.28	19.92	1.65	2.49	33.77	2.8	26.50	9.04	14.85	2.67	0.24
Guataquí S4P2	76.66	14.34	9.00	1.76	2.65	33.65	3.2	35.44	8.59	19.73	1.81	0.37
Girardot S5P1	71.68	15.28	13.04	1.61	2.67	39.72	1.7	40.89	15.04	1.12	1.39	0.00
Girardot S5P2	74.62	9.63	15.75	1.62	2.75	41.06	2	41.54	14.02	19.32	3.06	0.01
Girardot S6P1	76.74	8.30	14.96	1.59	2.83	43.82	2.2	42.22	22.18	16.93	4.15	0.79
Girardot S6P2	78.70	7.20	14.10	1.68	2.52	33.32	2	32.05	15.01	24.19	2.32	0.68
Baraya S7P1	61.38	14.22	24.40	1.53	2.40	36.38	3.1	26.54	4.6	11.35	2.93	6.95
Baraya S7P2	68.40	7.22	24.38	1.55	2.58	39.98	5.2	41.17	15.62	29.66	3.11	0.48
Villavieja S8P1	90.94	3.74	5.32	1.54	2.42	36.45	1.4	14.63	3.88	13.65	3.35	1.08
Villavieja S8P2	79.46	8.22	12.32	1.79	2.67	32.96	3.3	38.64	15.13	0.13	1.96	0.34
Villavieja S9P1	81.10	9.68	9.22	1.52	2.34	34.95	1.4	21.67	12.23	11.66	5.74	1.41
Villavieja S9P2	79.66	12.28	8.06	1.68	2.39	29.71	1.3	41.61	13.13	1.13	2.71	0.45
Villavieja S10P1	78.60	13.32	8.08	1.59	2.38	33.22	1.6	37.13	13.41	6.10	2.33	0.57
Villavieja S10P2	73.86	12.28	13.86	1.71	2.72	37.12	3.9	36.67	13.71	0.91	1.84	0.80
Villavieja S11P1	60.76	27.53	11.71	1.50	2.83	47.16	0.6	49.17	16.65	0.29	3.23	0.35
Villavieja S11P2	66.08	20.42	13.50	1.58	2.79	43.35	5.4	40.84	16.1	0.26	2.11	3.60
Neiva S12P1	87.11	6.79	6.09	1.84	2.37	22.36	1.6	18.30	4.36	14.31	1.28	0.63
Neiva S12P2	87.85	7.59	4.56	1.72	2.22	22.52	2	18.90	4.75	10.88	2.84	2.01

Anexo B. Curvas de retención de humedad







Anexo C. Propiedades químicas

Punto	PH	% CO	CIC*	P**	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn	Na	K	Ca	Mg
S1P1	6.2	3.2	14.22	160.22	19.18	0.60	6.41	34.40	17.43	363.52	70.94	4.85	9.77	3.74
S1P2	6.4	2.9	15.83	59.34	16.64	0.36	0.62	1.15	52.65	257.67	77.42	3.31	11.04	5.43
S2P1	6.1	2.1	1.70	9.92	13.63	0.19	2.52	20.71	92.76	44.47	10.21	0.54	1.76	1.04
S2P2	5.5	1.8	6.37	154.07	13.88	0.14	6.39	7.00	98.85	79.95	21.75	1.18	3.10	2.48
S3P1	6.5	1.4	7.45	21.04	17.57	0.79	17.32	2.12	46.63	267.55	10.75	1.66	3.88	1.92
S3P2	6.2	1.1	29.35	16.15	52.55	0.36	28.94	82.80	74.04	78.52	142.33	4.62	9.76	9.91
S4P1	6.2	1.6	11.25	9.91	16.88	0.14	20.93	35.90	53.40	401.92	12.29	0.58	5.06	4.29
S4P2	6.7	0.7	8.95	60.06	28.65	0.58	20.82	19.19	50.19	199.98	21.85	2.15	7.17	0.36
S5P1	8.3	1.4	17.50	73.28	26.76	1.44	21.02	17.84	21.21	20.83	15.52	1.83	25.77	1.33
S5P2	8.2	0.7	21.88	59.06	23.47	1.06	59.96	11.68	44.96	24.05	23.33	2.34	24.30	0.86
S6P1	5.0	0.7	12.93	18.24	18.94	0.22	42.64	9.42	66.96	1.73	15.07	1.31	0.52	0.06
S6P2	5.2	0.8	8.94	19.93	23.28	0.55	18.59	6.63	83.77	6.47	9.02	0.84	2.19	0.83
S7P1	5.6	0.6	5.05	4.96	22.91	0.91	50.12	12.97	150.12	88.73	26.79	1.35	1.74	1.26
S7P2	5.8	1.7	19.93	6.16	51.37	0.67	4.50	20.09	76.90	238.11	13.84	1.94	12.01	4.11
S8P1	6.9	0.7	4.05	10.38	18.05	1.56	5.34	28.55	1.96	16.88	20.73	0.89	4.48	1.25
S8P2	6.5	0.5	21.55	4.65	21.63	0.38	11.61	25.59	49.57	64.81	7.94	1.15	6.80	3.27
S9P1	8.2	0.5	32.59	183.33	14.84	0.07	4.76	4.50	2.00	2.26	63.42	2.15	23.44	6.49
S9P2	8.4	0.8	24.17	104.63	24.41	0.05	5.06	21.23	78.69	23.06	21.62	2.17	23.04	4.42
S10P1	8.7	0.7	28.12	62.37	22.87	1.34	5.81	57.61	32.89	27.70	25.26	1.41	19.71	7.36
S10P2	7.2	1.3	26.53	36.69	26.70	0.48	10.29	20.42	31.87	70.18	68.82	3.66	13.52	5.97
S11P1	8.5	0.7	27.21	130.18	25.53	1.15	5.98	26.25	83.10	17.34	86.35	0.45	24.23	4.64
S11P2	8.4	0.5	30.25	167.15	23.79	0.62	3.49	16.47	71.94	18.58	81.07	1.47	20.83	4.01
S12P1	5.6	0.5	1.49	4.65	32.99	0.31	4.38	28.06	58.92	27.19	104.85	0.68	2.66	1.60
S12P2	6.1	0.7	2.13	3.16	31.33	0.70	8.62	28.21	53.43	25.08	4.80	1.07	1.95	0.92

*CIC, Ca, Na, Mg y K en $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$.

**P, S, Fe, Mn, Cu, Zn y B en ppm

Anexo D. Interpretación general de la química del suelo

sitio	interpretación
Venadillo S1P1	AF, ligeramente ácido, muy alta concentración de Mn, suelo sódico y fertilidad media.
Venadillo S1P2	AF, ligeramente ácido, deficiencias en B, Zn y Cu, muy alta concentración de Mn. Suelo sódico. Fertilidad media.
Honda S2P1	AF, ligeramente ácido, deficiencias de P, B, Zn y bases de cambio (excepto Na). Muy baja fertilidad en general.
Honda S2P2	AF, fuertemente ácido, baja MO, deficiencias de B y bases de cambio (excepto Na). Suelo de baja fertilidad.
Cambao S3P1	AF, ligeramente ácido, bajo en MO, deficiencias de Cu, alta concentración de Mn y bases de cambio (excepto Na). Suelo sódico. Fertilidad baja.
Cambao S3P2	FA, ligeramente ácido, bajo en MO, deficiencias de B. Suelo sódico. Fertilidad media.
Guataquí S4P1	FA, ligeramente ácido, bajo en MO, deficiencias de P y B, Ca y K, excesiva concentración de Mn. Suelo sódico. Fertilidad media.
Guataquí S4P2	AF, medianamente alcalino, muy bajo en MO, deficiencias de magnesio, excesiva concentración de Mn. Suelo de fertilidad baja. Suelo sódico.
Girardot S5P1	FA, medianamente alcalino, bajo en MO, deficiencias de magnesio. Suelo de fertilidad media. Suelo sódico.
Girardot S5P2	FA, medianamente alcalino, bajo en MO, deficiencias de magnesio. Suelo de fertilidad media. Suelo sódico.
Girardot S6P1	FA, muy fuertemente ácido, muy bajo en MO, con importantes deficiencias de bases intercambiables, además de B y Mn. Suelo sódico. La fertilidad es baja.
Girardot S6P2	FA, fuertemente ácido, muy bajo en MO, con importantes deficiencias de bases intercambiables, además de Mn. Suelo sódico. La fertilidad es baja.
Baraya S7P1	FA, medianamente ácido, muy baja MO, muy baja fertilidad, deficiencias importantes de P y bases del suelo. Suelo sódico.
Baraya S7P2	FA, medianamente ácido, baja MO, deficiencias en P. Suelo sódico. Mediana fertilidad del suelo. Excesivo contenido de Mn.
Villavieja S8P1	A, neutro, muy bajo en MO, muy baja fertilidad en general, deficiencias de P, Fe. Suelo sódico.
Villavieja S8P2	AF, ligeramente ácido, muy baja MO, deficiencias de P y B. Fertilidad media.
Villavieja S9P1	AF, medianamente alcalino, bajo en MO, deficiencias de B, Cu y Mn. Suelo de fertilidad media. Suelo sódico.
Villavieja S9P2	AF, medianamente alcalino, muy bajo en MO, deficiencias de B. Suelo de fertilidad media. Suelo sódico.
Villavieja S10P1	AF, fuertemente alcalino, muy bajo en MO, suelo sódico. Mediana fertilidad.
Villavieja S10P2	FA, neutro, bajo en MO, deficiencia de B. suelo sódico. Mediana fertilidad del suelo.
Villavieja S11P1	FA, fuertemente alcalino, muy bajo en MO, suelo sódico, deficiencias de K. Mediana fertilidad del suelo.
Villavieja S11P2	FA, medianamente alcalino, muy bajo en MO, deficiencia de Zn. Suelo sódico. Suelo de fertilidad media.
Neiva S12P1	AF, medianamente ácido, muy bajo en MO, deficiencias de P, B y Zn. Deficiencias de Ca, Mg y K. Baja fertilidad del suelo.
Neiva S12P2	AF, ligeramente ácido, muy bajo en MO, deficiencias de P, Ca, Mg y K. Baja fertilidad en general.