

**VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE UN  
FLUVENTIC USTROPEPTS ASOCIADO A CULTIVOS DE CAÑA, PASTO Y  
MORINGA EN LA CUENCA BAJA DEL RIO LAS CEIBAS - HUILA**

**ROCIO DEL PILAR VARGAS SILVA  
FERNANDO SERRATO CUELLAR**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA  
NEIVA  
2014**

**VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE UN  
FLUVENTIC USTROPEPTS ASOCIADO A CULTIVOS DE CAÑA, PASTO Y  
MORINGA EN LA CUENCA BAJA DEL RIO LAS CEIBAS - HUILA**

**ROCIO DEL PILAR VARGAS SILVA  
FERNANDO SERRATO CUELLAR**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de  
Ingeniero Agrícola**

**Director:  
ARMANDO TORRENTE TRUJILLO  
I.A. M.Sc. Ph.D. Ciencias Agropecuarias**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA  
NEIVA  
2014**

## Nota de aceptación

---

---

---

---

Firma del Director  
**ARMANDO TORRENTE TRUJILLO**  
I.A. M.Sc. Ph.D. Doctor Ciencias Agropecuarias

---

Firma del Jurado  
**DIANA CAROLINA POLANIA MONTIEL**  
Ing. Agrícola

---

Firma del Jurado  
**RODRIGO ALBERTO PACHON BEJARANO**  
M.Sc. Educación y Desarrollo Comunitario

Neiva, Noviembre 2014

## DEDICATORIA

*Rocío Del Pilar Vargas Silva.* Agradezco a Dios todopoderoso por la vida que dispuso para mí, a mi mamá por brindarme y dedicarme con tanto esmero su apoyo, cuidados amor incondicional desde el inicio de mi vida, a mi hermano Cristian por ser tan especial conmigo y el mejor hermano, a mis Victorias Abuela e hija que están en el cielo cuidándome y a las amo y siempre amaré profundamente, a mi tía Raquel por mostrar su interés y brindarme u apoyo en esta etapa, a mi papá por tratar de estar presente en mi vida, a mi familia materna por nunca apartarse de mi lado bajo ninguna circunstancia; por todos ustedes aspiro ser una persona digna, responsable, leal, cordial y todas las cualidades que he aprendido de ustedes en el transcurso de mi vida, sin dejar atrás la integridad moral para aplicar los conocimientos adquiridos en mi vida profesional.

A todas las personas con las que compartí mi vida académica en la Universidad, profesores como Rodrigo Pachón por siempre mostrar interés y colaboración oportuna en todo momento, a mis compañeros y amigos en su momento con los que viví momentos agradable, tristes e inolvidables y que aunque por circunstancias de la vida, dejé de compartir con algunos de ellos siempre los recuerdo con cariño y les agradezco, ya que por aquellas vivencias he ido madurando, aprendiendo y crecido como persona. A Ingrid, Juanito, Didier, Nelcy, Mayra, Leivy, Angela, Katherine, Checho, Luisa, Neyra, Leidy Pidu, Alexa Mayorga, Daniel, Vicky, Anderson, Gabriela, Jorge Polanía, Peluza, Adelaida, Julián, Catalina, Oscar Pinchao, Victoria Quintana, Leonardo, Lina, Norma. A Fernando Serrato mi compañero de tesis por su amabilidad, empeño y esfuerzo mostrado en el transcurso del trabajo de tesis, por su acompañamiento y especialmente por su apoyo incondicional en todos los tropiezos que se presentaron.

*Fernando Serrato Cuellar.* Dedico éste trabajo a Dios todopoderoso quien me ha guiado desde la niñez, y ahora me hace un profesional lleno de sueños y proyectos; a mi padre Querubín Serrato que descansa en paz y de quién heredé el amor al campo y la agricultura; a mi amada madre Melida Cuellar que con su continuo apoyo y corrección ha sido el faro que alumbra mi vida. A mis hermanos, Mireya, Arturo, Mauricio y Chucho, les agradezco por formar parte de mi vida y ser mis primeros, y mejores amigos. A todas las personas que formaron parte de mi vida en estos años, y que siempre tendrán un lugar en mi mente y corazón. A mis maestros, que me han acompañado e instruido durante estos años de formación como Ingeniero Agrícola y que han aportado parte de su vida para mi crecimiento personal y académico.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Dr. ARMANDO TORRENTE TRUJILLO, Ingeniero Agrícola, M.Sc., Doctor. Profesor de la Universidad Surcolombiana. Por sus conocimientos aportados y continuo apoyo para llevar a fin esta investigación

OLGA LUCIA CALDERON, CRISTIAN ROONEY REYES, por su inmensa colaboración durante la realización de las pruebas de laboratorio.

RODRIGO PACHON BEJARANO, Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Profesor de la Universidad Surcolombiana.

GLADIS QUINO, por su colaboración, acompañamiento, diligencia constante, cordial y siempre correcta. Secretaria del Programa de Ingeniería Agrícola.

CARLOS CACERES, por su amable guía y esmero al momento de compartir sus conocimientos desinteresadamente.

LEIDY RAMIREZ DUQUE, querida “pidu”, es muy grato conocerte y estudiar a tu lado, te agradecemos por ser tan especial, comprensiva y gracias a ti existen evidencias fotográficas de este trabajo de grado.

A la señora Ana Ruth Pascuas y su esposo Alejandro Plazas por su apoyo, permiso y colaboración para el desarrollo del proyecto en su finca.

# Contenido

<b>RESUMEN</b> .....	<b>13</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>15</b>
<b>1. MARCO REFERENCIAL</b> .....	<b>16</b>
1.1 <b>CONCEPTOS DE VARIABILIDAD ESPACIAL Y GEOESTADISTICA</b> .....	<b>16</b>
1.2 <b>MUESTREO SISTEMATICO</b> .....	<b>18</b>
1.3 <b>ALGUNAS INVESTIGACIONES SOBRE VARIABILIDAD ESPACIAL DEL SUELO</b> .....	<b>19</b>
1.4 <b>LOS CULTIVOS DE CAÑA, PASTO Y MORINGA</b> .....	<b>20</b>
1.4.1 <i>Caña</i> . .....	<b>20</b>
1.4.2 <i>Pasto</i> . .....	<b>20</b>
1.4.3 <i>Moringa</i> .....	<b>21</b>
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	<b>22</b>
2.1 <b>LOCALIZACION</b> .....	<b>22</b>
2.2 <b>METODOLOGIA EN CAMPO Y LABORATORIO</b> .....	<b>22</b>
2.3 <b>ANALISIS ESTADISTICO</b> .....	<b>24</b>
<b>3. RESULTADOS Y ANALISIS</b> .....	<b>25</b>
3.1 <b>DESCRIPCION DEL SUELO</b> .....	<b>25</b>
3.2 <b>PROPIEDADES DEL SUELO</b> .....	<b>26</b>
3.2.1 <i>Infiltración básica (I<sub>b</sub>) y Conductividad hidráulica saturada (K<sub>s</sub>)</i> .....	<b>26</b>
3.2.2 <i>Densidad aparente (D<sub>a</sub>) y Densidad real (D<sub>r</sub>)</i> . .....	<b>26</b>
3.2.3 <i>Textura, porosidad y agua disponible</i> . .....	<b>26</b>
3.2.4 <i>Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S)</i> . .....	<b>26</b>
3.2.5 <i>pH y materia orgánica (M.O)</i> .....	<b>27</b>
3.3 <b>ESTADISTICA</b> .....	<b>27</b>
3.3.1 <i>Estadística Descriptiva</i> .....	<b>27</b>
3.3.2 <i>Semivariogramas</i> .....	<b>28</b>
3.3.3 <i>Coficiente de correlación entre variables</i> .....	<b>29</b>
3.4 <b>ANÁLISIS MULTIVARIADO</b> .....	<b>29</b>
3.4.1 <i>Diagrama Biplot</i> .....	<b>30</b>

<b>3.5</b>	<b>VARIABILIDAD ESPACIAL DEL SUELO .....</b>	<b>32</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Propiedades físicas del suelo.....</b>	<b>32</b>
<b>3.5.1.1</b>	<b>Textura. ....</b>	<b>32</b>
<b>3.5.1.2</b>	<b>Infiltración. ....</b>	<b>33</b>
<b>3.5.1.3</b>	<b>Agua disponible. ....</b>	<b>33</b>
<b>3.5.1.4</b>	<b>Porosidad total.....</b>	<b>34</b>
<b>3.5.1.5</b>	<b>Densidad real y densidad aparente.....</b>	<b>35</b>
<b>3.5.1.6</b>	<b>Conductividad hidráulica. ....</b>	<b>36</b>
<b>3.6</b>	<b>MAPAS DE USO DEL SUELO .....</b>	<b>36</b>
<b>3.6.1</b>	<b>Uso actual.....</b>	<b>36</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Uso Potencial .....</b>	<b>36</b>
<b>3.6.3</b>	<b>Conflicto de uso.....</b>	<b>37</b>
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>39</b>
<b>5.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>41</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>44</b>

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Propiedades y métodos físicos y químicos del suelo.....</i>	24
<b>Tabla 2.</b> <i>Caracterización de las propiedades físicas del perfil de suelo.....</i>	25
<b>Tabla 3.</b> <i>Resumen estadístico de las propiedades físicas del suelo.....</i>	28
<b>Tabla 4.</b> <i>Parámetros de los semivariogramas propiedades físicas del suelo.....</i>	28
<b>Tabla 5.</b> <i>Coefficiente de Correlación de Pearson de las propiedades físicas del suelo.....</i>	29
<b>Tabla 6.</b> <i>Porcentajes explicados de los componentes principales.....</i>	30
<b>Tabla 7.</b> <i>Componentes principales de las propiedades físicas del suelo.....</i>	30

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de un semivariograma.....	17
<b>Figura 2.</b> Localización del área de estudio.....	22
<b>Figura 3.</b> Grid de los puntos de muestreo.....	23
<b>Figura 4.</b> Distribución aleatoria de los puntos de infiltración.....	23
<b>Figura 5.</b> Diagrama Biplot de las CP1 y CP2 de las propiedades físicas del suelo .....	31
<b>Figura 6.</b> Diagrama Biplot de las CP1 y CP3 de las propiedades físicas del suelo.....	31
<b>Figura 7.</b> Diagrama Biplot de las CP2 y CP3 de las propiedades físicas del suelo.....	32

## LISTADO DE MAPAS

<b>Mapa 1.</b> <i>Clases texturales del suelo</i> .....	33
<b>Mapa 2.</b> <i>Infiltración básica del suelo</i> .....	33
<b>Mapa 3.</b> <i>Agua disponible en el suelo</i> .....	34
<b>Mapa 4.</b> <i>Porosidad total del suelo</i> .....	34
<b>Mapa 5.</b> <i>Densidad real del suelo</i> .....	35
<b>Mapa 6.</b> <i>Densidad aparente del suelo</i> .....	35
<b>Mapa 7.</b> <i>Conductividad hidráulica saturada en el suelo</i> .....	36
<b>Mapa 8.</b> <i>Uso potencial del suelo</i> .....	37
<b>Mapa 9.</b> <i>Uso Actual del suelo - Conflicto de uso del suelo</i> .....	38

## LISTADO DE ANEXOS

<b>ANEXO A.</b> Mapas variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo..	45
<b>ANEXO B.</b> Descripción del perfil del suelo.....	48
<b>ANEXO C.</b> Propiedades físicas del suelo.....	52
<b>ANEXO D.</b> Semivariogramas propiedades físicas del suelo.....	53
<b>ANEXO E.</b> Registro fotográfico pruebas en campo.....	55
<b>ANEXO F.</b> Resultados de las pruebas químicas del suelo.....	57

## RESUMEN

Se estudió la variabilidad espacial de algunas propiedades físicas asociadas a cultivos de caña, pasto y moringa de un suelo "Fluventic Ustropepts" en la Cuenca baja del Rio Las Ceibas. Se hizo muestreo con grilla de 50X50 m en 26 puntos para los análisis físicos, 8 pruebas de infiltración en muestreo aleatorio simple y 3 muestras integradas para análisis químicos en un área de 6.5 ha. El estudio consta de 5 etapas: 1) recolección de muestras y análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo, 2) análisis estadístico y descriptivo de las variables usando los software Statgraphic Centurión XVIII y Excel 2010, 3) análisis geoestadístico basado en la interpolación por el método Kriging con software GS+ 10, 4) análisis multivariado de las componentes principales generando un gráfico bidimensional (Biplot) con InfoStat y 5) elaboración de mapas de variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo por medio de software Surfer 10 para la implementación del plan de cultivos y los mapas de uso del suelo, por medio de los software ArcGis 10. La infiltración del suelo resultó extremadamente heterogénea con un coeficiente de variación del 74,5% y dependencia moderada con rango de alcance de 610,9 m. Se delimitaron tres sectores para los cultivos mencionados, basados en los análisis del suelo.

Palabras clave: Variabilidad espacial del suelo, propiedades físicas y químicas del suelo, uso del suelo.

## ABSTRACT

This paper presents a study of the spatial variability of some physical properties related to sugarcane crops, grass and moringa from a "Fluventic Ustropepts" soil in the lower basin of Las Ceibas river. For the physical analysis, sampling grid of 50 to 50 meters was made in 26 different sampling points, with a simple random sampling 8 infiltration tests, and 3 integrated samples for the chemical analysis, were made in an area of 6.5 acres. The study consists of 5 stages: 1) Sample collection and analysis of physical and chemical soil properties. 2) Statistical and descriptive analysis of the variables using the following software: Statgraphic Centurión XVIII and Excel 2010. 3) Geostatistical analysis based on the Kriging interpolation method using the GS+ 10 software. 4) Multivariate analysis of the main components that generates a two-dimensional graph (biplot) using the InfoStat software. 5) Mapping based on spatial variability of soil physical properties using the Surfer 10 software for the implementation of the crop planning and mapping for soil use and management using ArcGis 10 software. As a result, it was found that the infiltration rate in soil was highly heterogeneous with a coefficient of variation of 74.5% and a moderate dependence with a range of scope of 610.9 meters. Based on the soil analysis, three sectors were delimited for the aforementioned crops.

**KEYWORDS:** Soil spatial Variability, Soil Physical and Chemical Properties, Soil use and management.

## INTRODUCCION

A inicios de la década del 90, inició el desarrollo de tecnologías de variabilidad espacial y temporal asociada con los aspectos de la producción agrícola, para mejorar los rendimientos y preservar la calidad ambiental. La variabilidad debe conocerse y ser de suficiente magnitud para que un manejo diferenciado por sitio resulte en un beneficio frente al manejo uniforme. El rendimiento en los cultivos varía espacialmente y determina cuando y donde las variaciones en las propiedades del suelo generan variaciones en el rendimiento.

Las variaciones espaciales se pueden estudiar a través de técnicas geo estadísticas que permitirán elaborar mapas y así delimitar áreas de manejo diferencial. Se han estudiado la variabilidad de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que afectan la productividad de los cultivos, reportándose asociaciones entre ellas y el rendimiento, aunque dichas asociaciones dependen del rango de variación del parámetro y del rango en que éste afecta al rendimiento, lo que permite medir y manejar la variabilidad espacial para aumentar la eficiencia productiva y disminuir el impacto ambiental.

Los suelos del área de estudio presentan deficiencias en la mayoría de las características evaluadas, lo que hace que su explotación sea difícil y costosa. Las limitaciones más notorias son la deficiencia de nutrientes y la compactación del suelo. En este terreno se quieren implementar los cultivos de caña, pastos y moringa para alimentación de ganado, los cuales no son recomendables en las circunstancias actuales de las propiedades del suelo.

Por lo anterior, se debe aplicar un manejo de suelos buscando indicadores para establecer las soluciones frente al déficit de nutrientes y los problemas de compactación del suelo, siendo importante la adopción de prácticas agrícolas sostenibles con aplicación de abonos orgánicos preferencialmente, ya que con ellos se busca mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, consiguiendo así un mejoramiento general de la calidad de éste, teniendo en cuenta la implementación de los cultivos antes nombrados.

Para implementar los cultivos de caña, pastos y moringa en el área, es necesario adaptar un plan de manejo ambiental basado en mapas de variabilidad espacial teniendo en cuenta zonas específicas de deficiencias, aplicando las enmiendas y prácticas necesarias para el mejoramiento de las condiciones del medio donde se desarrollará el cultivo. Lo anterior, se hace con miras a un buen desarrollo, crecimiento y productividad del cultivo desde el punto de vista sostenible, con un uso racional del suelo, el agua y el medio ambiente, el plan de manejo ambiental debe ser a largo plazo y disponible a ajustes de acuerdo a las necesidades de los cultivos. En la presente investigación se intenta dar una orientación en la implementación de los cultivos mencionados, basados en el diagnostico físico-químico del suelo, buscando la optimización de los cultivos apoyados en modelos geoestadísticos con el fin de mejorar las prácticas de manejo del suelo.

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1 CONCEPTOS DE VARIABILIDAD ESPACIAL Y GEOESTADISTICA

La variabilidad espacial de las propiedades del suelo y de los rendimientos de los cultivos ha sido reconocida desde los inicios de la agricultura. En el caso del suelo, la variabilidad espacial está determinada por factores intrínsecos, como los procesos de formación de suelos y por factores relacionados al manejo histórico de los predios referido a forma y tamaño de los potreros, presencia de animales en pastoreo, aplicación de fertilizantes químicos y materiales orgánicos, rotaciones de cultivos y otros factores de manejo relacionados con el uso de los residuos de cosecha, preparación de suelos, por nombrar algunos ejemplos.

La diversidad de los suelos y sus propiedades físico-químicas varían espacialmente a lo largo, ancho y profundidad; esta variabilidad se puede presentar aun en cortas distancias en forma significativa y sin generar un cambio visual aparente, debido a los factores y procesos formadores, y al manejo agronómico, además juegan un papel importante en los procesos que determinan tanto la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas, como la fertilidad física y química de los recursos del mismo (agua y suelo).

Por lo general, el diseño y aplicación de sistemas de riego se ha realizado con valores promedios de los parámetros de campo; a pesar de esto siempre resultan zonas sobre y sub-regadas, lo que genera rendimientos de campo inferiores a aquellos que el cultivo presenta en zonas bien regadas. Es necesario tener en consideración los valores de estos parámetros en relación con la ubicación en el campo de los puntos donde se efectúa la determinación. El análisis geoestadístico entre los valores de estos parámetros y su posición relativa en el campo, permiten separar unidades de manejo con cierto grado de homogeneidad (Gurovich y Stern, 1983).

La variabilidad de las propiedades de los suelos puede ser examinada a través de la estadística convencional y la geoestadística. Aunque la estadística simple se considera como un método no apropiado, debido a que no toma en cuenta la dependencia espacial presente en la mayoría de las propiedades de los suelos (Trangmar *et al.*, 1985).

En la comunidad científica se despertó la necesidad de alcanzar predicciones más exactas en la década 1970-1980, que representen lo que realmente sucede en campo; para tal efecto se han desarrollado técnicas que permitan tomar en consideración la variabilidad de los suelos, con el objeto de poder interpretar de una forma más precisa y confiable los resultados de la experimentación en campo. Aunque fue a partir de 1990, cuando comenzaron a desarrollarse tecnologías y principios para manejar la variabilidad espacial y temporal asociada con los aspectos de la producción agrícola, para mejorar los rendimientos y preservar la calidad ambiental. La variabilidad debe conocerse y

ser de suficiente magnitud para que un manejo diferenciado por sitios resulte en un beneficio frente al manejo uniforme.

Ovalles (1991) señala que el suelo no es más que una colección de cuerpos naturales sobre la superficie terrestre. El mismo es consecuencia de la acción combinada de los factores formadores de suelo (material parental, relieve, biota, clima, tiempo), condicionados, a su vez, por una serie de procesos (ganancias, pérdidas, transporte, transformaciones), que determinan las características que ellos presentan. La acción combinada de factores y procesos formadores conlleva al desarrollo de una gran diversidad de suelos.

A partir de 1951 comienza el desarrollo empírico de la geoestadística con los trabajos de Sichel y Krige. En 1960, G. Matheron retomó los trabajos de Krige, desarrollando el fundamento teórico de la geoestadística, especialmente con el propósito de predecir valores de las variables en sitios no muestreados.

Como método alternativo para cuantificar la heterogeneidad se propone la aplicación de la geoestadística, la cual es usada para analizar la estructura de la variabilidad espacial de variables regionalizadas y para optimizar su interpolación (Fagroud y VanMeirvenne, 2002). Aunque la aplicación de la herramienta geoestadística es bastante reciente, son innumerables los ejemplos en los que se ha utilizado esta técnica en estudios ambientales con el ánimo de predecir fenómenos espaciales. Al estudiar la dependencia espacial se realizan semivariogramas (Mulla *et al.* 2000), esta dependencia se modela mediante la ecuación:

$$Y(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=0}^N (Z_{(x+h)} - Z_{(x)})^2$$

$Y_{(h)}$  = Semivarianza.

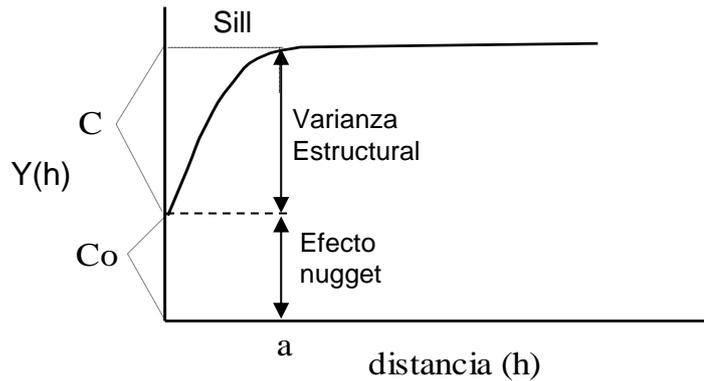
$N$  = Número de pares de valores de  $Z$ .

$Z_{(x)}$  = Valor de la propiedad  $Z$  en el lugar  $x$ .

$Z_{(x+h)}$  = Valor de la propiedad  $Z$  a una distancia  $h$  del lugar  $x$ .

La semivarianza es una medida del grado de similitud que existe entre dos observaciones situadas a una determinada distancia; mientras más similares sean las observaciones menor será la semivarianza. La semivarianza no es más que la varianza de las diferencias entre pares de puntos separados por una distancia dada (Ovalles, 1991).

El gráfico de la semivarianza contra la distancia se conoce como el semivariograma. Generalmente, la semivarianza aumenta con los incrementos de la distancia hasta alcanzar un valor estable denominado umbral o sill, la distancia en la cual se alcanza el umbral se denomina alcance, amplitud o rango de dependencia espacial, y constituye la distancia hasta donde existe dependencia espacial entre las observaciones (figura 1).



**Figura 1.** Esquema de un semivariograma

Dónde:

$Y(h)$  = Semivarianza.

$h$  = Incremento de distancia (lag).

$C_0$  = Efecto Nugget (debido al error de muestreo y a la microvariabilidad).

$C_0+C$  = Umbral (conocido también como: meseta, rango, sill)

$a$  = Alcance, es la distancia a la cual la semivarianza alcanza su máximo valor, es la distancia a partir de la cual ya no existe dependencia espacial.

Teóricamente la semivarianza debería ser cero (0) cuando la distancia es cero (0), pero esto frecuentemente no ocurre, este fenómeno se denomina efecto nugget o aleatorio y es causado principalmente por una variación imposible de detectar a la escala de muestreo utilizada (Ovalles y Núñez, 1994).

## 1.2 MUESTREO SISTEMATICO

Este método de muestreo consiste en tomar las muestras a distancias fijas, existen diversas variantes del método, entre ellas se tiene:

Muestreo sistemático en una dimensión: Siguiendo transectos en cada dirección  $x$ , pudiendo ser cada punto de muestreo o medida equidistante de otro, en una distancia  $L$ , denominada "lag" o espacio (Ovalles, 2001).

Muestreo sistemático en dos dimensiones: Siguiendo un "grid" (red o cuadrícula) en las direcciones  $x$ ,  $y$  nuevamente cada medida puede ser espaciada una distancia  $L$  "lag" constante. Este método presenta las siguientes ventajas: (i) las muestras son fácilmente seleccionadas y ubicadas en el campo, (ii) hay una cobertura uniforme de la población, (iii) provee de más información por unidad de costo comparado con el muestreo aleatorio simple, (iv) los resultados son fáciles de expresar en un mapa, (v) es un método más preciso que el muestreo aleatorio simple, especialmente cuando la población es muy heterogénea (Ovalles, 2001).

Un muestreo a una distancia constante no es estrictamente necesario en los casos anteriores, desde que se conozca la posición relativa de cada muestra.

Estos dos métodos facilitan grandemente los cálculos y análisis futuros, y tienen grandes ventajas sobre el muestreo al azar, principalmente por mantener constante una intensidad de muestreo en toda el área (Silva *et al*, 1989).

### **1.3 ALGUNAS INVESTIGACIONES SOBRE VARIABILIDAD ESPACIAL DEL SUELO**

Se mencionan algunas investigaciones relacionadas con el presente estudio:

Alesso *et al* 2011, examinaron la variabilidad espacial de atributos químicos y físicos del horizonte superficial de un “*Argiudol típico*” para la implementación del manejo específico por sitio de cultivos. En una parcela de 475 x 100 m se tomaron 60 muestras distribuidas en 3 transectas de 20 puntos, determinando N de nitratos, N total, C orgánico total, P extractable, arena, arcilla y pH. La dependencia espacial del N-NO<sub>3</sub> fue moderada con rango de 96 m, mientras que el resto de los atributos no presentó autocorrelación producto de la variación que ocurre a distancias menores a la utilizada en el muestreo.

Álvarez y Marinero 2003, analizaron las propiedades físico-químicas de un suelo franco en la cuenca del Guadamar, afectado por el vertido tóxico de la mina de Aznalcóllar y establecieron una malla de 50 x 20 m con un total de 48 puntos y muestras de suelo a distinta profundidad, determinando la granulometría, el pH, el contenido de materia orgánica, el N-Kjeldhal y las concentraciones totales de As, Cd, Cu, Mn, Fe, Pb, S y Zn. Mediante análisis geoestadístico se observó alta variabilidad espacial en la contaminación del suelo con correlación significativa ( $p < 0,01$ ) entre el contenido de azufre total y las concentraciones totales de As, Cd, Cu y Pb. El análisis geoestadístico de los parámetros mostró que la variabilidad espacial está relacionada fundamentalmente con la presencia de lodo remanente en el suelo.

Torrente y Ladino 2008, en la caracterización de las propiedades del suelo de la zona cafetera del municipio de Isnos - Huila, teniendo como referente la clasificación de la Federación Nacional de Cafeteros (1985), analizaron y recomendaron 300 muestras aleatorias de suelo para la fertilización del cultivo de café. Se utilizaron las herramientas geoestadísticas en un mapa base y se elaboraron mapas de variabilidad espacial por cada parámetro evaluado de suelo, información que permitió homogenizar unidades de suelo y establecer su aptitud de uso y manejo.

Valbuena *et al.* 2008, determinaron en rendimiento del cultivo de mango, el rango de los modelos de semivarianza entre 10 y 192 m. Las predicciones espaciales son explicadas en su mayoría por la variación estructural de K, Ca, CIC, pendiente, relación (Ca+Mg)/K y su altitud, siendo estas las variables de mayor influencia en el rendimiento del cultivo. El método aplicado es útil para definir zonas de manejo y algunos criterios como la altitud y la pendiente, siendo aplicables para la zonificación de áreas mayores a partir de un modelo digital de elevación

Jaramillo 2008, estudió la variabilidad espacial de algunas propiedades químicas del epipedón de un Andisol de régimen de humedad ácuico, obteniendo para la mayoría de las variables una dependencia espacial alta, con variabilidad estructurada de más del 50% y rango relativamente corto de 20 m en promedio, situación que puede estar reflejando una alta intensidad de uso y manejo del suelo en actividades agropecuarias como la aplicación de fertilizantes y enmiendas.

## **1.4 LOS CULTIVOS DE CAÑA, PASTO Y MORINGA**

**1.4.1 Caña.** La especie *Saccharum officinarum* L. cuyo nombre común es caña forrajera se utiliza para el corte y acarreo, barreras vivas, control de erosión y ensilaje. Es una planta perenne, crece en matojos o sepas con tallo de 2 a 3 metros de altura y de 3 a 4 centímetros de grueso, sólidos y jugosos, hojas alargadas. Crece bien en zonas planas y de laderas desde el nivel del mar hasta los 2000 m, con precipitaciones entre 800 y 2000 mm, se adapta a rangos amplios de fertilidad, aunque crece mejor en suelos franco arcillosos con pH entre 5.5 y 7.5 (Peters, Franco *et al.* 2002).

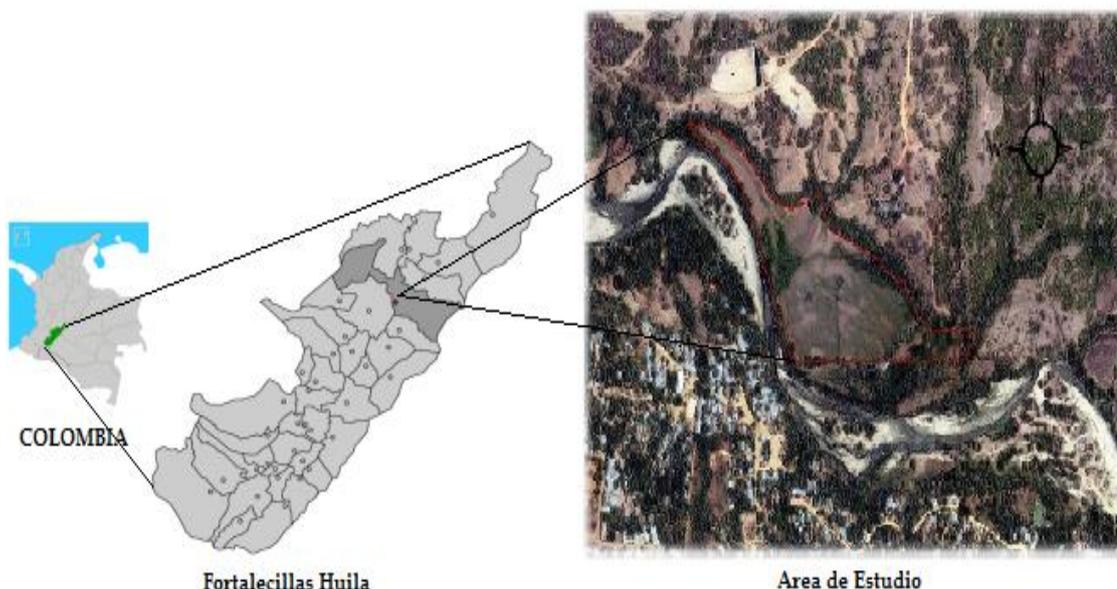
**1.4.2 Pasto.** La especie *Panicum maximum* variedad "Tanzania" originario de África, es una gramínea tropical que ha sido seleccionada por su alto rendimiento, calidad nutricional y digestibilidad, se caracteriza por gruesos macollos, sus tallos alcanzan de 1.5 a 2 m de altura, se desarrolla en climas tropicales y subtropicales, es resistente al pastoreo y sabroso para el ganado, crece bien en suelos secos que no sean demasiado pobres en nutrientes y de cualquier texturas. Sus principales características son tolerancia al pisoteo y la sequía, presenta alta capacidad de rebrote y su producción promedio de forraje a los 32 días de rebrote es de 4,2 ton MS/ha, en promedio produce 7,7 ton MS/ha, mientras que su calidad nutritiva a esta edad es de 12% de proteína cruda, se utiliza bajo pastoreo rotacional, pasto de corte y además se usa en forma de heno (Lobo y Díaz, 2001).

**1.4.3 Moringa.** La especie *Moringa oleifera Lam.*, en América tropical se cultiva, en forma general, como ornamental. Es un arbusto que rara vez sobrepasa los 10 m de altura. La corteza es blanquecina, el tronco generalmente espeso e irregular en tamaño y forma y la corona pequeña y densa. Tiene un alto contenido nutricional por lo que todas sus partes son comestibles. Las hojas son ricas en proteínas, con un perfil de aminoácidos esenciales muy balanceado. Al mismo tiempo, contiene vitaminas, principalmente A y C, en altas cantidades, así como antioxidantes potentes. Los frutos jóvenes son comestibles y las semillas producen un aceite comestible y lubricante de altísima calidad. Los desechos del prensado de las semillas para obtener el aceite contienen uno de los floculantes o aglutinantes vegetales más potentes que se conocen y pueden eliminar la turbidez del agua. Sus hojas ofrecen un forraje nutritivo para los animales, así como también los residuos de las semillas después de la extracción de aceite y aun las ramas molidas (Martínez, 1959; Reyes *et al.*, 2006). Estos son sólo algunos de los usos de este árbol, que además crece con suma rapidez, tolera el calor y es resistente a las sequías.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 LOCALIZACION

La finca Marandua-Venadito se localiza sobre planicie fluvial a 530 m de altitud, en el corregimiento de Fortalecillas del municipio de Neiva-Huila, en la margen derecha del rio Las Ceibas, tiene temperatura media de 28°C, precipitación anual de 1350 mm y bioclimáticamente pertenece a la zona de vida bosque seco tropical según Holdridge. El área de estudio es de 6.5 ha y está dedicado esencialmente a potreros para ganadería bajo siembra de pastos. El área se ubica sobre una vega fluvial con acumulación de minerales de arenas de diverso tamaño y depósitos diferenciales menos gruesos en profundidad fuertemente compactados, dominando en superficie las texturas franco arenoso y arenoso franco (figura 2).



**Figura 2.** Localización de la Finca Marandua - Venadito

El área ha sido cultivada en arroz bajo prácticas intensivas de mecanización, con densidad aparente muy alta del suelo ( $1,9 \text{ g/cm}^3$ ).

### 2.2 METODOLOGIA EN CAMPO Y LABORATORIO

**Recolección de Información.** Se recolectó la información bibliográfica y cartográfica referente a estudios de suelos y su variabilidad, información básica para adelantar la presente investigación.

**Sitios de muestreo.** Se trazó una grilla de 50x50 m sobre el mapa base del área, georeferenciando los puntos con un receptor Garmin GPSmap-62sc y

marcados con estacas. Se identificaron 26 puntos de muestreo físico del suelo y para infiltración, se hizo un muestreo aleatorio simple con 8 puntos al azar. En las figuras 3 y 4, se indica el área y la ubicación de los puntos de muestreo en cuadrícula y los puntos distribuidos al azar para infiltración.



*Figura 3. Puntos de muestreo del suelo*



*Figura 4. Distribución aleatoria de los puntos de infiltración*

**Recolección y análisis de muestras.** Se recolectaron 26 muestras de suelo y se analizaron sus propiedades físicas (textura, retención de humedad, densidad real, densidad aparente y porosidad), también se tomaron 3 muestras representativas para análisis químico del suelo, pruebas realizadas en el Laboratorio LABGAA de la Universidad Surcolombiana (Tabla 1).

**Tabla 1. Propiedades y métodos físicos y químicos del suelo evaluado**

Propiedades físicas del suelo			Propiedades químicas del suelo		
Parámetro	Método	No. muestra	Parámetro	Método	No muestra
Textura	Bouyoucos	30*	pH	Potenciométrico	3
CC (0.3 bar)	Membranas de Richard	30*	CO	Walkley and Black	3
PMP (15 bar)	Membranas de Richard	30*	CIC	$NH_4OAc$ , pH 7,1 N	3
Infiltración	Anillos (modelo Kostiakov)	8	P	Bray II	3
Conductividad hidráulica saturada	Pozo barrenado invertido	26	K, Ca, Mg, Na	Absorción atómica	3
Densidad aparente	Terrón parafinado	30*	Fe, Mn, Cu, Zn	Doble ácido-AA	3
Densidad real	Picnómetro	30*	S	Turbidimetría	3
Porosidad	Relación de densidades	30*	B	Agua Caliente	3

\*Incluye 4 muestras de suelo en calicata.

### 2.3 ANALISIS ESTADISTICO

Se hizo un análisis exploratorio de datos mediante el software Statgraphics Centurion XVI-II, para estudiar la variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo basados en los puntos seleccionados al azar y así determinar su distribución. Se aplicó el software InfoStat versión estudiantil para el análisis multivariado y determinar las variables explicativas de los componentes principales del suelo.

Se realizó luego, el análisis geoestadístico con el software Gs+ 10 for Windows, para determinar la relación y dependencia de las variables estudiadas espacialmente, ajustando los semivariogramas a los modelos de mayor eficiencia.

### 3. RESULTADOS Y ANALISIS

#### 3.1 DESCRIPCION DEL SUELO

El suelo posee horizonte diagnóstico superficial Ócrico y subsuperficial Cambico con régimen de humedad ustico y régimen de temperatura isohipertérmico, siendo clasificado según la *Soil Taxonomy* como *Fluventic Ustropepts*, localizado en posición de vega con relieve plano en la subcuenca baja del Rio Las Ceibas, a una distancia de 100 m del cauce actual del Rio. La compactación del suelo es característica por antecedentes asociados al manejo mecanizado de cultivo de arroz y posteriormente por ganadería bajo pastoreo, siendo este último el uso actual.

Los factores y procesos genéticos más importantes son la depositación reciente de sedimentos. La formación del suelo está estrechamente asociada a la dinámica fluvial del rio Las Ceibas con formación profunda de horizontes arenosos de diverso tamaño (anexo B).

**Caracterización física del suelo.** En la tabla 2 se presenta la clasificación y características generales del suelo.

*Tabla 2. Caracterización de las propiedades físicas del perfil de suelo*

Localización	Finca Marandúa - Cuenca baja del Rio las Ceibas, municipio de Neiva					
Fecha	31-03-2014					
Taxonomía	Fluventic Ustropepts					
PERFIL	Horizonte	Prof. (cm)	pH	g.cm <sup>-3</sup>		Textura
				Da	Dr	
	Ap	0-25	6.3	1,88	2,50	AF
	B	25-65	5.8	1,75	2,33	AF
	C1	65-110	6.0	1,54	2,86	AF
	C2	110-160	6.0	1,74	2,86	FA

AF arenoso franco, FA franco arenoso

**Uso del suelo.** El suelo es ligeramente ácido y según la clasificación agrológica es clase IIIsc, con limitaciones por compactación en clima seco con

déficit hídrico durante la mayor parte del año con restricciones para el desarrollo normal de los cultivos.

Los suelos son moderadamente fértiles y aptos para cultivos bajo un plan de rotación adecuada, con la incorporación de abonos orgánicos y prácticas de labranza vertical (subsolado, cincel). Se requieren sistemas de cultivo que proporcionen una adecuada protección vegetal al suelo, necesaria para defender al suelo de la erosión y mejorar su estructura (fajas, terrazas, bancales, etc). Se recomiendan prácticas de conservación y manejo sostenible para la producción de pastos y cultivos herbáceos.

## **3.2 PROPIEDADES DEL SUELO**

**3.2.1 Infiltración básica (I<sub>b</sub>) y Conductividad hidráulica saturada (K<sub>s</sub>)** La infiltración básica varió de moderadamente lenta a moderada (0,23 - 3,88 cm/h) con mayor dominio de la infiltración moderadamente lenta debido a los procesos de compactación del suelo.

La conductividad hidráulica saturada del suelo resultó entre moderada y moderadamente lenta (1,22 y 1,99 m/día), también está afectada por la compactación del suelo, especialmente en los primeros 25 cm de profundidad (anexo C).

**3.2.3 Densidad aparente (D<sub>a</sub>) y Densidad real (D<sub>r</sub>).** La densidad aparente del suelo varió ampliamente entre 1,27 y superior a 2,0 g/cm<sup>3</sup>, siendo afectada por procesos de compactación debido a los antecedentes de mecanización en el monocultivo de arroz y el pastoreo durante los últimos años. La densidad real corresponde a suelos minerales con bajos contenidos de materia orgánica (anexo C).

**3.2.3 Textura, porosidad y agua disponible.** La textura del suelo es arenoso franco a franco arenoso con inclusión de textura arenosa. Los porcentajes de arena variaron entre 74,28 y 88,06% (anexo C).

La porosidad del suelo en su mayor extensión es baja (10 y 40%), en algunos pocos sitios resultó superior al 40% con clasificación media (Cairo, 1995), esto explica la baja infiltración en algunas áreas, disminuyendo así la capacidad de retención de humedad.

La disponibilidad del agua en el suelo varió ampliamente con muy baja capacidad de retención de agua en la mayoría de los puntos, presentando valores para los suelos arenoso francos y franco arenosos entre 8-12% y 9-15% respectivamente, siendo una limitante para el abastecimiento de agua para los cultivos (anexo D).

**3.2.4 Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S).** El fósforo es muy bajo con rangos entre 6,44-12,8 ppm (Castro y Gómez, 2009),

lo que dificulta el crecimiento de los cultivos en la mayor parte del área de estudio, ya que éste es un macronutriente esencial para el crecimiento óptimo de las plantas (Anexo F).

El potasio es bajo (0,19-0,32 cmol/Kg), lo que reduce la posibilidad de un buen crecimiento de los cultivos, pues el potasio es uno de los macronutrientes requerido en grandes cantidades para que el desarrollo normal de las plantas (Anexo F).

El nivel de calcio es alto, superior a 9 cmol/kg, siendo positivos para el desarrollo de las plantas, ya que al ser un nutriente secundario en el crecimiento de las mismas, ayuda y estimula el desarrollo, formación de raíces, neutraliza sustancias tóxicas en la planta y estimula la producción de semillas, mejorando así las condiciones requeridas por los cultivos (Anexo F).

El contenido de magnesio (2,26 a 3,67 cmol/kg) se clasifica alto (Castro y Gómez, 2009), siendo favorable, pues éste es un nutriente esencial para el desarrollo de las plantas fomentando la absorción y transporte de fósforo (macronutriente esencial), además facilita el almacenamiento de azúcares (Anexo F).

El nivel de azufre es bajo (3,25 a 4,47 ppm), esta deficiencia afecta los cultivos pues es necesaria para el desarrollo del sistema radicular, formación de la clorofila esencial en el proceso de fotosíntesis (Anexo F).

**3.2.5 pH y materia orgánica (M.O)** El pH es ligeramente ácido siendo adecuado para la mayoría de los cultivos. Los niveles de materia orgánica determinados a partir de la cantidad de carbono orgánico se clasifican bajos, incidiendo la alta tasa de mineralización en la zona de estudio (Anexo F).

### **3.3 ESTADÍSTICA**

**3.3.1 Estadística Descriptiva.** El análisis univariado de las propiedades físicas del suelo se clasificó mediante el coeficiente de variación (CV) en 4 categorías definidas (Vásquez, 2009), así:

CV < 20% (variables relativamente homogéneas): Densidad aparente, densidad real, arena, arcilla y conductividad hidráulica saturada.

20 < CV < 40% (variables moderadamente heterogéneas): Coeficiente de marchitez y limo.

40 < CV < 60% (variables normalmente heterogéneas): Coeficiente de capacidad de campo y porosidad.

CV > 60% (variables extremadamente heterogéneas): infiltración.

**Tabla 3. Resumen estadístico de las propiedades físicas del suelo**

Variable	X	Me	S <sup>2</sup>	S	% CV	Min.	Max.	Rango	Cuartil Inf.	Cuartil Sup.	Ses. Est.	Curt. Est.
Den. aparente	1,83	1,81	0,08	0,29	15,90	1,27	2,29	1,02	1,60	2,08	0,13	-1,04
Den. Real	2,56	2,82	0,14	0,37	14,42	1,82	2,86	1,04	2,22	2,86	-1,67	-0,83
CC	12,89	11,69	28,83	5,37	41,66	5,10	28,98	23,88	8,79	16,88	2,34	1,80
PMP	4,68	4,68	1,26	1,12	23,99	1,67	6,62	4,95	4,10	5,25	-0,78	0,87
Arena	80,58	80,82	11,63	3,41	4,23	74,28	88,06	13,78	78,17	83,17	0,25	-0,24
Limo	9,51	9,89	3,96	1,99	20,91	5,34	13,08	7,74	7,78	10,83	-0,42	-0,58
Arcilla	9,91	9,05	3,85	1,96	19,80	6,60	13,13	6,53	8,63	11,58	0,45	-1,04
Cond. Hidráulica. Ks	1,60	1,63	0,06	0,24	14,88	1,22	1,99	0,77	1,42	1,78	-0,22	-1,11
Porosidad	27,72	23,43	204,84	14,31	51,63	1,72	51,48	49,76	19,04	42,47	-0,09	-1,21
Infiltración	1,62	1,64	1,46	1,21	74,55	0,23	3,88	3,65	0,57	2,21	0,88	0,29

X=Media, Me= Mediana, S<sup>2</sup>=Varianza, S= Desviación estándar, %CV= coeficiente de variación, Min= Mínimo, Max= Máximo, Ses. Est= Sesgo estándar, Curt. Est= Curtosis estándar. Densidad aparente y densidad real (g. cm<sup>-3</sup>), capacidad de campo (CC) y marchitez permanente (PMP), arena, limo, arcilla y porosidad (%), conductividad hidráulica (m/día), infiltración (cm/h).

En la información anterior se observa que no se presenta variación espacial significativa de las propiedades físicas del suelo, excepto en los siguientes casos así: normalmente heterogéneas (capacidad de campo y porosidad) y extremadamente heterogéneas (Infiltración) (Tabla 3). Es importante mencionar que algunos parámetros estadísticos no presentan distribución normal, como es el caso de la capacidad de campo con valores de curtosis y sesgo estandarizado de 1,8 y 2,34 respectivamente.

**3.3.2 Semivariogramas** Los modelos de mejor ajuste son Lineal, Exponencial y Gaussiano. El modelo Lineal se ajusta adecuadamente para las variables arena, limo y arcilla, mientras el modelo exponencial representa las variables punto de marchitez permanente, infiltración y porosidad (Tabla 4).

**Tabla 4. Parámetros de los semivariogramas para propiedades físicas del suelo**

Variable	Modelo	Nuguet (Co)	Sill (Co+C)	%Co/(Co+C)	Rango (Ao)	R <sup>2</sup>	Dependencia
Densidad Aparente	Esferico	0.0027	0.0871	3.09988519	105.4	0.756	Fuerte
Densidad Real	Gaussiano	0.1	0.452	22.1238938	185	0.761	Fuerte
CC	Esferico	30.37003	247.2	12.2856108	88.6	0.188	fuerte
PMP	Exponencial	0.457	1.726	26.4774044	121.9	0.926	Moderada
A%	Lineal	11.46465	11.46465	100	258.76	0.472	Debil
L%	Lineal	3.9262	3.9262	100	258.76	0.94	Debil
Ar%	Lineal	0.03932	0.03932	100	258.76	0.841	Debil
Porosidad	Exponencial	24	216.9	11.0650069	30.5	0.132	Fuerte
Ks	Esferico	0.0057	0.0624	9.13461538	93.4	0.251	Fuerte
Infiltracion	Exponencial	1.127	3.505	32.1540656	610.9	0.427	Moderada

CC capacidad de campo, PMP punto de marchitez permanente, infiltración básica, Ks conductividad hidráulica saturada, %A arena, %L limo, %Ar arcilla.

La dependencia espacial se analizó por medio del efecto Nugget relativo  $[\%C_0/(C_0+C)]$ , clasificación planteada por Cambardella *et al* (1994), dando como resultado una fuerte dependencia para las variables densidad aparente (Da), densidad real (Dr), capacidad de campo (CC), porosidad y conductividad hidráulica (< 25%), mientras que punto de marchitez permanente e infiltración tienen una dependencia moderada (25 y 75%), y débil dependencia espacial (> 75%) arena, limo y arcilla. La variable con mayor rango de dependencia espacial (Ao) fue la Infiltración con 610,9 m y la de menor dependencia fue la porosidad con 30.5 m (tabla 4).

**3.3.3 Coeficiente de correlación entre variables.** El coeficiente de Pearson permitió analizar la relación entre las variables (tabla 5). Las propiedades físicas del suelo con relación proporcional directa son capacidad de campo (CC) y arcilla (0,51), densidad real y porosidad (0,65); mientras que las de relación inversa fueron densidad aparente y porosidad (-0,70), capacidad de campo (CC) y arena (-0,55), arena y limo (-0,87), arena y arcilla (-0,86).

**Tabla 5.** Coeficiente de Correlación de Pearson de las propiedades físicas del suelo

	Densidad Aparente	Densidad Real	CC	PMP	A%	L%	Ar%	Porosidad	Conductividad
Densidad Aparente	1								
Densidad Real	0.07	1.00							
CC	-0.08	-0.25	1.00						
PMP	0.14	0.06	-0.15	1.00					
A%	-0.20	-0.04	-0.55	-0.32	1.00				
L%	0.02	0.03	0.44	0.38	-0.87	1.00			
Ar%	0.34	0.05	0.51	0.17	-0.86	0.49	1.00		
Porosidad	-0.70	0.65	-0.11	-0.10	0.14	-0.01	-0.24	1.00	
Ks	-0.22	0.03	0.04	-0.26	0.04	-0.23	0.16	0.18	1.00

CC capacidad de campo, PMP punto de marchitez permanente, Ks conductividad hidráulica saturada, %A arena, %L limo, %Ar arcilla.

### 3.4 ANÁLISIS MULTIVARIADO

Se puede simplificar el estudio de la variabilidad espacial del suelo desde sus componentes principales en virtud de una serie de variables explicativas halladas por medio de un análisis multivariado a partir de las propiedades físicas del suelo, las dos componentes principales explican el 55% de la variación, adicionalmente un tercer componente permite explicar el 73% (tabla 6).

**Tabla 6.** Porcentajes explicados por los componentes principales

Variabilidad física	Componente principal (CP)	% explicativo	% acumulado
	1	35	35
	2	20	55
	3	18	73

La variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo resultó menos predecible debido a que el análisis multivariado determinó, que se necesitan más de dos componentes principales para explicar los cambios en el suelo.

Se establecieron los valores de los autovectores de ponderación e1, e2 y e3 con valor absoluto alrededor del 45%, y un coeficiente de correlación de CP1, CP2 y CP3 mayor a 60%. Se determinaron el porcentaje de arena (%A), la densidad aparente (Da) y la densidad real (Dr) como las variables más explicativas de los componentes 1 ,2 y 3 respectivamente, explicando así el 73% de la variación de las propiedades físicas del suelo (tabla 7).

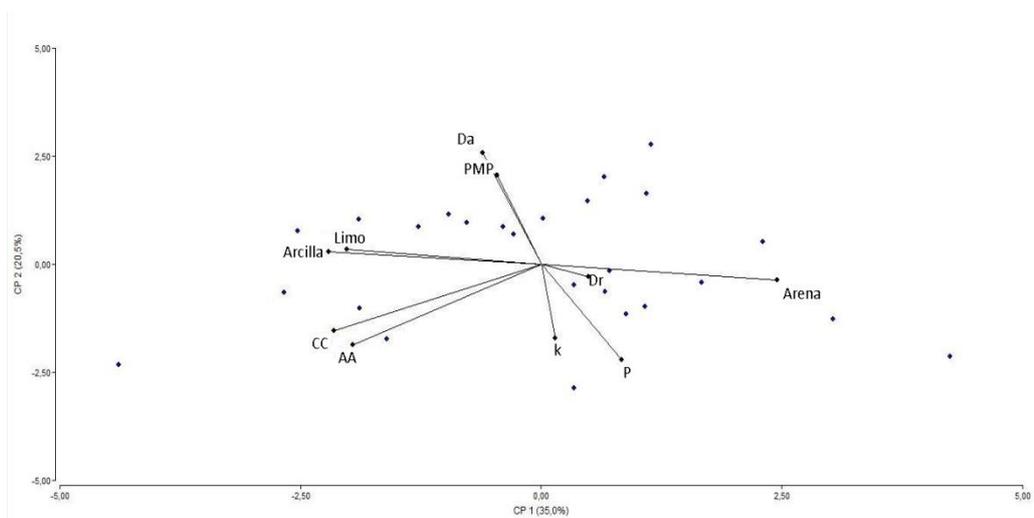
**Tabla 7.** Componentes principales (ACP) de las propiedades físicas del suelo

Variables	e1	e2	e3	CP 1	CP 2	CP 3
DA	-0,12212814	0,51746942	-0,16992841	-0,22841111	0,74061545	-0,22924708
DR	0,09762813	-0,05642192	0,56909673	0,18258977	-0,0807525	0,7677572
Porosidad T.	0,16791839	-0,44119069	0,51555054	0,31405068	-0,63144339	0,69551909
Conductividad	0,02945465	-0,34195874	-0,05424728	0,05508778	-0,48942008	-0,07318393
CC	-0,43119818	-0,30817894	-0,16603012	-0,80645177	-0,44107357	-0,22398797
PMP	-0,09136164	0,41050082	0,35762522	-0,17086982	0,58751926	0,48246515
AA	-0,39213201	-0,37481396	-0,22905022	-0,73338796	-0,5364433	-0,30900715
ARENA	0,48986752	-0,0735186	-0,24185224	0,91617855	-0,10522169	-0,3262781
LIMO	-0,40362262	0,06768002	0,32109738	-0,75487835	0,09686537	0,43318616
ARCILLA	-0,44222343	0,05916672	0,09484873	-0,82707183	0,08468092	0,12795856

**3.4.1 Diagrama Biplot** Permite deducir de manera gráfica los resultados del análisis multivariado. Las ubicaciones en el plano de los componentes principales definen la dependencia entre las variables; las propiedades más agrupadas tienen mayor dependencia entre sí, y mayor independencia entre aquellas en que sus ejes forman un ángulo cerca a los 90 grados.

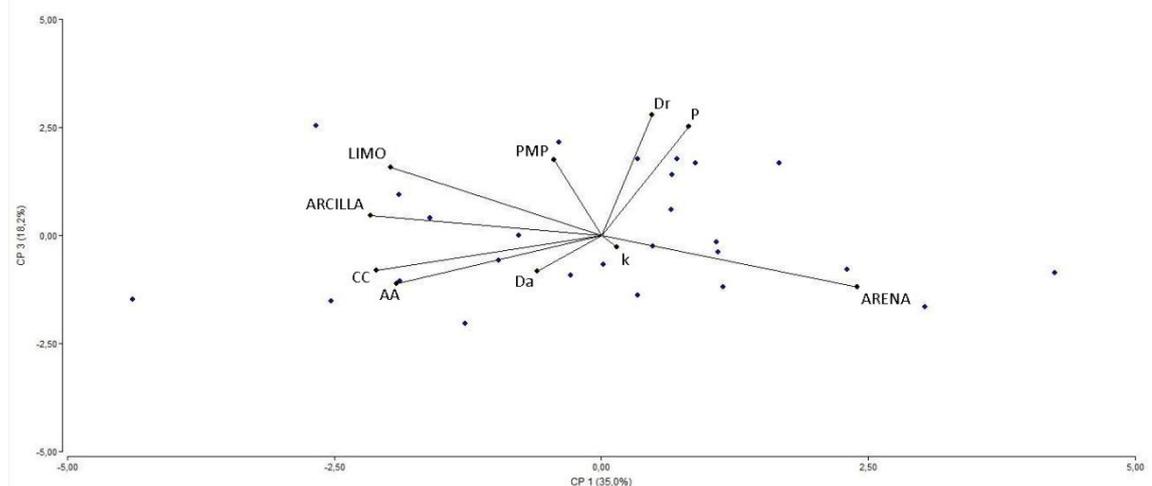
En el diagrama biplot se observa la confrontación de la componente principal 1 y 2, donde se comprueba la poca agrupación entre las variables, lo que demuestra la dificultad de establecer una predicción de las variables explicativas a partir de los dos principales componentes. Se aprecia una correlación negativa entre las arenas contra arcillas y limos pues forman un

ángulo obtuso, además una relación directa entre CC y AA y entre DA y PMP es decir que son más similares. (Figura 5)



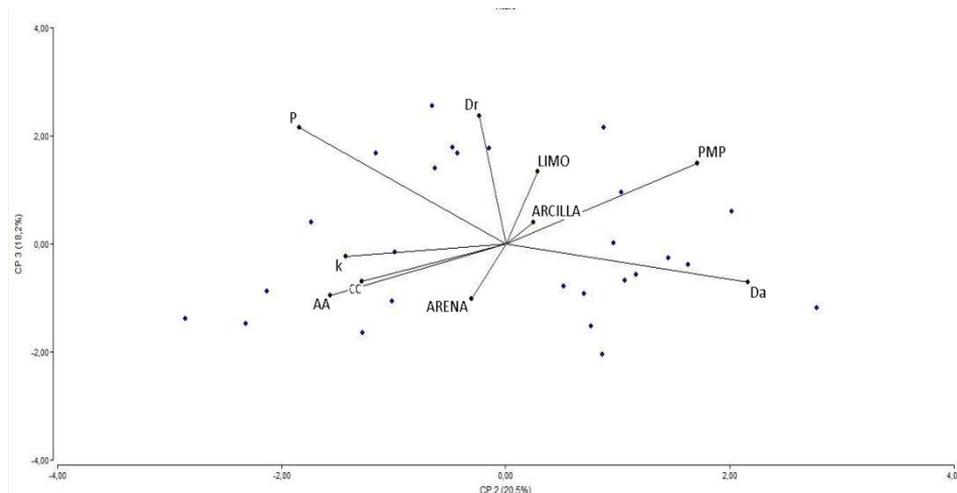
**Figura 5.** Diagrama Biplot de las CP1 y CP2 de las propiedades físicas del suelo

En el diagrama biplot (figura 6), se observa también una poca agrupación entre las variables al hacer la confrontación de los componentes principales 1 y 3, también se dificulta establecer una predicción de las variables explicativas, sin embargo al estar cercanos es apreciable la relación directa entre Dr y Porosidad total y entre CC y AA, también es claro el ángulo de 90° formado por la Dr con arena y limo lo que indica una independencia entre las variables o poca correlación.



**Figura 6.** Diagrama Biplot de las CP1 y CP3 de las propiedades físicas del suelo

En el diagrama biplot (figura 7), se hace la confrontación de los componentes principales 2 y 3, las cuales representan el (20.5 y 18.2)% de la variabilidad respectivamente, lo que se aprecia en el diagrama es una relación directa y/o alta correlación entre AA y CC por su cercanía y longitud del vector, también se observa que las variables AA y PMP además de las arenas y limos presentan correlación negativa y/o son inversamente proporcionales.



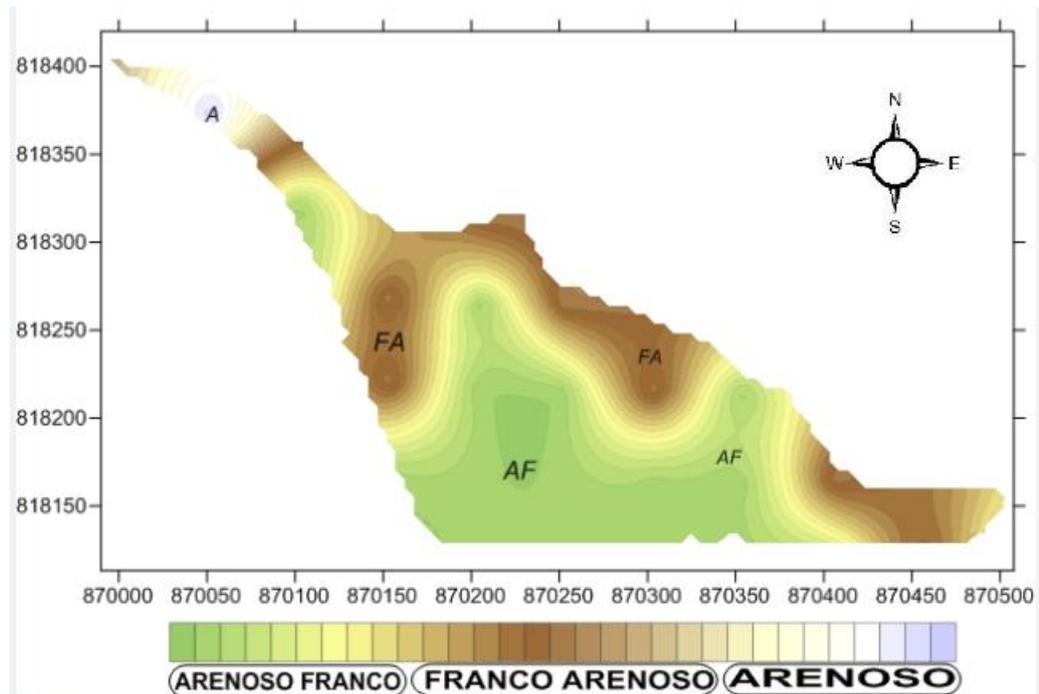
**Figura 7.** Diagrama Biplot de las CP2 y CP3 de las propiedades físicas del suelo

### 3.5 VARIABILIDAD ESPACIAL DEL SUELO

#### 3.5.1 Propiedades físicas del suelo

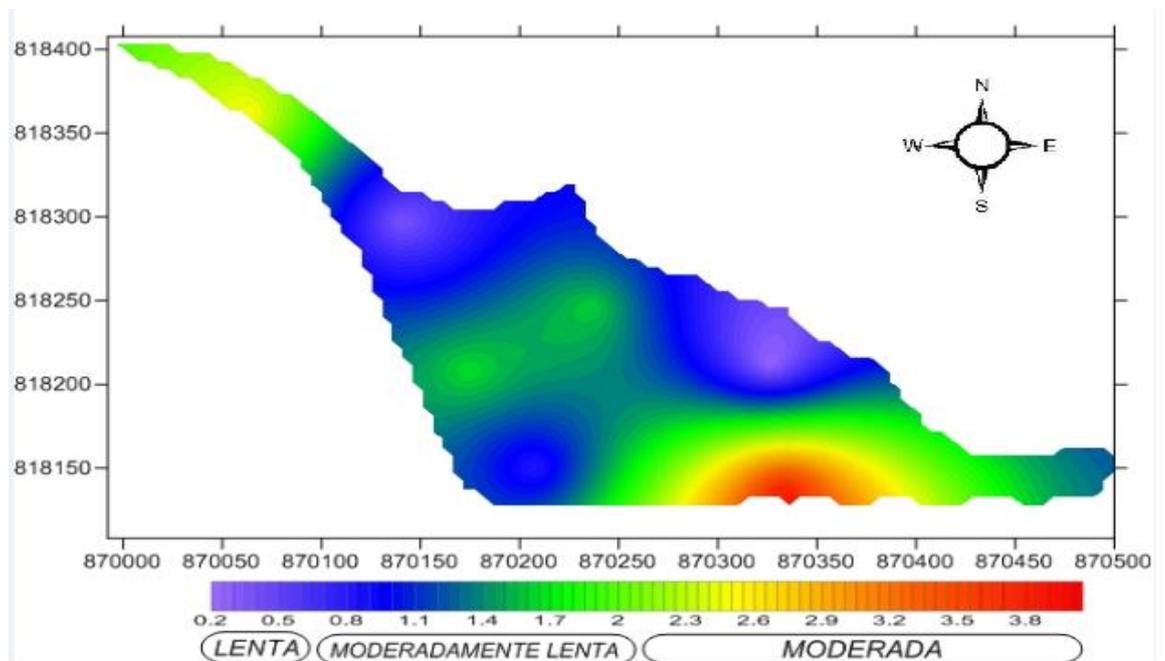
**3.5.1.1 Textura.** En general el porcentaje de arena en el suelo es alto (74,28 - 88,06%), con valores muy bajos de los separados minerales restantes como son arcilla (6,6 - 13,13%) y limo (5,34 - 13,08%), observándose los mayores porcentajes de arena hacia el norte y centro del área (84 - 88,06%). La clasificación de las clases texturales del suelo, determinaron la existencia de tres clases así: Franco arenoso (FA), Arenoso franco (AF) y Arenoso (A) (Mapa 1, Anexo A).

Al predominar el contenido de arena en el suelo, se hace baja la capacidad de retención de humedad, lo que conlleva a escasa retención de nutrientes (Torrente, 2010). Además el contenido alto de arena, hace que el suelo sea susceptible a problemas de erosión.



*Mapa 1. Clases texturales del suelo*

**3.5.1.2 Infiltración.** La infiltración del agua en el suelo varía de lenta a moderada (0,22 – 3,88 cm/h), siendo el valor más alto en dirección sureste (Mapa 2).

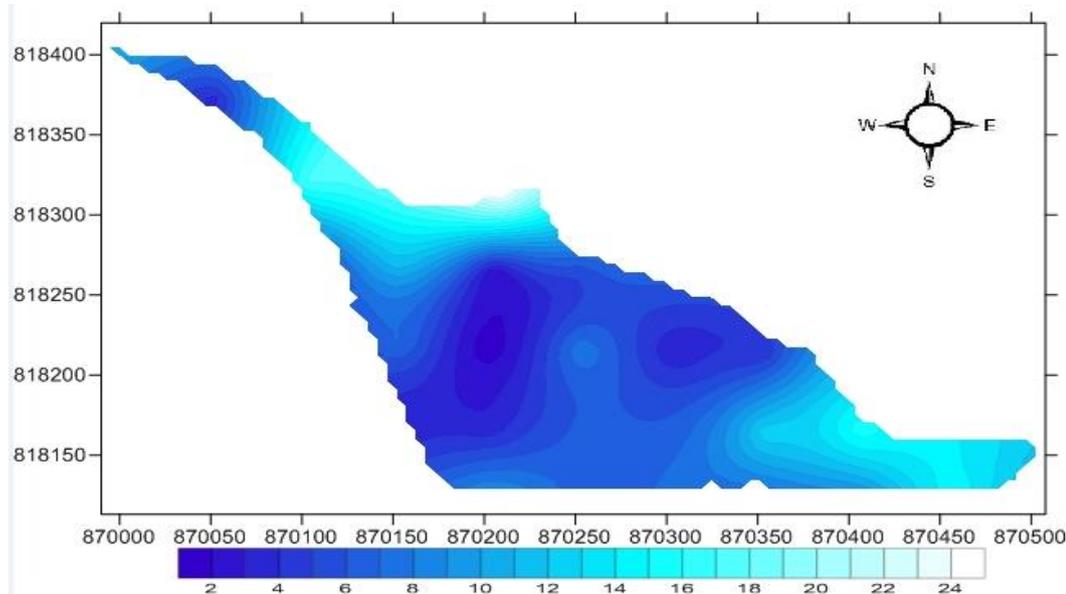


*Mapa 2. Infiltración básica en el suelo*

**3.5.1.3 Agua disponible.** La disponibilidad del agua en el suelo es generalmente baja, con puntos críticos en el rango 1,25 a 7,5% distribuidos en el 65,4% del área, lo que se debe a la compactación por procesos de

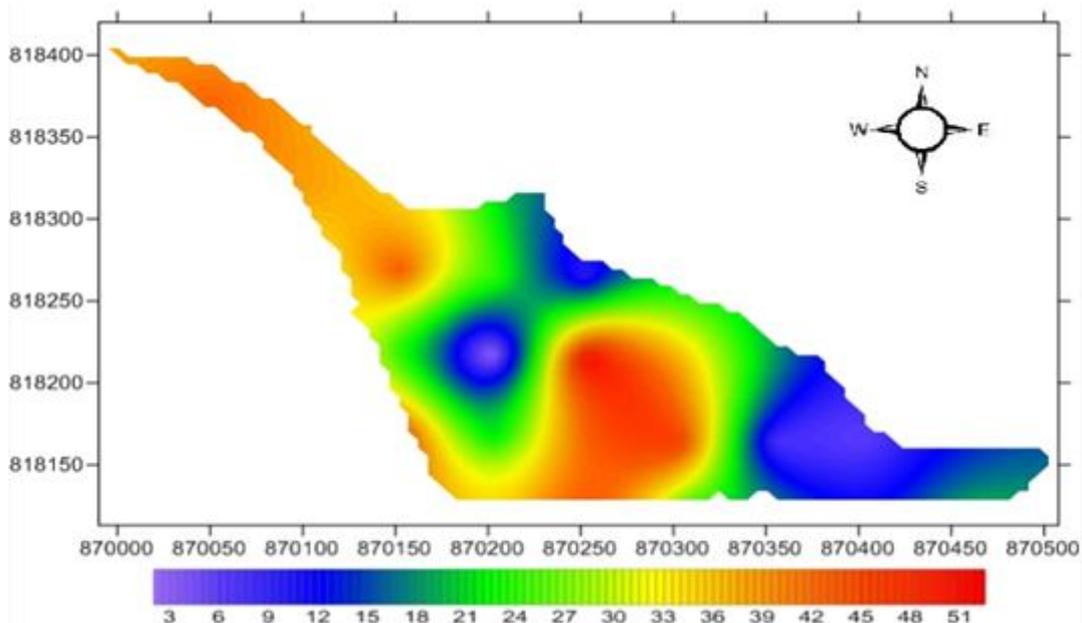
mecanización y monocultivo de arroz; los rangos más altos (12,62 – 25,20%) se distribuyen en un 23,1% del area en dirección norte (mapa 3).

El agua disponible del suelo (0,3 - 15 bar) presentó niveles muy bajos (1,67 – 6,62%), ajustados al grupo textural del suelo (Anexo A).



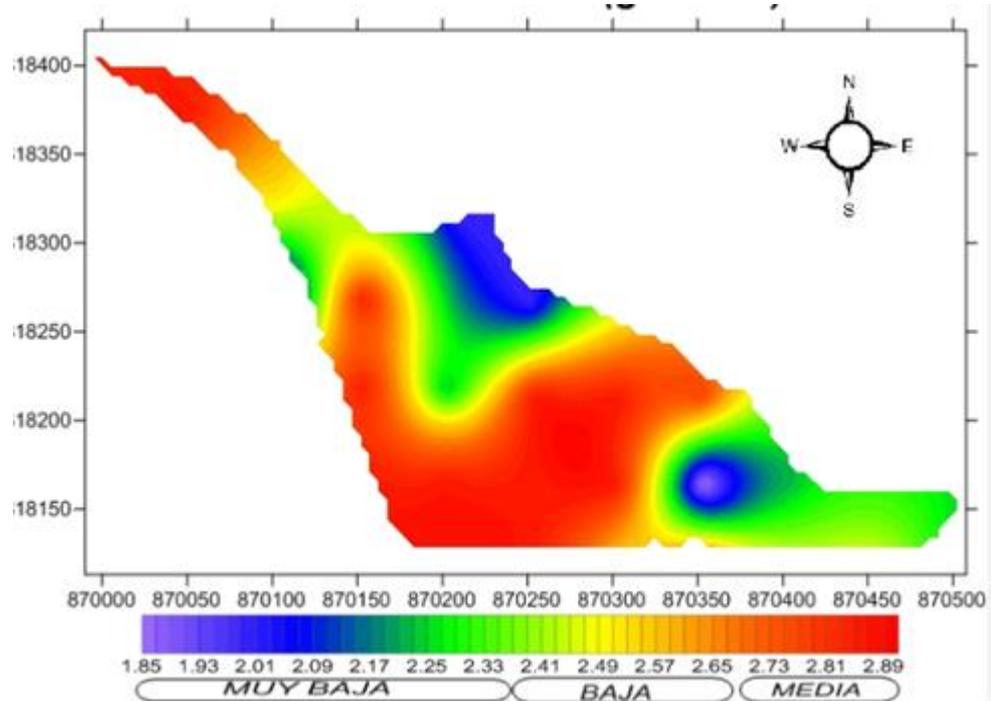
**Mapa 3.** Agua disponible en el suelo

**3.5.1.4 Porosidad total.** La porosidad del suelo resultó de muy baja a media (1,72 – 40%) distribuidos en el 84,6% del área, la porosidad media se localiza en la parte central con disminución hacia los extremos (mapa 4, Anexo A).



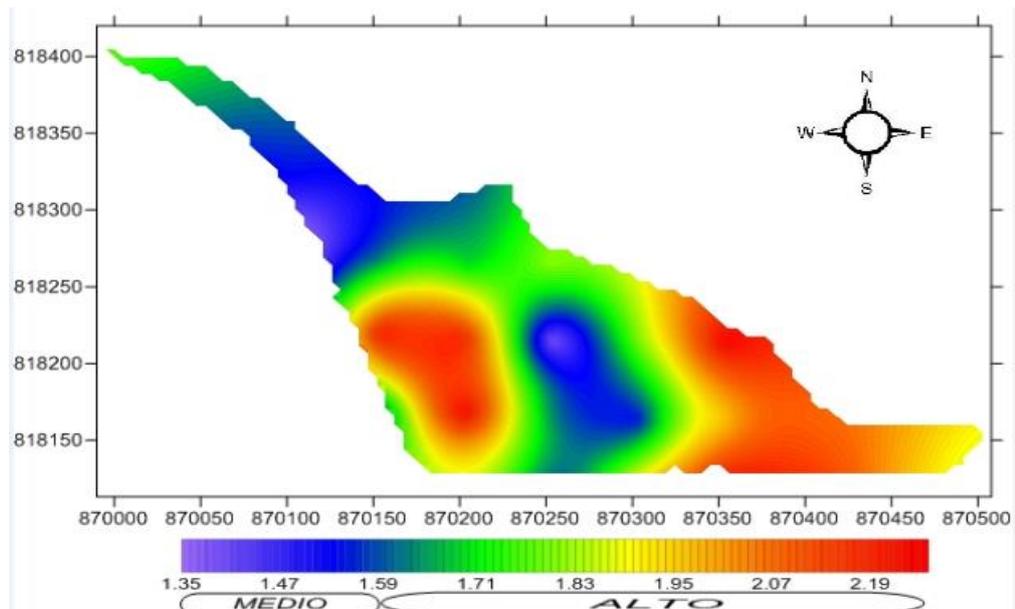
**Mapa 4.** Porosidad total del suelo

**3.5.1.5 Densidad real y densidad aparente** La densidad real del suelo presento valores entre 2,45 y 2,89 gr/cm<sup>3</sup> (mapa 5).



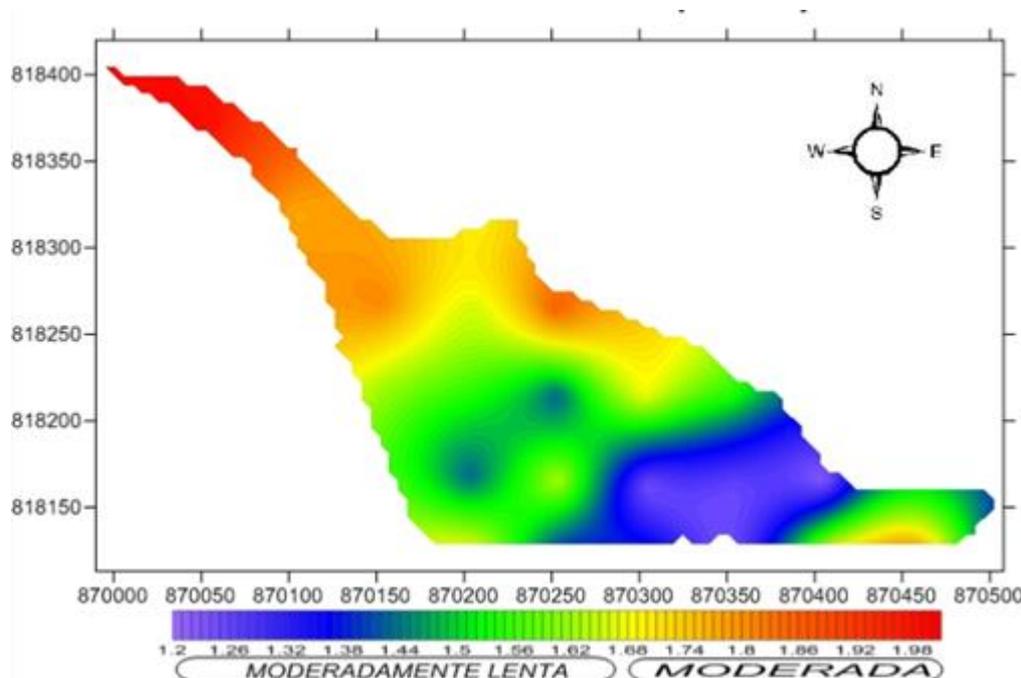
**Mapa 5. Densidad real del suelo**

Mientras la densidad aparente resultó con valores altos (1,6 – 2,2 gr/cm<sup>3</sup>), incrementando desde el noroeste hasta el sureste. Los valores altos son debido al uso histórico y actual del suelo, con incremento de la compactación que afecta en general las propiedades físicas del suelo (Mapa 6).



**Mapa 6. Densidad aparente del suelo**

**3.5.1.6 Conductividad hidráulica.** La conductividad hidráulica del suelo varió de moderadamente lenta hasta moderada, igualmente afectada por procesos de compactación por mecanización y pisoteo constante. La conductividad hidráulica aumenta desde el sureste hasta el noroeste, encontrándose en este último sector los mayores valores (Mapa 7).



*Mapa 7. Conductividad hidráulica saturada del suelo*

## 3.6 MAPAS DE USO DEL SUELO

**3.6.1 Uso actual** El área está sectorizada en dos usos actuales, el primer sector con 5,82 ha dedicado a potreros, y el segundo sector con establecimiento de pastos de corte en 0,68 ha localizado en el sureste (mapa 9).

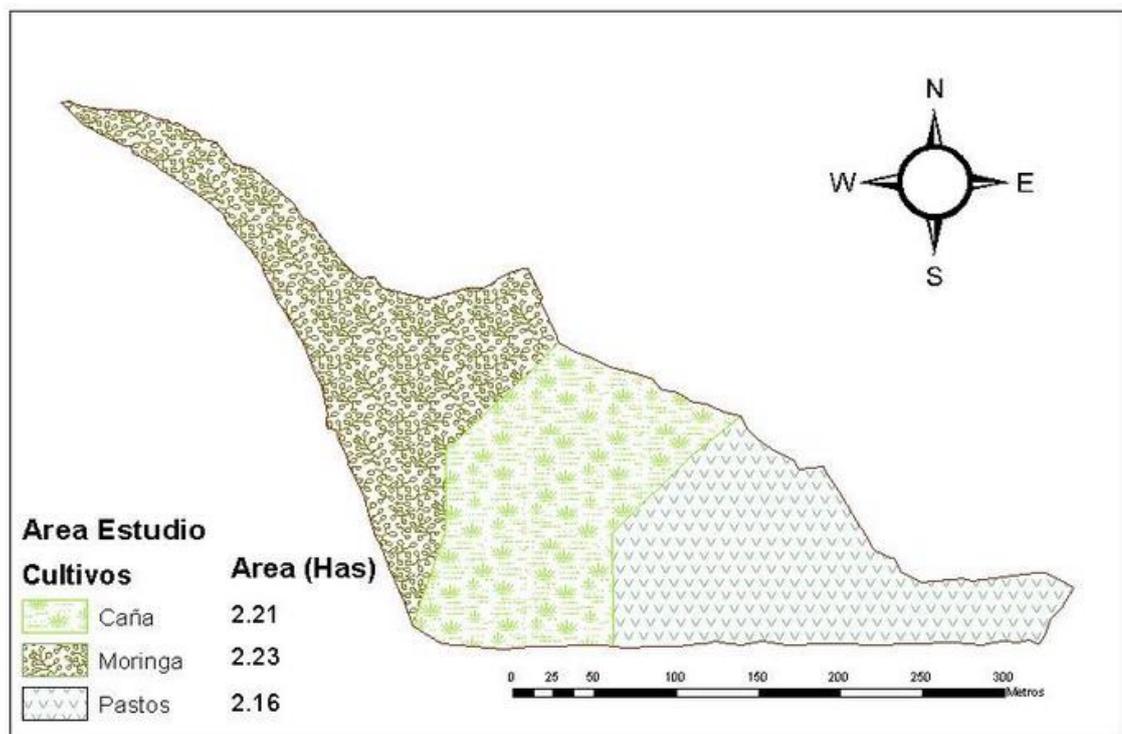
**3.6.2 Uso Potencial** Para la división del área se tuvo en cuenta los atributos químicos y físicos del suelo, y a su vez las necesidades nutricionales de los cultivos a implementar; por lo tanto se decidió establecer la zona noroeste con un área de 2.23 ha para el cultivo de moringa, pues esta franja cuenta con niveles óptimos de P y Mg, elementos que junto al S participan activamente en la síntesis de aceites en plantas oleaginosas entre otras. Sin embargo “la mayor parte del P en la solución de suelo no es aprovechable por las plantas debido a su gran insolubilidad, por lo cual los cultivos responden positivamente a las aplicaciones de este elemento” (Navarro y García 2003).

Según las características físicas y químicas del suelo, el sureste del área (2,16 ha) es adecuado para pastos y en la actualidad se dedica a éste cultivo, mostrando buen rendimiento. Se requiere la aplicación de abonos orgánico-

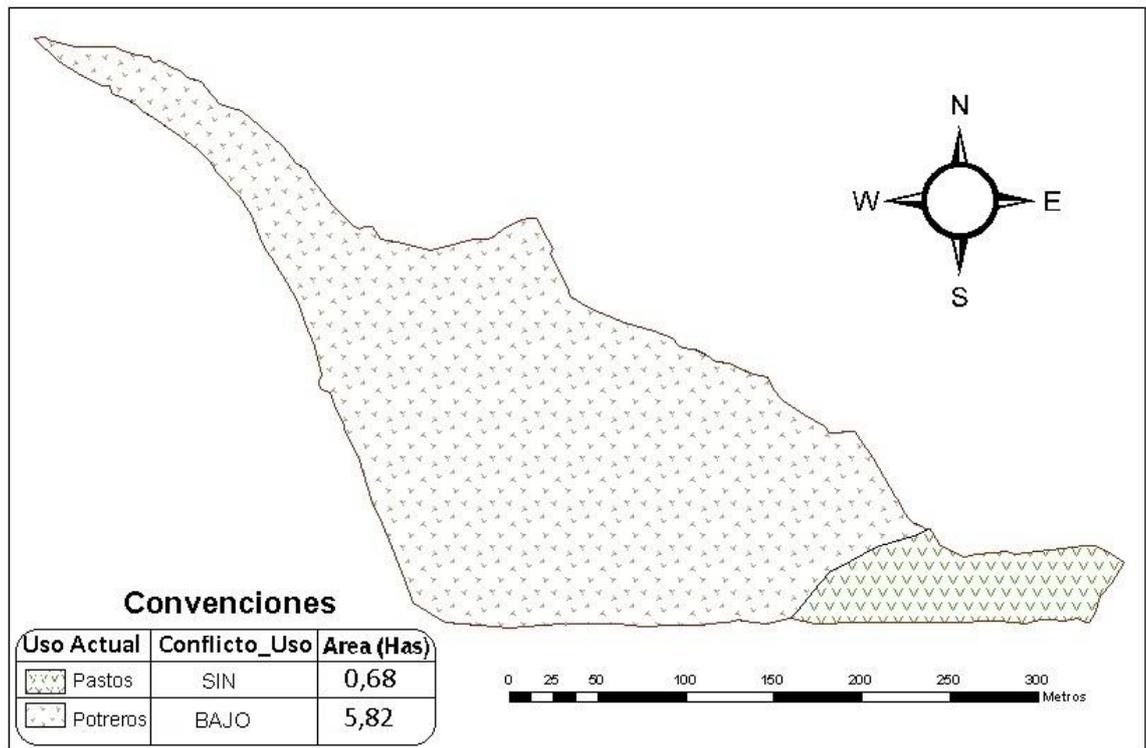
minerales para suplir las deficiencias nutricionales del cultivo que favorezca el crecimiento y la producción. Es de resaltar que el pH del suelo es óptimo, ya que es cercano a la neutralidad.

Para el cultivo de caña, se adoptó la parte central del área de aproximadamente 2.21 ha, la cual presenta déficits de fósforo ( $> 10$  ppm) y de potasio  $< 0.2$  cmol/kg (que es un elemento muy móvil dentro de la planta e importante en la formación de aminoácidos y proteínas (Tisdale y Nelson, 1966). Los micronutrientes de importancia en el cultivo de caña son B, Zn, Fe, Mn y Mo, y aunque son necesarios para el desarrollo normal de la planta se requieren en cantidades muy pequeñas (mapa 8).

**3.6.3 Conflicto de uso** Al interponer los dos mapas anteriores 8 y 9, se observa que en la zona sureste no hay conflicto y en el resto del área el conflicto de uso es bajo, ya que cambia de potrero a cultivo, lo que no implica un cambio radical en el uso del suelo (mapa 9).



*Mapa 8. Uso potencial del suelo*



**Mapa 9.** *Uso Actual del suelo - Conflicto de uso del suelo*

#### 4. CONCLUSIONES

El análisis geoestadístico permitió conocer la variación de las propiedades físicas del suelo, siendo la infiltración la variable con mayor heterogeneidad con un coeficiente de variación de 54,5%, mientras que la porosidad total y la capacidad de campo son variables normalmente heterogéneas.

La variable con mayor dependencia espacial fue la infiltración básica del suelo con 610,9 m, y la de menor dependencia espacial corresponde a la porosidad total con 30,5 m.

El suelo Fluventic Ustropepts posee densidad aparente alta con valores superiores a  $1,6 \text{ gr/cm}^3$ , como consecuencia de antecedentes de uso y manejo del suelo asociado a la compactación de horizontes arenosos.

Las propiedades físicas del suelo directamente proporcionales son: la porosidad total y la densidad real, el contenido de arcilla y la capacidad de campo.

Se determinó un conflicto bajo del suelo en un 87% del área, cambiando el establecimiento de potreros a cultivos de moringa, caña y pastos.

## 5. RECOMENDACIONES

Para el correcto manejo y aprovechamiento óptimo del terreno se recomienda incorporar anualmente gallinaza o lombricompost en cantidad de 2 ton/ha, esto con el fin de mejorar la estructura del suelo, el cual presenta alto nivel de compactación.

En estos suelos de textura gruesa es aconsejable fraccionar la aplicación de fertilizantes, aplicando un tercio después del corte o pastoreo, el resto se aplica en la época de crecimiento activo de la plantación a los 15 y 30 días después de la primera aplicación. Con este sistema, se tiene mayor costo en mano de obra pero se logra mayor eficiencia en el uso del fertilizante.

En el establecimiento del cultivo de moringa se recomienda aplicar superfosfato triple en dosis de 3 bultos/ha, sulfato de potasio con 5.5 bultos/ha y sulfato de cobre y cinc por vía foliar. Se debe fraccionar la aplicación de fertilizantes cada tres meses para lograr mayor eficiencia.

Para el establecimiento de caña es recomendable aplicar urea en dosis de 3.5 bultos/ha; DAP 2.0 bultos/ha y sulfato de potasio 3 bultos/ha. Fraccionar la aplicación del fertilizante cada dos meses para mayor efectividad. Debe aplicarse el fertilizante al inicio de la época de lluvias, o con el suministro de riego.

Como las condiciones estructurales del suelo son limitantes debido a la compactación por prácticas de sobrepastoreo, se recomienda labranza gradual con cincel hasta la profundidad deseada para la remoción de las capas endurecidas del suelo y permitir el anclaje adecuado de las plantaciones.

## 6. BIBLIOGRAFIA

ALESSO, C., Pilatti, M., Imhoff, S., Grilli, M. 2012. Ciencia del Suelo, variabilidad espacial de atributos químicos y físicos en un suelo de la Pampa llana Santafesina. Argentina. 30(1): 85-93.

ALVAREZ, J., Marinero, P. 2003. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI. 219. Propiedades físico-químicas y variabilidad espacial de un suelo afectado por el vertido minero de aznalcóllar, 2003.

CAIRO P. 1995. La Fertilidad Física del Suelo y La Agricultura Orgánica en el Trópico. Una - Managua, Nicaragua. 228p

CAMBARDELLA, C. A., Moorman T. B., Novak J. M., Parkin T. B., Karlen D. L., Turco R. F., and Konopka A. E. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58, p 1501-1511.

CASTRO, H., Gómez, M. 2010. Ciencia del suelo, principios básicos, pag 255.

Kass Donald C.L., ed. Jorge Nuñez Solís 1996. Fertilidad de suelos, pag: 10-31.

FAGROUD, M. y VanMeirvenne, M. 2002. Accounting for soil spatial autocorrelation in the design of experimental trials. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1523-1528.

OBANDO M., F. H.; A. M. Villegas H.; J. H. Betancur y L. Echeverri T. 2006. Variabilidad Espacial de Propiedades químicas y físicas en un Typic Udivitrands, arenoso de la Región Andina Central Colombiana 2006. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.Vol.59, No.1. p. 3217-3235.

GARCÍA Petillo, M; Puppo, L.; Hayashi, R.; Morales P. 2011. Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. Vol 1, p 20-48.

GUROVICH, L y Stern J. 1983. Variabilidad especial de la velocidad de infiltración del agua en el suelo I.: Generación de datos. En: Ciencia e Investigación Agraria. Vol 10, no1; p. 35-42.

JARAMILLO D. F. 2008. Variabilidad espacial de las propiedades químicas del epipedón de un andisol hidromórfico del Oriente Antioqueño (Colombia), Universidad Nacional de Colombia - Medellín Revista Facultad Nacional de Agronomía, vol. 61, núm. 2, pp. 4588-4599.

MALAGON, D. Suelos de Colombia origen y evolución, clasificación, distribución y uso. IGAC. Bogotá, Colombia. 1995.

LOBO M. V., Di Palma O., Díaz S. 2001. Agrostología, EUNED Editorial Universidad Estatal A Distancia.

MARTÍNEZ, M. 1959. Plantas útiles de la flora mexicana. Botas, México, D. F. 621 p.

MULLA, D. J. and A. B. McBratney. 2000. Soil spatial variability. USA, M. E. Sumner (Ed). Handbook of soil science. Crc Press. Boca Raton, Fl, 1499-1507.

NAVARRO, S., Ginés, B., García, N. 2003. Química Agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida 2ª edición. Madrid, España. Paj: 233-246

PETERS, M., Franco, L. H., Schmidt, A., Hincapié, B., 2002. Especies forrajeras multipropósito: Opciones para productores de Centroamérica. Vol 2, pag: 200-203.

OVALLES, F.A. 1991. Evaluación de la variabilidad interna de los suelos a nivel de parcela para el establecimiento en lotes experimentales en el estado de Cojedes. En: Agronomía Tropical. Vol 41, no.1 – 2, p. 5-22.

OVALLES, F.A. 2001. Memorias del curso de Geoestadística Aplicada a Estudios Ambientales con Énfasis en Suelos. Manizales: Universidad de Caldas. 35p.

OVALLES, F.A y NÚÑEZ, M. C. 1994. Métodos estadísticos para evaluar la variabilidad de suelos dentro de unidades de capacidad de uso en la depresión del lago de valencia. En: Agronomía Tropical. Vol 44, no. 1.; p. 23-40.

PONCE DE LEÓN, P., Balmaseda, C., Henriquez, M. 1999. Variabilidad espacial del pH, fosforo y potasio en muestreos de suelos con fines de fertilidad en plantaciones de caña de azúcar en cuba, BIAGRO N°1 Vol.11, pag 3-11, 1999.

REYES, N., E. Spörndly e I. Ledin. 2006. Effect of feeding different levels of foliage of *Moringa oleifera* to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. Livestock Science 101:24–31.

SILVA, A. P., Libardi, L. y Viera, S. R. Variabilidad espacial da resistencia a penetracao de um latossolo vermelho escuro ao longo de uma trasecao. Revista Brasileira de Ciencia do Solo. Vol 13: 1-15.

TISDALE, S. L. y Nelson, W. L. 1966. Soil fertility and fertilizers. Macmillan, Nueva York p. 694-710

TORRENTE T., A. y Valenzuela, I. 2010. Física de Suelos. Ciencia del Suelo Principios Básicos. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, pag 65

TORRENTE, A., Ladino, A., 2008. Caracterización de Propiedades Físicoquímicas de los Suelos de la Zona Cafetera del Municipio de Isnos con el Fin de Establecer su Aptitud de Uso y Manejo, *Revista Ingeniería y Región Vol: 6 No. 1, 2008.*

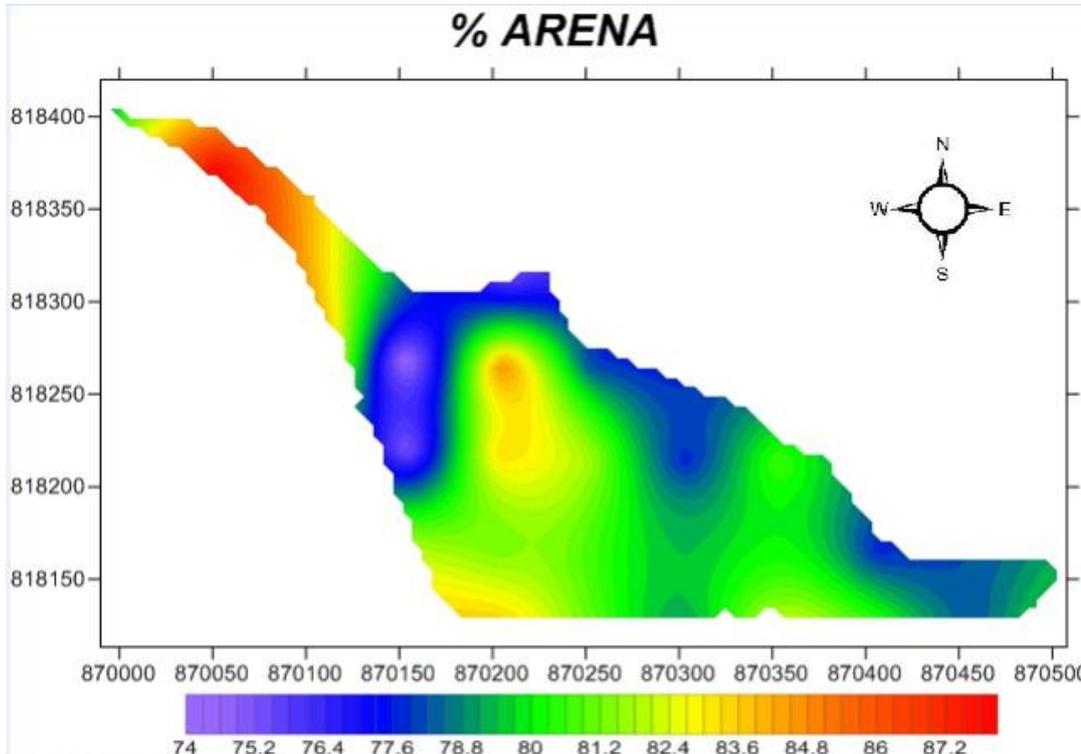
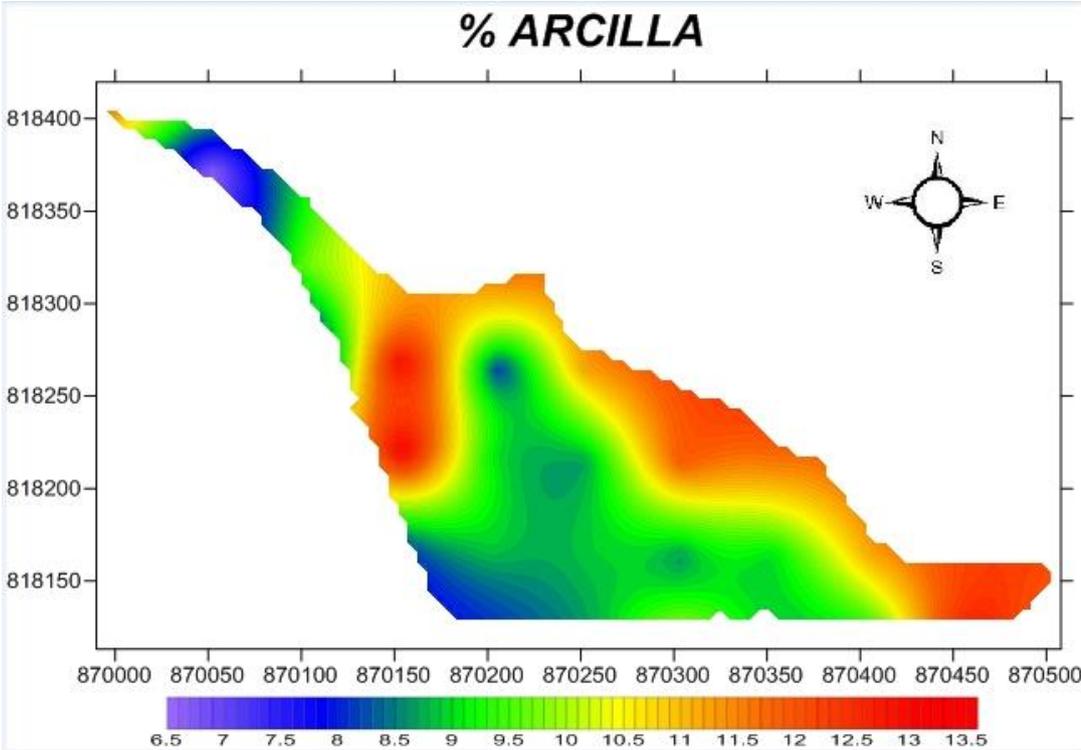
TRANGMAR, BB. 1985. Yost RS, Uechara, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv in Agron. Vol 38, p. 45-94.*

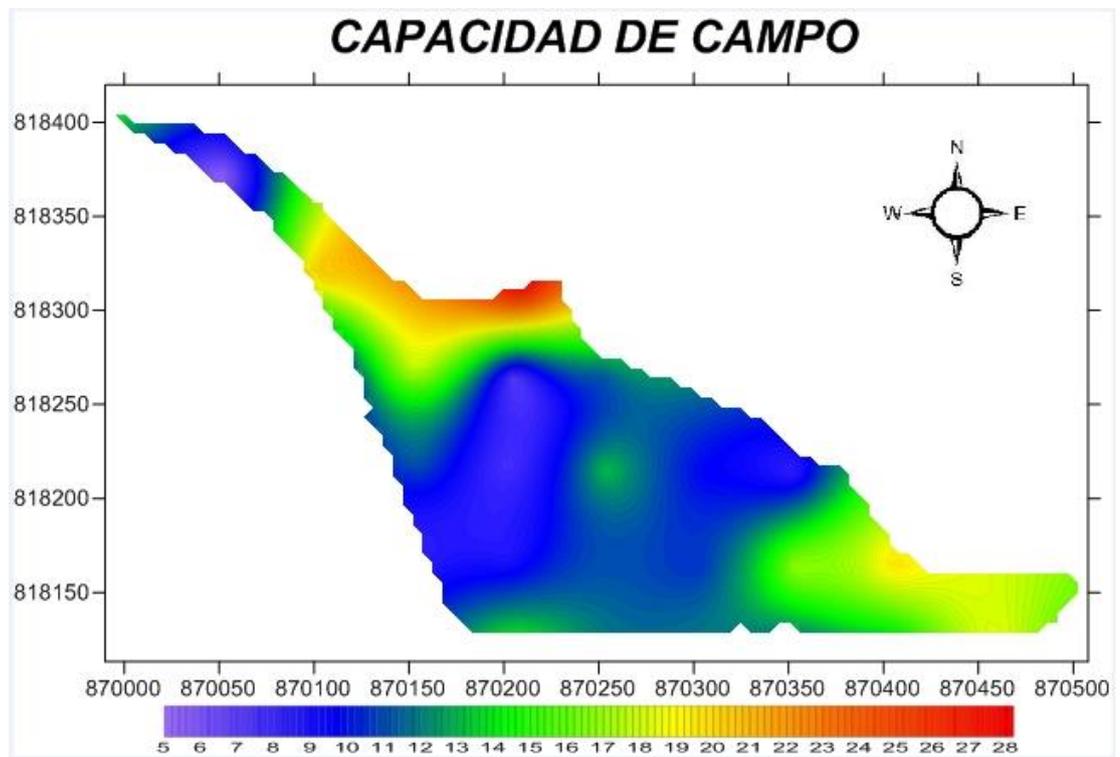
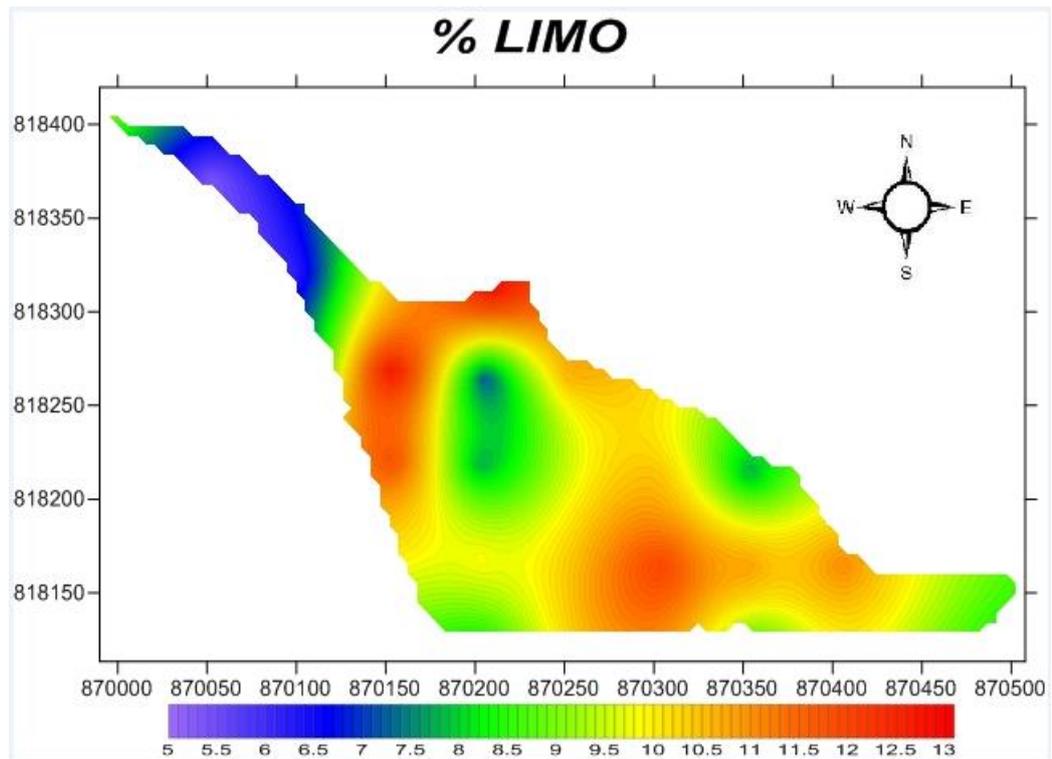
VALBUENA, C., Martínez, L. y Giraldo R. 2008. Variabilidad espacial del suelo y su relación con el rendimiento de mango (*Mangifera Indica L.*). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 12 p.

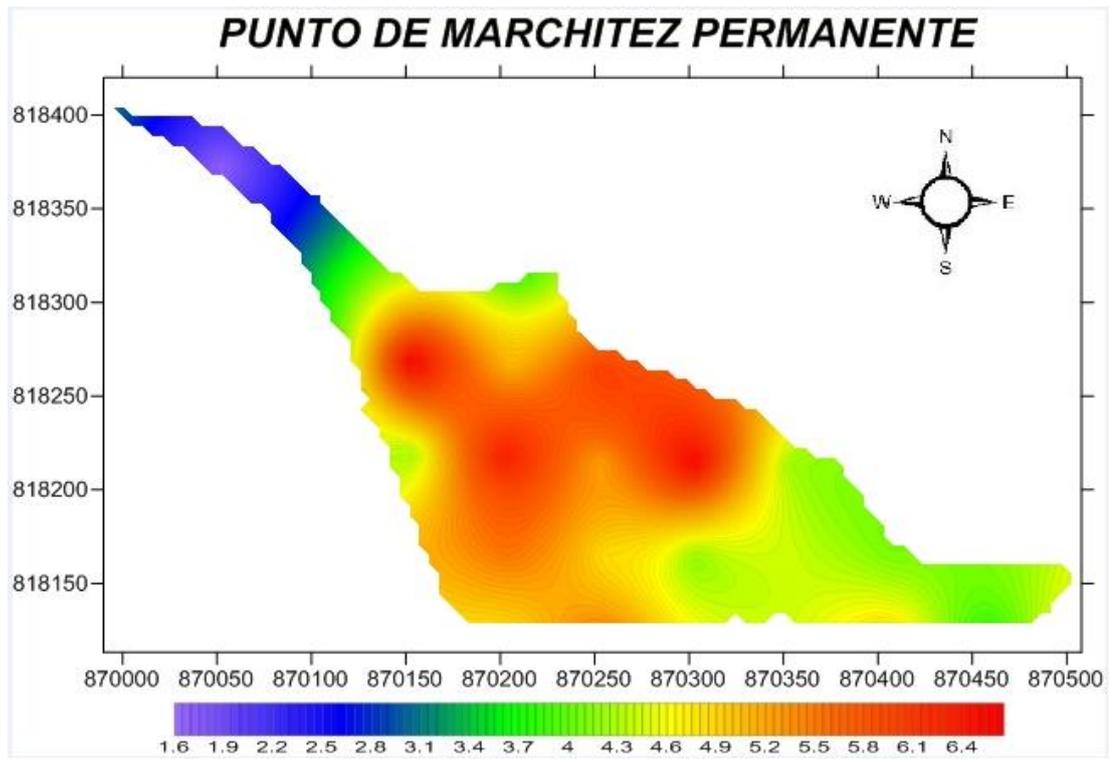
VASQUES, J. 2009. Caracterización de la Variabilidad Espacial de las Propiedades Físicas y Químicas en los Suelos del Centro Experimental de la Universidad del Magdalena. Santa Marta.

# ***ANEXOS***

**ANEXO A. MAPAS VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO**







## ANEXO B. DESCRIPCION DEL PERFIL DE SUELO

Horizonte	Descripción
<b>0 - 25 cm Ap</b>	Límite entre horizonte con nitidez gradual topografía plana; color en húmedo 5YR3/4, color en seco 10YR5/4 sin machas; textura Franco arenoso; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa, en seco su consistencia es ligeramente dura a dura, sin fragmentos gruesos, no presenta cementación, no plástica, poros frecuentes de tamaño finos y medianos, continuos con morfología intersticiales; estructura en bloque subangular de clase mediana y grado moderado, escasa actividad microbiana, raíces regulares y muy finas, distribución normal en estado vivas; un pH de 6.2
<b>25 - 65 cm B</b>	Límite entre horizonte con nitidez clara, topografía plana; color en húmedo 5YR3/3, color en seco 5YR4/4 sin manchas; textura franco arenoso; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajoso, en seco muy duro; sin fragmentos gruesos; sin cementación; no plástica, poros frecuentes finos y medianos, continuos, con morfología intersticial; estructura en bloque subangular de clase mediana, con grado moderado a fuerte; actividad microbiana poca, escasas raíces, de tamaño fino, vivas, pH 6.0.
<b>65 – 110 cm C1</b>	Límite entre horizonte con nitidez clara topografía plana; color en húmedo 5YR3/4, en seco 10YR5/4 sin manchas; textura franco arenoso con modificación textural muy gravoso y muy pedregoso; consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso, en seco muy dura, fragmentos gruesos frecuentes, gravilla y piedra de formas redondas meteorizados de naturaleza sedimentaria; sin cementación; no plástica; poros frecuentes, medianos, continuos intersticiales; sin estructura; sin actividad microbiana; sin presencia de raíces; pH 6.2.
<b>110–160 cm C2</b>	Límite entre horizontes con nitidez clara topografía plana; color en húmedo 5YR4/4, en seco 7.5YR6/6, con manchas frecuentes, medias a gruesas muy contrastadas, textura franco arenoso, ligeramente gravoso; consistencia firme en húmedo, en mojado pegajoso, en seco muy dura; pocos fragmentos gruesos, gravilla; sin cementación; ligeramente plástica; poros frecuentes tubulares finos y medianos, continuos intersticiales; sin estructura; sin actividad microbiana; sin raíces; con rasgos pedológicos de composición de hierro (Fe) frecuentes gruesos con forma cilíndrica y consistencia dura, distribución irregular, pH 6.2.

# UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

## DESCRIPCION DE CALICATAS GRUPO DE HIDROINGENIERIA Y DESARROLLO AGROPECUARIO GHIDA

Proyecto: **Estudio de variabilidad espacial del suelo**

Componente de la Unidad Cartográfica: **Asociación Las Ceibas** Fecha: **31 de Marzo/2014**

Departamento: **Huila** Municipio: **Neiva**

Localización Geográfica: **Cuenca baja del rio las Ceibas** Altura: **520 msnm**

Posición Geomorfológica: **Terraza baja** Pendiente: **3%**

Localización del Perfil en la Posición geomorfológica: **Pie** Forma: **Planicie fluvial**

Relieve: **Plano a semi-plano** Tipo de Topografía Vecina: **Ondulado**

Temperatura: Edáfica: **27°C** Ambiental: **31°C** Nivel Freático: **Profundo**

Precipitación promedio anual: **1300 mm** Distribución: **Bimodal**

Material Geológico: **Sedimentos gruesos del Rio Las Ceibas**, Material Parental: **Roca sedimentaria**

Evidencias de Erosión: **Terraceo pata de vaca**

Vegetación Naturales: **Pela, Chaparros, Cruceto, Escoba dura, Pastos naturales, Rastrojo.**

Uso Actual e Intensidad: **Ganadería en rotación potreros.**

Régimen de Humedad del suelo: **Isohipertérmico** Temperatura: **27°C**

Profundidad Efectiva: Superficial: **65 cm** Limitante de profundidad: **Compactación 1,6 g/cc**

Humedad Actual del Perfil: **17%**

Drenaje Externo: **Bueno** Drenaje Interno: **Moderado** Drenaje Natural: **perfecto**

Clase y Grado de Erosión: **Ligero en sector ondulado**

Epipedón: **Ócrico** Hzte. Sub superficial: **Cambico**

Taxonomía del perfil:

Orden: **Inceptisol** Suborden: **Tropepts** Gran grupo: **Ustropepts**

Subgrupo: **Fluventic** Clase Taxonómica: **Fluventic Ustropepts**

Clase Agrológica: **III y IV**

Factores y procesos genéticos más importantes: **Sedimentación aluvial importante en vegas y**

**terrazas bajas como depósitos del rio Las Ceibas. La formación del suelo está muy**

**asociada a la dinámica del rio Las Ceibas. Formación profunda de horizontes**

**arenosos de diverso tamaño.**

### DESCRIPCIÓN CALICATA

Profundidad y Nomenclatura	En Mojado		Estructura				
1°Hte 0 - 25 cm A <sub>p</sub>	Pegajosidad	<table border="1" style="width: 100%; height: 15px;"><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>					<b>Tipo</b>
2°Hte 25 - 65 cm B	No Pegajosa	<table border="1" style="width: 100%; height: 15px;"><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>					BA. Bloq. Angular
3°Hte 65 - 110 cm C <sub>1</sub>	Lig. Pegajosa	<table border="1" style="width: 100%; height: 15px;"><tr><td style="background-color: #00aaff;"> </td><td style="background-color: #00aaff;"> </td><td style="background-color: #00aaff;"> </td><td style="background-color: #00aaff;"> </td></tr></table>					BS. Bloq. Subangular
4°Hte 110 - 160 cm C <sub>2</sub>	Pegajosa	<table border="1" style="width: 100%; height: 15px;"><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>					Gr. Granular
<b>Límites entre Horizontes</b>	Muy pegajosa	<table border="1" style="width: 100%; height: 15px;"><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>					Pr. Prismática
<b>Nitidez</b>	<b>Textura</b>		Cl. Columnar				
A. Abrupta	1° Horizonte	<b>FA</b>	La. Laminar				
C. Clara	2° Horizonte	<b>FA</b>	Se. Sin Estructura				
G. Gradual	3° Horizonte	<b>FA</b>	<b>Clase</b>				
D. Difusa	4° Horizonte	<b>FA</b>	MF. Muy Fina				
<b>Topografía</b>	<b>Modificaciones de la textura</b>		MF.F Muy Fina a Fina				
P. Plana	LG. Lige. Gravoso (<15%)	<table border="1" style="width: 100%; height: 15px;"><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td style="background-color: #00aaff;"> </td></tr></table>					F. Fina
O. Ondulada	G. Gravoso (15-35%)	<table border="1" style="width: 100%; height: 15px;"><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>					FM. Fina a Mediana
I. Irregular	MG. Muy Gravoso (35-	<table border="1" style="width: 100%; height: 15px;"><tr><td> </td><td style="background-color: #00aaff;"> </td><td> </td><td> </td></tr></table>					M. Mediana

		60%)					
<b>Color de Matriz en Húmedo</b>		C. Cascajoso				MG. Muy Gruesa	
		P. Pedregoso				<b>GRADO</b>	
<b>En Seco/Húmedo</b>		MP. Muy Pedregoso				M. Mod.	
1° Horizonte	10YR5/4	5YR3/4	EP. Ext. Pedregoso			MF. Mod a Fuerte	
2° Horizonte	5YR4/4	5YR3/3	PG. Piroclastos Gruesos			F Fuerte	
3° Horizonte	10YR5/4	5YR3/4	PF. Piroclastos Finos			M. Masiva	
4° Horizonte	7.5YR6/6	5YR4/4	<b>Poros</b>				GS Grano Suelto
<b>Color de las Manchas</b>		<b>Cantidad</b>				<b>Cutanes</b>	
1° Horizonte	No	F. Frecuentes				De Arcilla	
2° Horizonte	No	M. Muchos				De Arcilla a Oxido Fe	
3° Horizonte	No	V Verticales				De Sesquióxidos	
4° Horizonte	Si	Tubulares				Sílicas	
<b>Abundancia</b>		<b>Tamaño</b>				De M.O y Arcilla	
1. Pocas (<2%)		02 Finos				<b>Cantidad</b>	
2. Frecuentes		03 Finos y Medianos				Pocas (<10%)	
<b>Tamaño</b>		04 Medianos				Muchos (>50%)	
3. Medias		<b>Continuidad</b>				<b>Espesor</b>	
4. Medias a Gruesas		C Continuos				Delgados(0.5mm)	
5. Gruesas(>5mm)		D. Discontinuos				Muy Espesos(1mm)	
<b>Contraste</b>		<b>Morfología</b>				<b>Ubicación</b>	
1. Poco contraste		Vs. Vesiculares				En caras Horizontales	
2. Contraste		In. Intersticiales				En Horiz Verticales	
3. Muy contrastadas		Tu. Tubulares				En los Peds y piedras	
<b>Consistencia en Húmedo</b>		01 Simples				En canales y poros	
F. Friable		02 Denditricos				Puentes entre granos arenoso	
MF. Muy Friable		03 Abiertos				Sobre Arenas y Gravas	
Fr. Firme		04 Cerrados				Sobre Nódulos	
EF.Ext. Firme		No Plástica				<b>Actividad de Microorganismos</b>	
<b>En Seco</b>		Lig. Plástica				01 No Hay	
Suelta		Plástica				02 Poca	
Lig. Dura		<b>Tixotropía</b>				04 Mucha	
Dura		Débil				<b>Especies:</b>	
Muy Dura		Fuerte					
<b>DESCRIPCIÓN CALICATA</b>							
<b>Raíces</b>		<b>Rasgos Pedológicos</b>		<b>Describió:</b>			
<b>Cantidad</b>		N. Nódulos				Dr. Armando Torrente	
01 No Hay		C. Concreciones					
02 Pocas		Y. Cristales					
03 Regulares		P. Polvo					
04 Abundantes		V. Plintita					
<b>Tamaño</b>		<b>Composición</b>					
MF. Muy Finas (1mm)		Ca. Carbonato				<b>Observaciones:</b>	
F. Finas (1-2mm)		Ar. Arcilla				Horizontes con altos contenidos de arena en estado compactado, muy alta resistencia a la penetración.	
M. Medianas		Ye. Yeso					
G. Gruesas (5mm)		Sí. Sílice					
<b>Distribución</b>		Fe. Hierro					

raN. Normal	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Mn. Manganeso	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
<b>Estado</b>		Sl. Sal	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
V. Vivas	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<b>Cantidad</b>		
M. Muertas	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	01 Pocos (2%)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
<b>Fragmentos Gruesos</b>		02 Frecuentes	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
<b>Cantidad</b>		03 Muchos (20%)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
01 No Hay	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<b>Tamaño</b>		
03 Pocos (5-15%)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	M. Medio (2-5mm)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
04 Frecuentes	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	G. Grueso (5-20mm)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
<b>Tamaño</b>		EG. Ext. Grueso (76mm)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
01 Gravilla	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>Forma</b>		
03 Piedra	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	C. Cilíndrica	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
<b>Formas</b>		I. Irregular	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
01 Angular	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<b>Consistencia</b>		
02 Redondeada	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Du. Dura	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
<b>Alteración</b>		<b>Distribución</b>		
02 Meteorizados	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	I. Irregular	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
03 Fueron Meteoriza.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<b>pH</b>		
<b>Naturaleza</b>		1° Horizonte	<u>6.0</u>	
IG. Ígneos	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	2° Horizonte	<u>6.2</u>	
MF. Metamórfica	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	3° Horizonte	<u>6.0</u>	
SD. Sedimentarias	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	4° Horizonte	<u>6.0</u>	

## ANEXO C. PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

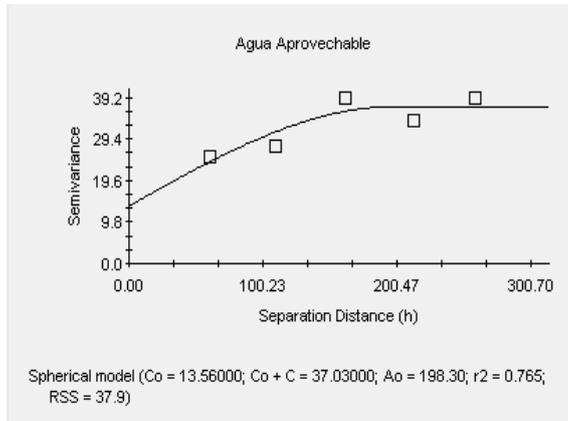
### a. Clasificación de la infiltración del suelo

Función acumulada infiltración	$I = K * (t_b^M)$		$i = k * (t_b^m)$		$T_b$ (min)	$I_b$ (cm/h)	Clasificación	Coordenadas	
	K	M	k	m				ESTE	NORTE
1 $I = 5.36 * (t^{0.349})$	5.3591	0.3497	1.874	-0.6503	390.18	0.23	Lenta	870326.589	818210.154
2 $I = 2.42 * (t^{0.780})$	2.4229	0.7802	1.890	1.4229	131.88	3.87	Moderada	870333.224	818136.430
3 $I = 1.84 * (t^{0.608})$	1.842	0.6086	1.121	-0.3914	234.84	0.79	Mod. lenta	870208.698	818149.833
4 $I = 1.19 * (t^{0.762})$	1.1874	0.7624	0.905	-0.2376	142.56	1.67	Mod. lenta	870474.861	818108.105
5 $I = 2.07 * (t^{0.683})$	2.0749	0.6833	1.417	-0.3167	190.02	1.61	Mod lenta	870237.711	818247.131
6 $I = 2.19 * (t^{0.490})$	2.1904	0.4907	1.074	-0.5093	305.58	0.34	Lenta	870139.911	818297.003
7 $I = 3.16 * (t^{0.668})$	3.158	0.6861	2.166	-0.3139	188.34	2.51	Moderada	870065.477	818361.230
8 $I = 2.86 * (t^{0.663})$	2.8569	0.6631	1.894	-0.3369	202.14	1.90	Mod. lenta	869992.137	818407.759

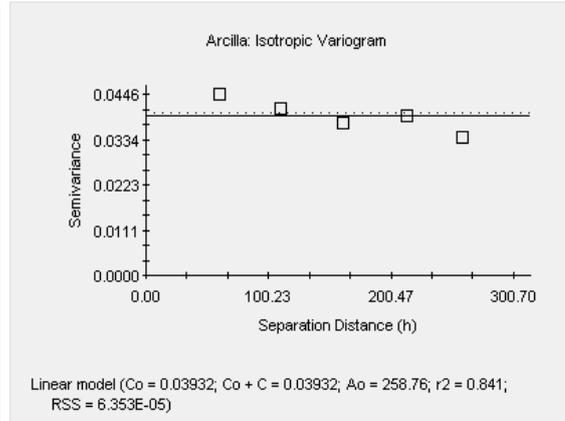
### b. Propiedades físicas del suelo

ID	E	N	$\rho_a$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$\rho_r$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$\eta$ (%)	K (m. día <sup>-1</sup> )	CC (%)	PMP (%)	AA (%)	(%) Arena	(%) Limo	(%) Arcilla	Clase Textural
1	870507.78	818114.13	1.80	2.22	19.04	1.30	13.92	5.02	8.90	80.91	7.89	11.20	AF
2	870254.30	818165.27	1.97	2.50	21.11	1.90	18.75	3.64	15.11	78.17	8.83	13.00	FA
3	870204.21	818115.55	2.17	2.50	13.18	1.77	12.16	5.09	7.07	81.17	9.88	8.95	AF
4	870203.16	818167.53	2.08	2.22	6.41	1.22	19.71	4.10	15.61	77.72	11.08	11.20	FA
5	870152.01	818167.59	2.29	2.86	19.99	1.24	10.22	4.46	5.76	83.22	7.89	8.89	AF
6	870353.32	818213.83	1.96	1.82	7.74	1.26	17.07	4.44	12.63	80.17	10.83	9.00	AF
7	870303.28	818213.88	2.00	2.50	19.94	1.46	12.22	4.72	7.50	78.67	10.90	10.43	AF
8	870253.24	818215.04	1.54	2.86	45.95	1.25	10.58	4.18	6.40	79.39	12.00	8.61	AF
9	870202.10	818217.31	1.56	2.86	45.45	1.32	11.95	5.67	6.28	81.11	10.26	8.63	AF
10	870154.29	818219.57	1.63	2.86	42.87	1.64	11.12	4.85	6.27	80.67	10.44	8.89	AF
11	870252.19	818264.81	1.85	2.86	35.17	1.75	15.58	4.65	10.93	84.22	7.78	8.00	AF
12	870457.74	818115.29	2.25	2.86	21.40	1.42	8.79	5.56	3.23	81.22	9.88	8.90	AF
13	870205.48	818264.86	1.53	2.86	46.29	1.57	8.23	5.08	3.15	82.06	10.00	7.94	AF
14	870153.22	818268.23	2.25	2.78	18.90	1.54	8.23	4.24	3.99	80.72	7.70	11.58	AF
15	870103.19	818270.50	1.80	2.86	38.94	1.68	9.75	6.58	3.17	77.67	10.44	11.89	FA
16	870208.87	818314.63	1.39	2.86	51.48	1.42	13.25	5.25	8.00	81.72	9.59	8.69	AF
17	870102.13	818320.27	2.18	2.22	1.72	1.56	7.60	6.35	1.25	83.17	7.74	9.09	AF
18	870052.14	818371.20	2.20	2.86	22.91	1.63	11.42	4.29	7.13	75.06	11.81	13.13	FA
19	869989.93	818419.93	1.81	2.00	9.27	1.85	11.26	5.99	5.27	78.17	10.59	11.24	FA
20	870407.70	818116.44	1.69	2.22	23.96	1.66	7.05	5.10	1.95	84.78	7.13	8.09	AF
21	870405.53	818165.11	1.62	2.86	43.23	1.81	18.05	6.62	11.43	74.28	12.78	12.94	FA
22	870354.33	818115.39	1.27	1.82	30.38	1.80	6.66	3.51	3.15	86.11	7.28	6.61	AF
23	870353.27	818164.06	1.60	2.00	19.97	1.70	28.98	3.78	25.20	75.33	13.08	11.59	FA
24	870304.29	818113.23	1.53	2.50	38.73	1.78	20.54	3.29	17.25	84.06	6.26	9.68	AF
25	870303.23	818163.01	1.64	2.86	42.47	1.99	5.10	1.67	3.43	88.06	5.34	6.60	Arena
26	870255.36	818114.39	1.82	2.86	36.26	1.99	16.88	3.44	13.44	77.17	9.89	12.94	FA

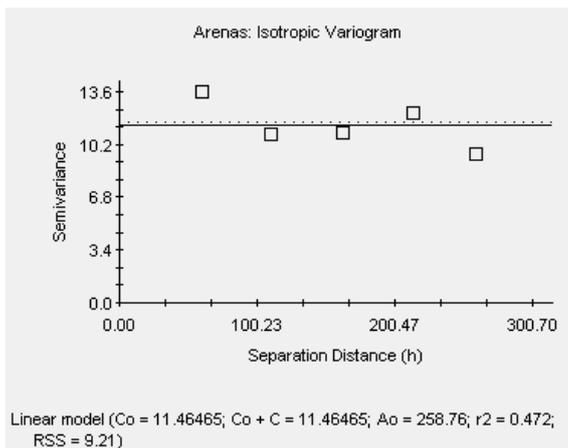
## ANEXO D. SEMIVARIOGRAMAS DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO



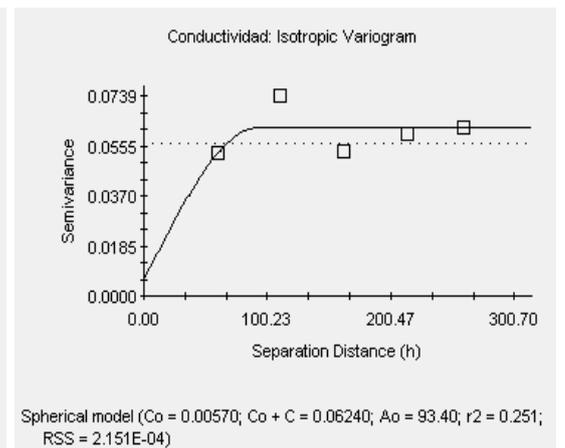
a) Agua Aprovechable



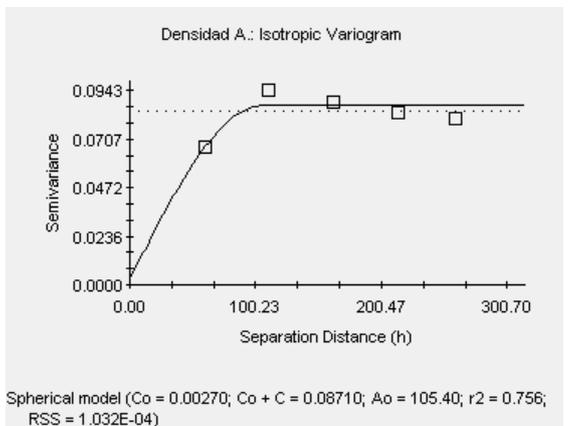
b) % Arcilla



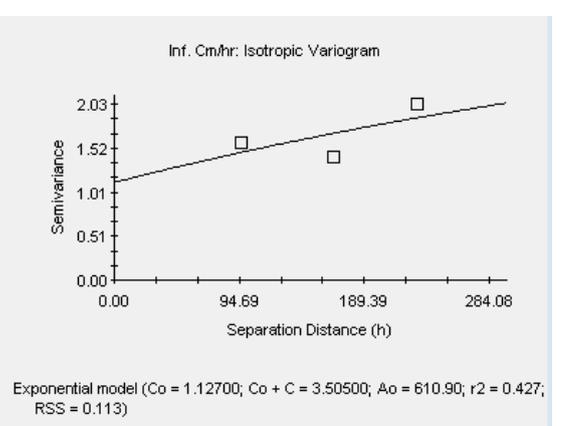
c) % Arenas



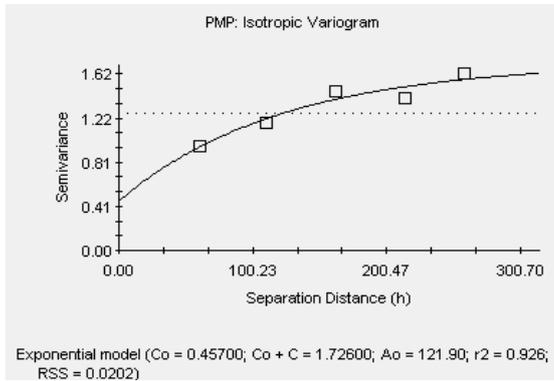
d) Conductividad hidráulica



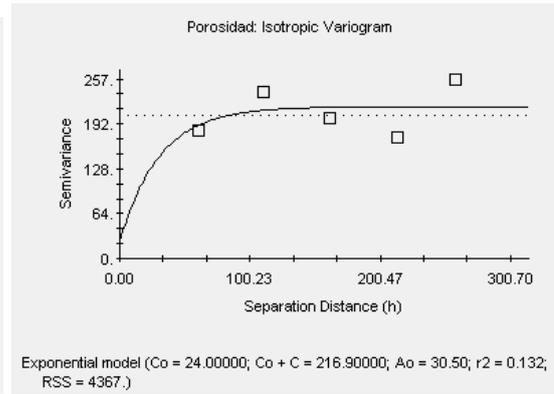
e) Densidad Aparente



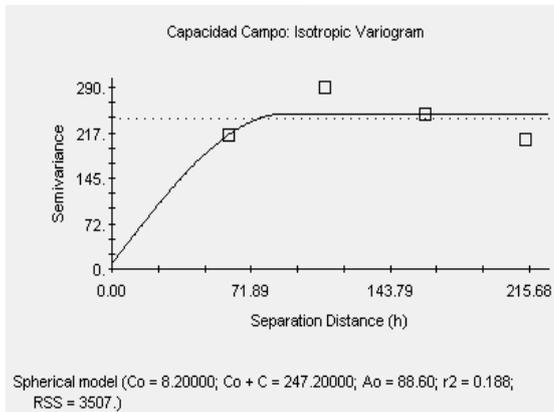
f) Infiltración



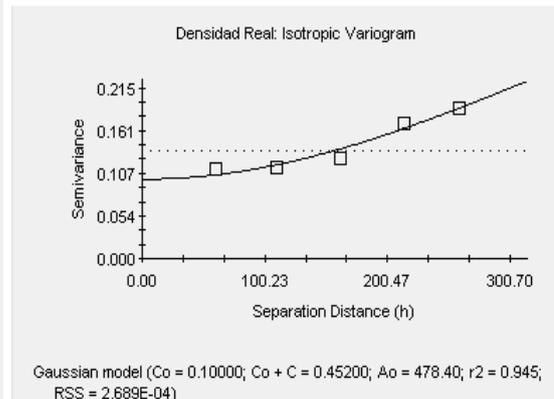
g) Punto marchitez permanente



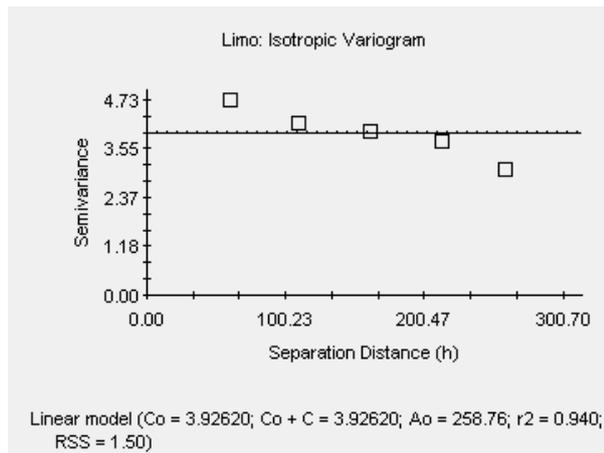
h) Porosidad total



i) Capacidad de campo



j) Densidad Real



k) % Limo

## ANEXO E. REGISTRO FOTOGRAFICO DEL SUELO

Pozo 1



Pozo 5



Pozo 7



Pozo 10



Pozo 12



Pozo 15



Pozo 18



Pozo 23



## ANEXO F. PRUEBAS QUIMICAS DEL SUELO

	<b>ENTREGA DE RESULTADOS</b>					
	<b>INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS</b>					
<b>CÓDIGO</b>	ER-FR-01	<b>VERSIÓN</b>	4	<b>VIGENCIA</b>	2014	<b>Página</b> 1 de 1

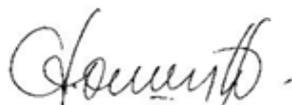
DATOS DEL CLIENTE		
Solicitante: Ana Ruth Monje Tamayo	Ciudad: Neiva	Dirección: Cl 66 A N° 1cw-63
Teléfono: 310 85 00139	email: rociovargassilva@gmail.com	
INFORMACION DE LA MUESTRA		
Finca: Marandua	Matriz: Suelo	<b>N° Muestra: 251-14</b>
Vereda: Fortalecillas	ID cliente: PQ1	
Municipio: Neiva	Fecha muestreo: No reporta	
Departamento: Huila	Fecha recepción: 2014/07/31	
Cultivo: Pasto Tanzania	Fecha análisis: 2014/08/25	
N° Cadena de custodia: No aplica	Fecha entrega: 2014/09/10	
N° Plan de muestreo: No aplica	Informe de resultados N°: 381-14	

PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	NUTRIMENTO PUROS	REQUERIMIENTO Kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	MÉTODO
pH	-	6.3	-	-	NTC 5264
Carbono Orgánico (CO)	%	0.61	N	200	NTC 5403 método B
C.I.C.	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	16.1	-	-	NTC 5268
Fósforo (P)	ppm	40.2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	50	NTC 5350
Calcio (Ca)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	12.76	-	-	NTC 5349
Magnesio (Mg)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	3.67	-	-	
Sodio (Na)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	0.33	-	-	
Potasio (K)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	0.32	K <sub>2</sub> O	210	
Bases Totales (BT)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	17.1	-	-	
Saturación de bases (SB)	%	>100	-	-	Relación catiónica
Azufre (S)	ppm	4.47	S	30	NTC 5402
Hierro (Fe)	ppm	86.8	-	-	NTC 5526 método DTPA
Manganeso (Mn)	ppm	27.6	-	-	
Cobre (Cu)	ppm	2.11	Cu	3	
Cinc (Zn)	ppm	1.37	Zn	4	
Boro (B)	ppm	0.20	B	2	H <sub>2</sub> O Caliente
Acidez intercambiable	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	-	-	-	NTC 5263
Relación Ca/Mg	-	3.48	-	-	Relación catiónica
Relación (Ca + Mg)/K	-	51.34	-	-	
Relación Mg/K	-	11.5	-	-	
<b>TEXTURA</b>	Clase	FA	Franco arenoso		Organoléptico

**NOTA 1:** Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.

**NOTA 2:** El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del Laboratorio.

**NOTA 3:** La información es suministrada por quien radica la muestra en el Laboratorio.



**ARMANDO TORRENTE TRUJILLO**  
Coordinador Laboratorio

**CESAR HERNANDO BOLIVAR HERRERA**  
Ingeniero Químico

FIN DEL INFORME



## ENTREGA DE RESULTADOS

## INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS



CÓDIGO	ER-FR-01	VERSIÓN	4	VIGENCIA	2014	Página	1 de 1
--------	----------	---------	---	----------	------	--------	--------

## DATOS DEL CLIENTE

Solicitante: Ana Ruth Monje Tamayo	Ciudad: Neiva	Dirección: Cl 66 A N° 1cw-63
Teléfono: 310 85 00139		email: rociovargassilva@gmail.com

## INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Finca: Marandúa	Matriz: Suelo	N° Muestra: <b>252-14</b>
Vereda: Fortalecillas	ID cliente: PQ2	
Municipio: Neiva	Fecha muestreo: No reporta	
Departamento: Huila	Fecha recepción: 2014/07/31	
Cultivo: Caña de Azúcar	Fecha análisis: 2014/08/25	
N° Cadena de custodia: No aplica	Fecha entrega: 2014/09/10	
N° Plan de muestreo: No aplica	Informe de resultados N°: 382-14	

PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	NUTRIMENTO PUROS	REQUERIMIENTO Kg,ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	MÉTODO
pH	-	6.2	-	-	NTC 5264
Carbono Orgánico (CO)	%	0.70	N	80	NTC 5403 método B
C.I.C.	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	11.3	-	-	NTC 5268
Fósforo (P)	ppm	6.44	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	50	NTC 5350
Calcio (Ca)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	7.91	-	-	NTC 5349
Magnesio (Mg)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	2.26	-	-	
Sodio (Na)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	0.25	-	-	
Potasio (K)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	0.21	K <sub>2</sub> O	90	
Bases Totales (BT)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	10.6	-	-	Suma cationes
Saturación de bases (SB)	%	94.1	-	-	Relación catiónica
Azufre (S)	ppm	3.26	S	40	NTC 5402
Hierro (Fe)	ppm	84.4	-	-	NTC 5526 método DTPA
Manganeso (Mn)	ppm	31.6	-	-	
Cobre (Cu)	ppm	1.67	-	-	
Cinc (Zn)	ppm	0.89	-	-	
Boro (B)	ppm	0.20	-	-	H <sub>2</sub> O Caliente
Acidez intercambiable	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	-	-	-	NTC 5263
Relación Ca/Mg	-	3.50	-	-	Relación catiónica
Relación (Ca + Mg)/K	-	48.4	-	-	
Relación Mg/K	-	10.8	-	-	
TEXTURA	Clase	FA	Franco arenoso		Organoléptico

**NOTA 1:** Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.

**NOTA 2:** El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del Laboratorio.

**NOTA 3:** La información es suministrada por quien radica la muestra en el Laboratorio.

ARMANDO TORRENTE TRUJILLO  
Coordinador Laboratorio

CESAR HERNANDO BOLIVAR HERRERA  
Ingeniero Químico



**ENTREGA DE RESULTADOS**

**INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS**



<b>CÓDIGO</b>	<b>ER-FR-01</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>4</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>Página</b>	<b>1 de 1</b>
---------------	-----------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

**DATOS DEL CLIENTE**

<b>Solicitante:</b> Ana Ruth Monje Tamayo	<b>Ciudad:</b> Neiva	<b>Dirección:</b> Cl 66 A N° 1cw-63
<b>Teléfono:</b> 310 85 00139	<b>email:</b> rociovargassilva@gmail.com	

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA**

<b>Finca:</b> Marandúa	<b>Matriz:</b> Suelo	<b>N° Muestra:</b> <b>253-14</b>
<b>Vereda:</b> Fortalecillas	<b>ID cliente:</b> PQ3	
<b>Municipio:</b> Neiva	<b>Fecha muestreo:</b> No reporta	
<b>Departamento:</b> Huila	<b>Fecha recepción:</b> 2014/07/31	
<b>Cultivo:</b> Moringa	<b>Fecha análisis:</b> 2014/08/25	
<b>N° Cadena de custodia:</b> No aplica	<b>Fecha entrega:</b> 2014/09/10	
<b>N° Plan de muestreo:</b> No aplica	<b>Informe de resultados N°:</b> 383-14	

PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	NUTRIMIENTO FUROS	REQUERIMIENTO Kg.ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	MÉTODO
pH	-	6.3	-	-	NTC 5264
Carbono Orgánico (CO)	%	0.58	N	200	NTC 5403 método B
C.I.C.	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	12.9	-	-	NTC 5268
Fósforo (P)	ppm	12.8	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	60	NTC 5350
Calcio (Ca)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	9.00	-	-	NTC 5349
Magnesio (Mg)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	2.73	-	-	
Sodio (Na)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	0.33	-	-	
Potasio (K)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	0.19	K <sub>2</sub> O	170	
Bases Totales (BT)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	12.3	-	-	Suma cationes
Saturación de bases (SB)	%	94.9	-	-	Relación catiónica
Azufre (S)	ppm	3.25	S	50	NTC 5402
Hierro (Fe)	ppm	88.6	-	-	NTC 5526 método DTPA
Manganeso (Mn)	ppm	29.5	-	-	
Cobre (Cu)	ppm	1.71	Cu	3	
Cinc (Zn)	ppm	0.86	Zn	5	
Boro (B)	ppm	0.31	-	-	H <sub>2</sub> O Caliente
Acidez intercambiable	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	-	-	-	NTC 5263
Relación Ca/Mg	-	3.30	-	-	Relación catiónica
Relación (Ca + Mg)/K	-	61.7	-	-	
Relación Mg/K	-	14.4	-	-	
<b>TEXTURA</b>	Clase	FA	Franco arenoso		Organoléptico

**NOTA 1:** Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.

**NOTA 2:** El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del Laboratorio.

**NOTA 3:** La información es suministrada por quien radica la muestra en el Laboratorio.

**ARMANDO TORRENTE TRUJILLO**  
Coordinador Laboratorio

**CESAR HERNANDO BOLIVAR HERRERA**  
Ingeniero Químico