

**EFFECTO DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y  
QUÍMICAS DEL SUELO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ EN  
CHOCLO (*Zea mays* L.) EN LA SABANA DE BOGOTÁ**



**GERMAIN ANTONIO RENGIFO ESTRADA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS CON ÉNFASIS EN SUELOS  
PALMIRA VALLE 2009**

**EFFECTO DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y  
QUÍMICAS DEL SUELO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ EN  
CHOCLO (*Zea mays* L.) EN LA SABANA DE BOGOTÁ**



**POR**

**GERMAIN ANTONIO RENGIFO ESTRADA**

**TESIS DE GRADO PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
MAGISTER EN CIENCIAS AGRARIAS CON ENFASIS EN SUELOS**

**DIRECTOR**

**FABIO RODRIGO LEIVA BARÓN Ing. Agrícola Ph D.  
Profesor Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá D. C.**

**CODIRECTOR**

**EDGAR AMÉZQUITA COLLAZOS Ing. Agrónomo Ph D.  
Investigador Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria  
Palmira V. 2009**

## **DEDICATORIA**

Al Dios Todo Poderoso por que jamás me dejó sucumbir en el fracaso, Iluminándome siempre el escabroso camino recorrido en busca de mi sueño hecho realidad.

Por ello te doy gracias por darme el valor para cambiar aquellas cosas que puedo cambiar y la humildad para reconocer la diferencia y aceptar las que no puedo cambiar.

Al apoyo incondicional de mi padre y a la memoria de mi madre que con sacrificios y sueños de esperanza, labró para mí el actual sendero, Azael Antonio y María Libia.

A la comprensión y cariño de mi abnegada familia Luz María y mis pequeños Ronald Andrés, Christian Alejandro y Juliana Stephanía.

A Elías Espíndola, Ana Julia Torres e hijos Elías y Miguel, por el apoyo incondicional.

**GERSAÍN**

## **AGRADECIMIENTOS**

Este mensaje es una luz de esperanza y felicidad que brota del alma al final del sendero, gracias a la sabiduría de los profesores Juan Carlos Menjivar, Horacio Rivera, Oscar Chaparro, Carlos Chalarca, Martín Prager, John Josephraj Selvaraj, Carmen Liseth Bonilla, Ricardo Malagón, Jaime Eduardo Muñoz y Adriana Martínez, que abnegadamente me apoyaron en la formación profesional para superarme y sobreponerme a los actuales acontecimientos que amenazan o destruyen la vida en todas sus manifestaciones.

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), especialmente a los doctores Arturo Enrique Vega Barón, Álvaro Uribe Calad, Carlos Fernando Ortiz Gómez, Jairo Hernando Ortiz Castellanos, Maria Margarita Ramírez Gómez de la oficina Nacional.

A todos los compañeros de la Estación Experimental La Suiza de CORPOICA, especialmente a los doctores Luís Jesús García Rangel, Fabián Jiménez, Gilma Esperanza Salcedo, Hernando Méndez Aldana, Libardo Vergel Manzano, Aura Linda Arguello, Clara Esperanza León Moreno, Raúl Gómez Santos, Luz María Calle, Gildardo Palencia, Doris Devia, Blanca Ruth Gamboa, Manuel Bello y Pedro Jesús Conde Villamizar.

A todos los compañeros del Centro de Investigación Palmira de CORPOICA, especialmente a los Doctores Javier Orozco Ávila, Juan Jaramillo, Jhon Jairo Cardona, María del Socorro López Cardona, Yolanda Zúñiga, Julio Cesar Toro, Martha Marina Bolaños, Horacio Carmen Carrillo, Oscar Julián Muñoz, Alexander Rebolledo, Demian Takumasa Kondo, Ana Elizabeth Díaz, Héctor Silva y Carlos Octavio Gómez.

A mis amigos Edna Casadiegos, Arelis Navarro, José David Acosta, Oscar Eduardo Sanclemente, Jaider Danilo Sánchez, Linda Rincón, Olga Lucia Higuera, Hans Rodríguez, Álvaro Morales y de una manera muy especial a Germán Laverde, Alba Marina Rivera, Jorge Popayán, Luís Alfredo Muñoz y a todas aquellas personas que de buen corazón estuvieron conmigo en esta ardua lucha y cuyos nombres se me escapan.

“Este Trabajo hace parte de las investigaciones realizadas por la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (Valle del Cauca); sin embargo, las ideas emitidas por el autor son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Universidad”.

La facultad y los jurados de tesis no se harán responsables de las ideas emitidas por el autor. Artículo 24, resolución 04 de 1974.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>26</b>
<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>28</b>
<b>1.2 HIPÓTESIS</b> .....	<b>32</b>
1.2.1 Hipótesis específicas.....	33
<b>1.3 OBJETIVOS</b> .....	<b>33</b>
1.3.1 Objetivo general. ....	33
1.3.2 Objetivos específicos.....	33
<b>2 REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>35</b>
<b>2.1 EL CULTIVO DEL MAÍZ. (Zea mays L.)</b> .....	<b>35</b>
<b>2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO</b> .....	<b>36</b>
<b>2.3 PROPIEDADES QUÍMICAS</b> .....	<b>52</b>
<b>2.4 VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO</b> .....	<b>65</b>
2.4.1 Tipos de Variabilidad.....	66
<b>2.5 AGRICULTURA DE PRECISIÓN (AP) O ESPECÍFICA POR SITIO.</b> ....	<b>66</b>
<b>2.6 GEOESTADÍSTICA</b> .....	<b>68</b>
<b>2.7 ANÁLISIS MULTIVARIADO DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)</b> ....	<b>69</b>
<b>2.8 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS O DE CLUSTER</b> .....	<b>70</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>71</b>
<b>3.1 LOCALIZACIÓN</b> .....	<b>71</b>
<b>3.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL SUELO DEL CENTRO AGROPECUARIO MARENGO (CAM).</b> ....	<b>76</b>
3.2.1 Descripción de la unidad cartográfica del suelo del lote 7.....	77
3.2.2 Descripción morfológica de las características diagnósticas del perfil. ....	78
<b>4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>81</b>
<b>4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EVALUADAS.</b> .....	<b>81</b>
4.1.1 Textura (T) del Suelo.....	81

4.1.2 Densidad aparente (DA) del suelo. ....	82
4.1.3 Densidad Real (DR) del suelo. ....	83
4.1.4 Porcentaje de Porosidad (%P) del suelo. ....	84
4.1.5 Humedad gravimétrica del suelo evaluada en porcentaje (%H). ....	85
4.1.6 Estabilidad Estructural del agregado en Húmedo (EEH). ....	87
4.1.7 Estabilidad Estructural del Agregado en seco (EES). ....	88
4.1.8 Diámetro Ponderado Medio del agregado en Húmedo (DPMH). ....	90
4.1.9 Diámetro Ponderado Medio del agregado en Seco (DPMS). ....	91
4.1.10 Resistencia Mecánica a la Penetración (RMP) del suelo. ....	93
<b>4.2 PROPIEDADES QUÍMICAS EVALUADAS. ....</b>	<b>96</b>
<b>4.3 RENDIMIENTO EN CHOCLO CON CAPACHO EN TONELADAS POR HECTÁREA. ....</b>	<b>99</b>
<b>4.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EVALUADAS. ....</b>	<b>100</b>
4.4.1 Análisis y discusión de la variabilidad espacial de las variables físicas del suelo. ....	100
4.4.2 Análisis y discusión de la variabilidad espacial de las variables químicas del suelo. ....	104
<b>4.5 ANÁLISIS DE LOS MAPAS QUE EXPLICAN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS VARIABLES EVALUADAS. ....</b>	<b>106</b>
<b>4.6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP) DE LA ESTADÍSTICA MULTIVARIADA. ....</b>	<b>115</b>
4.6.1 Análisis de componentes principales (ACP) y discusión de las variables físicas evaluadas mensualmente. ....	115
4.6.2 Análisis y discusión de las variables químicas mediante la aplicación de componentes principales (ACP) de la estadística multivariada. ....	129
<b>4.7 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE CONGLOMERADOS JERÁRQUICOS DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS TOMADAS EN CAMPO POR PUNTO. ....</b>	<b>132</b>
4.7.1 Análisis y discusión de conglomerados de las variables físicas. ....	133
4.7.2 Análisis y discusión de conglomerados de las variables químicas. ....	141
<b>5. CONCLUSIONES. ....</b>	<b>153</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA. ....</b>	<b>155</b>
<b>LISTA DE ANEXOS. ....</b>	<b>168</b>
<b>ANEXO A. Datos de las variables físicas y químicas evaluadas. ....</b>	<b>168</b>



<b>Anexo B. Graficas .....</b>	<b>194</b>
<b>Anexo C. Tablas del análisis Geoestadístico. ....</b>	<b>200</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Título</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1	Valores más frecuentes de la Densidad Aparente en suelos de Colombia.	38
Tabla 2	Valores medios de la Densidad Real (DR) para diferentes clases texturales de suelos.	39
Tabla 3	Relación entre la Densidad aparente, (DA) $\text{gcm}^{-3}$ y la porosidad total (%) (Duchaufour. 1.965).	40
Tabla 4	Rangos para interpretar la humedad del suelo equivalente en porcentaje (%).	42
Tabla 5	Clasificación de la estabilidad estructural según la cantidad de agregados con diámetro menor de 0.5 mm.	42
Tabla 6	Rangos para interpretar la estabilidad estructural del suelo con relación al diámetro ponderado medio (DPM).	43
Tabla 7	Interpretación del grado de Compactación del suelo en Mega pázcales (MPa).	44
Tabla 8	Clasificación del grado y tipo de variabilidad (espacial y/o temporal) de acuerdo a las propiedades del suelo.	51
Tabla 9	Metodología de laboratorio y de campo empleada para medir las variables físicas y químicas del suelo y el rendimiento del cultivo en choclo.	74
Tabla 10	Datos climáticos tomados durante el tiempo que duró el	76

experimento en campo.

Tabla 11	Distribución de la textura en porcentaje de granulometría (arcilla, limo y arena) del primer horizonte del perfil del suelo por punto.	81
Tabla 12	Densidad aparente en $\text{g/cm}^{-3}$ tomada mensualmente en los primeros 20 cm de profundidad del suelo por punto.	82
Tabla 13	Densidad real en $\text{g/cm}^{-3}$ tomada en los primeros 20 cm de profundidad del suelo por punto antes de su preparación y después de recolectada la cosecha de maíz.	84
Tabla 14	Porcentaje de porosidad (%P) tomada por punto en los primeros 20 cm de profundidad del suelo antes de la preparación y después de recolectada la cosecha.	84
Tabla 15	Porcentaje de humedad tomada mensualmente en los primeros 20 cm de profundidad por punto.	86
Tabla 16	Índice y porcentaje de estabilidad estructural del agregado en húmedo en mm, tomado en los primeros 20 cm de profundidad por punto, antes de establecer el experimento en campo (agosto) y un mes después de recolectada la cosecha de maíz en choclo (febrero).	88
Tabla 17	Índice y porcentaje de estabilidad estructural del agregado en seco en mm, tomado en los primeros 20 cm de profundidad por punto, antes de establecer el experimento en campo (agosto) y un mes después de recolectada la cosecha de maíz en choclo (febrero).	89

Tabla 18	Diámetro ponderado medio del agregado en húmedo y en seco tomado en los primeros 20 cm de profundidad por punto, antes de establecer el experimento en campo (agosto) y un mes después (febrero) de recolectada la cosecha.	91
Tabla 19	Valores promedios de la RMP tomada en Megapascales (Mpa) a cada 10 cm de profundidad, de 00 a 50 cm por punto.	93
Tabla 20	Valores promedios de la RMP en Mpa por punto tomada mensualmente cada 10 cm entre 00 a 50 cm de profundidad en el perfil del suelo.	94
Tabla 21	Propiedades químicas del suelo evaluadas en el experimento en campo.	96
Tabla 22	Rendimiento de la cosecha de Maíz en choclo expresado en t/ha por punto.	99
Tabla 23	Modelos teóricos ajustados de acuerdo a los semivariogramas experimentales de las variables físicas por punto.	102
Tabla 24	Validación cruzada de las variables físicas evaluadas por punto.	104
Tabla 25	Modelos teóricos ajustados según los semivariogramas experimentales de las variables químicas por punto.	105
Tabla 26	Validación cruzada de las variables químicas por punto.	106
Tabla 27	Análisis de varianza total por componente principal para las variables físicas tomadas por punto antes de establecer el experimento en campo.	116

Tabla 28	Componentes principales de las variables físicas tomadas por punto antes de establecer el experimento en campo.	117
Tabla 29	Análisis de varianza total por componente principal para las variables físicas tomadas por punto en septiembre.	119
Tabla 30	Componentes principales de las variables físicas tomadas por punto en septiembre.	119
Tabla 31	Análisis de varianza total por componente principal para las variables físicas tomadas por punto en octubre.	120
Tabla 32	Componentes principales de las variables físicas tomadas por punto en octubre.	121
Tabla 33	Análisis de varianza total por componente principal para las variables físicas tomadas por punto en noviembre.	122
Tabla 34	Componentes principales de las variables físicas tomadas por punto en noviembre.	123
Tabla 35	Análisis de la varianza total por componente principal para las variables físicas tomadas en el mes de diciembre.	123
Tabla 36	Componentes principales de las variables físicas tomadas por punto en diciembre.	124
Tabla 37	Análisis de la varianza total explicada por cada componente principal para las variables físicas tomadas en febrero.	125
Tabla 38	Componentes principales de las variables físicas tomadas por punto en febrero después de la cosecha.	126

Tabla 39	Correlación bivariada del rendimiento en t/ha de maíz en choclo por punto con cada componente generado del análisis multivariado de las propiedades físicas del suelo tomadas mensualmente.	127
Tabla 40	Análisis de varianza total por componente principal para las variables químicas tomadas por punto antes de establecer el experimento en campo.	129
Tabla 41	Análisis de varianza total por componente principal para las variables químicas tomadas por punto sesenta días después de establecido el experimento.	130
Tabla 42	Componentes principales de las variables químicas tomadas por punto antes de establecer el experimento en campo y sesenta días después.	131
Tabla 43	Correlación bivariada entre las propiedades químicas del suelo y el rendimiento en t/ha de maíz en choclo por punto en cada componente generado del análisis multivariado.	132
Tabla 44	Distribución de las variables físicas del suelo por cada agrupamiento evaluado.	134
Tabla 45	Distribución de las variables químicas del suelo por cada agrupamiento.	142
Tabla 46	Determinación de las áreas homogéneas recomendadas para preparación del suelo y manejo agronómico del cultivo por grupo.	147
Tabla 47	Distribución de las variables físicas por cada agrupamiento	148

evaluado para las recomendaciones de manejo agronómico del suelo.

Tabla 48 Distribución de las variables químicas del suelo por cada agrupamiento evaluado para las recomendaciones de manejo. 150

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Títulos por temas</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1	Plano con la distribución de los puntos que conformaron la malla rígida de muestreo de las 2 hectáreas que se escogieron del lote 7 para el establecimiento del cultivo del maíz para choclo.	72
Figura 2	Planos del centro agropecuario marengo (CAM) de propiedad de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá D. C.	72
Figura 3	Descripción de las unidades cartográficas de los suelos del CAM.	77
Figura 4	Distribución espacial del rendimiento de la cosecha de maíz en t/ha por punto.	100
Figura 5	Mapas de la distribución espacial: del % Arcilla (a), % Limo (b) y % de Arena (c) y de los promedios de la DA (d), DR (e) y del %P (f) respectivamente, calculado por el método de Kriging ordinario.	111
Figura 6	Mapas de la distribución espacial: del % de humedad (a), de la de EEH (b), de la EES (c), RMP de 00 a 10 cm (d), de 10 a 20 cm (e) y de 20 a 30 cm (f), respectivamente, calculado por el método de Kriging ordinario.	112
Figura 7	Mapas de la distribución espacial de la RMP del suelo tomada mensualmente por punto de 30 a 40 cm (a) y de 40 a 50 cm (b), del % MO (c), pH (d), %N total (e), P en (ppm) (f) calculado por el método de Kriging ordinario.	113



Figura 8	Mapa de la distribución espacial: del promedio del K (a), Ca (b), Na (c), CIC (d), CE (e) en meq/100 g/suelo, respectivamente, calculado por el método de Kriging ordinario.	114
Figura 9	Dendrograma del agrupamiento por sitio para las variables físicas del suelo.	135
Figura 10	Mapa de distribución espacial de las áreas homogéneas de las variables físicas para los cinco grupos clasificados por el análisis de conglomerados.	135
Figura 11	Dendrograma de agrupamiento por sitio para las variables químicas.	143
Figura 12	Mapa de distribución espacial de las áreas homogéneas de las variables químicas para los cinco grupos clasificados por el análisis de conglomerados.	143
Figura 13	Mapa de distribución espacial de las áreas homogéneas de las variables físicas para los dos grupos clasificados por el análisis de conglomerados de acuerdo a la recomendación de manejo agronómico.	151
Figura 14	Mapa de distribución espacial de las áreas homogéneas de las variables químicas para los dos grupos clasificados por el análisis de conglomerados de acuerdo a la recomendación de manejo agronómico.	152

## GLOSARIO

<b>Sigla</b>	<b>Significado</b>
Al	Aluminio
NH <sup>4+</sup>	Amonio
B	Boro
Ca	Calcio
CAM	Centro Agropecuario Marengo
CE	Conductibilidad Eléctrica
CH	Contenido de Humedad
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CIC	Capacidad de Intercambio Cationico
cm/h	Centímetros por hora
cm/min	Centímetros por minuto
CMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
CORPOICA	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
Ca	Calcio
dds	Días Después de la siembra
DA	Densidad Aparente
DPM	Diámetro Ponderado Medio
DPMH	Diámetro Ponderado Medio en Húmedo del Agregado
DPMS	Diámetro Ponderado Medio en seco del Agregado
DR	Densidad Real
EE	Estabilidad Estructural del agregado
EEH	Estabilidad Estructural en Húmedo
EES	Estabilidad estructural en seco
P	Fósforo
NaF	Fluoruro de sodio
gr./cm <sup>3</sup>	Gramos por centímetro cúbico

H	Hidrogeno
Kpa	Kilopascales
Mo	Molibdeno
MS	Materia Seca
Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
MOS	Materia Orgánica del Suelo
Mpa	Megapascales
NO <sup>3-</sup>	Nitrato
%CO	Porcentaje de Carbono Orgánico
%H	Porcentaje de Humedad
%MO	Porcentaje de Materia Orgánica
%ND	Porcentaje de Nitrógeno Disponible
%NT	Porcentaje de Nitrógeno Total
%P	Porcentaje de Porosidad
PT	Porosidad Total
K	Potasio
pH	Potencial de Hidrogeniones (Grado de acidez)
RMP	Resistencia Mecánica a la Penetración
Na	Sodio
GPS	Sistema de Geo-Posicionamiento Global
T	Textura

**EFFECTO DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES  
FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO  
DE MAÍZ EN CHOCLO (*Zea mays* L.) EN LA SABANA DE BOGOTÁ**

**RESUMEN**

Esta investigación se realizó en la sabana de Bogotá; en el Centro Agropecuario Marengo (CAM) de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, ubicado geográficamente a una longitud norte de 4° 42' y a una longitud oeste de 74° 12', una altura de 2,547 metros sobre el nivel del mar, temperatura promedio anual de 13.11°C, humedad relativa de 78% y una precipitación promedio anual de 820 mm. Con el objetivo de analizar el efecto de la variabilidad espacial de algunas propiedades físicas y químicas del suelo sobre el rendimiento de la variedad ICA V-508 del cultivo de maíz en choclo (*Zea mays* L.), cultivada en dos hectáreas del lote 7 correspondiente a un suelo *Fluventic humic dystrodepts*, las cuales fueron trazadas con una malla rígida de muestreo compuesta por 32 puntos distanciados entre sí cada 25 m, georeferenciados mediante coordenadas cartesianas (X y Y) y demarcados por estacas de madera.

En un metro cuadrado alrededor de cada punto se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 00 a 20 cm, a las cuales se les analizó la Textura (T), Densidad Aparente (DA), Densidad Real (DR), Porcentaje de Porosidad (%P), Porcentaje de Humedad (%H), Estabilidad Estructural en Húmedo (EEH) y en Seco (EES) y Resistencia Mecánica a la Penetración (RMP) tomada cada 10 cm en una profundidad de 00 a 50 cm; entre las químicas se evaluó el pH, Porcentaje de Carbono Orgánico (%CO), Porcentaje de Nitrógeno Total (%NT), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Conductividad Eléctrica (CE) y Capacidad de Intercambio Cationico (CIC); el rendimiento del maíz en choclo se evaluó a los 162 días después de sembrado, cosechando las plantas de un área de 9 metros cuadrados

alrededor de cada punto, a las cuales se les peso la mazorca en fresco en t/ha. En todas las variables se utilizó análisis estadístico univariado, multivariado y geoestadístico.

El análisis estadístico determinó que las propiedades físicas y químicas que más influyeron sobre el rendimiento del cultivo de maíz estuvieron conformadas por la estabilidad estructural en seco, porcentaje de arcilla, humedad, materia orgánica, capacidad de intercambio cationico y sodio, respectivamente.

Palabras claves: Agricultura de precisión, propiedades físicas del suelo, maíz

**EFFECT OF THE SPACE VARIABILITY OF SOME PHYSICAL AND CHEMICAL  
PROPERTIES OF THE GROUND ON THE 'IN CHOCLO' CORN GROWING  
YIELD (*Zea Mays* L.) IN THE SAVANNA OF BOGOTA**

**ABSTRACT**

This research was made in the Savanna of Bogotá at the Marengo Agricultural Center (MAC); at the National University of host Bogotá Colombia to be exact. MAC is located geographically to a North longitude of 4° 42' and a west longitude of 74° 12'. It has a height of 2547 meters on the sea level, a relative humidity of 72% and an annual average temperature of 820mm. In order to analyze the effect of the space variability of some physical and chemical properties of the ground of the "in choclo" corn growing yield ICA V-508 (*Zea mays* L.) was grown a sample in two hectares in the seventh land corresponding to a *Fluventic humic dystrodepts*. The distances in the land were drawn with a sampling rigid mesh consisting of 32 points separated to each other every 25 meters and geographically referred through Cartesian exes (X and Y) and demarcated by wood stakes.

Some samples were taken a square meter around each point from the ground to a depth from 0,0 to 20 cm. These samples were then analyzed taking into account Texture (T), Apparent Density (AD), Real Density (RD), Porosity Percentage (% P), Humidity Percentage (% H), Humid (HSS) and Dry Structural Stability (DSS) and mechanical Resistance to the Penetration (MRP), this last one taken every 10 cm at a depth from 0,0 to 50 cm. For the chemical features, The PH, Percentage of Organic Carbon (%OC), Percentage of Total Nitrogen (%TN), Phosphorus (P), Potassium (K), Calcium (Ca, Electrical Conductivity (EC) and Capacity of Cationic Exchange (CCE) were analyzed. The output of the corn in choclo was evaluated 162 days after sowing by harvesting the plants in an area of a square meter around each point. This corn was weighed in t/ha. All variables used an unvaried statistical

analysis. The statistical analysis showed that the physical and chemical properties, which had more influence on the corn growing yield consisted of the dry structural stability, percentage of clay, humidity, organic matter, capacity of a cationic exchange and sodium, respectively.

Key words: Precise or specific agriculture by place, physical properties of the soil, corn.

## 1 INTRODUCCIÓN

El suelo como recurso natural patrimonio de la humanidad es la base fundamental para el sostenimiento y alimentación de una población humana cada día más creciente, pero su degradación producto de la explotación agrícola convencional es labor de unos pocos años, por el uso indiscriminado de maquinaria agrícola y fertilizantes químicos de síntesis lo cual viene ocasionando compactación, deterioro y desertización por la tala, deforestación y quema de los bosques.

Para Salinas y Perea (1997), en Colombia el uso indiscriminado de agroquímicos y maquinaria agrícola en labores de manejo agronómico y preparación del suelo para los diversos cultivos, está ocasionando deterioro y degradación, que fácilmente puede alcanzar el 75% del área total cultivada, debido a su manejo inadecuado, citado por Ospina, (1999). Este es uno de los problemas más graves que deberán afrontar las generaciones venideras.

Según Blackmore y colaboradores (1998), el manejo convencional de la agricultura actual se basa en el rendimiento del área cultivada por promedios, lo cual ocasiona un pobre entendimiento del proceso de producción, resulta costosa debido al uso indiscriminado de insumos externos (agroquímicos), y ocasiona impacto ambiental negativo sobre los Recursos Naturales, citado por (Leiva, 2003). Sin embargo, es inevitable el uso de fertilizantes sintéticos como nutrientes del cultivo.

Para optimizar la producción agrícola y minimizar el impacto ambiental, surge a nivel mundial el modelo de *“Agricultura de precisión o de manejo por sitio específico”*, a partir de información detallada sobre la variabilidad espacial de las



características del suelo por sitio, del lote cultivado, como alternativa para mejorar la eficiencia en el uso de los insumos, en la cantidad requerida, en el lugar adecuado y en el momento oportuno.

Debido a que la variabilidad espacial y temporal de las propiedades físicas y químicas del suelo se presenta a diferentes escalas del lote cultivado y entre lotes, se afecta el rendimiento homogéneo de los cultivos. Su conocimiento es la base fundamental para comprender los requerimientos nutricionales en función del rendimiento en cada espacio del lote. Esta variabilidad ha sido reconocida por nuestros productores basados en su conocimiento empírico, pero la medición y análisis no ha sido tarea fácil porque implica conocer todas las variables que interactúan e influyen sobre el desarrollo y rendimiento de la planta.

Aplicando las técnicas de análisis estadístico multivariado se reduce la complejidad del sistema y se interpreta la similaridad o diferencia entre sitios del mismo lote los cuales se agrupan mediante análisis de conglomerados, lo que permite implementar recomendaciones de manejo homogéneo entre sitios que posean características similares.

Esta investigación se realizó basada en los conceptos de la agricultura de precisión con el fin de analizar la variabilidad espacial de algunas propiedades físicas y químicas del suelo sobre el rendimiento del cultivo de maíz en choclo. El análisis se realizó mediante el uso de la estadística univariada, geoestadística, técnica multivariada y análisis de conglomerados, lo cual permitió identificar y agrupar los sitios del lote teniendo en cuenta las características homogéneas y su efecto sobre el rendimiento del cultivo.

El documento está estructurado por capítulos; el primero describe la introducción, plantea el problema de investigación, la hipótesis y los objetivos, el segundo capítulo presenta la revisión de literatura sobre algunos trabajos de investigación

relacionados con las propiedades físicas y químicas del suelo, variabilidad espacial, agricultura de precisión o específica por sitio, geoestadística y análisis multivariado de componentes principales.

El tercer capítulo explica la descripción general del suelo del lote 7 del Centro Agropecuario Marengo (CAM), la metodología, materiales y equipos y el diseño experimental. El cuarto capítulo sustenta el análisis y discusión de resultados del comportamiento espacial de las variables físicas y químicas del suelo evaluado, el rendimiento del cultivo de maíz en choclo y en el quinto se exponen las conclusiones. El documento termina con la bibliografía y los anexos de datos y resultados de los análisis estadísticos, geoestadísticos y multivariados respectivamente.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia el maíz es uno de los cultivos más importantes de la producción nacional por su especial adaptación a las diversas condiciones agro-climáticas del país, se encuentra cultivado en situaciones bien contrastantes, desde el nivel del mar hasta los 3000 metros de altitud, cuyas precipitaciones van desde menos de 300 hasta 10000 mm, año en regiones como la Guajira y el Chocó respectivamente (Ospina, 1999), mediante los sistemas de producción tecnificado y tradicional (Fenalce, 2004).

En el primer semestre del año 2006 en todo el país se cultivaron 268.494 hectáreas, de las cuales, 126.587 hectáreas tuvieron una producción de 493.689 toneladas y un rendimiento promedio de 3,9 ton/ha en el sistema de siembra tecnificado, que utiliza grandes extensiones de tierra preparadas para la siembra mediante labranza convencional con alto uso de maquinaria agrícola, aplicación de agroquímicos y semillas mejoradas (Espinel *et. al.*, 2006).

Mientras que en el sistema tradicional se sembraron 141.907 hectáreas distribuidas en pequeñas extensiones, con una producción de 210.022 toneladas con un rendimiento promedio de 1,5 toneladas/hectárea, que se utiliza para autoconsumo, con bajas cantidades de agroquímicos, cero labranza en la preparación del suelo y semillas no certificadas (Espinel *et. al.*, 2006).

El área sembrada en el Departamento de Cundinamarca llegó a 29,386 hectáreas, con una producción de 66,627 toneladas y un rendimiento promedio de 2,267 kg/ha, de cuyo total se cultivaron en el municipio de Mosquera alrededor de 150 hectáreas, con una producción de 683 toneladas y un rendimiento promedio de 4,553 kg/ha en mazorca para choclo, (Secretaria de agricultura del departamento de Cundinamarca, 2001).

La variedad ICA V 508 es el material que más cultivan los productores del departamento de Cundinamarca y en la sabana de Bogotá, por ser un material mejorado adaptado a las condiciones de clima frío para ser cultivado a una altura entre 2200 y 2800 m.s.n.m., obtenido a partir de cruzamientos entre maíz criollo Sogamoseño y otros materiales de alto rendimiento en mazorca por planta, el cual es aprovechado para consumo en fresco como maíz en choclo, (Rosenstein *et. al.*, 1994).

Este cultivo requiere de suelos fértiles y de buenas condiciones físicas en los primeros horizontes para un óptimo desarrollo del sistema radical de la planta, (Ospina, 1999). Estas condiciones son alteradas por los distintos tipos de labranza con repercusiones negativas para la producción agrícola en el mediano y largo plazo (Hernández, *et. al.*, 2000) citado por Pérez (2003).

Como éste cultivo responde muy bien a las aplicaciones de fertilizantes, debido a que son plantas demasiado exigentes en nutrientes, especialmente cuando se cultivan híbridos (FENALCE, 2004). La investigación sobre los requerimientos

nutricionales debe estar orientada a reducir los niveles de degradación y contaminación ocasionados por el uso intensivo de fertilizantes de síntesis química, mediante la implementación de programas de fertilización acordes con los resultados de los análisis de suelo y los requerimientos del cultivo en función a su etapa de desarrollo fisiológico y a la meta de producción esperada.

Para Guerrero (1998), el rendimiento del cultivo de maíz, está determinado por el número mazorcas cosechadas por unidad de superficie, lo cual es función de la interacción entre las condiciones físicas y químicas del suelo con los requerimientos de nutrientes por la planta y la disponibilidad de los mismos en éste; que en la mayoría de los casos son deficientes limitando la producción, por ello, es indispensable conocer tanto los requerimientos del cultivo como la oferta del suelo para determinar las necesidades de preparación fertilización y aplicación de enmiendas, si se quieren obtener altos rendimientos.

Diversos estudios de suelos en Colombia señalan que en la mayoría, los contenidos de materia orgánica, elementos esenciales secundarios y menores, están clasificados de bajos a medios, presentan diversos grados de acidez que van desde extremadamente ácidos (pH 5.5) a moderadamente ácidos (pH 5.5 – 6.5); excepto los suelos de la Costa Atlántica y algunas áreas de los departamento del Huila, Tolima y Antioquia que tienen una reacción ligeramente ácida (pH 6.6), junto con los del Valle del Cauca que presentan tendencia a la neutralidad (IGAC, 2005; Méndez, 1990).

La acidez extrema o moderada está asociada con problemas de baja disponibilidad de calcio (< 1 cmol/kg), magnesio (< 3 cmol/kg), potasio (< 0.15 cmol/kg) y fósforo (< 15 ppm), lo cual genera un impacto negativo sobre los rendimientos y calidad del grano cosechado. A la fecha se han realizados diversos estudios orientados a generar tecnología sobre la utilización de fertilizantes de síntesis química y enmiendas para corregir los diversos grados de

acidez de nuestros suelos, cuya deficiencia influye en la rentabilidad de los cultivos. Como estas investigaciones en el país duran poco tiempo y la mayoría de cultivos (frutales y perennes) sobrepasan los tres años existen, muchos vacíos en el conocimiento, sobre el manejo de la fertilidad y la acidez de los suelos. (Méndez, 2006).

Propiedades físicas del suelo tales como, densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración, entre otras, influyen en la circulación y almacenamiento del agua e intercambio gaseoso y se relacionan con la capacidad del suelo para permitir el desarrollo del cultivo en sus diferentes estados fisiológicos, así mismo, son las variables que más se afectan por el uso intensivo de maquinaria agrícola, ocasionando un desbalance del contenido de humedad ya sea por exceso (anegamiento) o por déficit para la planta (Almansa, *et. al*, 2000).

Por ello, surge la investigación en el uso de la Agricultura de Precisión o manejo específico por sitio de las propiedades del suelo en campo para predecir el efecto de su variabilidad espacial y temporal (horizontal y vertical) sobre el crecimiento, desarrollo y producción en determinado cultivo, mediante el monitoreo como base para implementar modelos de producción sustentables, compatibles y holísticos con el medio ambiente y los recursos naturales.

Este modelo de producción se basa en que los distintos sectores del campo responden de manera diferente a un mismo manejo agronómico aplicado de manera uniforme en toda la extensión del terreno en determinado cultivo, debido a la heterogeneidad de las diversas características del suelo. Para aumentar la productividad agrícola del lote se debe dividir en sectores homogéneos que permita aplicar la recomendación acorde a las características particulares de cada sector, (Bongiovanni, 2002).

Con el desarrollo de la agricultura de precisión, se viene utilizando los sistemas de información geográfica y las tecnologías de información y comunicación satelital, mediante el uso de los Sistemas de Geo-Posicionamiento global (GPS) para ubicar maquinarias agrícolas, referenciar sitios de muestreos, regular y guiar la aplicación de fertilizantes de síntesis química, lo cual permite ajustar los paquetes tecnológicos de producción agrícola, acordes con la heterogeneidad presentada en el sitio por lote cultivado, siguiendo los requerimientos del cultivo a establecer (Martínez, 2003).

Como este modelo de producción no se ajusta a las condiciones socioeconómicas de los pequeños productores del país, debido a sus altos costos de implementación y sostenimiento, se hace necesario investigar el potencial de la agricultura de precisión con diferentes niveles de desarrollo tecnológico, así como su aplicación en los distintos sistemas productivos y áreas del conocimiento agronómico. Esto implica evaluar y adaptar metodologías y tecnologías (hardware y software) aplicables a nuestros agro ecosistemas, que den viabilidad a la agricultura de precisión como una opción importante para un desarrollo más sostenible y competitivo de la agricultura nacional (Leiva, 2003).

## 1.2 HIPÓTESIS

La evaluación del efecto de la variabilidad espacial de algunas propiedades físicas y químicas del suelo permiten identificar y seleccionar aquellas que más influyen como indicadores en el rendimiento del cultivo de maíz (*zea mays* L.) en choclo en la sabana de Bogotá.

### 1.2.1 Hipótesis específicas.

Al menos dos variables físicas y/o químicas evaluadas permiten ofrecer recomendaciones preliminares como indicadores sobre el manejo específico del cultivo del maíz en choclo en la sabana de Bogotá.

Al menos dos de las variables físicas y/o químicas evaluadas están altamente correlacionadas con el rendimiento del cultivo de maíz en choclo en la sabana de Bogotá.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo general.

Analizar el efecto de la variabilidad espacial de algunas propiedades físicas y químicas del suelo sobre el rendimiento del cultivo de maíz en choclo (*Zea mays* L.) en la Sabana de Bogotá.

### 1.3.2 Objetivos específicos.

Determinar el efecto de la variabilidad espacial de algunas propiedades físicas del suelo sobre el rendimiento de la variedad ICA V – 508 del cultivo de maíz en choclo (*Zea mays* L.) en la Sabana de Bogotá, e identificar estadísticamente las dos más importantes para el cultivo.

Evaluar el efecto de la variabilidad espacial de algunas propiedades químicas del suelo sobre el rendimiento de la variedad ICA V 508 del cultivo de maíz. (*Zea mays* L.) en la Sabana de Bogotá, e identificar estadísticamente las dos más importantes para el cultivo.

Generar información preliminar sobre el efecto de la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo como indicadores del rendimiento de la variedad ICA V 508 del cultivo de maíz en choclo (*Zea mays* L.) en la Sabana de Bogotá.



## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 EL CULTIVO DEL MAÍZ. (*Zea mays* L.).

La palabra “*Maíz*” proviene de una lengua del Caribe, del dialecto nativo de los aborígenes de la isla de Haití que le llamaban “mahiz”, sus frutos o granos significaban, moneda, religión y alimento (pan y vino). Ésta planta posee dos posibles orígenes, uno que se desarrolló a partir de maíz silvestre hoy en día desaparecido, otro a partir de una planta llamada Teosine *Euchalaena Mexicana* schod, (FAO, 1993).

Este cultivo posee mucha variabilidad genética y adaptabilidad ambiental; a nivel mundial se siembra en latitudes desde los 55° N a 40° S y desde el nivel del mar hasta 3800 m de altitud. Es una gramínea anual, con crecimiento determinado del tallo entre 1 a 4 m. de altura, posee entre 12 y 24 hojas alternas pubescentes en la parte superior y glabras en parte inferior, son alargadas, de bordes ásperos, finamente ciliados y algo ondulados Su metabolismo fotosintético es C4, (Abdul 1995).

Las raíces principales se forman a partir de una corona ubicada en el segundo subnudo del tallo, crecen hasta una profundidad de 2m en suelos de buenas condiciones físicas y se establecen cuando la planta tiene 6 hojas; las raíces adventicias o de anclaje se originan en los 2 primeros nudos aéreos más cercanos a la superficie del suelo, participan limitadamente, en la absorción de agua y nutrientes, e inician su desarrollo cuando la planta tiene aproximadamente 10 hojas (Abdul 1995).

La planta alcanza hasta 2,60 m de altura permitiendo que la mazorca superior se desarrolle a 1,45 m de la superficie del suelo con una longitud promedio de 15 cm por 6 cm de diámetro; de granos grandes, redondos con alto contenido de harina y de colores que van de amarillo a bronce, el ciclo vegetativo es de 135 días entre siembra y floración; la cosecha para choclo se realiza a los 180 días después de sembrado y como grano seco entre 270 y 300 días alcanzando un rendimiento promedio de 5,8 t/ha, (Abdul, 1995).

## 2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Para que un suelo tenga óptimas condiciones de funcionamiento que influyan en el desarrollo radical de las plantas, debe presentar una correcta entrada y circulación de agua, aire y transferencia de calor entre otros, con ausencia de limitaciones en la profundidad del suelo, que le permita a la raíz de la planta explorar el mayor volumen de suelo posible, (Gil, 2002).

Los patrones de mecanización desarrollados en los sistemas convencionales de labranza, provocan desagregación del suelo y aceleran la oxidación de la materia orgánica, forman capas de suelo pulverizado en la superficie para facilitar la germinación de las semillas y capas endurecidas en los horizontes más profundos por la presión que ejercen los implementos agrícolas, lo cual altera la distribución y dinámica natural del mismo, afectando el desarrollo del sistema radical de la planta y por ende la producción de los cultivos, (Gil, 2002).

La textura, estructura y fertilidad del suelo son fundamentales para determinar el grado de preparación, la clase de labranza y el tipo de cultivo a establecer, (Rosales, *et. al*, 2006). Iones como, el Ca, Mg y K tienen efecto peletizante sobre la textura e inducen floculación y agregación de las arcillas, siendo favorecida por altos contenidos de materia orgánica, (Gavande, 1987). Entre las características

que más influyen en la condición física de suelo están: la estabilidad estructural, el grado de agregación, porosidad y materia orgánica, las cuales no son independientes y cuando cambia una se modifica el resto, (Silva *et. al*, 2000).

La Textura (T) del suelo se refiere a las proporciones de arena, limo y arcilla, que se encuentran en una masa de suelo, (Motta *et. al.*, 1990). Es la propiedad más estable del suelo que se usa como criterio para determinar la permeabilidad o infiltración, capacidad de retención de humedad, plasticidad o adhesividad, aireación, capacidad de intercambio cationico, fertilidad y condiciones de labranza a emplear, Castro (1998). Se usa para evaluar la superficie específica, la permeabilidad, la capacidad de retención y movimiento del agua a través del perfil, (Malagon *et. al.*, 1995).

La Densidad Aparente (DA) es la relación de la masa al volumen macroscópico ocupado por las partículas del suelo más el espacio poroso, influye en el desarrollo y enraizamiento de la planta, (Porta *et. al.*, 1994). Se expresa en gramos por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ) sirve para calcular el espacio poroso cuando se conoce la densidad real de las partículas, convertir la humedad gravimétrica en volumétrica, (Narro, 1994). Depende de la estructura del suelo, del grado de compactación, de las propiedades de expansión y formación de grietas, las cuales obedecen al contenido de arcilla y humedad presente. Hillel, (1980), citado por (García, 2004).

Los valores de la DA del suelo pueden variar desde valores muy bajos ( $0,3 - 0,8 \text{ g/cm}^3$ ) a valores altos ( $1,3 - 1,8 \text{ g/cm}^3$ ) en suelos con textura arenosa o compactados, valores por encima de  $1,9 \text{ g/cm}^3$  limitan el desarrollo radical (Gavande, 1987). Mientras que en suelos arcillosos el límite crítico está entre  $1,6$  a  $1,7 \text{ g/cm}^3$ . El valor de  $1,0 \text{ g/cm}^3$  para suelos arcillosos orgánicos y bien estructurados mejora el espacio poroso, lo cual facilita la distribución del contenido de aire y agua muy favorables para la penetración y crecimiento de las raíces de la

planta (Narro, 1994). Cationes como el Na incrementan la DA porque al dispersar las arcillas se depositan en los poros disminuyendo su diámetro, (García, 2004), (tabla 1), (Pinzón, 2003).

Tabla 1. Valores más frecuentes de la Densidad Aparente (DA) en suelos de Colombia.

Suelos	Valores en gcm <sup>3</sup>
Arenosos	1,4 – 1,6
Arcillosos	1,0 – 1,4
Volcánicos	0,6 – 0,9
Orgánicos	0,1 – 0,4
Compactados	Mayor de 1,6

Fuente: Pinzón. (2.003).

La densidad Real (DR) expresa la relación entre la masa de las partículas sólidas con el volumen total, excluyendo el volumen ocupado por los poros, se enuncia en g/cm<sup>3</sup>, permite evaluar la concentración de los sólidos en suspensión, determinar la velocidad o movimiento de sedimentación de las partículas y predecir la pérdida de suelo y mediante interacción con la DA se puede calcular la porosidad total, (tabla 2), (Motta *et. al.*, 1990).

La DR en los suelos agrícolas generalmente presenta valores entre 2,3 a 2,7 g/cm<sup>3</sup>, con valor promedio de 2,65 g/cm<sup>3</sup>. Pero cuando son pobres en materia orgánica el valor fluctúa entre 2,5 a 2,6 gr/cm<sup>3</sup> sobre todo en suelos arcillosos o arenosos, mientras que suelos con altos contenidos de materia orgánica alcanzan valores promedios de 1,4 gr/cm<sup>3</sup>, (Montenegro *et. al.*, 1990), (Ortiz, 1998).

Tabla 2. Valores medios de la Densidad Real (DR) para diferentes clases texturales de suelos.

Textura del suelo	Densidad real critica en (gr/cm <sup>3</sup> )
Arenoso	2,65
Arenoso franco	2,66
Franco y limosos	2,67
Franco arcillo arenoso	2,68
Franco arcillo limoso	2,68
Franco arcilloso	2,69
Franco limoso	2,71
Arcillo arenoso	2,70
Arcilloso	2,72
Arcillo limoso	2,75

Fuente: Ortiz (1998).

La Porosidad Total (PT) del suelo es el espacio ocupado por agua y aire, se definen macroporos los que son  $\geq 60\mu$  porque tienen la capacidad de permitir el intercambio gaseoso con el medio ambiente, mesoporos con un diámetro entre 0,9 y 0,60  $\mu$  se encargan del almacenamiento y movimiento del agua y los microporos menores de  $\leq 0.9 \mu$  retienen el agua a altas tensiones, varía desde 63 a 32% o menor en suelos muy compactados; se calcula mediante la diferencia entre el valor de la DR y la DA, que equivale a la suma de la porosidad no capilar más la capilar, la primera está relacionada con la aireación (intercambio gaseoso) y la segunda con la retención de humedad, (Montenegro, 2003).

$$PT = \left\{ 1 - \frac{DA}{DR} \right\} \times 100$$

Donde:

PT: Porosidad total, (%).

DA: Densidad aparente del suelo, (g/cm<sup>3</sup>).

DR: Densidad real, (g/cm<sup>3</sup>).

La porosidad es una propiedad física del suelo importante en el movimiento y retención del agua, que depende del tamaño y arreglo del espacio poroso; la estructura y el tamaño de los agregados son las principales características que se relacionan con esta propiedad, porque representan un equilibrio entre macroporos y mesoporos, (tabla 3), (Montenegro, 2003).

Tabla 3. Relación entre la Densidad Aparente (DA) en gcm<sup>-3</sup> y la Porosidad Total (PT) en porcentaje, (Duchaufour, 1965), citado por Montenegro (2003).

Densidad Aparente gcm <sup>3</sup>	Porosidad total (%)
Menor de 1,0	Mayor de 63
1,0 – 1,2	55 – 62
1,2 – 1,4	47 – 54
1,4 – 1,6	40 – 46
1,6 – 1,8	32 – 39
Mayor de 1,8	Menor de 32

Fuente: Montenegro (2.003)

Suelos de Textura (T) arenosa presentan una porosidad total que oscila de 35 a 50%, los de textura fina exhiben un espacio poroso entre 40 y 60%, mientras que los compactados pueden presentar valores bajos de espacio poroso, de 25 a 30%. Una porosidad total entre 45 y 55% se considera buena con un 10% de macroporos; la relación entre macroporos y microporos determinan el movimiento adecuado del agua y aire en el suelo, junto con la capacidad de retención de humedad de éstos, (Caicedo *et. al.*, 2004), citado por (Montenegro, 2003).

Los problemas de compactación del suelo inciden desfavorablemente sobre el desarrollo radical de la planta, reducen la porosidad y el intercambio gaseoso, incrementando la DA, disminuyendo la capacidad de infiltración, dificultando la

absorción de agua y nutrientes y como consecuencia la disminución de la cosecha, (Pinzón, 2003).

El Contenido de humedad del suelo se define como la relación entre la masa del agua y la masa de los sólidos del suelo, se expresa en porcentaje cuando se relaciona en forma gravimétrica, o en volumen, cuando se relaciona entre el volumen del agua y el volumen del suelo, la Humedad Gravimétrica (HG) es la forma más común de expresar la humedad del suelo y se define como la relación entre la masa de agua y la masa de los sólidos del suelo (Motta *et. al.*, 1990). Es una forma de indicar la cantidad de agua presente en el perfil del suelo, a una profundidad dada, en un momento determinado (Gil, 2002). Depende de la composición mineral y química de las partículas elementales de la superficie específica, composición mecánica de agregados y micro agregados de suelo. (Ortiz, 1998).

La Humedad del suelo está asociada a la capacidad de retención de humedad que poseen las fracciones texturales. En suelos con altos contenidos de arena o arcilla los valores son bajos y altos respectivamente y cuando éstos son ricos en Materia Orgánica (MO), la retención de humedad es mayor, (tabla 4), (Montenegro, 2003).

Suelos que presentan horizontes argílicos de iluviación, presentan limitación de aprovechamiento del agua útil para el desarrollo vegetal, dicha limitación está relacionada con los altos niveles de humedad residual y al régimen de humedad Acuíco a causa de la presencia de cantidades apreciables de arcilla coloidal, lo que genera altas fuerzas matriciales en el suelo (García, 2004),

Tabla 4. Rangos para interpretar la humedad del suelo equivalentes en porcentajes (%)

Contenido de Humedad en (%)	Interpretación
Menor de 5	Muy baja
5 – 15	Baja
15 – 25	Media
25 – 35	Alta
Mayor de 35	Muy alta

Fuente: Montenegro (2003).

La Estabilidad Estructural (EE) del suelo es la capacidad que tiene la estructura de retener su forma original cuando se humedece, el tamaño de los agregados es un factor determinante en el tamaño de los poros, lo cual condiciona el movimiento y distribución del agua y del aire en el mismo (Motta *et. al.*, 1990). La evaluación se puede hacer en forma cualitativa y cuantitativa (Malagón *et. al.*, 1995), (tablas 5 y 6) (Gómez, 1999; Montenegro, 2003).

Tabla 5. Clasificación de la Estabilidad Estructural (EE) según la cantidad de agregados con diámetro menor de 0.5 mm.

Cantidad de agregados de $\varnothing < 0,5$ mm (%)	Estabilidad Estructural (EE)	Clase
Menor de 10	Muy alta	1
10,1 – 20	Alta	2
20,1 – 40	Media	3
40,1 – 50	Baja	4
Mayor de 50,1	Muy baja	5

Fuente Gómez. (1999).



Tabla 6. Rangos para interpretar la estabilidad estructural del suelo con relación al Diámetro Ponderado Medio (DPM).

<b>Diámetro Ponderado Medio (DPM)</b>	<b>Interpretación</b>
< 0,5	Inestable
0,5 – 1,5	Ligeramente estable
1,5 – 3,0	Moderadamente estable
3,0 – 5,0	Estable
Mayor de 5,0	Muy estable

Fuente: Montenegro, (2003)

Ésta dada por la floculación y cementación. La floculación se debe a los fenómenos electrocinéticos, mientras que la cementación es el enlace de las partículas floculadas por acción de materiales cementantes como humus, coloides inorgánicos de hierro, aluminio, óxidos y carbonatos (Montenegro, 2003). Se obtiene a partir del tamizado tanto en húmedo como en seco, agregados con diámetro menor a 0.5 mm son los más susceptibles a la pérdida por erosión pluvial o eólica, (Gómez, 1999).

La Resistencia Mecánica a la Penetración (RMP), es la fuerza del suelo que se opone a la expansión lateral y al corte que produce un objeto de prueba en él, su valor es un índice integrado entre factores como: la compactación, contenido de humedad, textura, tipo de arcilla mineral presente, contenido de Materia Orgánica (MO) y la estructura del mismo, (Narro 1994). También se refiere a la resistencia que ofrece a deformarse por la presión de una raíz en crecimiento; la cual es cuantificada con un penetrometro de cono o Penetrógrafo que mide la presión requerida por una sonda de acero para penetrar al interior del suelo (Caicedo *et. al.*, 2004) citado por (Vergel *et. al.*, 2004).

La reducción en el crecimiento radical del cultivo, ocasionada por una RMP reduce el rendimiento, porque limita el adecuado suministro de agua y nutrientes hacia las partes aéreas de la planta, valores superiores a un Megapascal (Mpa) no permiten una buena distribución de raíces en el suelo (Caicedo et., al, 2004), citado por Vergel et, al, (2004), (tabla 7), Amézquita, (1992).

Tabla 7. Interpretación del grado de Compactación del suelo en Megapascales (MPa).

<b>Interpretación del grado de Compactación</b>	
<b>Denominación</b>	<b>Resistencia en MPa</b>
No limitante	0,0 – 0,5
Ligeramente limitante	0,5 – 1,0
Limitante	1,0 – 2,0
Extremadamente limitante	2,0 – 3,0

Fuente: Amézquita, (1992)

La compactación del suelo se produce cuando se somete a laboreo con implementos agrícolas en condiciones de alta humedad, siendo mayor cuando están mal drenados o presentan diferentes tamaños de partículas y poseen bajo contenido de materia orgánica, (Montenegro, 2003). El suelo en estado natural presenta algún grado de resistencia de acuerdo a la mayor o menor presencia de humedad, (García, 2004).

Estudios en suelos compactados demuestran que las raíces que encuentran mayor RMP tienden a crecer más de manera horizontal en los primeros 10 cm del perfil, que en profundidad, son más finas y con más ramificaciones laterales que en suelos no compactados Materechera, *et., al*, (1991), esto aumenta el área superficial del sistema radical por volumen de suelo Liu y Waldron, (1988) y la susceptibilidad a estrés de sequía, especialmente en verano Grimes, *et., al.*,

(1972). Bassuk y Whitlow, (1985). Grabosky y Bassuk, (1995), citados por (Ramírez, *et. al.*, 2000). Cuando la RMP del suelo alcanza valores superiores de 1 Mpa se inicia el límite crítico en que se ve afectado el crecimiento de las raíces y el abastecimiento de fluidos para la planta (Ferrerías *et. al.*, 2007).

Las raíces, al ser sometidas a elevadas resistencias mecánicas de penetración, reducen su tasa de elongación e incrementan su diámetro Atwell, (1990); Barley (1963); Wilson *et. al.* (1977), y tienden a crecer horizontalmente, Taylor y Burnett, (1964). Según Veen (1982) cuando se cultiva maíz en un suelo compactado las raíces laterales que se forman son más largas y ramificadas, citado por (Martino, 2003).

Gerard y colaboradores (1982), determinaron que la RMP disminuye a medida en que el contenido de arcilla del suelo aumenta. Ello sugiere que algún otro factor asociado al contenido de arcilla influye en ésta, citado por (Martino, 2003). En suelos pobres de materia orgánica se incrementa la RMP, lo cual obliga al sistema radical de la planta a crecer de manera lateral con mayor incremento de ramificaciones finas que en profundidad (Materechera *et. al.*, 1991) citado por (Ramírez *et. al.*, 2000).

Terán y colaboradores en el (2000), evaluaron de manera participativa con la comunidad algunas prácticas agronómicas para el mejoramiento de los sistemas de producción agrícola en dos zonas piloto de los municipios de Mercaderes (Cauca) y Tamaningo (Nariño), Mediante la selección de 5 lotes ubicados en las fincas Jamaica y La Cocha del municipio de Tamaningo, Las Delicias y El Palmar en Mercaderes y El Piñuelo en el municipio de Bolívar.

Los lotes evaluados reportaron textura franco arcillosa y franco arenosa en la zona plana y en la zona de ladera texturas entre franco arcillo arenosa, franco arcillosa y arcillosa, con porcentajes de arena de 23,2% en El Piñuelo en la zona de

ladera, a 63,2% en las Delicias en zona plana, los limos mostraron valores desde 16,4% hasta 40,4% en El Piñuelo. En cuanto a las arcillas sus resultados fueron desde 16,4% en la parte plana de Las Delicias, hasta 44,8% en la zona de ladera del Piñuelo, (Terán *et. al.*, 2000).

Con una DA que va de 1,47 a 1,79 g/cm<sup>3</sup> en las fincas del Piñuelo y Jamaica en la zona de ladera, la zona plana presentó un valor promedio de 2,4 g/cm<sup>3</sup>. El % de porosidad total expresó valores entre 39,84% y 51,81% en las zonas de ladera de las fincas el Palmar y Jamaica respectivamente, valores normales para suelos de vocación agrícola, (Terán *et. al.*, 2000).

El tamaño óptimo de los agregados mostró valores entre 0,5 y 2,0 mm en porcentajes superiores al 50% en todas las fincas, a excepción del Piñuelo cuyos suelos presentaron buena estabilidad estructural. Los autores concluyen que las propiedades físicas evaluadas de estos suelos se encuentran en condiciones aceptables para la producción agropecuaria, pero con baja capacidad de almacenamiento de agua, (Terán *et. al.*, 2000).

En el lote 8 del Centro Agropecuario Marengo (CAM) de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, durante los semestres A de los años 2006 y 2007, evaluaron la variabilidad espacial y temporal de la RMP, su correlación con la DA y el Contenido de Humedad (CH) del suelo, las muestras de suelo en campo fueron tomadas mediante un trazo de grilla georreferenciada con 32 puntos de muestreo distanciados entre si cada 25 m, (Camacho *et. al.*, 2007).

Los datos de las variables fueron analizados mediante estadística descriptiva y Geoestadística. La RMP presentó valores inferiores a 2 Mpa, el análisis geoestadístico presentó comportamiento anisotrópico en la mayoría de las profundidades caso contrario ocurrió con el CH, cuyos semivariogramas se ajustaron a modelos teóricos considerando la anisotropía de las respectivas

variables. Así mismo, corroboraron que la RMP es directamente proporcional con la DA e inversamente con el CH, lo cual concuerda con la teoría (Camacho *et. al.*, 2007).

Kenan Kiliç y colaboradores (2003), evaluaron la variabilidad espacial de la RMP en relación con algunas propiedades físicas del suelo en dos Fluvents en Turquía, en un terreno de 1,5 has en una grilla con puntos distanciados cada 15 m en la que trabajaron a las profundidades 0 a 15 y de 15 a 30 cm de la superficie del suelo. Los valores de la RMP para ambos suelos fueron de 3000 a 5000 Kilopascales (Kpa) con una media de 1522 Kpa a una profundidad de 0 a 15 cm y de 3844 Kpa de 15 a 30 cm de profundidad en suelo arcillo arenoso y una media de 2210 Kpa a una profundidad de 0 a 15 cm y de 4355 Kpa a una profundidad de 15 a 30 cm en suelo arcilloso, ambos suelos fueron cultivados con maíz mediante el uso de maquinaria agrícola; los coeficientes de correlación entre la DA, contenido de arena, arcilla, humedad y la RMP fueron significantes y los semivariogramas presentaron un modelo lineal variando espacialmente las propiedades del suelo en distancias pequeñas entre 15 a 30 cm de profundidad en ambos suelos.

Los autores concluyeron que la RMP presentó una variabilidad espacial más alta a las distancias pequeñas en el suelo arcillo arenoso que en el arcilloso. Los resultados mostraron que la variabilidad espacial depende de la DA, del volumen de arcilla y arena para el suelo arcillo arenoso, del contenido de humedad y DA del suelo arcilloso. Según Alexandrou y Earl (1998), la compactación de suelos reduce la penetración de la raíz y el crecimiento de la planta, limita el transporte de agua y aire, causa stress de nutriente y retrasa la germinación de semillas, citado por (Kenan *et. al.*, 2003).

En Colombia son muchos los errores que se cometen en el sector agropecuario por el abuso en el uso indiscriminado de la maquinaria agrícola, al arar y rastrillar el suelo se pulveriza totalmente destruyendo su estructura natural y en muchas ocasiones la arada es tan profunda que entierra la capa orgánica, dejando en la superficie un horizonte pobre en condiciones físicas, (Rivera, 2003).

Según Rivera, a veces se realizan prácticas agrícolas de laboreo y tráfico de maquinaria pesada en suelos con alta humedad, lo cual induce a la compactación. En otras ocasiones se ara y se rastrilla suelos de condiciones físicas excelentes deteriorando su estructura natural y la cobertura quedando expuestos a la erosión, favorecida por las lluvias intensas en zonas con pendientes fuertes que reduce su potencial productivo, (Rivera, 2003).

Hernández y colaboradores (2000), argumentan que el suelo preparado bajo la forma convencional con cuatro pases de gradas de discos por año, altera el porcentaje de macroagregados estables con una mayor tendencia a la compactación superficial, lo que no sucede en aquellas áreas tratadas con siembra directa, citado por Pérez (2003).

La compactación por debajo de 10 a 15 cm de profundidad del suelo influye en el crecimiento del cultivo en condiciones de humedad. Este efecto es asociado con la limitada aireación y la inundación del suelo debido al deterioro de la estructura que restringe la continuidad del capilar y el volumen de la porosidad (Gómez, 1999).

Navarro y colaboradores (2000), investigaron el efecto de la labranza sobre la estructura del suelo en la germinación y desarrollo de los cultivos de maíz y frijol en terrenos de Huexotla (suelo arcilloso) y Nativitas (suelo de migajón arenoso) del municipio de Texcoco, México, mediante la evaluación de cinco tratamientos de labranza en los cuales midieron el grado necesario de remoción del suelo para obtener un alto porcentaje de germinación y desarrollo inicial de estos cultivos.

Ellos cuantificaron algunas propiedades físicas del suelo como textura, densidad real, densidad aparente, resistencia mecánica, distribución y estabilidad de agregados, porosidad total, composición de macroagregados, y estabilidad estructural.

El contenido de humedad en el suelo fue mayor en los sistemas de labranza que remueven menos suelo y que conservan los residuos de cosecha sobre la superficie del terreno, la densidad aparente del suelo se modifica con cualquier tipo de labranza y sólo se mantiene inalterado con el sistema de labranza cero. La DR estuvo entre 2,28 y 2,30 g/cm<sup>3</sup> en el suelo arcilloso del sitio experimental de Huexotla, y de 2,45 y 2,48 g/cm<sup>3</sup> en el suelo de migajón arenoso del sitio experimental Nativistas. La resistencia al corte del suelo aumentó con la profundidad, la labranza cero no presentó remoción de éste y la labranza en franjas no modificó su estructura, sin embargo no hubo diferencia con la labranza en la que se invirtió toda la capa arable, (Navarro *et. al.*, 2000).

La distribución y estabilidad de los agregados del suelo las determinaron mediante el tamizado en seco y en húmedo después del laboreo en cada tratamiento, la estabilidad Estructural en Seco (EES) para el suelo arcilloso no presentó diferencia significativa siendo excelente, pero fue menor cuando se invirtió el suelo. La estructura del suelo arcilloso con base en el Diámetro Ponderado Medio (DMP) del agregado fue estable sin presentar diferencia en los tratamientos debido a los altos contenidos de arcilla. Los autores concluyeron que los tratamientos de labranza tuvieron efectos sobre algunas variables del suelo que no se reflejaron en la germinación y desarrollo del maíz y frijol; que no se requiere demasiado movimiento del suelo para lograr una buena germinación de la planta y en suelos de textura gruesa se tienen pocos problemas con el manejo, por ello, recomiendan la siembra directa en éstos, para ahorrar energía y dinero, (Navarro *et. al.*, 2000).

También argumentan, que cualquier tipo y sistema de labranza modifica la resistencia a la penetración y al corte en la capa arable del suelo, al igual que su estructura que depende del contenido de humedad. Con la labranza se favorece o se destruye la estructura del suelo con efectos sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Además el laboreo del suelo cuando se usa en exceso con los implementos tradicionales (arado de discos o de vertederas), es una práctica agrícola que la investigación ha demostrado como posible causa de erosión, compactación, pérdida de humedad y aumento en los costos de producción, (Navarro *et. al.*, 2000).

Propiedades físicas del suelo como densidad aparente, porosidad, infiltración, resistencia al corte y a la penetración, almacenamiento de agua y conductividad hidráulica, son las variables que se recomiendan medir por que se relacionan con la capacidad de un cultivo para crecer y desarrollarse (Almansa *et. al.*, 2000).

En estudios realizados por García (2004) en suelos *Typic Haplustert* y *Typic Tropaquert*, mediante análisis multivariado concluyó que los factores físicos que influyen significativamente en el rendimiento del cultivo de maíz fue la humedad higroscópica y el diámetro ponderado medio de los agregados del suelo.

La Tabla 8 ilustra algunas características y variables de suelos agrícolas en términos de su variabilidad temporal en el tiempo, algunas de éstas son relativamente estables, otras cambian lentamente y otras de manera relativamente rápida. Esta clasificación es útil para establecer metodologías de seguimiento e indicadores importantes del suelo e identificar la dinámica de los procesos que ocurren en el mismo, para prever las condiciones ambientales adecuadas al desarrollo de los cultivos, alguna de estas variables puede verse afectada por el tipo e intensidad de intervención antrópica en el sistema productivo, (p, ej. Variación de la porosidad de acuerdo con el tipo de labranza del suelo). Propiedades como la textura y la densidad real prácticamente no cambian en el



tiempo a menos que se hagan grandes adiciones de enmiendas o rellenos. (Leiva, 2003).

Tabla 8. Clasificación del grado y tipo de variabilidad (espacial y/o temporal) de las propiedades del suelo.

Tipo de Variabilidad	Propiedad del suelo que cambia
Escasa Variabilidad	Topografía, Textura del suelo, Densidad Real, Contenido de materia Orgánica
Mediana Variabilidad	Estructura del suelo, Densidad aparente, Porosidad, Grado de Compactación, Estabilidad estructural, Infiltración, Conductividad Hidráulica, Contenido de P, K, y de elementos menores, Capacidad de Intercambio de cationes, pH, Conductividad eléctrica, Biota del suelo
Alta Variabilidad	Contenido de N, Contenido de Humedad,

Fuente: (Leiva 2003).

Los efectos de compactación de muchas prácticas agrícolas son acumulativos, pero éste presenta una capacidad amortiguadora frente a las cargas estáticas, que se atenúan en profundidad (Porta *et. al.*, 1994). La degradación del suelo se refiere a la pérdida del potencial productivo por deterioro de sus propiedades físicas, químicas o biológicas, debido al uso de prácticas agrícolas inapropiadas a través del tiempo, (Amézquita, 1992).

La RMP debido a la presencia de capas endurecidas, es la principal causa de la disminución de los rendimientos y de insostenibilidad en los suelos tropicales por los efectos negativos que causan en el desarrollo del sistema radical de las plantas. La cual se corrige mediante la utilización adecuada y oportuna de implementos de labranza que aflojen el suelo y disminuyan la densidad aparente, (Castro, 1998).

### 2.3 PROPIEDADES QUÍMICAS

La Materia Orgánica del Suelo (MOS) es la fracción orgánica compuesta por residuos de origen vegetal y animal en diversos estados de descomposición (poco alterada y/o muy transformada), junto con las sustancias producidas y vertidas por éstos organismos. Su cálculo se obtiene a partir del carbono orgánico que se determina en laboratorio por el método de combustión húmeda, el cual consiste en la oxidación de la MOS por medio del dicromato de potasio y ácido sulfúrico y su posterior determinación del exceso del oxidante mediante titulación, (Navarro, 2000).

Según Durán (1998), la MOS es importante por que mejora muchas características como mineralización de nutrientes y estabilidad estructural de los agregados e influye en la absorción y retención de agua debido a la naturaleza coloidal de la misma, citado por (Mosquera, 2006).

El Carbono Orgánico (CO) total es uno de los principales componentes de los organismos vivos, conforma el 58% del peso seco de la MO que se calcula por el procedimiento descrito antes, este % de CO oxidable se multiplica por 1,724 que es el resultado de dividir 100/58, para obtener el porcentaje de MOS, (Navarro, 2000).

La mayor parte del Nitrógeno (N) en los suelos está contenida en la Materia Orgánica del Suelo (MOS) (> 90%), en forma relativamente estable que no es directamente disponible para la planta, una porción del N se torna disponible por el proceso de mineralización promovida por los microorganismos del suelo (Halvorson *et. al*, 2005). Su liberación es muy lenta para satisfacer las necesidades de un cultivo de maíz en crecimiento, solamente de 2 a 3 % del N total del suelo se vuelve disponible para la planta cada año Las cantidades

liberadas dependen de las prácticas de manejo y de las condiciones ambientales, citado por (Below, 2002).

El N es absorbido por las plantas en dos formas distintas ya sea como anión nitrato  $\text{NO}^{3-}$  o como catión amonio  $\text{NH}^{4+}$ , que están presentes de forma variable en los fertilizantes nitrogenados de uso común, sin embargo, las bacterias del suelo oxidan rápidamente el  $\text{NH}^{4+}$  a  $\text{NO}^{3-}$  en suelos bien aireados y de buena temperatura que favorecen el crecimiento del maíz, por esta razón el  $\text{NO}^{3-}$  es la forma de N predominantemente absorbida por esta planta, independientemente de la fuente de N aplicada (Below, 2002).

Este es uno de los elementos minerales esenciales que más limita el crecimiento y el rendimiento del maíz porque lo requiere en cantidades que varían de 1,5 a 3,5 % de su peso seco. Es absorbido por la planta en forma inorgánica el cual pasa a la forma orgánica (aminoácidos) para ser asimilado en un 90% en numerosos compuestos esenciales de las proteínas ya que su metabolismo tiene impacto en este cultivo, especialmente en el establecimiento y mantenimiento de la capacidad fotosintética y en el desarrollo y crecimiento. Debido a que la mayoría de los suelos no tiene suficiente N disponible para mantener los niveles deseados de producción, su deficiencia disminuye el rendimiento y calidad de grano, (Below, 2002).

Las necesidades de N en el cultivo de maíz aumenta cuando la planta ha logrado el desarrollo completo de la 5ª a la 6ª hoja, en este periodo se ha reportado la mayor eficiencia del N en la planta porque la tasa de absorción se incrementa. Cuando el cultivo inicia el periodo de floración acumula entre el 55 y el 65% del N total hasta la cosecha, por esta razón muchas investigaciones globales sugieren que la aplicación de fertilizantes nitrogenados cubren el 80% del costo total del fertilizante y el 30% de toda la energía asociada con la producción agrícola moderna de maíz, (García *et. al.*, 2004).

Una plantación de maíz requiere entre 17 a 23 kg de N por tonelada de cosecha recolectada y aproximadamente 110 kg/ha deben ser aplicados en los primeros 50 días, época en que la planta requiere aproximadamente 4 kg/ha día en los picos de mayor absorción, (Ospina, 1999).

El fósforo (P) después del N, es uno de los nutrientes que más afecta la producción de los cultivos cuando se presenta deficiencia en el suelo porque forman parte de enzimas, ácidos nucleicos, proteínas y están involucrados prácticamente en todos los procesos de transferencia de energía, (García, *et. al.*, 2004).

El contenido total del P en el suelo es controlado por el material parental y el clima, únicamente las fracciones inorgánicas, orgánicas solubles y lábiles están disponibles para las plantas durante el ciclo del cultivo, de las cuales solamente una pequeña parte está en forma soluble pero fácilmente mineralizable y los fosfatos débilmente adsorbidos en las arcillas, mientras que la mayor parte del mismo está en formas insolubles como fosfatos de calcio, hierro y aluminio, retenidos en la MO o fijados en las arcillas, (García, *et. al.*, 2004).

La respuesta de los cultivos a la fertilización fosfatada depende del nivel del Fósforo (P) en suelo, cuya disponibilidad para la planta es afectada por factores del suelo como textura, humedad, temperatura, contenido de materia orgánica y pH, junto con la respuesta del cultivo a la aplicación y manejo de los fertilizantes fosfatados en función del rendimiento de acuerdo a los requerimientos de la misma, (García, *et. al.*, 2004).

El cultivo de maíz toma aproximadamente 110 kg/ha de P, esencial para el crecimiento vigoroso de las raíces y de la parte aérea, necesario para el almacenamiento y transferencia de energía en la planta, es un elemento que permanece inmóvil en el lugar donde se aplica, su aplicación en forma adecuada

incrementa la eficiencia del uso del agua y adelanta la madurez fisiológica de la cosecha y disminuye la humedad del grano cosechado, (Ospina, 1999).

La insuficiencia de P en el suelo produce deficiente formación de los órganos reproductores, este elemento mejora el metabolismo en la absorción del N en las plantas jóvenes, la temperatura y humedad del suelo, limita la absorción del P natural del suelo, pero no el P de los fertilizantes aplicados a la planta, (Ospina, 1999). Su deficiencia al inicio del crecimiento en muchos cultivos restringe el desarrollo de la planta, condición de la cual no se recupera, limitando seriamente la producción, mientras que la deficiencia después del crecimiento tiene menor impacto en la producción, (García, *et. al.*, 2004).

En el cultivo de maíz la deficiencia de P limita el desarrollo del sistema radical, reduce y retarda la tasa de emergencia y el tamaño de las hojas ya formadas, ello disminuye la captación de carbono, la intercepción de la energía solar y reduce la subsiguiente emergencia de raíces secundarias, con efecto negativo en la absorción de P por la planta, lo cual ocasiona bajo rendimiento de materia seca y producción de grano. Una deficiencia que ocurra entre la sexta y séptima hoja durante la formación de la mazorca reduce su tamaño con menor número de granos, (García, *et. al.*, 2004).

En el cultivo de maíz se ha observado que la deficiencia de K ocasiona acumulación de azúcares en el tallo, parece ser que los bajos contenidos en el jugo celular limitan la traslocación de los azúcares a la mazorca, lo cual interrumpe el ciclo de crecimiento y dificulta el normal desarrollo del grano, afectando la madurez del cultivo, (García, *et. al.*, 2004).

La concentración del K varía entre 1 y 6% de MS, es el catión más abundante en los tejidos vegetales. Cuando sus aportes son deficientes se incrementa la concentración en las hojas más jóvenes o en los tejidos vegetales en crecimiento

activo y sólo se encuentra en alta concentración en hojas o partes viejas cuando es aportado en altas cantidades como en los cultivos hidropónicos, por lo tanto, es un nutriente fácilmente removilizable e interviene en el mantenimiento del turgor celular, en la función osmótica e igualmente participa en la regeneración de los hidrogeniones, (Sánchez, 2007).

Los fertilizantes potásicos se deben aplicar al momento de la siembra ya que los iones de K son retenidos por el suelo permaneciendo disponibles y protegidos del lavado, se recomiendan aplicaciones fraccionadas en suelos arenosos porque pueden lixiviarse fácilmente. Su dinámica de la absorción en el híbrido de maíz SK-198 presento las mayores tasas de acumulación en la fase vegetativa hasta el inicio de la floración con cerca de 3,5 kg/ha/día, luego disminuyó drásticamente para después repuntar durante el periodo de desarrollo del grano con valores entre 1,27 y 1,59 kg/ha/día. En esta etapa es muy importante la presencia del K por su papel en la formación del rendimiento al promover el transporte de los productos de la fotosíntesis de las hojas a las mazorcas, (Rangel, 2003).

Las plantas contienen 10 veces más K que Ca, pero, el nivel de Ca aprovechable en el suelo puede ser 10 veces mayor que los de K. Aún cuando las raíces de las plantas son altamente electivas en la absorción de nutrientes se ha encontrado que el Ca compite con el K para entrar en las plantas. Por lo tanto, un suelo calcáreo o uno que haya sido recientemente encalado requiere mayores cantidades de K para mantener un adecuado nivel en la planta, (Amézquita *et. al.*, 2004).

Las plantas absorben los nutrientes en interceptación por las raíces, flujo de masa y difusión. Las raíces de las plantas no tienen contacto con más del 3% del volumen del suelo que ellas exploran, por lo tanto, la cantidad de K que interceptan es bajo por el flujo de masa, el cual es favorecido por la cantidad de

agua cargada de nutrientes que absorben las raíces de las plantas, (Amézquita, *et. al.*, 2004).

Se cree que el principal mecanismo para la absorción de K es la difusión de iones que viajan a través de las películas de agua entre las partículas del suelo y de las raíces. Si el nivel de humedad del suelo es bajo, la película de agua es muy delgada y su difusión es poca, por lo tanto, un buen contenido de humedad en el suelo influye en una buena absorción de K y en suelos secos disminuye la difusión, (Amézquita *et. al.*, 2004).

El contenido de K en el suelo está relacionado con el tipo de material parental y los procesos pedogenéticos que lo originan, ya sea en mayor o menor disponibilidad. Las investigaciones confirman que el suelo no tiene otra vía de ingreso natural para el balance de K que no sea la proveniente de los minerales primarios y secundarios, siendo los minerales arcillosos la principal fuente, (Amézquita *et. al.*, 2004).

Un suelo con alta CIC usualmente tienen textura fina y baja tasa de difusión de K, comparado con un suelo de textura gruesa o arenosa, puede tener el 5% o más de la CIC saturada con K, si es arcilloso tiene 2% o menos, sin embargo, puede tener el doble del K con relación al arenoso pero su absorción por la planta puede ser reducida cuando el suelo presenta muy poca disponibilidad de aire en su matriz, (Amézquita *et. al.*, 2004).

En suelos ácidos con altos contenidos de Aluminio (Al) intercambiable, el incremento del pH disminuye la cantidad de Al y permite al K competir más efectivamente con el Ca y el Mg por las posiciones en el coloide. A mayor cantidad de iones de K adsorbidos en las posiciones intercambiables del coloide, menor K en la solución. La remoción del hidróxido de aluminio de las interláminas de arcilla incrementa el potencial de fijación de K, al incrementarse el pH se aumenta la CIC

dependiente de éste, creando más sitios de adsorción de cationes, incluyendo al K. Un suelo con alto contenido de limo aumenta el Ca y Mg. Todo lo anterior reduce el K en la solución y la pérdida por lavado, (Viera *et. al.*, 2003).

El Sodio (Na) participa en los procesos de regulación osmótica, es un ión fácilmente hidratable, puede sustituir parcialmente al K en algunas de sus funciones en situaciones de deficiencia extrema de éste último, (Sánchez, 2008). Un elevado contenido de Na en la solución del suelo con relación al Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), lo incrementa en el complejo de cambio debido a su baja densidad de carga y elevado radio de hidratación, lo cual puede provocar aumento del espesor de la doble capa difusa con efectos de repulsión entre los coloides provocando dispersión de las arcillas y solubilización de la Materia Orgánica del Suelo (MOS). Su concentración frente al Ca y Mg en la solución del suelo debe ser superior al 70% para que los desplace del complejo de cambio, por su menor energía de adsorción, (Menjivar, 2007).

Las plantas superiores contienen Ca en el orden de 5 a 30 mg de Materia Seca (MS), estas cantidades obedecen a la disponibilidad del mismo en la solución del suelo, más que a la eficiencia del mecanismo de absorción por las células de la raíz, generalmente, la concentración del Ca en la solución del suelo es cerca de 10 veces mayor que la del K, sin embargo, la tasa de absorción es menor que la del K, ello se debe a que el Ca solamente puede ser absorbido por los ápices más jóvenes de la raíz, (Mengel, *et. al.*, 2000). La mayor parte del Ca se localiza extracelularmente donde afecta los procesos básicos en la pared celular estabilizando las membranas celulares e impidiendo la difusión de los componentes citoplasmáticos y regulando la selectividad de la absorción iónica, (Barcena, *et. al.*, 1990).



La dinámica de la absorción del Ca en el híbrido SK-198 se acumuló paulatinamente en la fase vegetativa hasta registrar un máximo de 1,8 kg/ha/día al inicio de la diferenciación floral que coincidió con el periodo de 46 a 53 días después de sembrado. El Ca no se acumuló durante la etapa de plena floración pero su absorción alcanzó un incremento de 1,56 kg/ha/día a partir del llenado del grano, que puede deberse a un alto requerimiento de este elemento durante el proceso de división celular en las etapas señaladas, (Rangel, 2003).

El pH del suelo se refiere a la concentración de iones de hidrógeno activos ( $H^+$ ) en la interface líquida, en interacción entre los componentes sólidos y líquidos. La concentración de iones hidrógeno es clave en los procesos fisicoquímicos y biológicos del suelo, (Castro, 1998).

La acidez excesiva del suelo limita el crecimiento de la plantas debido a los diferentes procesos de interacción que se dan entre los nutrientes químicos, entre ellos, el posible incremento en la concentración de Hidrógeno (H) y en la toxicidad por concentración de Al y Manganeso (Mn), reducción en la concentración de macro nutrientes con deficiencias en Mg y Ca, en la solubilidad del P y Mo e inhibición del crecimiento de la raíz y toma de agua, (Santibáñez, 2006).

Los suelos ácidos se encuentran localizados en regiones de alta pluviosidad debido a que están sometidos a un continuo lavado por las aguas lluvias que disuelven las bases solubles, las cuales se pierden por lixiviación, a ello hay que añadir las que son desplazadas del complejo absorbente por los H, junto con la liberación de los exudados del sistema radical de las plantas al suelo, al igual que los compuestos ácidos que se originan por la degradación de la MOS, sumado a la adición de fertilizantes químicos ácidos que son captados por las plantas, todo ello favorece la acidificación del suelo debido al reemplazo paulatino de las bases cambiables (Ca, Mg, K y Na) por iones de H y Al, (Santibáñez, 2006).

En el departamento de Cundinamarca los suelos dedicados al cultivo de maíz con frecuencia presentan pH inferiores a 5.5 (bajo), presentan altos valores de Materia Orgánica del Suelo (MOS), los niveles de Fósforo (P), el Potasio (K) tienden a ser bajo y altos respectivamente, también tiende a presentar bajos contenidos de Calcio (Ca) y de Magnesio (Mg), (Guerrero, 1998).

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (1989), en Canadá evaluó el porcentaje de CO y la distribución de P y K presente en los primeros 5 cm a de un suelo cultivado con maíz bajo los sistemas de rotación de labranza convencional y reducida, encontraron que el porcentaje de CO fue mayor en el tratamiento con labranza reducida, mientras que los contenidos de P y K no presentaron diferencia significativa entre los dos sistemas de labranza evaluados, citado por (Volverás, 2006).

Mejía (2007), comparó la variabilidad espacial de las características químicas del suelo en un área productiva de palma africana (*Elaeis guineensis* L.) de la finca Ricaurte, plantación Alespalma, ubicada en el cantón de San Lorenzo, Ecuador, mediante la toma de 79 muestras de suelos entre dos lotes, fertilizado y sin fertilizar. Encontró que en ambos lotes, predominan las deficiencias de P, K y B, mientras que los contenidos de Ca son altos e influyen adversamente sobre el comportamiento del Mg y K, además los altos contenidos de MOS inciden en forma positiva sobre la CIC.

Los rangos de las variables con dependencia espacial oscilaron entre 69,12 m y 967 m para K y MOS respectivamente en área no fertilizada. Rangos entre 60 a 100 m presentaron K y B. Sobre el área fertilizada se observó que los rangos varían entre 26 m para el B y P. Las demás variables están por encima de los 100 m sobre el área fertilizada, las variables del suelo presentaron tendencia a la mayor dependencia espacial que puede estar afectada por la aplicación de fertilizantes, (Mejia 2007).

En Chile se evaluaron tres métodos de zonificación estadística (análisis de cluster, Análisis de Componentes Principales (ISCP) y Método del Coeficiente de Variación (ISO), basados en la fertilidad del suelo cultivado de maíz (*Zea maíz L.*), determinaron pH, CE, MOS, N, P y K en 458 muestras de suelo que fueron recolectadas con un promedio de 11,6 muestras/ha. Los sitios de muestreo fueron georeferenciados con lecturas de GPS y el diseño estadístico consistió en el método de grilla aleatorizada no lineada, siendo los puntos desplazados en forma aleatoria desde el centro de cada celda. En cada punto de muestreo se recolectaron 5 submuestras a una profundidad de 20 cm (Santibáñez, 2006).

Los tres métodos de zonificación son similares y adecuados para delinear zonas de manejo homogéneo, sin embargo, en el 77% de los casos no se pudo discriminar los rendimientos. El método ISO aparece como el más simple de utilizar ya que puede ser calculado manualmente, al respecto el autor concluye que es más importante la identificación de las variables que definen el rendimiento que el método de zonificación o la medición de los rendimientos durante varias temporadas como variable directa de zonificación (Santibáñez, 2006).

Álvarez y colaboradores (2004), evaluaron en dos suelos representativos de la Pampa Ondulada de Argentina, la variabilidad de las propiedades químicas como pH, CO, Nitratos y P extractable en la caracterización de la fertilidad, con el fin de estimar el número de submuestras necesarias para no exceder el error experimental, por ello, eligieron dos lotes que estaban cultivados con maíz en el momento de la investigación, uno con labranza convencional y el otro con siembra directa.

Cada lote con una superficie de 100 hectáreas que dividieron en una grilla de cuadrados de 1 hectárea para un total de 100 puntos, en el centro de cada hectárea tomaron una submuestra de suelo de 0 a 30 cm de profundidad de la superficie. Los resultados obtenidos de cada propiedad química evaluada por

submuestra tomada fueron agrupados mediante la técnica de parcela, integrándolas en grupos de 1 a 4 datos, tomando las más separadas en forma heterogénea, (Álvarez *et. al.*, 2004).

Los resultados mostraron que la variabilidad espacial para las propiedades químicas se incrementó en el siguiente orden: pH < CO < Nitratos < P extractable y para no exceder el valor promedio total en una diferencia del 10% con respecto a la media de la muestra se deben tomar entre 3 a 6 submuestras para pH, de 10 a 12 para CO, de 15 a 25 para Nitratos y de 45 a 50 para P extractable. El criterio para tomar 20 submuestras por lote parece ser el adecuado para pH, CO y Nitratos y para P extractable consideran adecuado tomar 50 muestras cada 3 años debido a la baja velocidad del cambio temporal, (Álvarez *et. al.*, 2004).

En la región Pampeana de Argentina, los profesionales del sector agrícola recomiendan tomar de 20 a 30 submuestras de suelo para el diagnóstico de la fertilidad (Roberts, Henry, 2000), pero en la práctica se toman menos submuestras, por ello, se debe realizar un estudio previo que permita conocer la variabilidad de las propiedades químicas a evaluar (Petersen, 1996), citado por Álvarez, (Álvarez *et. al.*, 2004).

Desde el punto agronómico algunos autores recomiendan tomar de 30 a 40 submuestras de suelo, otros de 30 a 110 submuestras por lote de 100 hectáreas, al respecto no hay un criterio predefinido, por ello, se debe profundizar en el estudio de la variabilidad espacial de las propiedades para determinar el número ideal de submuestras óptimas a tomar en la determinación de la fertilidad de los suelos, (Álvarez *et. al.*, 2004).

Rangel (2003), en Venezuela evaluó en el híbrido de maíz SK-198 la relación entre el crecimiento y los patrones de acumulación de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn, para determinar el uso eficiente de los fertilizantes en la nutrición del cultivo, dicha

evaluación constó de 9 muestreos para análisis de tejido foliar de la planta (hojas, tallo, panoja y mazorca) y de contenido de materia seca a lo largo del ciclo del cultivo, desde los 27 días después de la siembra (dds) en la fase vegetativa hasta el día 88 que coincidió con el inicio de la etapa de grano.

El autor concluyó que los periodos críticos de absorción de N se presentan inicialmente entre los 41 y 46 dds cuando la planta inicia la diferenciación floral con una acumulación promedia 5,20 kg de N/ha/día, mientras que el segundo periodo se presentó entre los 76 y 88 dds que coincidió con el llenado del grano, con una acumulación promedia de 6,85 kg de N/ha/día. Estos patrones de acumulación permiten diseñar las estrategias de aplicación fraccionada del N durante el ciclo vegetativo del cultivo, Rangel (2003).

Este estudio demuestra que las respuestas en rendimiento son posibles y en algunos casos altamente probables en sitios donde se aplican los fertilizantes de arranque, en cultivos de maíz sembrados en fecha tardía con híbridos de ciclo largo, ésto se debe a que con esta aplicación se apresura la maduración lo que resulta en un mayor potencial de rendimiento, aun en suelos con contenidos muy altos de P, Rangel (2003).

El cultivo de maíz requiere de 200, 100 y 200 kg/ha de N, P y K respectivamente, incorporando el 100% y el 50% de P y K en la preparación del suelo o al momento de la siembra y 30 días después de sembrado se aplica el excedente e inmediatamente se debe aporcar, (Ospina, 1999).

En Balcarce, Argentina se comparó la acumulación de P y Materia Seca (MS) de un cultivo de maíz fertilizado y sin fertilizar, ello permitió concluir que el P se acumuló en mas del 70% en la fase de floración, mientras que la acumulación de

la MS no alcanzó el 50% del total, lo cual se debe a la absorción temprana de P y a su dinámica en el suelo en etapas iniciales de desarrollo, (García, *et. al.*, 2004).

El híbrido de maíz SK-198 presentó una tasa de absorción del P con acumulación baja y casi constante al inicio del ciclo del cultivo (05 kg/ha/día), para luego duplicar las cantidades acumuladas durante las etapas de diferenciación floral y el llenado de grano. (Rangel, 2003).

Vieira y colaboradores (2003), evaluaron el efecto de la variabilidad espacial de las propiedades del suelo y del rendimiento del cultivo bajo ningún tipo de labranza como una función del tiempo, en dos condiciones de suelo en Sao Paulo, Brasil. Ambos sitios del experimento en campo midieron un área de 6.400 m<sup>2</sup> con 10% de pendiente, en el cual se trazaron 81 puntos medidos a una distancia de 2 x 2.5 m, cada lote fue cultivado con una secuencia de maíz, soja, algodón, avena, avena negra, trigo, centeno, arroz y abono verde, en los suelos se midieron las propiedades químicas y el rendimiento de la cosecha de los cultivos en las temporadas de verano e invierno.

Los mapas de rendimiento fueron comparados con los mapas de las propiedades del suelo, los resultados permitieron concluir que los factores del suelo afectan la variabilidad de los rendimientos de una cosecha a otra, desde uno a otro año indicando que la variabilidad del suelo cambia mucho con el tiempo, los semivariogramas cruzados entre los niveles de fósforo y el rendimiento de soja es otra evidencia de este resultado. Así mismo la distribución espacial del rendimiento de arroz es diferente al rendimiento de la soja. Es posible que las causas que afectaron la variabilidad de rendimiento de arroz no sean las mismas para el cultivo de la soja, (Viera *et. al.*, 2003).

Estudios realizados en Venezuela sobre los requerimientos nutricionales del híbrido SK-198 del cultivo de maíz, permitieron concluir que una producción de 18 toneladas de MS por hectárea puede acumular cerca del 53% de nutrientes para la producción de mazorcas, mientras que el 47% lo acumula en las hojas, tallos y panojas. Este híbrido acumuló 215,6 kg/ha de N, 122,6 kg/ha de K, 58,4 kg/ha de Ca, 45,8 Kg/ha de P y 37,7 kg/ha de Mg, (Rangel, 2003).

En Colombia, para producir una cosecha de tres toneladas de maíz por hectárea, se requiere aproximadamente de 190 kilos de N, 62 kilos  $P_2O_5$  y 124 kilos  $K_2O$ , en el momento de la cosecha alrededor del 70% de N se encuentra en el grano junto con 80% del P y 16% del K, estos porcentajes son los que se retiran del suelo, (Guerrero, 1998).

## 2.4 VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO.

Cuando se mide la variabilidad del suelo los resultados se pueden atribuir a factores tales como, error experimental generado en los muestreos, variación temporal y variación espacial, al parecer esta última es la más importante, Márquez y Cora, (1998), citado por Luengas, (2005). Hay menor variabilidad en las propiedades del suelo en su condición natural que cuando es sometido a uso, (Ovalles, 1992).

Tradicionalmente se ha medido la variabilidad espacial de las características del suelo dividiendo grandes extensiones de terrenos en lotes más pequeños siguiendo patrones de homogeneidad como el relieve, o basados en la experiencia empírica del productor. Con el advenimiento del desarrollo científico esta práctica se complementó con el estudio detallado del suelo, mediante el conocimiento de la relación existente entre sus características actuales con la estructura genética y los factores de formación del mismo, (Ovalles, 1992).

#### 2.4.1 Tipos de Variabilidad.

Muñoz (2005), agrupa la variabilidad espacial en dos categorías, la sistemática que está en función de la geomorfología, factores formadores y manejo y la aleatoria la cual no se relaciona con alguna condición de suelo espacial, citado por Luengas, (2005).

- Variabilidad espacial. Se ocupa de los diferentes cambios que presentan las diversas propiedades del suelo evaluadas por sitio en toda el área del terreno cultivado, estos cambios pueden ser fácilmente vistos en un mapa de rendimiento, para lo cual se necesita recopilar datos en posiciones precisas, (Kreimer, 2003).
- Variabilidad temporal. Muestra los diferentes cambios que presentan las diversas propiedades del suelo, evaluadas por sitio en toda el área del terreno cultivado a través del tiempo ya sea entre meses o años mediante la comparación de un determinado número de mapas del mismo terreno evaluados en el tiempo, (Kreimer, 2003).
- Variabilidad predictiva. Está más relacionada con los errores de administración que con las características biológicas, ésta puede ser calculada midiendo la diferencia entre los valores esperados y los valores realmente logrados, (Kreimer, 2003).

#### 2.5 AGRICULTURA DE PRECISIÓN (AP) O ESPECÍFICA POR SITIO.

La agricultura de Precisión (AP) es la técnica de realizar las prácticas agronómicas requeridas para determinado cultivo de acuerdo con las condiciones particulares que se presentan en cada uno de los sectores del campo, esta metodología se



basa en la variabilidad espacial y temporal de las características del suelo para obtener el máximo rendimiento potencial. Mientras que la producción de los cultivos por sitio específico consiste en hacer el manejo espacial con o sin ayuda de la electrónica realizando el manejo correcto, en el lugar indicado y en el momento oportuno, (Bragachini, 2000).

El manejo por sitio específico de los cultivos es el arte de cultivar el suelo de acuerdo a su variabilidad espacial con o sin ayuda de la electrónica, realizando el manejo correcto en el lugar indicado y en el momento oportuno; mientras que Agricultura de Precisión consiste en automatizar el Manejo Sitio Específico de los Cultivos, usando computadoras, sensores y otros equipos electrónicos, se basa en que los distintos sectores del campo responden de manera diferente a una misma técnica de cultivo aplicada de manera uniforme en toda la extensión del terreno. En tal caso es posible aumentar la productividad de la finca dividiéndola en subzonas, ajustando la técnica del cultivo y las dosis de insumos acordes a las características particulares de cada sub-zona, (Bragachini, 2000).

La investigación de la AP en Colombia la viene desarrollando entidades como Cenicaña, Cenibanano y la Universidad Nacional en las diferentes regiones del país, mediante investigaciones de trabajos de grados sobre evaluación de la variabilidad espacial de las características de suelo y del manejo de la fertilidad en diversos cultivos, liderados por los profesores, Leiva Barón Fabio R., 2003, 2006; Camacho Tamayo Jesús, 2005; Rubiano-Sanabria Yolanda, 2005; Menjivar Juan Carlos, 2007; Madero Edgar, 2000; Baena Diosdado, 2003; Marulanda Edgar, 2003; Martínez Luís Joel, 2003.

En la investigación Agrícola los diseños experimentales en campo son utilizados para minimizar el tamaño del error de los resultados esperados entre los diferentes tratamientos, pero son muy generales, pues sólo se reducen a gran escala,

mientras que los diseños enfocados en el manejo de la AP disminuyen los errores entre tratamientos a pequeña escala, (Bongiovanni, 2002).

## 2.6 GEOESTADÍSTICA

La estadística clásica se sustenta en variables aleatorias admitiendo independencia de los datos para su análisis, en esta metodología el coeficiente de variación provee una buena evaluación de los valores promedios, con la cual no se puede explicar de forma clara y precisa el estudio del comportamiento de la heterogeneidad de las diferentes propiedades del suelo que son de interés agronómico, (Luengas, 2005).

La Geoestadística como rama de la estadística clásica se caracteriza por describir, estimar, predecir y simular la continuidad de fenómenos espaciales de origen natural. Desde el contexto agrícola ayuda a determinar el comportamiento espacial de diferentes variables de interés agronómico, tales como las propiedades del suelo, distribución de plagas y rendimiento de cultivos, entre otras, (Giraldo, 2002).

Esta ciencia se utiliza para analizar e inferir valores de una variable distribuida en el espacio y/o en el tiempo que están correlacionados con otras, al estudio de la correlación se le denomina análisis estructural o modelamiento de variogramas y las inferencias en lugares no muestreados son realizados usando el Kriging, que es un modelo lineal de estimación de valores de una variable en un espacio desconocido basado en datos conocidos, (Giraldo, 2002).

Con la geoestadística se interpretan los datos como variables regionalizadas, como una función numérica con distribución espacial que presenta continuidad aparente que varía entre puntos, estas variaciones son representadas por

funciones matemáticas complejas que pueden expresar la interacción de componentes, a) componente estructural asociado a un valor medio constante, b) componente aleatorio espacialmente correlacionado, c) un error residual o ruido aleatorio, Burrouh (1987), citado por (Rubiano, 2004).

## 2.7 ANÁLISIS MULTIVARIADO DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

El problema de resumir o condensar la información de un conjunto de variables se aborda desde el punto de vista descriptivo, seleccionando de todas las variables las más representativas que sinteticen la información, existen diferentes métodos exploratorios para conseguir este objetivo, siendo el de componentes principales el más utilizado, porque nos indica las dimensiones necesarias para representar adecuadamente los datos con la mínima pérdida de información para entender su estructura subyacente, (Peña, 2002).

Un problema central del análisis de datos multivariados es la reducción de la dimensionalidad, si es posible describir con precisión los valores de  $p$  variables por un pequeño subconjunto  $r < p$  de ellas, se habrá reducido la dimensión del problema a costa de una pequeña pérdida de información, (Peña, 2002).

El ACP se sustenta en  $n$  observaciones de  $p$  variables que se analizan representándolas adecuadamente con un número menor de variables construidas como combinaciones lineales de las originales, por ejemplo, con variables de alta dependencia es frecuente que un pequeño número de nuevas variables (menos del 20% de las originales) expliquen la mayor parte (más del 80%) de la variabilidad original, (Peña, 2002).

## 2.8 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS O DE CLUSTER

El análisis de conglomerados (clusters) tiene como finalidad agrupar elementos en grupos homogéneos en función de las similitudes entre ellos de acuerdo a las observaciones evaluadas o por variables. Se utiliza cuando los datos son heterogéneos y se desea dividirlos en un determinado número de grupos prefijados, de tal manera que cada elemento pertenezca a uno y solo uno de los grupos clasificados, para que todo elemento quede clasificado, buscando homogeneidad interna en cada grupo (Peña, 2002).

Ésta clasificación implica ordenar los datos, de manera que los niveles superiores contengan a los inferiores, lo cual es muy frecuente en investigaciones biológicas cuando se desea clasificar especies animales y plantas entre otros. Este método define la estructura de asociación en cadena que pueda existir entre los elementos; la jerarquía construida permite obtener también una partición de los datos en grupos, (Peña, 2002).

En problemas con muchas variables se debe hacer un estudio exploratorio inicial para dividir y clasificar las variables en grupos o estructuras jerárquicas, mediante el uso de la matriz de datos, con el fin de diseñar modelos formales, teniendo en cuenta que los algoritmos jerárquicos utilizan la matriz de distancias o similitudes entre elementos; para agrupar variables se parte de la matriz de relación entre variables; la cual se construye en variables continuas y discretas utilizando la matriz de correlación y la distancia ji-cuadrado respectivamente, (Peña, 2002).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZACIÓN

Esta investigación se realizó en el lote 7, del Centro Agropecuario Marengo (CAM) de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, el cual tiene una extensión de 97,4 hectáreas, ubicado geográficamente a una longitud norte de  $4^{\circ} 42'$  y a una longitud oeste de  $74^{\circ} 12'$ , y con las coordenadas planas X: 101300 y 1008202, Y: 983350 y 985500 respectivamente. Se encuentra localizado al oeste de Bogotá, en la Vereda San José del Municipio de Mosquera, departamento de Cundinamarca a 20 Km de Bogotá, D. C., por la carretera central del occidente Bogotá a Mosquera, a una altura de 2.547 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de  $13,11^{\circ}\text{C}$  con variaciones en las noches hasta de menos  $0^{\circ}\text{C}$  y más de  $20^{\circ}\text{C}$  en el día en las épocas secas de verano, una precipitación promedio anual de 582,29 mm, y humedad relativa 82,53%, (Torres, 2003).

Para la ejecución del experimento en campo se escogieron dos hectáreas del centro del lote 7, en las cuales se trazó una malla rígida de muestreo compuesta por 32 puntos distanciados entre sí cada 25 m, georeferenciados mediante coordenadas cartesianas (X y Y) eliminando el efecto de borde del lote y demarcados por estacas de 2 metros de longitud (Figuras, 1 y 2). En el área de un metro cuadrado alrededor de cada punto se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0,0 a 20 cm, a las cuales se les realizó análisis de algunas propiedades físicas y químicas en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá D.C.

Figura 1. Plano con la distribución de los puntos que conformaron la malla rígida de muestreo de las 2 hectáreas que se escogieron del lote 7 para el establecimiento del cultivo del maíz para choclo.

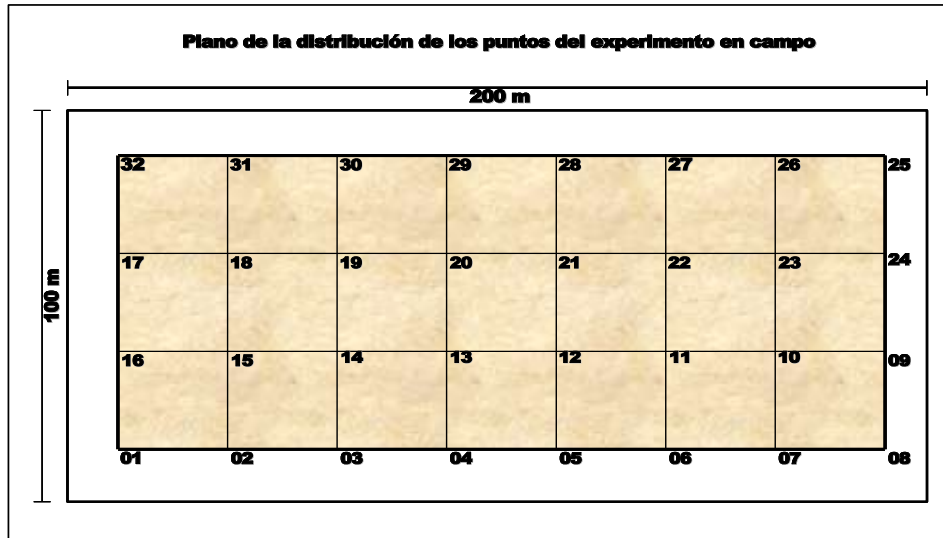
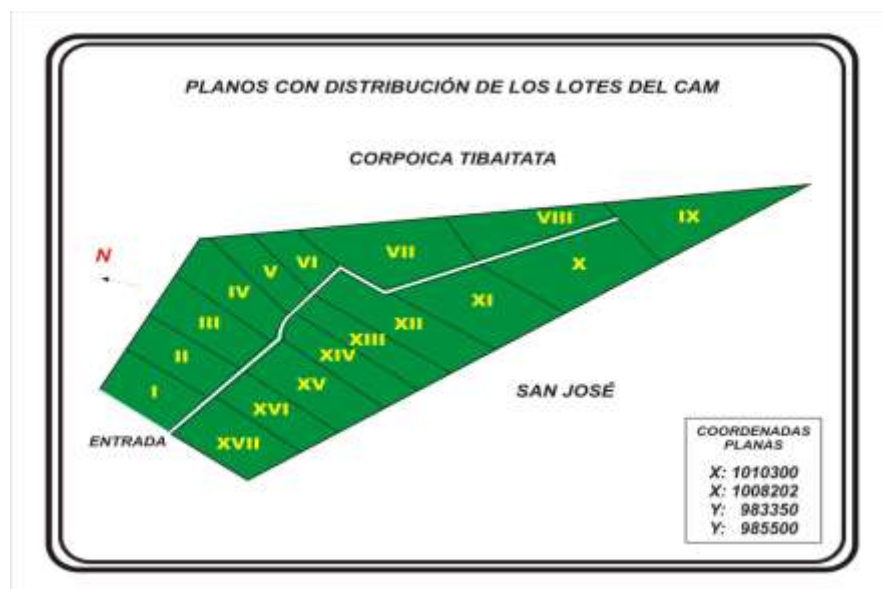


Figura 2. Planos del centro agropecuario marengo (CAM) de propiedad de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá D. C.



El suelo del lote se preparó con labranza convencional mediante cinco pases de rastra californiana y dos de rotovator, se realizó la siembra mecanizada de la variedad ICA V-508 del cultivo de maíz con distancias entre plantas de 0,20 m y entre surcos de 0,90 m., al cual se le evaluó el efecto de la variabilidad espacial de algunas propiedades físicas y químicas del suelo sobre el rendimiento del cultivo para consumo en choclo utilizando las recomendaciones tecnológicas usadas por el productor de la región.

Las propiedades físicas del suelo evaluadas fueron: Textura (T), Densidad Aparente (DA), Densidad Real (DR), Contenido de Humedad (CH), Resistencia Mecánica a la Penetración (RMP), Estabilidad Estructural de los agregados del suelo en Húmedo (EEH) y en Seco (EES), de acuerdo a la metodología presentada en la tabla 9.

Los estudios de la DA, CH y la RMP, se realizaron al inicio del cultivo y posteriormente con una frecuencia mensual. La T se tomó únicamente al inicio del experimento en campo, la DR, la EEH y la EES, se tomaron antes de establecer el cultivo y un mes después de recolectada la cosecha, el Porcentaje de Porosidad (%P) por sitio se realizó antes de la siembra y un mes después de la cosecha a partir del análisis de la DA y DR tomadas individualmente, (Tabla, 9).

Las propiedades químicas analizadas fueron: Materia orgánica (MO), Carbono Orgánico (CO), Nitrógeno (N) disponible, Fósforo (P), bases intercambiables de Potasio (K), Sodio (Na), Calcio (Ca), Capacidad de Intercambio Cationico (CIC), pH., y Conductividad Eléctrica (CE), las cuales se tomaron antes de preparar el suelo y a los 60 días de sembrado el cultivo de maíz, de acuerdo a la tabla 9.

El rendimiento del maíz en choclo se evaluó a los 162 días después de sembrado (dds), cosechando las plantas en un área de 9 m<sup>2</sup> alrededor de cada punto, a cada mazorca en fresco se le pesaron sus componentes (capacho y mazorca) por

separado para obtener el rendimiento por unidad de área, estas mediciones fueron llevadas a t/ha, (Tabla, 9).

Tabla 9. Metodología de laboratorio y de campo empleada para medir las variables físicas y químicas del suelo y el rendimiento del cultivo en choclo.

<b>Metodología de laboratorio para medir las propiedades físicas del suelo antes de establecer el experimento en campo y mensualmente hasta después de recolectada la cosecha.</b>		
<b>Variables</b>	<b>Frecuencia por sitio</b>	<b>Metodología Laboratorio y de campo,</b>
Textura, (T).	Antes de establecer el cultivo,	Método del Hidrómetro
Densidad aparente, (DA).	Antes de establecer el cultivo y luego con una frecuencia mensual	Método del cilindro,
Densidad real, (DR).	Antes de establecer el cultivo y después de la recolección de la cosecha,	Método del picnómetro,
Contenido de Humedad del suelo, (CH).	Antes de establecer el cultivo y Luego con una frecuencia mensual,	Humedad Gravimétrica
Estabilidad Estructural, En Húmedo (EEH) y en Seco (EES).	Antes de establecer el cultivo y después de la recolección de la cosecha,	Método de Yolder 1936
Resistencia Mecánica a la Penetración (RMP).	Antes de establecer el cultivo y luego con una frecuencia mensual	Penetrógrafo de marca Eijkelkamp, cono estándar de 30° y 12.83 mm de diámetro (ASAE)
<b>Metodología de laboratorio para medir las propiedades Químicas del suelo antes de establecer el experimento en campo y 60 días después de sembrado.</b>		
<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método de laboratorio</b>
Carbono orgánico (CO)	% CO disponible	Método de Walkley y Black
Nitrógeno (N) total disponible	% N disponible	Estimado a partir del CO (factor empleado: 0,0862)
Fósforo (P) disponible	Mg/kg	Método de Bray II, Por valoración colorimétrica,
Bases intercambiables: Potasio (K), Calcio (Ca), sodio (Na) y CIC.	Meq /100 gramos de suelo	Extracción con acetato de amonio 1N a pH 7, y valoración por Absorción Atómica,
pH	1:1	Relación suelo: agua (p/v) 1:1, valoración potenciométrica
<b>Metodología de campo para medir el rendimiento del cultivo</b>		
Rendimiento en choclo por punto,	A cosecha,	Manual recolección conteo y pesaje por sitio



Para evaluar los datos obtenidos, inicialmente se realizó un análisis exploratorio mediante estadística descriptiva, con la cual se obtuvo la media, desviación estándar, coeficiente de variación, rangos máximos y mínimos e intervalos de confianza por debajo y por encima del 95% de la media, los resultados se obtuvieron con el empleo del programa estadístico SPSS versión 11 For Windows (Editor de datos).

Mediante el análisis geoestadístico se analizó el valor máximo en que las variables presentaron auto correlación espacial, que sirvieron para determinar las distancias óptimas de muestreo y las bases en la elaboración de los mapas por medio del Kriging ordinario. Este análisis se realizó con el programa GS+ Versión 9.

Para comprender cómo la heterogeneidad espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo evaluadas afectan el rendimiento del cultivo de maíz en choclo, se partió de la teoría general de sistemas, la cual afirma que éstos están conformados por diversos conjuntos de componentes que interactúan entre sí, permitiendo que cada conjunto se comporte como una unidad completa, mientras que la teoría de sistemas complejos argumenta que ciertos fenómenos en la naturaleza emergen únicamente cuando los elementos constituyentes están conectados formando sistemas más complejos.

Partiendo de estos dos conceptos y teniendo en cuenta que por cada variable evaluada se tomaron 32 datos se realizó análisis estadístico multivariado lineal utilizando el programa estadístico SPSS Versión 11, para lo cual se conformaron grupos de variables integrando entre sí las variables físicas del suelo tomadas mensualmente y las químicas antes de la siembra y sesenta días después de sembrado el cultivo en campo.

Durante la ejecución del proyecto se tomó el régimen climático (temperatura, precipitación y humedad relativa), suministrado por la estación meteorológica del

IDEAM ubicada en el Centro de Investigación Tibaitatá de CORPOICA que limita con el CAM, (Tabla, 10).

Tabla 10. Datos climáticos tomados durante el tiempo que duró el experimento en campo

Datos tomados en la estación climática de CORPOICA Tibaitatá								
Mes	Precipitación mm / Mes	Humedad relativa %	Evaporación mm / Mes	Brillo solar	Temperatura en °C			Recorrido/ Viento Prom. / KS, / Hora,
					Media	Máx.	Min,	
Junio	1,66	79,46	2,93	2,92	13,86	19,36	9,48	5,73
Julio	0,45	78,43	2,71	4,68	13,41	19,26	6,54	6,53
Agosto	1,68	76,57	2,93	4,73	13,58	18,56	7,64	7,93
Septiembre	1,10	79,23	3,22	4,90	13,33	19,90	6,50	5,88
Octubre	4,40	85,32	2,87	4,40	13,26	19,21	8,32	5,23
Noviembre	3,30	82,12	2,47	4,00	13,44	19,25	9,24	5,01
Diciembre	1,00	79,15	2,74	5,40	13,10	20,23	6,12	4,33
Enero	6,80	80,21	2,91	6,07	15,03	20,34	5,31	5,76
<b>Promedio</b>	<b>2,55</b>	<b>80,06</b>	<b>2,85</b>	<b>4,64</b>	<b>13,63</b>	<b>19,51</b>	<b>7,39</b>	<b>5,80</b>

Fuente: Terán 2005

### 3.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL SUELO DEL CENTRO AGROPECUARIO MARENGO (CAM).

Según el estudio de suelos de la Sabana de Bogotá realizado por el IGAC (1978), aproximadamente el 44% de los mismos son aptos para la agricultura, presentan encharcamientos constantes y ascensos de sales causados por el drenaje natural restringido que se manifiesta en la reducción severa del desarrollo y rendimiento de los cultivos, siendo la principal limitante de la producción agrícola de la región, citado por (Torres, 2003).

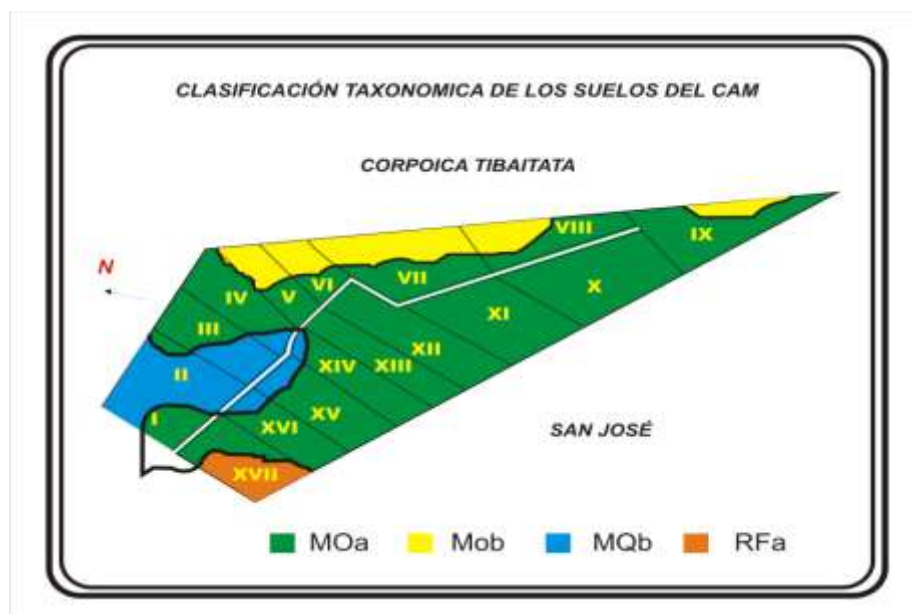
El CAM posee una litología conformada por depósitos superficiales y sedimentos Fluvioacustre levemente contaminada por ceniza volcánica, con un relieve de terraza ligeramente plano y un clima ambiental frío y húmedo, (Torres, 2003).

### 3.2.1 Descripción de la unidad cartográfica del suelo del lote 7.

Según (Torres, 2003). Los suelos del lote 7 del CAM pertenecen a las siguientes unidades cartográficas.

La Serie Marengo (MO) está determinada por un relieve plano con pendiente menor a 3%, el suelo es originado a partir de sedimentos lacustres con ceniza volcánica y drenaje natural pobre e imperfecto, está conformada por la fase *MOc* Marengo Franco arcillo limoso, plano, moderadamente profundo a superficial y ligeramente salino (Figura, 3).

Figura 3. Descripción de las unidades cartográficas de los suelos del CAM



La Serie Mosquera (MQ) es de relieve plano a ligeramente plano, con pendientes entre 0 y 3% de material parental compuesto de cenizas volcánicas sobre arcillas caolínicas de origen lacustre, moderadamente profundo con drenaje imperfecto a moderado, conformado por la fase *MQb* Mosquera franco arcilloso, (Figura 3).

El suelo de esta serie es profundo, de textura arcillosa, con estructura que varía entre granular a bloques sub-angulares, ligeramente plástico, de color pardo oscuro, drenaje natural moderado, con fertilidad moderada y pH muy fuertemente ácido (5,2); corresponde al 37,8% del área total del CAM, su principal limitante para la producción agrícola es el drenaje interno, (Figura 3).

La topografía del CAM es plana, con una pendiente promedio menor del 3%, algunos lotes presentan un micro-relieve bastante irregular con muchas depresiones y desniveles que facilitan las inundaciones en épocas de invierno, el perfil del suelo posee un drenaje interno lento y el externo está entre lento a moderadamente bien drenado, con una profundidad efectiva superficial limitada por una capa endurecida conformada por el horizonte C1, el uso actual es en producción de cultivos transitorios.

### 3.2.2 Descripción morfológica de las características diagnósticas del perfil.

- Clasificación Taxonómica: *Fluventic humic dystrodepts*.

00 - 19 cm	Color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); textura franco arcillosa; estructura en bloques subangulares, media y gruesa, débil a moderadamente desarrollada; consistencia en húmedo friable a firme, en mojado pegajosa y plástica; frecuentes poros finos y medianos, frecuentes raíces muy finas, finas y medias; frecuente actividad de macroorganismos (lombriz); límite difuso y plano; pH 4,8.
19 - 42 cm	Color en húmedo gris muy oscuro (10YR 3/1) con aproximadamente 10 % de moteados pequeños y difusos de color pardo amarillento oscuro (10YR 4/6); textura arcillosa; sin estructura (masiva); consistencia en húmedo muy firme a extremadamente firme, en mojado muy pegajosa y muy plástica; pocos poros muy finos; pocas raíces muy finas, finas y medias; frecuente

actividad de macroorganismos (lombriz); límite difuso y plano; pH 5,0.

- 42-65  
cm  
C2
- Color en húmedo gris muy oscuro (10YR3/1) con aproximadamente 35% de moteados medianos y gruesos de color pardo rojizo oscuro (5YR 3/4), textura franco arcillosa; sin estructura (masiva); consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; frecuentes poros muy finos, finos y medios; pocas raíces muy finas y finas; poca actividad de macroorganismos (lombriz); límite gradual e irregular; leve reacción al NaF; pH 5,0.
- 65- 90  
cm  
C3
- Color en húmedo pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) con aproximadamente 40% de moteados grandes y claros de color pardo amarillento oscuro (10YR 3/4); textura franco arcillosa; sin estructura (masiva); consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; frecuentes poros muy finos y pocos medianos; sin raíces; no se observa actividad de macroorganismos; límite claro e irregular; leve reacción al NaF; pH 5,5.
- 90-120  
cm  
C4
- Capa de arcilla fluvio-lacustre de color en húmedo gris (10YR 6/1) con aproximadamente 25% de moteados medianos a grandes, claros, de color pardo amarillento (10YR 5/8); textura arcillosa, sin estructura (masiva); consistencia en húmedo friable, en mojado muy pegajosa y muy plástica; pocos poros muy finos; no hay presencia de raíces; no se observa actividad de macroorganismos; pH 5,5.

El segundo horizonte C1 (19 a 42 cm, de profundidad) presenta un incremento notable de arcilla respecto de los horizontes supra y subyacente lo cual podría evidenciar un estado transicional hacia un horizonte argílico en formación. Este horizonte presenta un estado de adhesamiento que se evidencia en algunos de los resultados obtenidos con el penetrógrafo, por lo anterior, las raíces de los

cultivos al llegar a la profundidad de 20 cm, encuentran un obstáculo para profundizar, por lo que tratan de encausarse por entre las grietas de los pedos.

Es posible que este horizonte deba su adhesionamiento, no solamente a la concentración de arcilla (posiblemente iluvial), sino además al uso intensivo de maquinaria en condiciones inadecuadas de humedad del suelo. El movimiento del agua dentro del perfil también puede verse afectada por este horizonte, de tal forma que después de lluvias intensas se pueden presentar problemas de encharcamientos periódicos.

Los tres primeros horizontes presentan gran cantidad de bioporos originados por una importante actividad de lombrices, ésto contribuye al mejoramiento del movimiento del agua y profundización de raíces en el horizonte adensado. El tercer y cuarto horizonte (C2-C3) presenta una leve contaminación con ceniza volcánica.

## 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EVALUADAS.

#### 4.1.1 Textura (T) del Suelo.

La Textura (T) del suelo se midió en el primer horizonte del perfil por punto, sobresaliendo la arcillosa y franco arcillosa con 16 muestras para cada una, con una granulometría de los agregados de 38,27%, 30,41% y 31,32% de arcilla, limo y arena, respectivamente. El Coeficiente de Variación (CV) del análisis estadístico de esta variable exhibió para el porcentaje (%) de arcilla valores entre (11,41 a 4.25%), en el % de limo (14,05 a 8.50%) y en él % de arena de (8,06 a 7.65%), presentando baja variación para la arcilla y la arena y media para el limo, demostrando que esta propiedad en el lote es homogénea, (Tabla, 11), (Anexos, A y B).

Tabla 11. Distribución de la textura en porcentaje de granulometría (arcilla, limo y arena) del primer horizonte del perfil del suelo por punto.

Textura de Campo	Puntos	% Granulometría	Media	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza con el 95% de la media	
								Bajo	Superior
Franco Arcillosa	2- 3 - 4 - 5 - 6 - 7 -	Arcilla	34,131	3,895	11,411	27,700	39,000	32,223	36,040
	8 - 10 - 11 - 12 - 13 -	Limo	32,188	4,523	14,051	22,000	40,000	29,971	34,404
	14 - 15 - 26 - 28 - 31	Arena	33,681	2,715	8,061	29,300	40,300	32,351	35,012
Arcillosa	1 - 9 - 16 - 17 - 18 - 19 -	Arcilla	42,413	1,801	4,247	40,100	45,700	41,530	43,295
	20 - 21 - 22 - 23 - 24 -	Limo	28,631	2,433	8,499	24,200	32,000	27,439	29,824
	25 - 27 - 29 - 30 - 32	Arena	28,956	2,216	7,653	25,500	33,300	27,870	30,042

El ligero incremento en el porcentaje de arcilla y limo con relación a la arena permite predecir que todo el lote posee un componente activo y dinámico debido a las características coloidales de las arcillas originadas por su tamaño, que le permite al suelo retener más agua y por ende conservar mejor la humedad en época de verano, muy favorable para el desarrollo del cultivo, sin embargo el exceso de agua en época de invierno puede causar asfixia radical.

#### 4.1.2 Densidad aparente (DA) del suelo.

La Densidad Aparente (DA) evaluada mensualmente por el método del cilindro en el primer horizonte del perfil del suelo a una profundidad de 00 a 20 cm, durante el ciclo del cultivo, presentó un valor promedio de 1,17 g/cm<sup>3</sup> con un CV de 8,1%. Ésta variable no presentó diferencia mínima significativa para un ( $\alpha > 5\%$ ) dentro de las lecturas tomadas en el mes mostrando valores homogéneos, pero si hubo diferencias entre los meses, lo cual demuestra la variabilidad de esta propiedad en el tiempo, (Tabla, 12), (Anexos, A y B).

Tabla 12. Densidad aparente en g/cm<sup>3</sup> tomada mensualmente en los primeros 20 cm de profundidad del suelo por punto.

Mes	Media	Varianza	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza del 95% de la media	
							Bajo	Superior
Julio	1,061	0,009	0,097	0,091	0,910	1,270	1,026	1,096
Septiembre	1,195	0,006	0,077	0,069	0,980	1,300	1,162	1,227
Octubre	1,200	0,018	0,135	0,113	0,990	1,690	1,158	1,222
Noviembre	1,188	0,006	0,075	0,063	1,050	1,320	1,161	1,215
Diciembre	1,204	0,009	0,094	0,078	0,990	1,350	1,166	1,234
Febrero	1,195	0,008	0,089	0,074	1,025	1,391	1,163	1,227
<b>Promedio</b>	<b>1,174</b>	<b>0,009</b>	<b>0,095</b>	<b>0,081</b>	<b>0,991</b>	<b>1,387</b>	<b>1,140</b>	<b>1,203</b>

Al analizar los valores promedios de la DA por mes se observa que en el mes de julio (1,06 g/cm<sup>3</sup>) se obtuvo la más baja DA porque la lectura coincidió con el momento de la preparación del suelo, la cual mejora las propiedades físicas en



superficie, mientras que en diciembre ( $1,20 \text{ g/cm}^{-3}$ ) fue más alta debido a que el suelo se fue compactando a través del tiempo, ocasionado por el cambio del contenido de humedad natural a través del perfil, por la acción de la gravedad, por la presión y peso de los implementos agrícolas, todos los valores muestran varianzas bajas con respecto a la media demostrando que esta variable fue muy homogénea dentro de ellas.

Estos valores están influenciados por el desarrollo del sistema radical del maíz en profundidad y por los altos contenidos de humedad que se presentaron en el lote debido al incremento de la precipitación sobre todo en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre respectivamente.

Pinzón (2003) dice que es difícil establecer valores óptimos o críticos de DA para todos los suelos y cultivos, evidencias empíricas demuestran que valores altos causan una pobre aireación y alta Resistencia Mecánica a la Penetración (RMP) para el desarrollo del sistema radical de las plantas, mientras que los valores bajos incrementan la conductividad hidráulica secando muy rápido la matriz con efectos adversos sobre las plantas, determinar un dato óptimo de la DA depende de muchos factores como, el contenido de humedad del suelo al momento del análisis, el tipo de labranza e intensidad de las operaciones y el tamaño de la muestra.

#### 4.1.3 Densidad Real (DR) del suelo.

La Densidad real (DR) presentó en julio y febrero CVs de 0,94% y 1,17%, valores promedios de  $2,28 \text{ g/cm}^{-3}$  respectivamente, con varianzas bajas, el CV de los datos tomados en ambas muestras mostró una variabilidad alta, demostrando que esta variable es homogénea a través del tiempo, lo cual no justificó tomar lecturas más seguidas, (Tabla, 13), (Anexos, A y B).

Tabla 13. Densidad real en  $\text{g/cm}^{-3}$  tomada en los primeros 20 cm de profundidad del suelo por punto antes de su preparación y después de recolectada la cosecha de maíz.

Mes	Media	Varianza	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza del 95% de la media	
							Bajo	Superior
Julio	2,285	0,0004	0,021	0,936	2,230	2,320	2,278	2,293
Febrero	2,280	0,0007	0,027	1,172	2,209	2,349	2,270	2,289
Promedio	2,282	0,0005	0,024	1,054	2,219	2,334	2,274	2,291

#### 4.1.4 Porcentaje de Porosidad (%P) del suelo.

El Porcentaje de Porosidad (%P) tomado por punto, presentó un CV del 7,83% antes de realizar la preparación del suelo y de 7,94% después de la cosecha que la clasifica de variabilidad baja, los valores promedios distribuidos por lectura día 53,58% y 47,60% respectivamente, mostrando variación significativa entre los valores, sin embargo, se observa un ligera disminución en el tiempo, siendo ligeramente más alta en el primer análisis con respecto al segundo, (tabla 1), lo cual corrobora lo planteado por (Leiva, 2003) en la tabla 8, (Tabla, 14), (Anexos, A y B).

Tabla 14. Porcentaje de porosidad (%P) tomada por punto en los primeros 20 cm de profundidad del suelo antes de la preparación y después de recolectada la cosecha:

Mes	Media	Varianza	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza del 95% de la media	
							Bajo	Superior
Julio	53,576	17,632	4,199	7,830	44,541	60,435	52,06	55,09
Febrero	47,602	14,288	3,780	7,940	39,793	55,138	46,24	48,96
Promedio	50,589	15,960	3,990	7,889	42,167	57,786	49,15	52,02

Al analizar los datos tomados antes de la preparación del lote y después de la cosecha, se observa que el suelo presentó un buen %P después de la preparación, que disminuyó con el tiempo, atribuible a una ligera compactación ocasionada por el peso y presión de la maquinaria agrícola utilizada en la aporcada y cosecha. Según Logsdon y Kaspar (1988), la labranza convencional crea poros cerca de la superficie que contribuyen al movimiento de agua, pero son menos estables y más tortuosos que los creados por la fauna y raíces, citado por (Silva *et. al.*, 2000).

Según Duchaufour (1965), citado por (Montenegro, 2003), cuando un suelo tiene una DA entre 1,0 y 1,2 g/cm<sup>-3</sup> debe presentar un %P entre 55 y 62%, al relacionar estos valores con los resultados obtenidos en el experimento se observa que son bajos. Al comparar el %P con la DA se demuestra que a medida en que disminuye la DA aumenta el %P, lo cual se evidencia en los datos tomados antes de preparar el suelo con relación a la lectura realizada después de la cosecha, debido al efecto negativo ocasionado por el peso y presión de los implementos agrícolas utilizados en la preparación y aporcada.

Según Amézquita (1998) como la labranza causa cambios en la estructura afecta positiva o negativamente la distribución y tamaño de los poros los cuales facilitan el movimiento del agua y aire, esto se logra mediante una labranza constructiva, cuyo fin es favorecer el sistema poroso entre 10 y 15% para macroporos y microporos y de 20 a 25% de mesoporos en los primeros 25 cm para mejorar el espacio poroso en profundidad.

#### 4.1.5 Humedad gravimétrica del suelo evaluada en porcentaje (%H).

El contenido de humedad gravimétrica tomada mensualmente en Porcentaje de Humedad (%H), exhibió para todos los meses CVs menores de 15% indicando

una alta homogeneidad entre los datos tomados por mes, excepto para la última lectura (febrero) que fue del 20% debido a la disminución de la tasa de infiltración. Ésta variable no presentó diferencia mínima significativa para un ( $\alpha > 5\%$ ) dentro de las lecturas tomadas en el mes mostrando valores homogéneos, pero si hubo diferencias entre los meses, mostrando variabilidad en el tiempo, (Tabla, 15), (Anexos, A y B).

Tabla 15. Porcentaje de humedad tomada mensualmente en los primeros 20 cm de profundidad por punto.

Mes	Media	Varianza	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza del 95% de la media	
							Bajo	Superior
Julio	27,860	14,190	3,767	13,522	12,573	33,271	26,502	29,219
Septiembre	32,269	8,468	2,910	9,019	27,900	40,953	31,219	33,318
Octubre	38,560	22,801	4,775	13,861	27,980	47,050	36,838	40,281
Noviembre	28,603	15,721	3,965	12,383	19,890	36,408	27,174	30,033
Diciembre	35,430	21,492	4,636	13,084	26,334	46,263	33,758	37,101
Febrero	20,632	17,115	4,137	20,049	11,565	29,385	19,141	22,124
<b>Promedio</b>	<b>30,559</b>	<b>16,631</b>	<b>4,032</b>	<b>13,653</b>	<b>21,034</b>	<b>38,877</b>	<b>29,105</b>	<b>32,013</b>

Por cada aumento en una unidad del porcentaje de humedad la densidad aparente disminuye  $0,30 \text{ g/cm}^3$ , siendo indicado mediante un modelo lineal con un coeficiente de determinación del 100%, lo cual puede deberse al porcentaje de arcillas presentes en la matriz que favorecen la retención de agua y por ende mejoran la densidad aparente del suelo, (Anexo, B).

Al comparar los valores promedios del %H suministrados mensualmente con los valores promedios de la precipitación mensual, se observa que el %H se debe al invierno y a la acumulación del agua lluvia en el suelo a través del tiempo, siendo mayor en octubre con relación a los demás meses, lo cual es favorecido por factores como, la textura franco arcillosa.

El lote posee un rango de humedad entre medio y alto, que puede deberse a factores externos (topografía, tipo de labranza empleado, precipitación, rocío, sistema de riego y volumen de agua aplicado, entre otros), e internos (textura del suelo, grado de compactación en profundidad, nivel freático).

De cierta manera el cambio de humedad en el suelo, se puede explicar a partir de la génesis que lo clasifica como *Fluventic humic dystrodepts*, con una profundidad efectiva muy superficial, con notable incremento de arcillas, que forman agregados que generan posibles incrementos de la RMP en profundidad, lo cual limita el movimiento del agua dentro del perfil después de lluvias intensas ocasionando problemas de encharcamientos periódicos en épocas de invierno.

Para Jaramillo, (2002), coloides como arcillas, limos, materia orgánica, humus y oxi-hidróxidos de hierro y aluminio influyen positivamente sobre la capacidad de retención del contenido de humedad del suelo, debido a la fuerza constante de retención que éstas ofrecen en el perfil, lo cual disminuyó la DA y la RMP favoreciendo temporalmente el desarrollo del sistema radical de la planta en profundidad. Según (Ramírez, *et. al*, 2000) a medida en que la humedad del suelo aumenta disminuye la resistencia a la penetración.

#### 4.1.6 Estabilidad Estructural del agregado en Húmedo (EEH).

El análisis estadístico del índice de la EEH presentó un valor promedio de 1,29 mm con un CV 13,86%, así mismo, para las épocas en que se tomó esta variable antes de la siembra (julio) y después de la cosecha (febrero) exhibió un CV de 15,89% y 11,84% respectivamente, lo cual explica que no hay variación significativa y que el suelo presenta una alta homogeneidad, que permite clasificar esta variable de estable con predominio de agregados intermedios, (Gómez, 1999).

La EEH evaluada es explicada con un valor promedio de porcentaje de agregación de 72,73% y un CV de 7,96%, (Tabla, 16), (Anexos, A y B). Este porcentaje de agregación ocasiona una deficiente eliminación de agua y permite la formación de peds (terrones) grandes y masivos en lugar de gránulos friables, (Gómez, 1999).

Tabla 16. Índice y porcentaje de estabilidad estructural del agregado en húmedo en mm, tomado en los primeros 20 cm de profundidad por punto, antes de establecer el experimento en campo (julio) y un mes después de recolectada la cosecha de maíz en choclo (febrero).

EE del agregado	Media	Varianza	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo	Intervalo de Confianza del 95% de la media	
							Bajo	Superior
EEH (julio)	1,271	0,036	0,190	15,892	1,062	1,786	0,201	1,34
EEH (febrero)	1,318	0,024	0,156	11,836	1,065	1,645	1,264	1,372
<b>Promedio</b>	<b>1,294</b>	<b>0,030</b>	<b>0,173</b>	<b>13,864</b>	<b>1,063</b>	<b>1,715</b>	<b>0,732</b>	<b>1,356</b>
<b>Porcentaje de la estabilidad estructural del agregado en húmedo tomado en los primeros 20 cm por punto</b>								
EEH (julio)	71,009	57,958	7,613	10,721	47,00	84,400	68,371	73,647
EEH (febrero)	74,444	14,992	3,872	5,202	63,741	81,95	73,102	75,786
<b>Promedio</b>	<b>72,727</b>	<b>36,475</b>	<b>5,743</b>	<b>7,961</b>	<b>55,371</b>	<b>83,175</b>	<b>70,737</b>	<b>74,717</b>

#### 4.1.7 Estabilidad Estructural del Agregado en seco (EES).

El análisis estadístico de la EES presenta valores promedios de 1,61 mm y un CV de 24,45%, los datos tomados en julio y febrero presentaron un CV de 25,09% y 23,80% respectivamente, los cuales no presentan diferencias con predominio de agregados intermedios (Gómez, 1999), (Tabla, 17), (Anexos, A y B).

Estos valores calculados en porcentaje de agregación explican que en julio el valor promedio fue de 77,71% y un CV de 6,33% de los cuales el 68,75% y 31,25% del área total del lote corresponde a un estado de agregación de *media* y *alta*

respectivamente, mientras que en febrero el valor promedio fue de 77,00% con un CV de 6,03%, de este total el 71,87% y el 28,12% del área total del lote corresponden a un estado de agregación de *media* y *alta* según (Montenegro, 2003). Sin embargo, en febrero se observa un ligero incremento del 3,12% del área total para la clasificación de *media* y *alta* respectivamente con relación a los resultados del mes de julio, lo cual muestra el cambio del suelo después del laboreo.

Tabla 17. Índice y porcentaje de estabilidad estructural del agregado en seco en mm, tomado en los primeros 20 cm de profundidad por punto, antes de establecer el experimento en campo (julio) y un mes después de recolectada la cosecha de maíz en choclo (febrero).

Índice de la estabilidad estructural del agregado en seco tomado en los primeros 20 cm por punto								
EE del agregado	Media	Varianza	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo	Intervalo de Confianza del 95% de la media	
							Bajo	Superior
EES (julio)	1,622	0,1656	0,407	25,092	1,033	2,487	1,48	1,763
EES (febrero)	1,605	0,1459	0,382	23,820	1,033	2,487	1,472	1,737
<b>Promedio</b>	<b>1,613</b>	<b>0,156</b>	<b>0,394</b>	<b>24,446</b>	<b>1,033</b>	<b>2,487</b>	<b>1,476</b>	<b>1,750</b>
Porcentaje de la estabilidad estructural del agregado en seco tomado en los primeros 20 cm por punto								
EES (julio)	77,711	24,178	4,917	6,327	68,07	87,9	76,007	79,415
EES (febrero)	77,001	21,567	4,644	6,031	66,733	83,907	75,392	78,61
<b>Promedio</b>	<b>77,356</b>	<b>22,872</b>	<b>4,780</b>	<b>6,179</b>	<b>67,401</b>	<b>85,904</b>	<b>75,70</b>	<b>79,013</b>

Los resultados de la EEH y de la EES no registran cambios significativos del suelo debido a la distribución espacial del porcentaje de arcillas que presenta el lote, siendo una de las características más deseables desde el punto de vista de la productividad por la resistencia a la erosión. La utilización de un sistema de labranza cero en el cultivo de maíz mejora la estabilidad estructural.

Los resultados obtenidos en la evaluación de esta variable depende de las condiciones genéticas del suelo, porque la distribución uniforme de los contenidos texturales con alto porcentaje de arcilla está favoreciendo la estabilidad estructural de los agregados que de cierta manera determinan las características físicas de la clase textural, de acuerdo a lo planteado por Jaramillo, (2002). De otra parte, en suelos francos y arcillosos el sistema radical estabiliza los agregados con una morfología diferente gracias a la ayuda de los agentes biológicos, Braunack y Dexter (1989), citado por (Silva *et. al.*, 2000).

#### 4.1.8 Diámetro Ponderado Medio del agregado en Húmedo (DPMH).

El análisis del DPMH del agregado presenta un valor promedio de 2,82 mm y un CV de 15,90 %, distribuido en los datos tomados antes de establecer el experimento en campo (julio) y después de recolectada la cosecha (febrero) con valores promedios de 2,82 y 2,82 y un CV 20,63 y 11,17 %, respectivamente, (tabla 18), (anexo, 1). Esto permite clasificar el índice de estabilidad estructural del suelo como moderadamente estable con predominio de agregados intermedios (Gómez, 1999), lo cual le da una mediana variabilidad espacial en el tiempo, demostrado en la tabla 8, (Leiva, 2003).

Los resultados del DPMS del agregado presentaron valores promedios de 3,15 y un CV 13,88 %, distribuidos en los datos tomados en julio y febrero, que explican valores promedios de 3,12 y 3,18 mm con un CV de 9,89% y 17,88% respectivamente, con una mediana variación a través del tiempo, (Tabla, 18), (Anexos, A y B).



Tabla 18. Diámetro ponderado medio del agregado en húmedo y en seco tomado en los primeros 20 cm de profundidad por punto, antes de establecer el experimento en campo (julio) y un mes después (febrero) de recolectada la cosecha.

Diámetro ponderado medio del agregado en húmedo tomado en los primeros 20 cm de profundidad por punto								
DPM del agregado	Media	Varianza	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo	Intervalo de Confianza del 95% de la media	
							Bajo	Superior
DPMH (julio)	2,821	0,339	0,582	20,631	1,380	3,859	2,619	3,022
DPMH (febrero)	2,820	0,099	0,315	11,170	2,192	3,544	2,711	2,929
<b>Promedio</b>	<b>2,820</b>	<b>0,219</b>	<b>0,449</b>	<b>15,900</b>	<b>1,786</b>	<b>3,701</b>	<b>2,665</b>	<b>2,975</b>
Diámetro ponderado medio del agregado en seco tomado en los primeros 20 cm de profundidad por punto								
DPMS (julio)	3,125	0,095	0,309	9,889	2,505	3,979	3,017	3,232
DPMS (febrero)	3,182	0,324	0,569	17,881	1,870	4,192	2,984	3,379
<b>Promedio</b>	<b>3,153</b>	<b>0,210</b>	<b>0,439</b>	<b>13,885</b>	<b>2,187</b>	<b>4,085</b>	<b>3,000</b>	<b>3,305</b>

#### 4.1.9 Diámetro Ponderado Medio del agregado en Seco (DPMS).

Con los resultados obtenidos del DPMH y del DPMS de los agregados en julio y febrero respectivamente, se determinó el grado de clasificación del área total del lote para cada variable por mes de acuerdo a lo recomendado por (Montenegro, 2003).

El análisis del DPMH tomado por punto permite clasificar el 59,37% del área total de *moderadamente estable* y el 40,62% restante de *estable* para julio, mientras que para Febrero el 65,62% del área total es *moderadamente estable* y el 34,37% *estable*. Con este ordenamiento del área para cada periodo se observa un incremento en febrero del 6,25% del área total para la clasificación de *moderadamente estable* y *estable* respectivamente, con relación a los resultados del mes de julio, mientras que para la clasificación del área de acuerdo al DPMS del agregado fue para la primera y última lectura de 34,37% y 65,62% de *moderadamente estable* y *estable*, respectivamente lo cual se ajusta a lo recomendado en la tabla 8 por (Leiva, 2003).

Al comparar los valores del DPMS entre los meses de julio y febrero se observa un incremento del CV para febrero, con relación al mes de julio, debido a que el suelo se encontraba cubierto por los residuos de cosecha y el sistema radical de las plantas de maíz, los cuales conservan el suelo y amortiguan el impacto de las gotas del agua lluvia, favoreciendo la estabilidad estructural de los agregados, mientras que para julio el suelo estaba sin cobertura vegetal porque se encontraba en la fase de preparación y siembra, lo cual contribuyó a una menor estabilidad estructural.

El cultivo de maíz influye sobre la estructura del suelo debido al desarrollo del sistema radical y al follaje que lo mantiene cubierto, pero el empleo continuo de implementos agrícolas en la preparación del suelo, puede producir impacto negativo sobre la estabilidad estructural de los agregados porque causa su rompimiento y modifica el %P y la DA.

Cuando los agregados del suelo poseen diámetros menores de 0,5 mm se degrada la estructura y disminuye la relación entre el aire y el agua lo cual limita el crecimiento de algunos cultivos. Al disminuir el diámetro de los agregados se reduce la cantidad de macroporos y se incrementa la cantidad de microporos que ocasionan una menor infiltración del agua a través del suelo.

Tanto la estabilidad estructural como el diámetro ponderado medio del agregado no presentaron diferencias, posiblemente debido al estado de humedad que presentó el lote durante el experimento, siendo favorecida por los altos contenidos de arcilla y el Ca presentes en el suelo. Esta variable demuestra una mediana variabilidad en el tiempo de acuerdo a la clasificación recomendada en la tabla 8, por Leiva, (2003).

#### 4.1.10 Resistencia Mecánica a la Penetración (RMP) del suelo.

La RMP se evaluó tomando los valores promedios en Megapascales (Mpa) cada 10 cm de profundidad, entre 00 a 50 cm del perfil del suelo por punto, lo cuales se compararon con la recomendación sugerida en la tabla 7, por (Amézquita, 1992).

La RMP evaluada en Megapascales (Mpa) presentó valores promedios y CV que variaron en profundidad siendo de 00 a 10 cm de 0,67, CV 64,25%; de 10 a 20 cm de 1,26, CV 35,56%; de 20 a 30 cm de 1,47, CV 32,14%; de 30 a 40 cm de 1,56, CV 33,40%; de 40 a 50 cm de 1,54, CV 34,11%. Los valores promedios permiten clasificar el grado de compactación en cada profundidad evaluada entre *limitante* a partir de los 10 cm de profundidad, y los CVs explican una variación altamente significativa en profundidad, (Tabla, 19), (Anexos, A y B).

Tabla 19. Valores promedios de la RMP tomada en Megapascales (Mpa) a cada 10 cm de profundidad, de 00 a 50 cm por punto.

Profundidad en cm longitudinales	Media	Varianza	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Rango		Intervalo de Confianza del 95% de la media	
					Mínimo	Máximo	Bajo	Superior
00 - 10	0,666	0,258	0,446	64,254	0,125	2,208	0,505	0,726
10 - 20	1,259	0,264	0,461	35,564	0,467	2,525	1,093	1,426
20 - 30	1,473	0,333	0,504	32,140	0,783	2,700	1,292	1,655
30 - 40	1,564	0,339	0,542	33,996	0,733	3,258	1,368	1,759
40 - 50	1,543	0,312	0,535	34,108	0,342	2,817	1,350	1,736

Se ordenaron los valores promedios de la RMP en Mpa tomados mensualmente cada 10 cm entre 00 y 50 cm de profundidad del suelo de todo el lote, lo cual permitió analizar que los meses que presentaron la mayor RMP fueron febrero (1,84), septiembre (1,36), diciembre (1,20), octubre (1,18) y julio (1,17), mientras que noviembre (1,05) obtuvo la menor RMP, estos valores clasifican como *limitante*, (Tabla, 20), (Anexos, A y B).

Tabla 20 Valores promedios de la RMP en Mpa por punto tomada mensualmente cada 10 cm entre 00 a 50 cm de profundidad en el perfil del suelo.

Meses	Profundidad en cm,, longitudinales					Promedio
	00 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40	40 a 50	
Julio	0,559	1,026	1,298	1,447	1,530	1,172
Septiembre	0,741	1,289	1,538	1,642	1,616	1,365
Octubre	0,694	1,092	1,298	1,425	1,414	1,185
Noviembre	0,416	0,925	1,108	1,339	1,452	1,048
Diciembre	0,989	1,025	1,250	1,375	1,356	1,199
Febrero	0,597	2,198	2,348	2,153	1,889	1,837
<b>Promedio</b>	<b>0,666</b>	<b>1,259</b>	<b>1,473</b>	<b>1,564</b>	<b>1,543</b>	<b>1,301</b>

Como la primer lectura se hizo antes de preparar el suelo, se observa que presentó una RMP baja (1,17 Mpa), mientras que el último análisis realizado a los treinta días después de la cosecha de maíz en choclo (febrero), mostró el valor promedio más alto (1,84 Mpa). En este mes el valor de la RMP de 10 a 20 cm de profundidad del suelo fue de 2,2 Mpa; de 20 a 30 cm 2,35; de 30 a 40 cm 2,15 y de 40 a 50 cm 1,89, lo cual demuestra que en este periodo se incrementó la RMP en profundidad con relación a los demás meses siendo clasificada como *extremadamente limitante*.

Todos los valores analizados a partir de los 10 cm de profundidad dieron valores mayores de 1,0 Mpa que clasifican el suelo de *limitante*. La compactación en los primeros 50 cm de la superficie del suelo es dañina, porque aquí ocurre el mayor crecimiento radical de las plantas, citado por (Ramírez *et. al.*, 2000).

Como se puede observar, en el suelo se incrementa la RMP en profundidad, parece ser que se está formando una capa de aradura a partir de los 20 cm, lo cual concuerda con lo expresado por Carter y Colwick (1971) “*el uso continuo de los implementos de labranza mejoran la DA en la superficie del suelo, pero lo compactan en profundidad creando una capa de aradura que limita el flujo de*

*agua y la penetración de las raíces. Este problema se favorece cuando se utiliza la rastra (grada de discos)", citado por Mosquera (2006).*

Al correlacionar la DA con la RMP en los primeros 20 cm de profundidad se observa que por cada aumento en una unidad de la DA la RMP entre 00 y 10 cm y de 10 a 20 cm aumenta 0,49 y 0,39 Mpa siendo indicados mediante los modelos exponencial y polinomial con coeficientes de determinación del 83,40% y 90,42% respectivamente, (anexo,1). Un incremento de la DA se refleja en el aumento de la RMP en profundidad, que puede ser ocasionada por disminución de la materia orgánica, degradación de los agregados o por aplicación de una presión de fuerzas mecánicas inducidas por el peso de la maquinaria agrícola la cual reduce el espacio poroso, (Narro, 1994).

También se observa que por cada aumento en una unidad del porcentaje de humedad la RMP de 00 a 10 cm de profundidad disminuyó 0,40 Mpa; de 10 a 20, 20 a 30, 30 a 40 y de 40 a 50 cm aumentó 0,50, 0,04, 0,05 y 0,03 Mpa, los cuales fueron explicados por los modelos lineal, exponencial y lineal con coeficientes de determinación del 89,20%, 65,40%, 70,80%, 60,90% y 75,40% respectivamente. El aumento de la RMP a partir de los 20 cm de profundidad se debe al aumento del horizonte compactado en profundidad, lo cual disminuye la velocidad de infiltración del agua ocasionando problemas de encharcamiento en superficie (Anexo, B).

Cuando el suelo se compacta se reduce o se destruye el sistema de macroporos los cuales son importantes para el movimiento de agua y aire en el perfil, un suelo sin macroporos presenta condiciones anaeróbicas que reducen la disponibilidad del oxígeno en la etapa de crecimiento del cultivo, ocasionando pérdida de nutrimentos en las raíces y cambios en el metabolismo de las plantas. (Ramírez *et. al.*, 2000).

#### 4.2 PROPIEDADES QUÍMICAS EVALUADAS.

De las variables químicas evaluadas antes de establecer el experimento en campo, las que presentaron un CV entre 30 y 50% fueron K, CE, P y Na, mientras que el %CO, %MO, %N, CIC, pH y Ca presentaron un CV inferior al 30%. El segundo análisis químico realizado a los sesenta días después de sembrado el cultivo de maíz en campo, presentó un CV entre 40 y 50%, para las variables K, Na, CE y las que estuvieron por debajo del 20% fueron %CO, %MO, %N, P, Ca, CIC y pH, (Tabla, 21), (Anexos, A y B).

Tabla 21. Propiedades químicas del suelo evaluadas en el experimento en campo.

Variables	Media	Varianza	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Rango		Intervalo de Confianza del 95% de la media	
					Mínimo	Máximo	Bajo	Superior
<b>Primer análisis realizado antes de establecer el experimento en campo</b>								
pH	5,000	0,014	0,120	2,486	4,810	5,360	4,960	5,044
% CO	3,060	0,272	0,522	17,088	1,760	4,300	2,882	3,238
% MO	5,275	0,812	0,901	17,088	3,034	7,413	4,969	5,582
% N total	0,264	0,002	0,045	17,088	0,152	0,371	0,248	0,279
*P	65,290	426,960	20,663	31,648	36,800	140,100	58,273	72,308
**K	0,888	0,187	0,433	49,391	0,390	1,950	0,732	1,027
**Na	1,170	0,137	0,370	31,581	0,770	2,600	1,049	1,301
**Ca	10,933	1,716	1,310	11,936	8,280	13,750	10,491	11,378
**CIC	24,497	5,350	2,313	9,442	21,000	30,600	23,711	25,282
+CE	0,755	0,078	0,28	37,938	0,47	1,87	0,651	0,843
<b>Segundo análisis realizado a los sesenta días después de sembrado el experimento en campo</b>								
pH	5,169	0,036	0,190	3,674	4,770	5,620	5,105	5,234
% CO	3,27	0,36	0,60	18,32	2,25	4,58	2,25	4,58
% MO	5,634	1,065	1,032	18,317	3,879	7,896	5,283	5,984
% N total	0,282	0,003	0,052	18,317	0,194	0,395	0,264	0,299
*P	129,162	345,514	18,588	14,391	77,600	144,300	122,721	135,602
**K	0,984	0,265	0,515	52,343	0,400	2,580	0,809	1,159
**Na	1,065	0,278	0,527	49,474	0,460	3,650	0,886	1,244
**Ca	10,689	1,788	1,337	12,511	8,000	13,430	10,235	11,144
**CIC	24,850	5,153	2,27	9,130	21,26	29,75	24,077	25,618
+CE	1,245	0,255	0,505	40,529	0,440	3,030	1,074	1,416
* ppm	** meq/100 g/suelo		+ ds/m					

Al comparar los resultados obtenidos tanto en el primero como en el segundo análisis de las propiedades químicas del suelo evaluadas, con la recomendación de Ortega (1996), se observa que el pH es extremadamente ácido, la disponibilidad del %N total para la planta es media por estar el suelo ubicado en clima frío, la presencia del Fósforo (P) es alta por ser mayor de 30 ppm, la comparación de las lecturas presentan un ligero incremento del P, K y pH en el segundo análisis con relación al primero.

La disponibilidad del Potasio (K) es alta por ser mayor de 0,30 meq/100g, con buena solubilidad en todos los valores del pH considerados, la del Ca es alta por ser mayor de 6 meq/100 g, pero su disponibilidad está restringida por el grado de acidez que provoca su lixiviación, (Navarro *et. al.*, 2000), la Conductibilidad Eléctrica (CE) expresa buena disponibilidad de nutrientes, pero permite clasificar el suelo con tendencia a la salinidad, la CIC es alta por ser mayor de 20 meq/100g.

El cultivo de maíz requiere de altos niveles de Nitrógeno (N) para responder con un elevado potencial de rendimiento (Mengel *et. al.*, 2000), en este suelo su disponibilidad es baja de acuerdo a los requerimientos del cultivo de maíz en Colombia (Guerrero, 1998). La labranza convencional reduce el %CO materia prima para la formación del %N Volveras (2006). Cuando en el suelo aumenta el contenido de materia orgánica y el porcentaje de humedad, la resistencia a la penetración mejora, lo cual favorece el desarrollo radicular de la planta (Ramírez, 2000),

El pH incide sobre el rendimiento porque está relacionado con la disponibilidad de los elementos esenciales para la planta, iones como el fósforo, calcio y magnesio son más asimilables a valores de pH mayores de 5,0. La acidez provoca su lixiviación y por esto se presenta una menor disponibilidad en estas condiciones. La disponibilidad del P disminuye a pH inferiores de 6,5 debido a que el hierro y el

aluminio se encuentran más solubilizados, a mayor grado de acidez del suelo mayor precipitación del P como fosfatos insolubles, (Navarro *et. al.*, 2000). El lote a pesar de tener alta disponibilidad de fósforo para la planta no está siendo aprovechado debido al grado de acidez presente.

Al Sodio (Na) se le clasifica su disponibilidad en 4,71% de sodio intercambiable que permite clasificar el lote de medianamente salino, presentando una ligera disminución en el segundo análisis con relación al primero. Según Vélez (2004) entre las causas más probables del grado de salinidad de los lotes del CAM, ésta la calidad del agua de riego por el contenido de sales, junto con la deficiencia en el sistema de drenaje ocasionado por el uso inadecuado de los canales que no están sujetos a un plan continuo de mantenimiento, sumado a la formación de una capa arcillosa a poca profundidad del suelo que dificulta el drenaje manteniendo el nivel freático elevado. El sodio en altas cantidades disponibles en el suelo actúa como dispersante de las arcillas y de la materia orgánica, volviendo la estructura inestable en agua (Mengel *et. al.*, 2000),

El pH influye en el desarrollo de la microbiota del suelo, que es la encargada de convertir la materia orgánica en carbono orgánico, representado en las diferentes formas del Nitrógeno disponible. Suelos con pH muy ácidos o muy alcalinos producen antagonismos insolubles, fijación y/o precipitación de los diferentes iones químicos presentes, lo cual limita la disponibilidad de elementos nutritivos (macro y micro) para las plantas, mientras que suelos con rangos de pH entre 6 a 7 sí facilita esta disponibilidad, (Jaramillo, 2002).

La alta disponibilidad de arcillas junto con los niveles medios de materia orgánica y el pH ácido son los factores que están influyendo para que el suelo de este lote posea una muy buena capacidad de intercambio cationico, debido a que la fracción arcilla, por su actividad y superficie específica, junto con la materia



orgánica facilitan la capacidad de intercambio iónico de los nutrientes entre la fase sólida y soluble del suelo preservándolos de la lixiviación, (Navarro *et. al.*, 2000).

#### 4.3 RENDIMIENTO EN CHOCLO CON CAPACHO EN TONELADAS POR HECTÁREA.

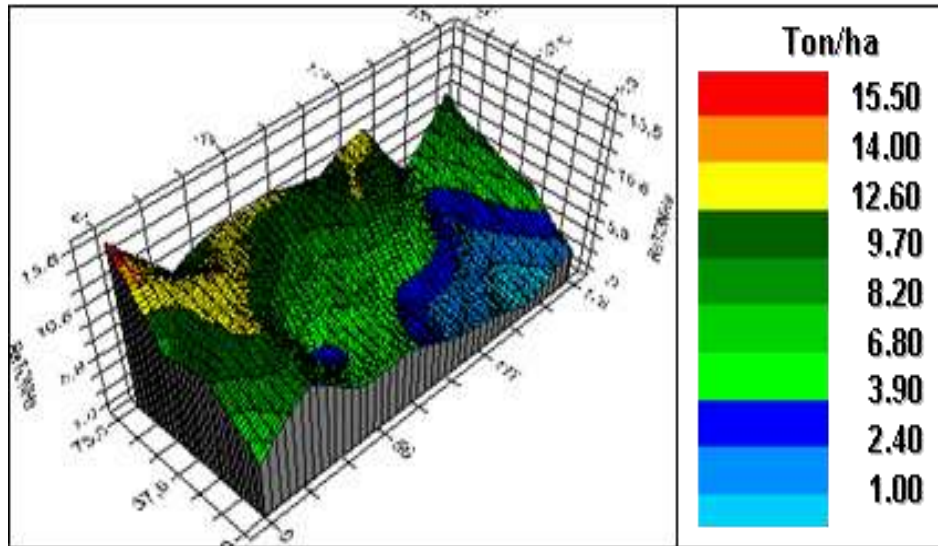
El rendimiento de la cosecha de maíz en choclo por punto dio un valor promedio de 8,40 t/ha con un CV del 49,60%; del 100% de los puntos analizados en el lote, el 25% que corresponde a 8 puntos dio un rendimiento menor de 5 t/ha; el 46,87% con 13 puntos arrojó entre 5 y 10 t/ha y el 28,12% que son 11 puntos produjo una cosecha de 10 t/ha. Éstos rendimientos fueron superiores al promedio de la zona que es de 4,55 t/ha (tabla 22), (Figura, 4), (Anexos, A y B).

Tabla 22. Rendimiento de la cosecha de Maíz en choclo expresado en t/ha por punto.

Variable	Media	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo	Inter./ Conf. 95% /media	
						Bajo	Superior
Nº Mazorcas por punto	273	93,09	34,12	9,000	48,00	2,39	3,07
Peso/ Mazorca con Capacho en g	1,450	516	34,40	30,00	278,00	1,314	1,69
Peso/ Mazorca sin Capacho en g	1,390	643	46,47	12,00	304,00	1,151	1,61
Rendimiento en t/ha	8,40	4,17	49,59	1,09	18,16	6,96	9,85

La disminución de la producción en los cultivos en suelos ácidos se debe con mayor énfasis a los bajos niveles de Ca, Mg y K., al desbalance de la relación Ca/Mg o al exceso de encalamiento con cal común (Guerrero, 1998), situación que no conoce en este estudio porque no se determino el Mg.

Figura 4. Distribución espacial del rendimiento de la cosecha de maíz en t/ha por punto



#### 4.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EVALUADAS.

El análisis de la variabilidad espacial de todas las variables físicas y químicas del suelo evaluadas se realizó con el programa de Gs+ plus versión 9.0, el cual permitió calcular los semivariogramas experimentales y ajustar los modelos teóricos de semivarianza.

##### 4.4.1 Análisis y discusión de la variabilidad espacial de las variables físicas del suelo.

Para determinar el mejor modelo geoestadístico por cada variable evaluada, se realizó un proceso interactivo modificando el lag activo hasta obtener el modelo con mejor ajuste, cuyo valor se dio a la distancia de 125 por 25 m, porque a menor distancia el análisis geoestadístico genera el coeficiente de determinación ( $R^2$ )

con un valor cercano al 100% el cual explica el modelo más adecuado por variable evaluada, después se determinó el análisis de validación cruzada el cual permite estimar valores en sitios no muestreados utilizando el método de interpolación kriging, con el cual se hicieron los mapas para visualizar e interpretar mejor la variabilidad espacial de las propiedades analizadas.

Los modelos que mejor explicaron el comportamiento de la variabilidad espacial de las variables físicas fueron. El *Esférico* para el % de arena, DA, DR, %P, %H, EEH, EES, DPMH, RMP de 20 a 30, 30 a 40 y de 40 a 50 cm de profundidad, seguido del *Gaussiano* para el % de arcilla, % de limo y DPMS con estacionariedad fuerte, mientras que la RMP de 00 a 10 y de 10 a 20 cm de profundidad presentó un modelo *lineal* de independencia con efecto de pepita puro con carencia de auto-correlación espacial entre las observaciones, (Tabla, 23), (Anexo, C).

Teniendo en cuenta que la distancia en que se tomaron las variables físicas fue de 25 m x 25 m, el alcance o rango efectivo dentro del cual se mantiene la dependencia espacial fue para el % de arcilla, de limo y de arena, DA, DR, DPMH, DPMS, RMP de 10 a 20, de 20 a 30, de 30 a 40 y de 40 a 50 cm de profundidad, presentando un *nugget* relativo menor del 25% que indica una fuerte dependencia espacial; el %P, %H, EEH y la RMP de 10 a 20 cm, dio un *nugget* entre 25% y 75% que exhibe una moderada dependencia espacial o de rango medio, mientras que la EES presentó un *nugget* mayor de 75% con una débil dependencia espacial o de rango alto. Esta clasificación se realizó de acuerdo a los parámetros recomendados por Cambardella *et. al*, (1994) citado por (Rubiano, 2004).

Tabla 23. Modelos teóricos ajustados de acuerdo a los semivariogramas experimentales de las variables físicas por punto.

Lectura por Variable	Modelo	Efecto Nugget (C <sub>0</sub> )	Meseta C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub> Varianza estructural	Nugget Relativo (%)	Rango (m) distancia	R2	C/C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub>	Dependencia Espacial	SS Residual
% de Arcilla	Gaussiano	0,100	36,580	0,273	69,975	0,951	0,997	Muy-alta	17,900
% de Limo	Gaussiano	0,010	20,300	0,049	58,024	0,939	1,000	Muy-alta	4,100
% de Arena	Esférico	0,010	11,900	0,084	62,300	0,638	0,999	Muy-alta	8,080
DA en g/cm <sup>3</sup>	Esférico	0,001	0,004	20,476	131,800	0,652	0,793	Media alta	3,73E+18
DR en g/cm <sup>3</sup>	Esférico	0,000	0,001	32,609	316,800	0,730	0,676	Media alta	5,89E-08
%P	Esférico	3,270	9,163	35,687	120,900	0,914	0,643	Media alta	46,890
%H	Esférico	0,430	5,663	7,593	74,200	0,383	0,924	Muy-alta	6,390
EEH	Esférico	0,430	5,663	7,593	74,200	0,383	0,924	Muy-alta	6,390
EES	Esférico	2,860	20,130	14,208	82,700	0,924	0,858	Alta	31,500
DPMH	Esférico	0,000	0,126	0,079	98,600	0,846	0,999	Muy-alta	8,99E-04
DPMS	Gaussiano	0,064	271,600	0,024	117,260	0,952	0,752	Media alta	2,16E-04
RMP (00 - 10 cm)	Lineal	0,205	0,205	100,000	179,341	0,590	0,000	baja	0,047
RMP (10 - 20 cm)	Lineal	0,416	0,416	100,024	179,341	0,575	0,000	baja	0,094
RMP (20 - 30 cm)	Esférico	0,038	0,160	23,438	53,200	0,988	0,759	Muy-alta	7,97E-05
RMP (30 - 40 cm)	Esférico	0,000	0,097	0,103	43,500	0,033	0,999	Muy-alta	4,45E-03
RMP (40 - 50 cm)	Esférico	0,001	0,124	0,727	38,700	0,018	0,993	Muy-alta	4,01E-03

El comportamiento de la variabilidad espacial se ve afectado de una manera importante por la escala de trabajo. Cahn *et. al*, (1994). Rogowski y Wolf (1994), encontraron que la escala de trabajo cambia las propiedades de los semivariogramas, presentando más ruido o dispersión en la distribución de los datos y mayor ciclicidad en el semivariograma a medida en que se aumenta el espaciamiento entre muestras, citados por (Mejía, 2007).

El análisis de la variabilidad espacial de los coeficientes de determinación R<sup>2</sup> de los modelos en todas las variables físicas, demostró que la mayoría de éstas presentaron valores mayores del 0,5% y que el modelo seleccionado en cada caso presentó una semivarianza de más de un 50%, indicando una alta confiabilidad, excepto en variables como él %H, EEH y la RMP de 20 a 30, de 30 a 40 y de 40 a 50 cm de profundidad.

Como la ecuación  $C/(C_0+C)$  es una medida de la dependencia espacial, lo ideal es que  $C_0$  sea igual a cero, este valor permite que la ecuación  $C/(C_0+C)$  se transforme en  $C/C = 1$ , que representa una alta dependencia espacial, por lo tanto, en la medida en que se incrementa el valor obtenido de  $C_0 > 0$  se obtiene como resultado final de  $C/(C_0+C)$  un valor cada vez  $< 1$ , tendiendo a cero, esto califica la variable evaluada con baja dependencia espacial.

Los semivariogramas presentaron diferencias en los parámetros geoestadístico, la interpretación de la capacidad predictiva de los modelos de interpolación del Kriging se realizó mediante el análisis de validación cruzada cuyo valor estableció la relación entre los valores observados de las variables evaluadas con sus respectivos valores estimados. La eficiencia del modelo se calculó en términos del coeficiente de regresión, desviación estándar, coeficiente de determinación, intercepto con el eje Y y desviación estándar de predicción.

El coeficiente de regresión entre los valores actuales y estimados para la condición ideal debe ser igual a 1. Las variables físicas evaluadas que presentaron mayor grado de pendiente fueron; para el % de arcilla, % de limo, DA, %P, %H, EEH, DPMH, DPMS, RMP de 20 a 30 y de 40 a 50 cm de profundidad del suelo, excepto para la DR, EES y la RMP de 00 a 10 y de 10 a 20 cm de profundidad que mostraron menos grado de pendiente, (Tabla, 24), (Anexo, C).

Los valores mayores de coeficientes corresponden al % de arcilla, DPMH, DPMS, %H y la EEH, lo cual garantiza un mayor grado de confiabilidad en el cálculo de la interpolación en comparación con las demás variables evaluadas. La interpretación del comportamiento espacial de cada variable evaluada, se realizó mediante mapas de contorno, como el de la figura 4 que muestra el rendimiento de la cosecha en choclo en t/ha por punto.

Tabla 24. Validación cruzada de las variables físicas evaluadas por punto.

Variable	Coficiente regresión	SE	R2 (%)	Intercepto	S/Predicción
% de Arcilla	1,893	0,264	0,632	-33,981	3,195
% de Limo	132,000	0,463	0,213	-971,000	3,551
% de Arena	0,755	0,227	27,000	76,000	2,922
DA en g/cm <sup>3</sup>	0,937	0,215	0,387	7,000	0,043
DR en g/cm <sup>3</sup>	0,344	0,603	0,011	15,000	0,023
%P	0,867	0,315	0,201	677,000	2,486
%H	0,967	-0,206	0,423	97,000	1,755
EEH	0,967	0,206	0,423	0,423	1,755
EES	0,619	0,259	16,000	2,702	3,897
DPMH	0,866	0,171	0,462	38,000	0,238
DPMS	1,243	0,233	0,486	88,000	0,321
RMP (00 - 10 cm)	-0,255	0,846	0,003	8,000	0,487
RMP (10 - 20 cm)	0,261	0,819	0,003	151,000	68,000
RMP (20 - 30 cm)	0,998	0,269	0,314	1,000	0,253
RMP (30 - 40 cm)	0,451	0,281	0,079	87,000	0,308
RMP (40 - 50 cm)	1,029	0,489	0,129	-2,000	0,329

#### 4.4.2 Análisis y discusión de la variabilidad espacial de las variables químicas del suelo.

Para escoger el mejor lag activo del mejor modelo geoestadístico se empleó la metodología descrita en las variables físicas, mostrando que el modelo que mejor explicó el comportamiento de la variabilidad espacial de las variables químicas fue el Gaussiano para %N total, P, K, CIC y CE, seguido del Exponencial para pH, %CO y %MO y el Esférico para el rendimiento de la cosecha, el Ca y Na, (Tabla, 25), (Anexo, C).

Como la distancia en campo a la que se tomaron los datos de las variables químicas fue la misma que se utilizó para las variables físicas, el alcance o rango efectivo dentro del cual se mantuvo la dependencia espacial fue para pH, %CO, %MO, %N total, %N disponible y CE un *nugget relativo* menor del 25% indicando una fuerte dependencia; el P, K y la CIC mostraron una moderada dependencia o rango medio con un *nugget* de 25% a 75%; el Ca y el Na presentaron una débil

dependencia o rango alto con un *nugget mayor* de 75%. Entre más pequeño sea el rango más cerca se está del modelo de independencia espacial, Giraldo, (2002), (tabla, 25), (Anexo, C).

Tabla 25. Modelos teóricos ajustados según los semivariogramas experimentales de las variables químicas por punto.

Lectura por Variable	Modelo	Efecto Nugget (C <sub>0</sub> )	Meseta C <sub>0</sub> + C1 Varianza estructural	Nugget Relativo (%)	Rango (m) distancia	R2 (%)	C/C <sub>0</sub> + C1	Dependencia Espacial	SS Residual
Cosecha	Esférico	0,0100	14,440	0,069	96,900	0,988	0,999	Muy alta	0,603
pH	Exponencial	0,0018	0,0189	9,873	75,600	0,989	0,901	Muy alta	1,9940E-07
% CO	Exponencial	0,0010	0,551	0,181	337,500	0,976	0,998	Muy alta	6,6180E-04
% MO	Exponencial	0,0010	1,668	0,060	345,900	0,976	0,999	Muy alta	5,7800E-03
% N Total	Gaussiano	0,0031	0,015	20,378	107,560	0,921	0,796	Media alta	3,9910E-06
*P	Gaussiano	2,380	8,870	26,832	221,703	0,953	0,732	Media alta	2,243
**K	Gaussiano	99100	27690	35,789	223,435	0,923	0,642	Media alta	2,82E+10
**Ca	Esférico	100,0	36,29	275,5	69,00	0,724	0,997	Muy alta	6,2900E+07
**Na	Esférico	100,0	36,29	275,5	69,00	0,724	0,997	Muy alta	6,2900E+07
**CIC	Gaussiano	2,360	8,729	27,036	224,127	0,862	0,730	Media alta	0,678
+CE	Gaussiano	0,006	0,117	5,281	46,072	0,726	0,947	Muy alta	2,7460E-04
* ppm		** meq/100g/suelo				+ ds/m			

La variabilidad espacial de los coeficientes de determinación R<sup>2</sup> de los modelos de las variables químicas mostraron valores mayores del 0,5; el modelo seleccionado en cada variable explica la variabilidad de la semivarianza en más de un 50%, indicando una alta confiabilidad, lo que no sucede en las variables Ca y Na. La relación entre la meseta y la pepita de los modelos teóricos generados para cada variable presentó valores inferiores al 50% lo cual explica bien la realidad.

La ecuación C/(C<sub>0</sub>+C) en la interpretación de los resultados obtenidos de las variables químicas presentó dependencia espacial *muy alta* para cosecha, pH, %MO, Ca, Na y CE; *media alta* en %N total, P, K y CIC; todas mostraron mayor grado de pendiente, excepto el K. Los mayores coeficientes de determinación corresponden a la cosecha, al pH, %CO, %MO, %N total, P, K y CIC, lo cual

garantiza un mayor grado de confiabilidad en el cálculo de la interpolación en comparación con las demás variables evaluadas, en los mapas univariados se encontraron patrones de comportamiento similar entre la distribución espacial del rendimiento con variables químicas como el %CO, Ca y CIC.

El coeficiente de regresión de las variables químicas evaluadas que presentaron mayor grado de pendiente fueron, para el % CO, %MO, P, K, Ca, Na, CIC y CE, garantizando un mayor grado de confiabilidad en el cálculo de la interpolación en comparación con la cosecha, pH y %N total que mostraron menor grado de pendiente, mientras que los valores mayores de coeficientes de determinación corresponden al %CO y %MO en comparación con las demás variables evaluadas, (Tabla, 26), (Anexo, C).

Tabla 26. Validación cruzada de las variables químicas por punto.

Variable	Coefficiente regresión	SE	R2 (%)	Intercepto	S/Predicción
Cosecha	0,806	0,167	0,437	1,540	2,7050
Ph	0,728	0,483	0,07	1,390	0,128
% CO	1,102	0,118	0,744	-0,310	0,274
% MO	1,100	0,118	0,745	-51,000	0,471
% N Total	0,379	0,390	0,031	0,170	0,117
*P	1,063	0,174	0,554	-26,980	49,372
**K	1,151	0,215	0,487	-111,540	293,401
**Ca	1,079	0,182	0,539	-40,45	123,969
**Na	1,079	0,182	0,539	-40,450	123,969
**CIC	0,978	0,153	0,576	0,600	1,459
+CE	1,230	0,487	0,176	-0,250	0,309
* ppm		** meq/100g/suelo		+ ds/m	

#### 4.5 ANÁLISIS DE LOS MAPAS QUE EXPLICAN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS VARIABLES EVALUADAS.

Con el estudio de las propiedades del semivariograma de las variables evaluadas, se realizaron los gráficos de la distribución espacial de cada variable, los cuales se



produjeron mediante la técnica de interpolación y predicción utilizando el Kriging, porque permite obtener con mayor precisión las estimaciones con el mínimo error; las áreas de los mapas fueron identificadas por colores, siendo el rojo y naranja los que explicaron los sitios que dieron valores altos, el verde representó a los valores medios, mientras que los puntos con bajos resultados fueron mostrados con el azul, (figuras 5, 6, 7, 8).

La figura 5 presenta la distribución espacial del porcentaje de arcilla (a), limo (b) y arena (c) en todo el lote, la arcilla mostró un comportamiento inverso con relación a los contenidos de limo y arena, porque cuando ésta fue alta, la distribución del limo y la arena fue baja en el área analizada; los valores promedios de la DA de acuerdo a la figura 5d fue baja en los puntos que mostraron altos niveles de arcilla y alta en las áreas con mayor disponibilidad de limo, igual situación se presentó con la DR (5e); el valor promedio del porcentaje de porosidad (5f) fue alta en las áreas que mostraron mayor disponibilidad de arcilla.

Al comparar los contenidos texturales con los valores promedios obtenidos del porcentaje de humedad presente de la figura 6a, fueron altos en las áreas que dieron altos contenidos de arcilla, en comparación con los puntos que presentaron altos niveles de arena y limo; la distribución de los valores promedios de la EEH y EES de la figura 6 graficas b y c, dieron un ligero aumento en las áreas con mayor arcilla; la RMP en profundidad fue más baja en los puntos que presentaron mayor cantidad de arena con relación a los demás sitios muestreados, de acuerdo a las graficas d, e, f y a y b de la figura 6.

Al relacionar los contenidos texturales con la disponibilidad del porcentaje de MO en todo el lote de acuerdo a la figura 7c, se evidenció mayor disponibilidad en las zonas que mostraron altos niveles de arcilla con relación a los sitios que mostraron altos niveles de limo y arena, lo cual mejoró la disponibilidad del porcentaje de Nitrógeno total (%N) según la figura 7e, junto con la CIC de la figura 8d.

Los sitios que mostraron bajos niveles de MO coincidieron con las zonas que presentaron baja disponibilidad del P, K, Ca, Na, CE, presentes en la figuras 7f, 8a, 8b, 8c 8e, respectivamente; mientras que con el pH figura 7d los resultados fueron inversos, ya que en donde hubo mayor acidez la MO fue baja; en las regiones en que la DA, %H y la RMP de 00 a 20 cm de profundidad (figuras 5d, 6a, 6d, 6e) fue media bajo la disponibilidad de la MO, así mismo no se presentó ninguna similitud con la distribución de la EEH y EES (6b y 6c).

La distribución de la MO en el lote, muestra una relación positiva con el porcentaje de nitrógeno total (%N). Debido a la acción de los microorganismos sobre la misma, se favorece la disponibilidad del nitrógeno para la planta. La actividad microbiológica está ligada al pH del suelo, porque por debajo de 5.0 se afecta alterando la disponibilidad del nitrógeno que depende de la mineralización de la MO presente, con efectos adversos sobre la disponibilidad del P y la CIC, (Burbano 1994). Las propiedades físicas del suelo dependen de la textura, del tamaño de las partículas y del área superficial que presentan, las cuales pueden ser modificadas por la MO porque favorece la formación de agregados, disminuye la DA, mejora la porosidad y la RMP, (Narro, 1994).

El mapa de la figura 7f explica la distribución uniforme del valor promedio de la disponibilidad del P presente en todo el lote, mostrando un ligero incremento en las regiones que dieron mayor disponibilidad de arcilla, en comparación con las zonas que presentaron altos niveles de arena y limo, siendo más bajo en los puntos que mostraron alto niveles de Ca y grado de acidez; un suelo con pH por debajo de 5.0 aumenta la solubilidad del Aluminio (Al) y del Hierro (Fe), los cuales precipitan el P en forma de compuestos insolubles no aprovechables para las plantas (Lora, 1998)

La baja disponibilidad de P en algunos puntos del lote evidenció una similitud con el bajo valor promedio del %N; en los sitios que mostraron alta disponibilidad de K, CIC, Ca, %MO, P, Na y CE, fue mayor el rendimiento de la cosecha, en comparación con los demás sitios; no hubo relación entre el P con el valor promedio de la DA ni con el %H de la figura 6a ni con EEH y EES; igual situación se presentó con la RMP del suelo en los primeros 20 cm de profundidad a pesar de se presentó disminución en los sitios cuya RMP fue baja entre los 10 y 20 cm de profundidad.

De acuerdo con la grafica 8a la disponibilidad del K mostró una distribución uniforme en aproximadamente el 75% del área del lote, siendo más alta en los sitios con mayor contenido de arcilla. Suelos ricos en arcillas 2:1, con alta humedad limitan la disponibilidad del K porque al fijarlo lo atrapan en las interláminas Lora, (1994).

Al comparar la distribución del K con la disponibilidad de MO, P, Ca, Na, CIC y la CE en el lote, se observa que todos tuvieron un comportamiento similar, porque en los sectores que mostraron baja disponibilidad de éste elemento también lo fue para los demás. Para Guerrero, (1994) la pérdida de K en el suelo se debe a factores como: a) Tipo y cantidad de arcilla; b) CIC; c) Condiciones de drenaje; d) volumen de precipitación pluvial o de riego; e) Condiciones del cultivo

El grafico 8b muestra como el 20% del área total del lote, dió una baja disponibilidad de Calcio (Ca) sobre todo en los puntos que mostraron mayor porcentaje de arena, pero con un comportamiento inverso en las zonas de mayor dominancia de las arcillas. Se observa una similitud entre la distribución del Ca y la MO por área, ya que ambos elementos presentan baja disponibilidad en los mismos sectores del lote, lo cual disminuye la estabilidad estructural de los agregado del suelo. Estos elementos interactúan favoreciendo la agregación (Castro, 1998).

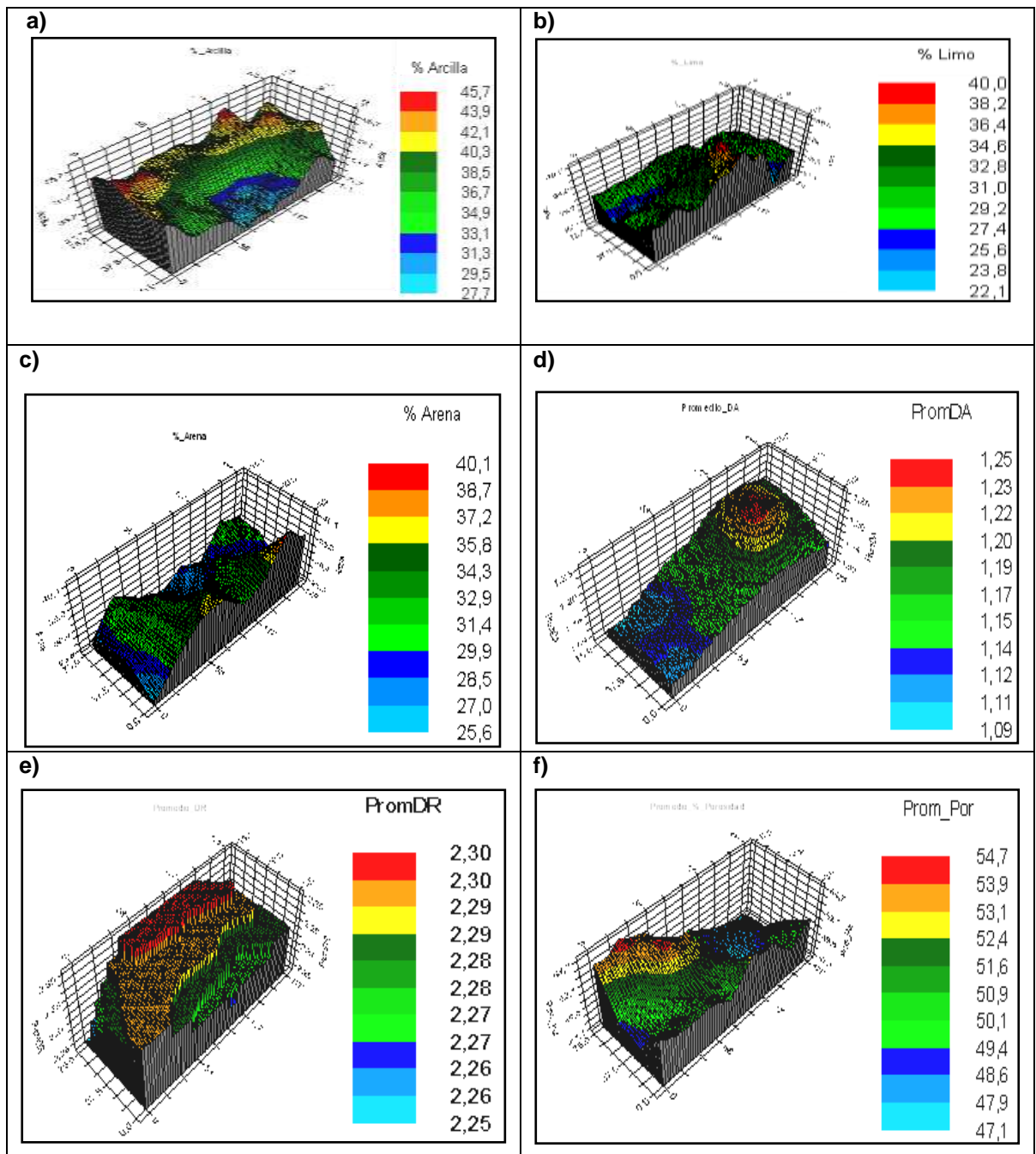
El Sodio (Na) se encuentra distribuido aproximadamente en el 90% de toda el área del lote, mostrando valores bajos en las áreas con mayor disponibilidad de arena con relación a los sitios altos en arcilla, al compararlo con la distribución del Ca según el mapa 8b en aproximadamente el 20% del área presenta baja disponibilidad, reflejando formación de un horizonte sódico; su relación con la CE de acuerdo a la grafica 8e presenta un comportamiento similar en aproximadamente el 60% del área total, sobre todo en las regiones en que el Na estuvo presente; en zonas con alta disponibilidad de arcilla mostró una mediana disponibilidad de Na y conductibilidad eléctrica.

La distribución del pH de acuerdo al mapa de la figura 8e fue alta en los sitios con alta disponibilidad de arena y con baja presencia de Ca; su relación con la CIC de la grafica 8d fue baja en los sitios que mostraron alto grado de acidez, los cuales coinciden con las áreas que dieron mayor contenido de arena; así mismo se observa una relación directa entre el pH con el Na y la CE.

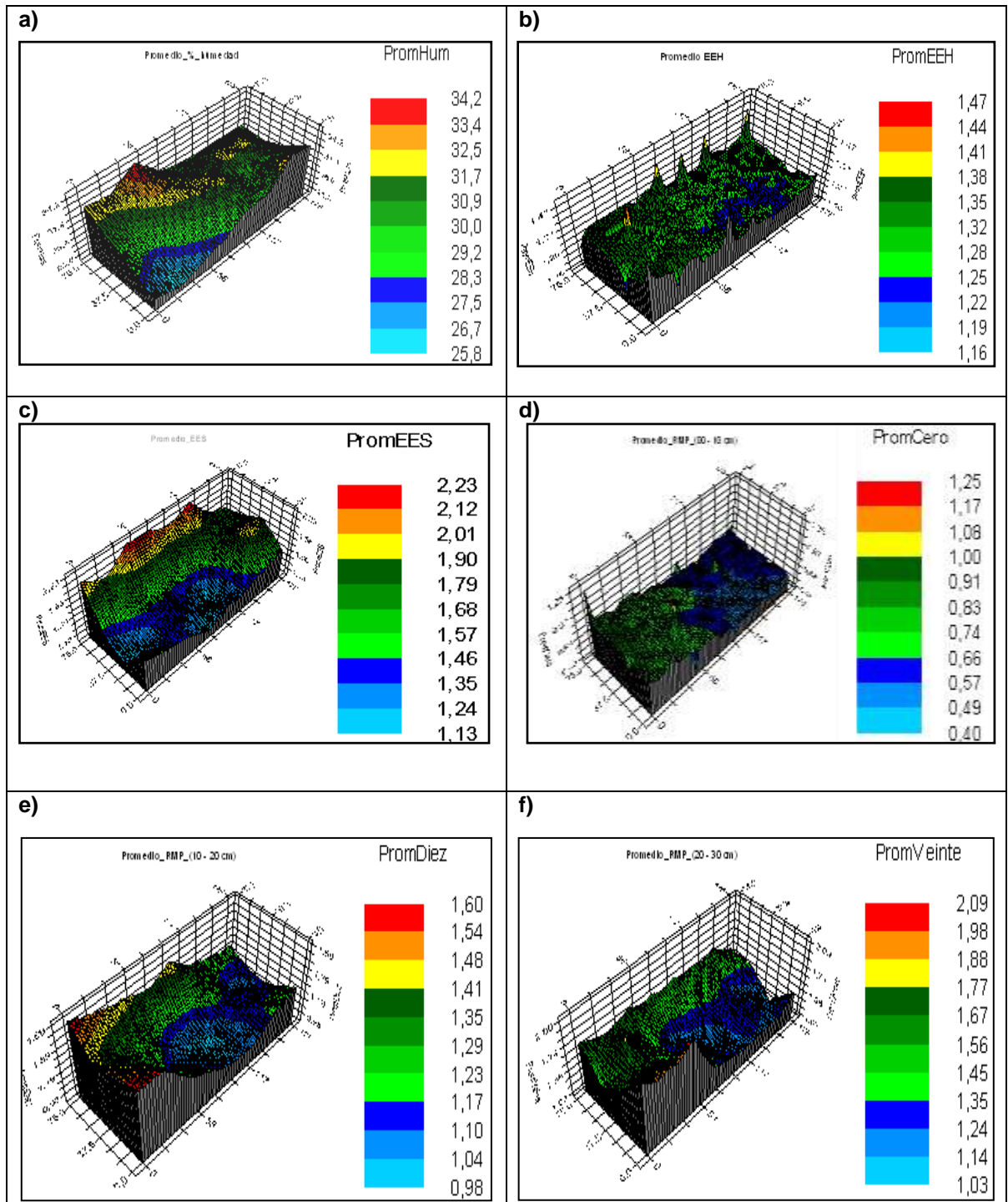
La CE de la figura 8e, fue más baja en las áreas que presentaron mayor contenido de arena con relación a los sitios con disponibilidad de arcilla y limo; igual situación se presentó al compararla con el pH; con la CIC se presentó una relación positiva porque dieron una distribución similar en todos los puntos dando una disponibilidad igual en los mismos sectores al igual con el sodio.

Los resultados descritos destacan la importancia de la textura del suelo y su influencia en características físicas como la densidad aparente, la cual mejoró en los sitios con mayor disponibilidad de arcillas con efectos positivos en las demás propiedades, en comparación de las zonas con más limos y arenas. También contribuyó en el mejoramiento de las características químicas por sitio, al aumentar la CIC, lo cual favoreció el rendimiento del cultivo.

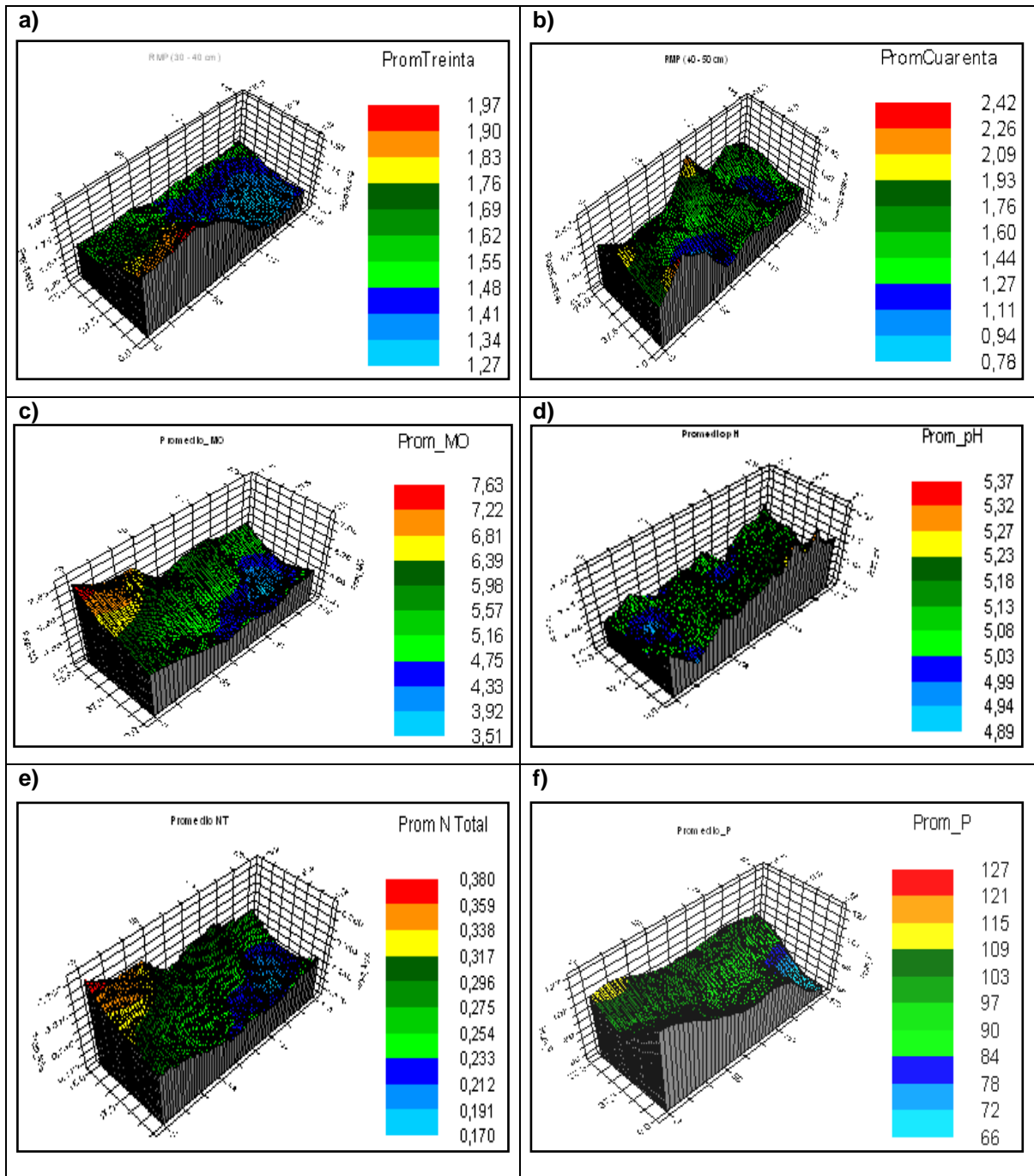
**Figura 5.** Mapas de la distribución espacial: del % Arcilla (a), % Limo (b) y % de Arena (c) y de los promedios de la DA (d), DR (e) y del %P (f) respectivamente, calculado por el método de Kriging ordinario.



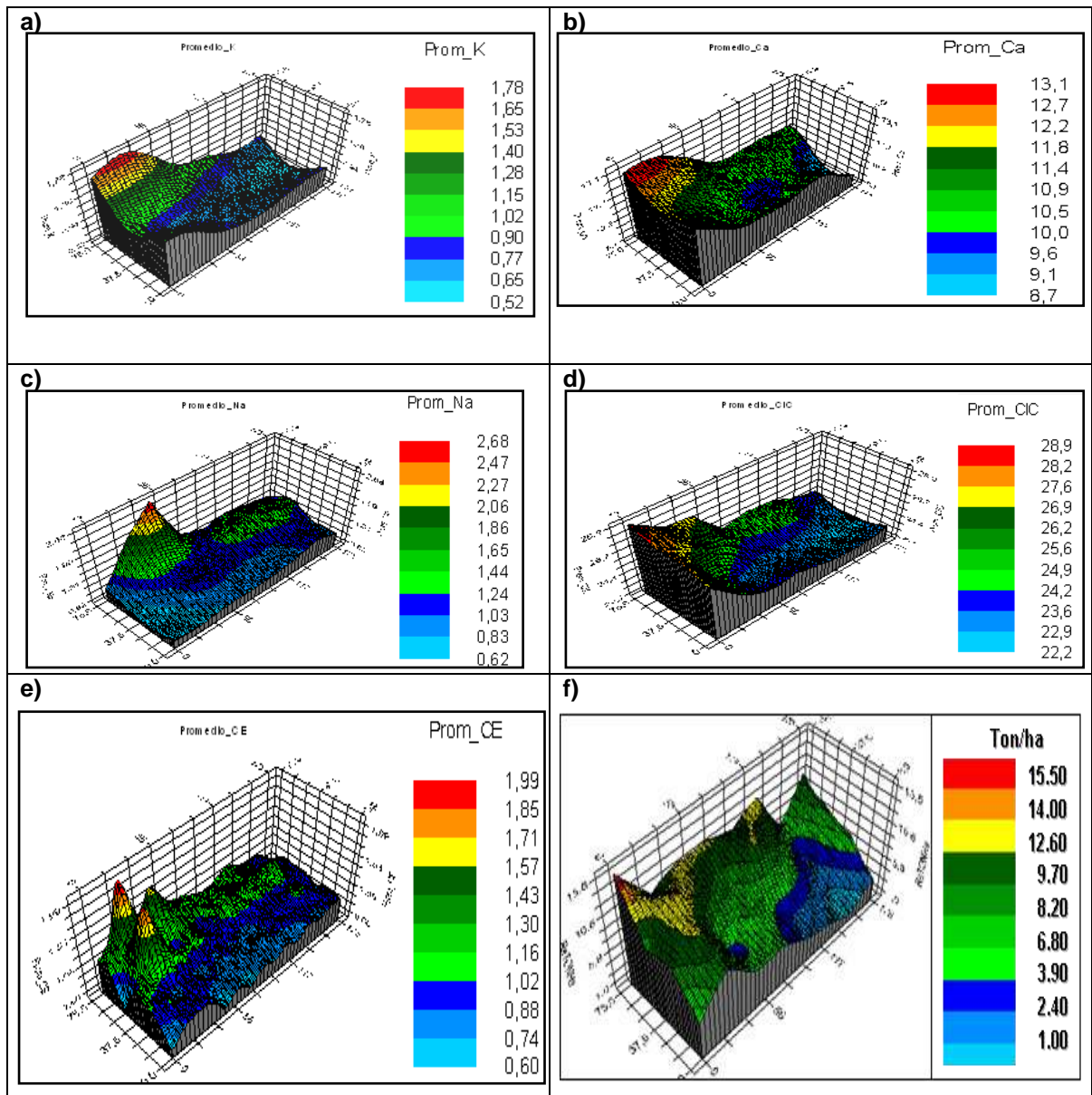
**Figura 6.** Mapas de la distribución espacial: de la humedad (a), de la EEH (b), de la EES (c), RMP de 00 a 10 cm (d), de 10 a 20 cm (e) y de 20 a 30 cm (f), respectivamente, calculado por el método de Kriging ordinario.



**Figura 7.** Mapas de la distribución espacial de la RMP del suelo tomada mensualmente por punto de 30 a 40 cm (a) y de 40 a 50 cm (b), del % MO (c), pH (d), %N total (e), P en (ppm) (f) calculado por el método de Kriging ordinario.



**Figura 8.** Mapa de la distribución espacial: del promedio del K (a), Ca (b), Na (c), CIC (d), CE (e) en meq/100 g/suelo, respectivamente, distribución espacial del rendimiento de la cosecha de maíz en t/ha por punto (f), calculados por el método de Kriging ordinario.





#### 4.6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP) DE LA ESTADÍSTICA MULTIVARIADA.

Como no se evaluaron las mismas variables físicas para las muestras de suelo tomadas mensualmente, el Análisis de Componentes Principales (ACP) se realizó de manera individual agrupando las correspondientes de cada mes, lo cual permitió seleccionar las de mayor peso siendo expresadas en porcentaje de la varianza total por mes.

Con este procedimiento estadístico para las variables físicas (DA, %H, %P y RMP) evaluadas en septiembre, Octubre, noviembre y diciembre, junto con las de julio y Febrero (T, DA, DR, EES, EEH, %H, %P y RMP), el programa SPSS generó 34 coordenadas factoriales, de las cuales 28 corresponden a las variables distribuidas en los meses arriba mencionados. Debido a la importancia de la textura en las características físicas del suelo se adicionó a las variables analizadas por mes.

Este mismo procedimiento se aplicó para el ACP de las variables químicas antes de la siembra (a. s.) del experimento en campo (julio) y sesenta días después de sembrado el cultivo de maíz (octubre), cuyos resultados produjeron 6 coordenadas factoriales.

##### 4.6.1 Análisis de componentes principales (ACP) y discusión de las variables físicas evaluadas mensualmente.

- Componentes principales de las variables físicas evaluadas antes de establecer el experimento.

El análisis de la varianza total de las variables físicas del suelo tomadas antes de establecer el experimento en campo (julio), generó cinco componentes principales que mostraron el 70,07% de la variabilidad total, de los cuales se escogieron los

primeros tres componentes que son explicados por un 19,10%, 14,33% y 13,35% de la varianza total respectivamente, (Tabla, 27).

Tabla 27. Análisis de varianza total por componente principal para las variables físicas tomadas por punto antes de establecer el experimento en campo.

Componentes	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado
1	3,839	23,991	23,991	3,839	23,991	23,991	3,056	19,099	19,099
2	2,406	15,035	39,026	2,406	15,035	39,026	2,293	14,331	33,429
3	1,806	11,288	50,314	1,806	11,288	50,314	2,135	13,346	46,776
4	1,706	10,661	60,975	1,706	10,661	60,975	2,078	12,987	59,763
5	1,455	9,095	70,070	1,455	9,095	70,070	1,649	10,307	70,070
6	0,980	6,128	76,198						
7	0,899	5,618	81,815						
8	0,866	5,411	87,227						
9	0,598	3,738	90,965						
10	0,477	2,981	93,946						
11	0,332	2,077	96,023						
12	0,308	1,923	97,946						
13	0,205	1,282	99,227						
14	0,124	0,773	100,000						
15	9,3539E-06	5,8462E-05	100						
16	-1,1981E-16	-7,4879E-16	100						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales,

En la matriz de componentes sin rotar, los resultados obtenidos fueron inversos en el primero (porcentaje de arcilla, DPMH, porcentaje de arena y EES); segundo (%P y DA); y el tercer componente explica el DPMS y RMP de 30 a 40 cm de profundidad, (Tabla, 28).

Las variables del primer componente están inversamente relacionadas con la textura del suelo, porque a menor porcentaje de arena y limo mayor es el porcentaje de arcilla lo cual mejora el DPMH y la EES del agregado. Según Narro (1994), como el área superficial de la arcilla está en  $3000 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$  posee mayor

habilidad para participar en las diferentes reacciones físicas y químicas que se dan dentro del suelo que el limo y la arena.

Los resultados de las variables del primer componente están relacionados inversamente con los de las variables del segundo componente, porque a mayor porcentaje de arcilla, menor es la DA lo cual mejora el espacio poroso en la matriz del suelo. Según Pinzón (2003), un buen espacio poroso permite un balance óptimo de los contenidos y mayor distribución del aire y agua en el perfil, muy favorables para la penetración y crecimiento de las raíces de la planta, lo cual mejora la EES y el DPMH del agregado.

Tabla 28. Componentes principales de las variables físicas tomadas por punto antes de establecer el experimento en campo.

Variables	Componentes				
	1	2	3	4	5
% Arcilla	0,812	-0,306	-0,058	0,168	0,200
DPMH	0,768	-0,196	-0,250	-0,258	0,147
% Arena	-0,738	0,115	-0,015	-0,195	0,444
EES	0,728	0,020	-0,166	0,009	0,007
% Porosidad	-0,132	0,970	0,043	0,037	-0,003
DA	0,182	-0,966	0,014	-0,027	0,027
DPMS	0,247	0,241	-0,801	-0,101	-0,143
RRMP (30 a 40 cm)	-0,130	0,202	0,712	0,050	-0,063
DR	0,494	-0,019	0,529	0,066	0,253
RMP (10 a 20 cm)	-0,027	0,132	0,160	0,774	0,095
RMP (40 a 50 cm)	0,022	-0,229	-0,469	0,664	0,250
RMP (00 a 10 cm)	0,275	0,022	0,090	0,603	-0,096
RMP (20 a 30 cm)	-0,249	-0,009	0,531	0,581	-0,011
EEH	-0,137	0,004	0,005	0,236	0,667
% Limo	-0,416	0,296	0,087	-0,050	-0,637
% Humedad	-0,172	-0,126	-0,259	0,358	-0,608
a) Método de extracción: Análisis de componentes principales, Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser, La rotación ha convergido en 7 iteraciones,					

Lo anterior repercute en la RMP del tercer componente, debido a que a menor DPMS del agregado mayor es la RMP por el uso intensivo de maquinaria agrícola, lo cual afecta el normal desarrollo radical de la planta de maíz.

Desde el punto de vista agrícola, existe una clara relación entre el valor de la DA con Textura, porosidad, RMP y contenido de materia orgánica entre otros, ya que valores bajos de la DA se asocian con una condición apropiada del suelo que permite el desarrollo radical de los cultivos, que para nuestro caso un ligero incremento de la DA en algunos puntos se refleja en un aumento de la RMP en profundidad (Narro, 1994).

Al comparar estos datos con el primer análisis de las variables químicas realizadas antes de establecer el experimento, se puede analizar que la presencia de los contenidos de Ca y CO está contribuyendo significativamente a conservar la estabilidad estructural de los agregados del suelo. Según (Porta *et. al.*, 1994), esto se logra por la acción de los cementos húmicos que unen el material mineral con materia orgánica transformada permitiendo la formación de complejos órgano-minerales de diferente naturaleza, cuya estabilidad depende de lo polimerizado que estén los ácidos húmicos.

- Componentes principales de las variables físicas evaluadas en septiembre.

El ACP de la Varianza total de las propiedades físicas del suelo tomadas en septiembre generó tres componentes principales representados en un 69,92% de la variabilidad total, de este total, el primer componente presentó el 30,76%, seguido por el segundo y tercero con valores del 23,08% y 16,08%, (Tabla, 29).

La matriz de componentes sin rotar de las propiedades físicas tomadas en septiembre generó tres componentes, el primer componente lo conformó la RMP de 30 a 40 cm, 20 a 30 cm, 40 a 50 cm y de 10 a 20 cm de profundidad; el segundo dio de manera inversa el % de arcilla y % de limo, mientras que en el tercero el % arena fue positivo, (Tabla, 30).

Tabla 29. Análisis de varianza total por componente principal para las variables físicas tomadas por punto en septiembre.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado
1	3,245	32,452	32,452	3,245	32,452	32,452	3,076	30,764	30,764
2	2,431	24,311	56,763	2,431	24,311	56,763	2,308	23,080	53,844
3	1,316	13,158	69,921	1,316	13,158	69,921	1,608	16,077	69,921
4	0,972	9,719	79,639						
5	0,740	7,402	87,042						
6	0,548	5,482	92,523						
7	0,441	4,406	96,930						
8	0,198	1,979	98,909						
9	0,109	1,091	100,000						
10	0,000	0,000	100,000						

**Método de extracción: Análisis de Componentes principales,**

Tabla 30. Componentes principales de las variables físicas tomadas por punto en septiembre.

Variables	Componentes		
	1	2	3
RMP (30 a 40 cm)	0,898	-0,212	0,156
RMP (20 a 30 cm)	0,823	-0,046	-0,282
RMP (40 a 50 cm)	0,796	0,028	0,16
RMP (10 a 20 cm)	0,781	0,146	-0,373
DA del suelo	-0,338	-0,314	0,17
% de Arcilla	0,056	0,884	-0,363
% de Limo	-0,076	-0,882	-0,291
RMP (0 a 10 cm)	-0,146	0,559	-0,163
% de Arena	0,004	-0,301	0,887
% de Humedad	-0,452	0,42	0,528

**b) Método de extracción: Análisis de componentes principales, Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser, La rotación ha convergido en 5 iteraciones,**

Los datos obtenidos de las variables del primer componente tienen una relación directa con los del segundo y tercer componente, los cuales están asociados con la textura del suelo; a menor % de limo mejor es la distribución de los contenidos de arcilla y arena en la matriz del suelo que influyen positivamente en la RMP en

profundidad dentro del mismo. Según Narro, (1994), el conocimiento de la distribución homogénea de las partículas de arcilla, limo y arena permite ajustar las prácticas de manejo como, labranza, riego y fertilización para obtener mayor eficiencia en la producción agrícola y una mejor conservación del suelo en el mediano y largo plazo.

- Componentes principales de las variables físicas evaluadas en octubre.

El análisis de la varianza total de las variables físicas del suelo tomadas en octubre, generó cuatro componentes principales que mostraron el 76,86% de la variabilidad total, de los cuales se tomaron los primeros tres componentes, siendo el primero explicado con un 26,29%, seguido del segundo, tercero con valores del 22,48%, 15,71%, respectivamente, (Tabla, 31).

Tabla 31. Análisis de varianza total por componente principal para las variables físicas tomadas por punto en octubre.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado
1	2,780	27,801	27,801	2,780	27,801	27,801	2,629	26,291	26,291
2	2,582	25,824	53,625	2,582	25,824	53,625	2,248	22,479	48,770
3	1,314	13,140	66,765	1,314	13,140	66,765	1,571	15,710	64,479
4	1,010	10,097	76,861	1,010	10,097	76,861	1,238	12,382	76,861
5	0,737	7,375	84,236						
6	0,555	5,547	89,783						
7	0,506	5,061	94,844						
8	0,276	2,762	97,607						
9	0,239	2,393	100						
10	-5,55112E-17	-5,55112E-16	100						
<b>Método de extracción: Análisis de Componentes principales,</b>									

La matriz de componentes sin rotar de las propiedades físicas del suelo analizadas en octubre, obtuvo cuatro componentes, de los cuales el primero es representado por la RMP de 10 a 50 cm de profundidad del suelo, el segundo

presentó un valor inverso entre el porcentaje de limo, de arcilla y de humedad, el tercero se reflejó positivamente en la RMP de 0 a 10 cm, (Tabla, 32).

Tabla 32. Componentes principales de las variables físicas tomadas por punto en octubre.

Variables	Componentes			
	1	2	3	4
RMP (20 a 30 cm)	0,856	-0,049	0,149	0,025
RMP (30 a 40 cm)	0,810	-0,163	-0,272	-0,067
RMP (40 a 50 cm)	0,752	0,060	-0,381	-0,025
RMP (10 a 20 cm),	0,682	0,239	0,501	-0,074
% de Limo	-0,024	-0,916	0,133	0,196
% de Arcilla	0,144	0,890	0,224	0,253
% de Humedad	-0,319	0,668	0,287	0,128
RMP (0 a 10 cm)	-0,180	0,083	0,822	0,005
DA del suelo	-0,139	-0,031	-0,092	0,857
% de Arena	-0,189	-0,271	-0,493	-0,611
<b>Método de extracción:</b> Análisis de componentes principales, Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser, A la rotación han convergido 6 interacciones,				

Los resultados obtenidos de las variables que conforman el primer componente tienen una relación directa con el segundo, tercero y cuarto respectivamente, porque a menor porcentaje de limo presente en la matriz del suelo mayor es el contenido de arcilla, la cual mejora la conservación de la humedad y disminuye la DA, mejorando la RMP en profundidad, lo cual favorece el desarrollo radicular de las plantas y el manejo de los cultivos.

- Componentes principales de las variables físicas evaluadas en noviembre.

El análisis de la varianza total de las variables físicas del suelo tomadas en noviembre, dio un resultado de 74,10% de la variabilidad total, distribuido en cuatro componentes principales, de éste total se analizaron los primeros tres, presentando el primero 20,15%, seguido del segundo y tercer componente con los valores de 18,58%, 18,14%, respectivamente, (Tabla, 33).

Tabla 33. Análisis de varianza total por componente principal para las variables físicas tomadas por punto en noviembre.

Componentes	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado
1	2,527	25,270	25,270	2,527	25,270	25,270	2,016	20,155	20,155
2	2,086	20,857	46,127	2,086	20,857	46,127	1,858	18,584	38,740
3	1,505	15,051	61,178	1,505	15,051	61,178	1,814	18,141	56,881
4	1,292	12,923	74,101	1,292	12,923	74,101	1,722	17,221	74,101
5	0,911	9,114	83,216						
6	0,658	6,580	89,795						
7	0,506	5,061	94,856						
8	0,399	3,988	98,845						
9	0,116	1,155	100,000						
10	0,000	0,000	100,000						

**Método de extracción:** Análisis de Componentes principales,

La matriz de componentes sin rotar de las propiedades físicas del suelo analizadas en noviembre, presentó cuatro componentes, de los cuales el primero exhibió una relación inversa entre la RMP de 00 y 30 cm, de profundidad del suelo y la DA, junto con el segundo que fue entre el porcentaje de limo y de arcilla; el tercero se reflejó positivamente en la RMP de 30 a 50 cm e igualmente el cuarto en el porcentaje de arena, (Tabla, 34).

Los resultados obtenidos de las variables que conforman el primero y tercer componente tienen una relación inversa con el segundo y cuarto, porque a menor porcentaje de limo presente en la matriz del suelo mayor es el contenido de arcilla y arena, lo cual mejora la DA y la RMP en profundidad del suelo.



Tabla 34. Componentes principales de las variables físicas tomadas por punto en noviembre.

Variables	Componentes			
	1	2	3	4
RMP (0 a 10 cm)	0,886	-0,045	-0,135	-0,177
RMP (10 a 20 cm),	0,647	0,385	0,065	0,515
RMP (20 a 30 cm)	0,643	0,105	-0,056	0,164
DA del suelo	-0,547	-0,103	-0,312	0,215
% de Limo	-0,180	-0,923	-0,046	-0,015
% de Arcilla	0,147	0,775	0,108	-0,588
RMP (30 a 40 cm)	-0,056	0,166	0,837	0,212
RMP (40 a 50 cm)	-0,048	-0,013	0,829	-0,283
% de Humedad	-0,197	0,447	-0,527	0,250
% de Arena	-0,011	-0,088	-0,109	0,905
<b>Método de extracción:</b> Análisis de componentes principales, Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser, La rotación ha convergido en 5 iteraciones,				

- Componentes principales de las variables físicas evaluadas en diciembre.

El análisis de la varianza total de las variables físicas del suelo tomadas en diciembre, dio un 80,97% de la variabilidad total para cinco componentes, de los cuales se escogieron los tres primeros, siendo explicados por 19,91%, 19,03% y 15,22% de la varianza, respectivamente, (Tabla, 35).

Tabla 35. Análisis de la varianza total por componente principal para las variables físicas tomadas en el mes de diciembre.

Componentes	Autovalores iniciales,			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción,			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado
1	2,431	24,315	24,315	2,431	24,315	24,315	1,992	19,915	19,915
2	1,969	19,690	44,005	1,969	19,690	44,005	1,903	19,026	38,941
3	1,483	14,832	58,837	1,483	14,832	58,837	1,522	15,224	54,165
4	1,187	11,866	70,702	1,187	11,866	70,702	1,355	13,549	67,714
5	1,027	10,268	80,970	1,027	10,268	80,970	1,326	13,256	80,970
6	0,834	8,341	89,311						
7	0,550	5,502	94,813						
8	0,413	4,128	98,941						
9	0,105897394	1,058973939	100						
10	2,22045E-16	2,22045E-15	100						
Método de extracción: Análisis de Componentes principales,									

Las variables que explican este ACP poseen una relación inversa entre ellas, porque la RMP del suelo en profundidad depende de la textura, DA y %H presente en la matriz, a mayor contenido de arcilla, menor será porcentaje de limo y arena, lo cual mejora la DA y la conservación de la %H en épocas de verano, disminuyendo la RMP lo cual facilita el desarrollo radicular de la planta en este periodo, caso contrario sucede en verano debido a que la matriz del suelo se compacta, (Tabla, 36).

Tabla 36. Componentes principales de las variables físicas tomadas por punto en diciembre.

Variables	Componente				
	1	2	3	4	5
RMP (10 a 20 cm),	0,750	-0,111	-0,332	0,275	-0,171
RMP (40 a 50 cm)	0,741	0,228	0,114	-0,456	-0,309
RMP (20 a 30 cm)	0,680	-0,345	0,225	0,158	0,144
RMP (30 a 40 cm)	0,604	0,234	0,428	0,339	0,234
% de Arcilla	-0,040	0,944	0,091	0,047	-0,013
% de Limo	0,063	-0,804	0,538	-0,019	-0,095
% de Arena	-0,049	0,107	-0,917	-0,026	0,158
RMP (0 a 10 cm)	0,174	0,064	0,046	0,962	-0,039
% de Humedad	-0,107	-0,194	0,007	0,029	0,824
DA del suelo	0,054	0,274	-0,155	-0,034	0,641
<b>Método de extracción:</b> Análisis de componentes principales, Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser, La rotación ha convergido en 8 iteraciones,					

- Componentes principales de las variables físicas evaluadas en febrero.

El ACP de las variables físicas del suelo tomadas en febrero, dio una variabilidad total de 78,74%, para siete componentes principales, siendo analizados los tres primeros con valores del 16,91%, 16,68% y 16,35%, respectivamente, (Tabla, 37).

Tabla 37. Análisis de la varianza total explicada por cada componente principal para las variables físicas tomadas en febrero.

Componentes	Autovalores iniciales,			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción,			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación,		
	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado
1	3,246	20,290	20,290	3,246	20,290	20,290	2,706	16,911	16,911
2	2,781	17,382	37,672	2,781	17,382	37,672	2,669	16,680	33,591
3	2,417	15,108	52,781	2,417	15,108	52,781	2,616	16,350	49,941
4	1,512	9,447	62,228	1,512	9,447	62,228	1,648	10,299	60,240
5	1,386	8,663	70,891	1,386	8,663	70,891	1,499	9,371	69,611
6	1,255	7,847	78,738	1,255	7,847	78,738	1,460	9,128	78,738
7	0,916	5,722	84,461						
8	0,647	4,046	88,506						
9	0,550	3,435	91,941						
10	0,448	2,798	94,739						
11	0,372	2,328	97,067						
12	0,208	1,299	98,366						
13	0,152	0,947	99,313						
14	0,109	0,684	99,997						
15	0,001	0,003	100,000						
16	-1,6653E-16	-1,0408E-15	100						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

En la matriz de componentes sin rotar de las propiedades físicas del suelo analizadas, el primero mostró una relación inversa entre porcentaje de Porosidad, DA y DPMH; el segundo, una relación positiva de la RMP entre 00 y 40 cm de profundidad y el tercero presentó un resultado inverso entre los porcentajes de limo y arcilla con el DPMS, (Tabla, 38).

Se demostró que la T con un mayor porcentaje de arcilla mejoró el DPMH y el DPMS del agregado, el %P y la DA; la RMP aumentó en profundidad a partir de los 10 cm hasta los 40 cm afectando el desarrollo radical de la planta; la EEH y el porcentaje de humedad que permanecen estables y el aumento de la DR, disminuyeron la RMP a partir de los 40 cm.

Tabla 38. Componentes principales de las variables físicas tomadas por punto en febrero después de la cosecha.

Variables	Componente					
	1	2	3	4	5	6
% de Porosidad	-0.927	0.055	-0.102	-0.174	0.027	0.157
DA	0.896	-0.089	0.108	0.293	-0.026	-0.165
DPMH	0.734	-0.060	-0.122	-0.210	0.196	0.294
RMP (10 a 20 cm)	-0.129	0.848	0.051	0.000	0.111	0.164
RMP (20 a 30 cm)	-0.108	0.800	0.016	-0.135	0.205	0.046
RMP (30 a 40 cm)	-0.039	0.796	-0.030	-0.228	0.059	-0.259
RMP (00 a 10 cm)	0.168	0.715	-0.035	0.130	-0.412	-0.182
% Arcilla	-0.177	-0.002	0.936	-0.114	0.117	0.093
DPMS	0.300	-0.006	0.780	0.110	0.077	-0.034
% Limo	-0.152	-0.033	-0.710	0.368	0.156	-0.434
% Arena	0.444	0.042	-0.580	-0.259	-0.360	0.368
DR	0.061	-0.195	0.055	0.794	-0.105	-0.041
RMP (40 a 50 cm)	-0.272	0.025	0.262	-0.609	-0.012	-0.294
EEH del agregado	0.128	0.124	0.093	-0.116	0.912	-0.066
EES del agregado	-0.069	0.288	0.398	0.383	0.464	0.375
% Humedad	-0.088	-0.093	0.104	0.106	-0.008	0.792
<b>Método de extracción:</b> Análisis de componentes principales, Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser, La rotación ha convergido en 8 iteraciones,						

- Relación entre las variables físicas evaluadas con el rendimiento.

Para establecer la relación entre los componentes analizados con el rendimiento del cultivo de maíz en choclo se realizaron correlaciones bivariadas con las coordenadas factoriales de cada componente generado por el programa SPSS con la cosecha obtenida en t/ha por cada punto muestreado, (Tabla, 39).

Mediante este análisis se observó que la I componente del mes de julio correlacionó significativamente ( $0,527 p > 0,002$ ), junto con la II ( $0,465 p > 0,007$ ) y III ( $-0,472 > 0,00$ ) de septiembre, la II ( $0,466 > p 0,007$ ) de octubre, la IV ( $-0,568 p > 0,001$ ) de noviembre, la II ( $-0,391 p > 0,897$ ) y III ( $0,459 p > 0,008$ ) de diciembre y la I ( $-0,504 p > 0,003$ ), la II ( $0,401 p > 0,023$ ) y la III ( $0,530 p > 0,002$ ) de febrero.

Tabla 39. Correlación bivariada del rendimiento en t/ha de maíz en choclo por punto con cada componente generado del análisis multivariado de las propiedades físicas del suelo tomadas mensualmente.

Componentes	Rendimiento en toneladas por hectárea					
	Julio	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Febrero
Componente I	0,527(**)	0,225	0,312	0,257	-0,024	0,504(**)
	0,002	0,216	0,082	0,155	0,897	0,003
Componente II	-0,252	0,465(**)	0,466(**)	0,251	-0,391(*)	0,401(*)
	0,165	,007	0,007	0,166	0,027	0,023
Componente III	0,297	-0,472(**)	0,246	0,120	0,459(**)	0,530(**)
	0,099	0,006	0,175	0,512	0,008	0,002
Componente IV	0,122	0	0,295	-0,568(**)	-0,087	-0,054
	0,505	0	0,102	0,001	0,637	0,770
Componente V	0,083	0	0	0	-0,277	0,034
	0,652	0	0	0	0,125	0,852
Componente VI	0,016	0	0	0	0	-0,211
	0,93	0	0	0	0	0,245
* La correlación es significativa al nivel de 0,05 (bilateral)						
** La correlación es significativa al nivel de 0,01 (bilateral)						

Este análisis demostró que el primer componente de julio, con el segundo de septiembre y octubre, con el tercero de diciembre y febrero tuvieron una correlación altamente significativa; el segundo de febrero fue significativo; el tercero de septiembre, el cuarto de noviembre y el primero de febrero dieron una correlación alta e inversamente significativa y el segundo de diciembre mostró un resultado inversamente significativo con relación al rendimiento.

Se presentaron relaciones inversamente proporcionales y altamente significativas entre las concentraciones de arcilla, limo y arena. Altos contenidos de arcilla en el suelo disminuyen proporcionalmente los contenidos de limo y arena, mejoran la capacidad de retención y almacenamiento de agua, la estabilidad estructural, el

diámetro ponderado medio de los agregados, la densidad aparente, pero aumenta la resistencia mecánica a la penetración en profundidad sobre todo en época de verano.

La importancia de la relación inversa entre los contenidos de arcilla, limo y arena se debe al papel que estas juegan en el mejoramiento proporcional de la distribución del espacio poroso a nivel meso para el limo y macro para la arena, lo cual favorece un adecuado movimiento de agua y aire, cada constituyente granulométrico aporta sus buenas cualidades y defectos al mejoramiento de las características físicas propias de cada suelo e influyen en la densidad aparente porque altos contenidos de arcilla la mejoran, mientras que el limo y la arena la disminuyen, mejorando la estabilidad estructural de los agregados. Las cualidades de unos componentes texturales compensan los defectos de los otros, equilibrando las proporciones entre sí de manera conveniente Cairo y Quintero (1987), citado por Mejía, (2007).

Las arcillas contribuyen altamente a determinar las características físicas y químicas del suelo fundamentales para el desempeño agrícola, porque determinan en gran medida la capacidad del suelo para almacenar e intercambiar nutrientes y facilitar la distribución del aire y agua en el perfil, además ofrecer resistencia a factores externos (antropicos y/o naturales) para evitar la pérdida de los agregados.

El sistema de labranza empleado mejoró la resistencia mecánica a la penetración en los primeros 10 cm, pero se incrementó en profundidad afectando poco el desarrollo de la planta debido al contenido de humedad presente, ya que el establecimiento del experimento coincidió con un periodo de alta precipitación que favoreció el desarrollo de la planta.

4.6.2 Análisis y discusión de las variables químicas mediante la aplicación de componentes principales (ACP) de la estadística multivariada.

El ACP para el contenido de nutrientes del suelo tomado antes de establecer el experimento en campo, generó tres componentes con un 84,00% de la variabilidad total, el primero presentó un 45,36%, seguido del segundo y tercero, con valores del 24,55% y 14,04% respectivamente, (tabla, 40). El segundo análisis realizado a los sesenta días después de sembrado el cultivo de maíz produjo tres componentes con un total del 83,23% de la variabilidad, del cual el primer componente obtuvo el 43,00%, el segundo 22,74% y el tercero 17,49%, (Tabla, 41).

Tabla 40. Análisis de varianza total por componente principal para las variables químicas tomadas por punto antes de establecer el experimento en campo.

Componentes	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado
1	3,802	47,523	47,523	3,802	47,523	47,523	3,629	45,357	45,357
2	1,802	22,524	70,047	1,802	22,524	70,047	1,964	24,550	69,906
3	1,117	13,957	84,003	1,117	13,957	84,003	1,128	14,097	84,003
4	0,781	9,763	93,766						
5	0,249	3,109	96,875						
6	0,139	1,743	98,618						
7	0,090	1,127	99,745						
8	0,020	0,255	100,000						
Método de extracción: Análisis de Componentes Principales,									

Tabla 41. Análisis de varianza total por componente principal para las variables químicas tomadas por punto sesenta días después de establecido el experimento.

Componentes	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado
1	4,074	50,923	50,923	4,074	50,923	50,923	3,440	43,000	43,000
2	1,536	19,203	70,126	1,536	19,203	70,126	1,819	22,743	65,743
3	1,048	13,104	83,230	1,048	13,104	83,230	1,399	17,487	83,230
4	0,555	6,935	90,165						
5	0,387	4,838	95,003						
6	0,220	2,755	97,759						
7	0,140	1,745	99,503						
8	0,040	0,497	100,000						

Método de extracción: Análisis de Componentes Principales,

La matriz de componentes sin rotar para el análisis de las variables químicas efectuado antes de establecer el experimento en campo, generó tres componentes siendo el primero conformado por los nutrientes de Ca, CIC, CO, K y P; el segundo por el contenido de Na y la CE y el tercero por el pH del suelo. El segundo análisis realizado sesenta días después de establecido, determinó tres componentes, de los cuales el primero fue igualmente representado por el Ca, CIC, CO, P y K; el segundo dio correlaciones inversas entre el pH y la CE, y el tercero fue el Na, (Tabla, 42).

Al comparar los resultados obtenidos entre el primero y segundo análisis de suelo se encontraron las mismas tres fuentes de variabilidad presentadas en todos los componentes de cada análisis; el primero se relacionó con las características de fertilidad del suelo, el segundo presentó valor inverso entre el pH y la CE y en el tercero fue el contenido de Na mostrando tendencia del lote a la salinidad. Los resultados indican que el primer análisis presentó valores inferiores con relación al segundo debido a que el cultivo se fertilizo.



Tabla 42. Componentes principales de las variables químicas tomadas por punto antes de establecer el experimento en campo y sesenta días después.

Componentes del primer análisis				Componentes del segundo análisis			
Variables	Componentes			Variables	Componentes		
	1	2	3		1	2	3
Ca	0,919	0,216	0,063	Ca	0,931	0,027	-0,016
CIC	0,878	-0,102	-0,219	CIC	0,837	0,450	0,022
CO	0,876	0,089	-0,217	CO	0,812	0,406	0,121
K	0,816	0,154	0,343	P	0,783	-0,085	-0,021
P	0,718	0,063	0,217	K	0,748	0,147	0,423
Na	-0,039	0,981	-0,016	pH	-0,076	-0,955	0,036
CE	0,251	0,952	-0,048	CE	0,184	0,712	0,515
pH	0,021	-0,063	0,928	Na	0,016	0,055	0,969

**Método de extracción:** Análisis de componentes principales, Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser, La rotación ha convergido en 4 iteraciones,

El segundo análisis reporta un incremento en el contenido de Calcio (Ca) con relación al primero, lo cual contribuye a mejorar el espesor de la doble capa difusa ya que genera escaso solapamiento y las fuerzas de repulsión tienen poco efecto, favoreciendo una alta interacción entre las partículas que permite que las arcillas floculen como base para la formación de agregados mucho más estables, por lo tanto la dispersión de las arcillas disminuye al aumentar la concentración de los cationes en el siguiente orden  $Na > K > Mg > Ca$ . (Porta, 1994).

- Relación entre las variables químicas con el rendimiento.

Mediante la correlación entre las variables químicas y las coordenadas factoriales de los componentes analizados se determinó el efecto de la variabilidad espacial sobre el rendimiento del cultivo de maíz en choclo, lo cual explicó que para el análisis realizado antes de la siembra, el primer componente (0,458  $p > 0,008$ ) correlacionó positivamente con el rendimiento, mientras que el segundo (-0,607  $p > 0,000$ ) fue negativo, que puede deberse a la alta disponibilidad de sodio en el suelo, lo cual ocasiona toxicidad en la planta. En el segundo análisis efectuado

sesenta días después de sembrado, el primero (0,616  $p > 0,000$ ) y segundo (0,548  $p > 0,001$ ) componente correlacionaron positivamente con el rendimiento, (Tabla, 43).

Tabla 43. Correlación bivariada entre las propiedades químicas del suelo y el rendimiento en t/ha de maíz en choclo por punto en cada componente generado del análisis multivariado.

Análisis químico	Componentes	Rend. en t/ha
Antes de la siembra del experimento en campo,	I	0,458**
		0,008
	II	-0,607**
		0,000
Sesenta días después de sembrado el experimento en campo,	I	0,616**
		0,000
	II	0,548**
		0,001

Las variables químicas que reflejaron la variabilidad del rendimiento tanto en la primera como en la segunda etapa de muestreo fueron las condiciones de fertilidad del suelo representadas por la CIC, el Ca, CO, P, K y pH. Como la CIC del suelo está asociada con una buena saturación de bases, indica mayor capacidad potencial de suministro de cationes (Castro, 29). Estos elementos son indispensables para estimular el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz por hectárea, (Tabla, 43).

#### 4.7 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE CONGLOMERADOS JERÁRQUICOS DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS TOMADAS EN CAMPO POR PUNTO.

Para definir zonas relativamente homogéneas con base en los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales de acuerdo a las características físicas y químicas evaluadas, se realizó el agrupamiento de los 32

puntos muestreados mediante el análisis estadístico de conglomerados jerárquicos, para ello se clasificaron los grupos por el número de sitios muestreados en campo, a los cuales se les calculó el valor promedio de las variables tomadas por punto.

#### 4.7.1 Análisis y discusión de conglomerados de las variables físicas.

El análisis de conglomerados de las variables físicas por punto generó cinco grupos en los cuales se distribuyeron los 32 puntos del lote, siendo el primer grupo representado por las muestras de suelo tomadas en los puntos 8, 10, 7, 11, 13, 12, 9, 14, con un área de 5,000 m<sup>2</sup>; el segundo grupo por las tomadas en los puntos 1, 2, 5, 6, 3, 4 con 3,750 m<sup>2</sup>; para el tercer grupo fueron las tomadas en los puntos 30, 31, 28, 29, 27, 32 con 3,750 m<sup>2</sup>; el cuarto grupo fue por las de los puntos 18, 19, 16, 17, 15 con 3,125 m<sup>2</sup> y el quinto por las muestras de los puntos 24, 26, 25, 20, 21, 22, 23 con un área de 4,375 m<sup>2</sup>, sobresaliendo el tercero y cuarto por los mayores rendimientos de maíz en choclo, seguidos del quinto, segundo y primer grupo, (Tabla, 44), (Figuras, 9 y 10).

Tabla 44. Distribución de las variables físicas del suelo por cada agrupamiento evaluado

Variables físicas del suelo por cada agrupamiento evaluado											
Variables	I	II	III	IV	V	Variables	I	II	III	IV	V
Tonelada/Hectárea	4,239	5,397	11,802	10,584	8,028	<b>RMP (00 - 10 cm)</b>					
% Arcilla	34,975	32,967	41,133	42,540	41,086	Julio	0,488	0,783	0,558	0,670	0,371
% Limo	31,050	34,667	30,233	26,680	28,843	Septiembre	0,531	0,283	1,117	0,950	0,900
%Arena	33,975	32,367	28,633	30,780	30,071	Octubre	0,663	0,608	0,800	0,670	0,729
Clasificación	Franco arcillosa		Arcilloso			Noviembre	0,381	0,308	0,633	0,460	0,329
<b>Densidad aparente en (g/cm<sup>3</sup>) por mes</b>						Diciembre	1,213	1,333	0,792	0,720	0,800
Julio	1,039	1,005	1,062	1,116	1,094	Febrero	0,494	0,583	0,692	0,600	0,643
Septiembre	1,134	1,138	1,073	1,074	1,161	Promedio	0,628	0,650	0,765	0,678	0,629
Octubre	1,213	1,140	1,283	1,120	1,221	<b>RMP (10 - 20 cm)</b>					
Noviembre	1,229	1,195	1,150	1,130	1,211	Julio	0,844	1,200	1,200	1,140	0,857
Diciembre	1,259	1,172	1,155	1,182	1,229	Septiembre	0,863	1,550	1,550	1,710	1,029
Febrero	1,242	1,174	1,134	1,151	1,244	Octubre	0,963	1,133	1,158	1,260	1,029
Promedio	1,186	1,137	1,143	1,129	1,194	Noviembre	1,025	0,717	1,092	0,820	0,921
<b>Densidad real en (g/cm<sup>3</sup>)</b>						Diciembre	1,094	1,050	0,867	0,970	1,100
Julio	2,283	2,272	2,292	2,294	2,289	Febrero	1,894	2,175	3,142	2,250	1,721
Febrero	2,289	2,270	2,283	2,276	2,276	Promedio	1,114	1,304	1,501	1,358	1,110
Promedio	2,286	2,271	2,287	2,285	2,282	<b>RMP (20 - 30 cm)</b>					
<b>Porcentaje de porosidad</b>						Julio	1,219	1,492	1,400	1,610	0,914
Julio	54,481	55,765	53,688	51,347	52,162	Septiembre	1,175	2,067	1,592	1,780	1,279
Febrero	45,734	48,446	50,370	49,439	45,327	Octubre	1,150	1,567	1,333	1,350	1,171
Promedio	50,108	52,105	52,029	50,393	48,744	Noviembre	1,138	1,067	1,217	1,040	1,064
<b>Porcentaje de humedad del suelo</b>						Diciembre	1,113	1,208	1,467	1,000	1,436
Julio	19,705	21,603	18,380	23,662	20,626	Febrero	1,694	2,742	3,000	2,460	2,121
Septiembre	33,875	29,817	31,817	31,800	33,257	Promedio	1,248	1,690	1,668	1,540	1,331
Octubre	27,678	22,623	32,737	29,298	30,747	<b>RMP (30 - 40 cm)</b>					
Noviembre	40,690	34,312	39,757	38,826	38,550	Julio	1,700	1,600	1,317	1,480	1,114
Diciembre	37,686	30,730	39,152	31,744	36,321	Septiembre	1,225	2,342	1,692	1,880	1,307
Febrero	29,032	26,453	28,719	26,855	27,710	Octubre	1,194	1,825	1,417	1,510	1,293
Promedio	31,444	27,590	31,760	30,364	31,202	Noviembre	1,381	1,383	1,383	1,310	1,236
<b>Estabilidad estructural en húmedo del agregado</b>						Diciembre	1,488	1,450	1,308	1,130	1,414
Julio	1,226	1,341	1,325	1,381	1,175	Febrero	1,456	2,617	2,325	2,200	2,371
Febrero	1,244	1,344	1,408	1,273	1,335	Promedio	1,407	1,869	1,574	1,585	1,456
Promedio	1,235	1,343	1,367	1,327	1,255	<b>RMP (40 - 50 cm)</b>					
<b>Estabilidad estructural en seco del agregado</b>						Julio	1,294	1,542	1,633	1,940	1,407
Julio	1,541	1,443	2,131	1,362	1,722	Septiembre	1,069	1,958	1,875	1,830	1,571
Febrero	1,517	1,324	2,096	1,357	1,598	Octubre	1,200	1,675	1,425	1,500	1,364
Promedio	1,529	1,384	2,113	1,360	1,660	Noviembre	1,281	1,600	1,633	1,740	1,157
<b>Dímetro ponderado medio en húmedo del agregado</b>						Diciembre	1,263	1,583	1,308	1,250	1,386
Julio	2,718	2,200	3,165	2,550	3,367	Febrero	1,538	1,925	1,792	2,530	1,886
Febrero	3,065	2,774	2,677	2,685	2,798	Promedio	1,274	1,714	1,611	1,798	1,462
Promedio	2,891	2,487	2,921	2,618	3,083	<b>Diámetro ponderado medio en seco del agregado</b>					
						Julio	3,044	3,195	3,158	2,838	3,334
						Febrero	3,229	2,368	3,432	3,014	3,733
						Promedio	3,136	2,782	3,295	2,926	3,534

Figura. 9 Dendrograma del agrupamiento por sitio para las variables físicas del suelo

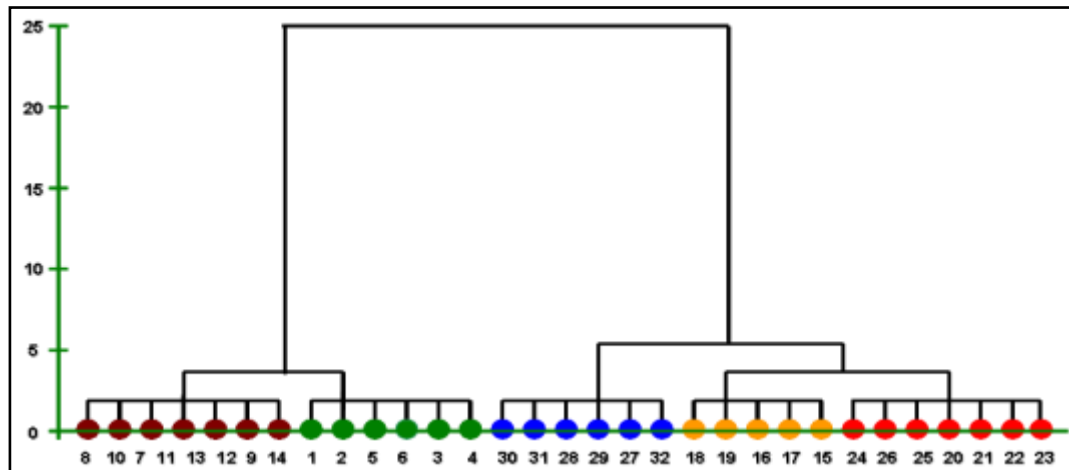
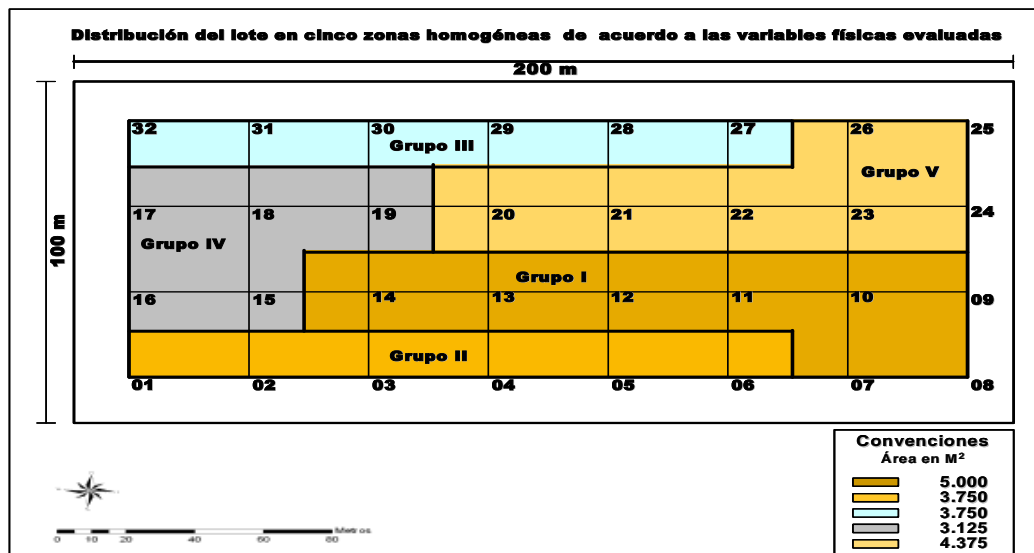


Figura 10. Mapa de distribución espacial de las áreas homogéneas de las variables físicas para los cinco grupos clasificados por el análisis de conglomerados.



Elaboró: Adriana Martínez Arias, laboratorio SIG U/Nal Palmira

El suelo de los puntos que conformaron el tercero, cuarto y quinto grupo se clasificó de textura arcillosa porque tiene mayor porcentaje de arcilla con relación al primero y segundo grupo que se clasificaron franco-arcillosos, (Gavande, 24). Puede decirse que la densidad aparente fue homogénea en todos los grupos por arrojar resultados muy aproximados a pesar de que sobresalen ligeramente el primero y quinto grupo.

Los valores promedios de la densidad real fueron homogéneos en todos los grupos tanto en la primera como en la segunda lectura, con una ligera disminución en el segundo grupo; el porcentaje de porosidad fue muy similar en la primera lectura y en la segunda presentó un ligero incremento en el tercer grupo con relación a los demás. El porcentaje de humedad resultó idéntico en el tercero, primero, quinto y cuarto grupo, seguido del segundo, cuya clasificación fue *alta*. En todos los grupos los mayores porcentajes se presentaron en noviembre, diciembre, septiembre, seguidos de octubre, febrero y julio.

La estabilidad estructural del agregado en húmedo presentó un valor promedio mayor en el tercero y segundo grupo, seguido del cuarto, quinto y primero; en la primera lectura el valor fue mayor en el quinto y segundo grupo, mientras que en la segunda lectura fue mayor en el tercero y segundo grupo con relación a los demás. En cuanto a la estabilidad estructural del agregado en seco, fue mayor en el tercer grupo, seguido del quinto, primero, segundo y cuarto, igual situación se evidenció en la primera y segunda lectura, sin embargo se observa menor estabilidad en la segunda con relación a la primera. En ambos análisis predominan agregados intermedios.

En cuanto al promedio del diámetro ponderado medio del agregado en húmedo fue mayor en el quinto grupo, seguido del tercero, primero, cuarto y segundo, valores muy idénticos a los tomados en la primera lectura, mientras que para la segunda el mayor valor lo obtuvo el primer grupo, seguido del quinto, segundo,

tercero y cuarto respectivamente, estos valores le dieron al suelo un índice de estabilidad estructural de *moderadamente estable*, (Montenegro, 2003). El diámetro ponderado medio del agregado en seco presentó un valor promedio mayor en el quinto grupo, seguido del tercero, primero, cuarto y segundo, el valor más alto en la primera y segunda lectura fue para el quinto grupo.

La interpretación de la estabilidad estructural del agregado de acuerdo a la relación existente entre el diámetro ponderado medio del agregado en húmedo y en seco, permite interpretar el rango de *mayor estabilidad* para el agregado en húmedo en el quinto grupo; de *estable* y *moderadamente estable* en el tercero y primero, mientras que en el agregado en seco en todos los grupos es de *Moderadamente estable*. Esta variable explica en todos los grupos una buena estabilidad estructural, siendo mayor en seco que en húmedo.

Los valores promedios de la resistencia mecánica a la penetración entre 00 y 10 cm de profundidad fue mayor para el tercer grupo, seguido del cuarto, quinto, primero y segundo, la mayor resistencia en el primer grupo fue la realizada en diciembre, seguida de las lecturas hechas en octubre, septiembre y febrero, mientras que la menor fue en julio y noviembre.

El segundo grupo presentó los valores más altos de la resistencia tomados en diciembre, julio, octubre y febrero y los más bajos fueron en noviembre y septiembre; el tercer grupo mostró los valores más altos en septiembre, seguido de octubre, diciembre, febrero, noviembre y julio; igualmente para el cuarto grupo los valores más altos fueron en septiembre, diciembre, julio, octubre, febrero y noviembre y en el quinto grupo se presentaron en septiembre, diciembre, octubre, febrero, julio y noviembre.

Ésta resistencia se puede clasificar en el primer grupo de *no limitante a ligeramente limitante* para diciembre; en el segundo de *no limitante* en octubre y

noviembre, *ligeramente limitante* en julio, octubre, febrero y de *limitante* en diciembre; en el tercero de *ligeramente limitante* en julio, octubre, noviembre, diciembre y febrero y de *limitante* en septiembre; en el cuarto de *no limitante* en noviembre, de *ligeramente limitante* en los demás meses; en el quinto *no limitante* en noviembre y en los demás meses de *ligeramente limitante*. La clasificación de la resistencia en profundidad se realizó de acuerdo a los parámetros recomendados por Amézquita, (1992).

El mayor valor promedio de la resistencia entre 10 y 20 cm de profundidad, fue para el tercer grupo, seguido del cuarto, segundo, primer y quinto respectivamente. En el primer grupo se presentaron los valores más altos en las lecturas realizadas en diciembre, febrero, noviembre, octubre y el menor valor fue en septiembre y julio; el segundo mostró los valores más altos en febrero, septiembre, julio, octubre, diciembre y el menor valor en noviembre; el tercero tuvo los valores más altos iniciando en febrero, seguidos de septiembre, julio, octubre, noviembre y el menor en diciembre; el cuarto grupo dio valores más altos en febrero, septiembre, octubre julio, diciembre y el más bajo en noviembre; en el quinto los valores más altos fueron en febrero, diciembre, octubre, septiembre y los más bajos en noviembre y julio.

La resistencia del primer grupo se puede clasificar de *ligeramente limitante* en julio, septiembre, octubre y de *limitante* en noviembre y diciembre; en el segundo grupo de *ligeramente limitante* en noviembre y de *limitante* en julio, septiembre, octubre, diciembre, de *extremadamente limitante* en febrero; en el tercero de *ligeramente limitante* en diciembre, *limitante* en julio, septiembre, octubre y noviembre y *extremadamente limitante* en febrero; en el cuarto de *ligeramente limitante* en noviembre y diciembre, *limitante* en julio, septiembre, octubre y *extremadamente limitante* en febrero; en el quinto de *ligeramente limitante* en julio y noviembre y de *limitante* en septiembre, octubre, diciembre y febrero.



Los valores promedios de la resistencia tomada entre 20 y 30 cm de profundidad del suelo fue alta para el segundo grupo, seguido del tercero, cuarto, quinto y primero. El primer grupo expuso los valores más altos en febrero, julio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre; en el segundo también fueron altos en febrero, septiembre, octubre, julio, diciembre y noviembre, igualmente en el tercero se presentaron altos en febrero, septiembre, diciembre, julio, octubre y noviembre; en el cuarto también fueron altos en febrero, septiembre, julio, octubre, noviembre y diciembre; en el quinto se presentaron valores altos en febrero, diciembre, septiembre, octubre, noviembre y julio. Estos valores permiten clasificar el primero, segundo, tercero, cuarto y quinto grupo de *limitante a extremadamente limitante* en febrero.

Así mismo la resistencia entre 30 y 40 cm de profundidad presentó los valores promedios altos, iniciando por el segundo grupo seguido del cuarto, tercero, quinto y primero, en el primer grupo los valores más altos fueron presentados en julio, diciembre, febrero, noviembre, septiembre, octubre; el segundo se inicio en febrero, septiembre, octubre, julio, diciembre, noviembre; los valores altos en el tercer grupo fueron en febrero, septiembre, octubre, noviembre, julio, diciembre; el cuarto fue en febrero, septiembre, octubre, julio, noviembre, diciembre y el quinto lo presentan febrero, diciembre, septiembre, octubre, noviembre y julio. Estos valores clasifican el primero, segundo, tercero, cuarto y quinto grupo de *limitante a extremadamente limitante* en febrero.

Los valores promedios de la resistencia tomados entre 40 y 50 cm de profundidad del suelo fueron más altos en el cuarto grupo, seguidos del primero, segundo, quinto y tercero, estos valores permitieron clasificar la resistencia de *limitante, a extremadamente limitante*, con mayor énfasis en febrero. En todos los grupos se incrementó a partir de los 10 cm, ello evidencia aumento del contenido de arcilla y disminución del contenido de materia orgánica del suelo en profundidad.

Al correlacionar la Resistencia Mecánica de la Penetración (RMP) con el Porcentaje de Humedad (%H) se observa, que por cada unidad que aumenta el %H cada 10 cm de profundidad a través del perfil del suelo entre 00 y 50 cm, originó una disminución de la RMP en profundidad distribuida de la siguiente forma. De 00 a 10 cm bajo 0,10 Mpa siendo explicado por un modelo lineal con un coeficiente de determinación del 94,06%; de 10 a 20 cm descendió 1,39 Mpa mediante un modelo lineal que dio un coeficiente de determinación del 82,63%, (Anexo, B).

De 20 y 30 cm en profundidad disminuyó 0,325 Mpa siendo descrito mediante un modelo lineal con coeficiente de determinación del 97,61%; de 30 a 40 cm se redujo 0,065 Mpa en un modelo exponencial y un coeficiente de determinación del 88,38% y de 40 a 50 cm mostró una disminución de 0,13 siendo representado por un modelo lineal con un coeficiente de determinación del 97,33%

También se observa que la movilidad de fósforo es limitada por la Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo, siendo inmovilizado 58,82 ppm por cada incrementó en una unidad de la RMP, que puede deberse a posible disminución de la porosidad en profundidad, a la ligera contaminación del suelo con cenizas volcánicas, al grado de acidez presente que adsorbe con más fuerza los aniones, entre otros; esté proceso es explicado por un modelo lineal el cual posee un coeficiente de determinación de 69,74%, (Anexo, B).

El rendimiento de la cosecha en las áreas homogéneas con mayor resistencia a la penetración pudo deberse al buen índice de la estabilidad estructural del agregado, lo cual permite a las raíces crecer entre los planos de los agregados con mayor facilidad, parece ser que a mayor estabilidad estructural, mejor es el desarrollo de la densidad radical de la planta, a pesar de ser un suelo con alta resistencia mecánica a la penetración, el alto contenido de arcilla no afectó negativamente el desarrollo del sistema radicular de la planta.

#### 4.7.2 Análisis y discusión de conglomerados de las variables químicas.

El análisis de componentes principales para las variables químicas, generó seis coordenadas factoriales, tres para el análisis realizado antes de establecer el experimento en campo y tres para el análisis efectuado a los sesenta días después de sembrado el cultivo.

Con las coordenadas factoriales se realizó el análisis de conglomerados que generó cinco grupos, siendo el primero representado por las muestras tomadas en los puntos 3, 4, 1, 2, 5, 6, 7, en un área de 4,375 m<sup>2</sup>; en el segundo grupo el muestreo se realizó en los puntos 11, 12, 13, 14, 8, 10, 9, en 4,375 m<sup>2</sup>; en el tercero se hizo en los puntos 28, 29, 27, 25, 30, 31, 32 correspondiendo a un área de 4,375 m<sup>2</sup>; en el cuarto se efectuó en los puntos 22, 24, 23, 26 que suman 2,500 m<sup>2</sup> y en el quinto grupo en un área de 4,375 m<sup>2</sup> se ejecutó en los puntos 19, 20, 21, 16, 17, 15, 18. Los mayores rendimientos del cultivo se presentaron en el tercero y quinto grupo, seguidos por el cuarto, primero y segundo respectivamente, (Tabla, 45), (Figura, 11 y 12).

El segundo análisis realizado a los sesenta días después de sembrado el experimento, presentó concentraciones más altas de nutrientes en todos los grupos con relación al primer análisis, excepto el sodio cuya disponibilidad fue menor en el primero, segundo, cuarto y quinto grupo. Los contenidos más bajos de nutrientes se dieron en el primero y segundo grupo de ambos análisis de laboratorio que coincidieron con bajos contenidos de arcilla lo que posiblemente ocasionó bajos rendimientos de la cosecha.

A pesar del bajo contenido de la materia orgánica en el primero y segundo grupo, se observa el mejoramiento de la resistencia mecánica a la penetración del suelo en los primeros 10 cm de profundidad, que fue favorecida por el porcentaje de humedad, beneficiando la toma de nutrientes por el sistema radicular de la planta.

Según (Ramírez *et. al.*, 2000) cuando en el suelo aumenta el contenido de materia orgánica y el porcentaje de humedad, la resistencia a la penetración mejora, lo cual favorece el desarrollo radicular de la planta.

El incremento en la disponibilidad de nutrientes en el segundo análisis pudo deberse al posible suministro de nutrientes por vía de fertilización edáfica (nitrógeno, fósforo y potasio) por el propietario de la cosecha. Según Crovetto (1998), suelos con bajos niveles de materia orgánica serán menos productivos.

Tabla 45. Distribución de las variables químicas del suelo por cada agrupamiento

Variables	Variables químicas del suelo por cada agrupamiento evaluado				
	I	II	III	IV	V
Toneladas/Hectárea	4,76	4,71	11,64	6,53	10,34
<b>Primera lectura antes de la siembra del cultivo de Maíz</b>					
pH	5,05	5,06	4,97	4,98	4,99
% CO	2,63	2,94	3,61	3,13	3,36
% MO	4,54	5,07	6,22	5,40	5,79
% N disponible	0,23	0,25	0,31	0,27	0,29
* P	50,90	89,07	70,95	60,17	61,49
** K	0,69	0,91	1,32	0,63	0,66
** Ca	9,17	11,22	11,78	10,83	11,28
** Na	1,14	0,86	1,49	1,20	1,07
** CIC	22,39	24,00	26,31	25,04	25,70
+ CE	0,60	0,65	0,99	0,77	0,69
<b>Segunda lectura a los sesenta días después de sembrado el cultivo de Maíz</b>					
pH	5,20	5,35	5,09	5,10	5,03
% CO	2,70	2,96	3,92	3,47	3,68
% MO	4,66	5,10	6,76	5,99	6,34
% N disponible	0,23	0,26	0,34	0,30	0,32
* P	106,01	135,43	138,38	136,85	139,84
** K	0,71	1,17	1,70	0,87	0,94
** Ca	9,78	11,34	11,98	11,04	11,34
** Na	0,99	0,76	1,58	1,01	0,91
** CIC	22,93	25,34	26,72	25,15	26,34
+ CE	1,16	0,77	1,71	1,31	1,45
* (ppm)	** (meq/100g/suelo)		+ ds/m		

Figura 11. Dendrograma de agrupamiento por sitio para las variables químicas.

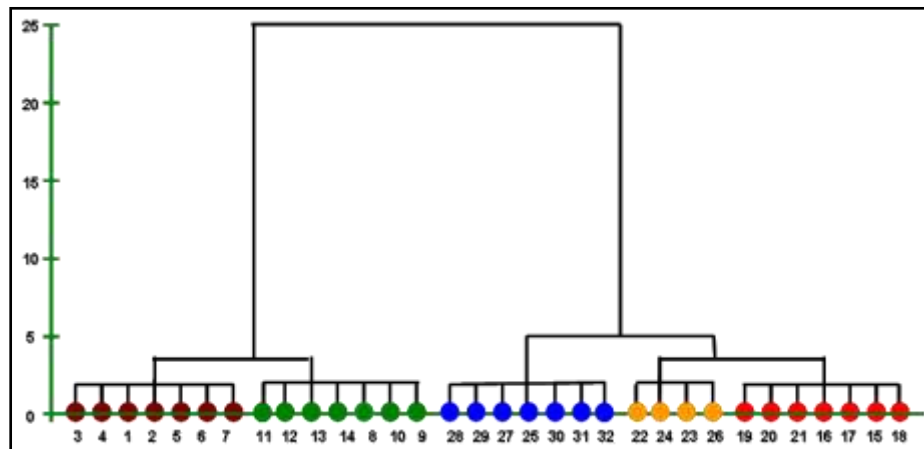
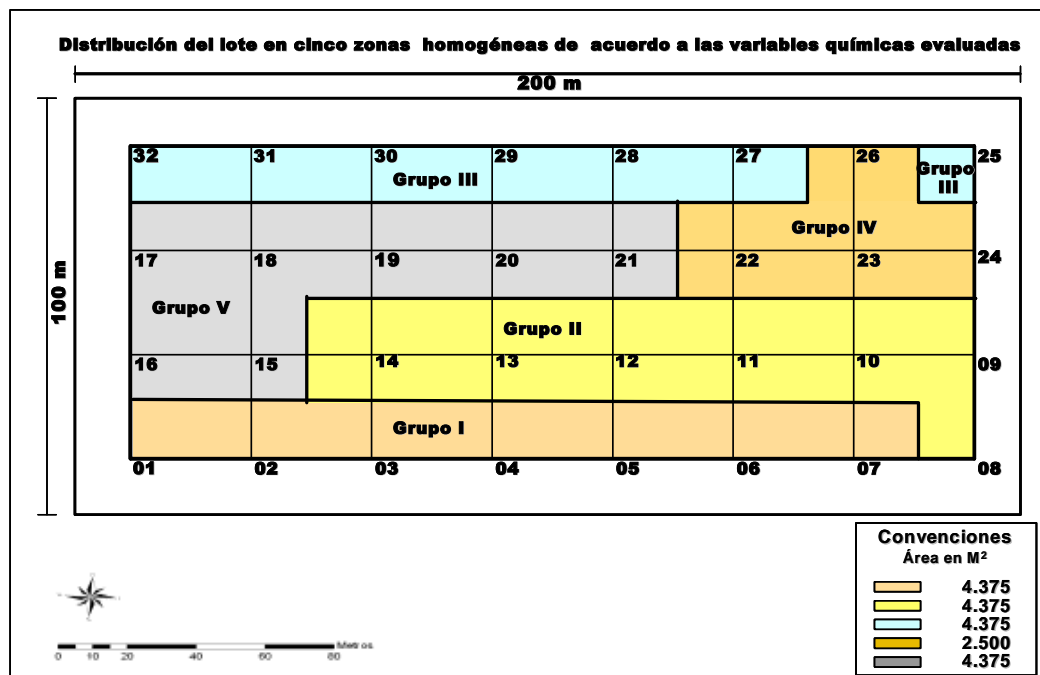


Figura 12. Mapa de distribución espacial de las áreas homogéneas de las variables químicas para los cinco grupos clasificados por el análisis de conglomerados.



Elaboró: Adriana Martínez Arias, laboratorio SIG U/NaI Palmira

Se observa que el calcio es retenido en 1,17 meq/100g/suelo por cada incremento de una unidad del porcentaje de la materia orgánica presente en el suelo, que puede deberse a su capacidad como coloide de retener cationes, el cual es explicado por el modelo lineal con un coeficiente de determinación del 95,63%. Así mismo la CE disminuye 3,76 ds/m por cada aumento en una unidad de la CIC, de acuerdo al modelo lineal con un coeficiente de determinación del 82,42%, (Anexo, B).

La producción en t/ha de maíz en fresco disminuyó en 1,59 t/ha por cada aumento en una unidad de la CE en ds/m, siendo explicado por el modelo exponencial con un coeficiente de determinación del 80,62 %, debido al aumento de las concentraciones de sodio que ocasionan procesos de lixiviación y dispersión de las arcillas y de la materia orgánica en profundidad, que a su vez reducen la CIC en superficie y pueden ocasionar sellamiento de los macroporos del suelo causando disminución del flujo de agua a través del perfil (Anexo, B).

Cuando aumentó en una unidad la Estabilidad Estructural en Húmedo (EEH) disminuyó la disponibilidad del porcentaje de la materia orgánica en 11.35% y con ella la del nitrógeno, junto con el calcio, el sodio, potasio y de la capacidad de intercambio cationico con valores de 7,16, 4.07, 0,78, y 6,31 meq/100g/suelo; estos valores fueron originados mediante modelos lineales para (MO), (Ca), (Na) y (CIC), potencial (K), lo cuales dieron coeficientes de determinación del 96,98% - 77,29% - 72,40% - 66,36% - 84,42% respectivamente. E igualmente bajo el rendimiento de la cosecha de maíz en 64,30 t/ha, siendo explicado en un modelo lineal con un coeficiente de determinación del 95,62%, lo cual evidencia el efecto negativo del aumento de la humedad en el suelo porque contribuye a la pérdida de nutrientes por lixiviación, afectando el rendimiento del cultivo, (Anexo, B).

Por cada aumento en una unidad de la Estabilidad Estructural en Seco (EES) bajo la disponibilidad del sodio en 0,26 meq/100g/suelo, siendo indicado mediante un modelo lineal con un coeficiente de determinación del 94,74%. Lo cual indica disminución de sales en superficie sobre todo en épocas de verano que limitan el crecimiento y desarrollo vegetal de los cultivos que se establezcan en el lote, también bajo el calcio, potasio en 8,57 y 0,77 meq/100g siendo explicados por los modelos polinomial y lineal con los coeficientes de determinación del 70,37% y 98,44% respectivamente.

Cuando aumentó en una unidad la Estabilidad Estructural en Seco (EES) aumentó el rendimiento, la disponibilidad de la materia orgánica y la capacidad de intercambio cationico en una relación de 9,49 - 0,69% y 3,90 meq/100g, los cuales fueron indicados mediante los modelos lineales con coeficientes de determinación del 80,50%, 81,26% - 64,00% y 82,99% respectivamente, pero cuando la EES llega a 1,50 y 2,00 se observa que empieza a disminuir el rendimiento y la CIC debido a la ausencia del agua que favorece la disponibilidad de dichos elementos (Anexo, B).

La correlación entre el porcentaje de la materia orgánica y la CIC explica como ésta aumenta 14,35 meq/100g por cada incrementó en una unidad del %MO, valor hallado mediante un modelo lineal con un coeficiente de determinación del 92,43%, debido a su capacidad como coloide de retener cationes, (Anexo, B).

Por cada aumento en una unidad del porcentaje de humedad del suelo se incrementa el rendimiento en 6,77 dicho valor fue originado por el modelo potencial que dió un coeficiente de determinación del 79,10%, debido a la acción directa del agua sobre la CIC, permitiendo una mejor disponibilidad de los nutrientes en la fase liquida que son aprovechados con mayor eficiencia por la planta por el proceso de flujo de masa que depende del contenido de humedad presente en la matriz del suelo, (Anexo, B).

A medida que aumenta en una unidad la DA disminuye el rendimiento en 18,29 k/ha siendo explicado por un modelo polinomial con un coeficiente de determinación del 77,07%, sin embargo se observa que cuando la DA aumenta a partir de 1,16 g/cm<sup>3</sup> desciende el rendimiento. Al respecto Pinzón (2003), dice que densidades aparentes altas aumentan la resistencia mecánica del suelo a la penetración de las raíces, porque interfieren sobre la circulación del agua y del aire los cuales repercuten en el desarrollo del sistema radical con efectos negativos en el rendimiento.

El árbol jerárquico del Dendrograma (Figuras 23 y 25), definió una distribución del lote en cinco zonas homogéneas permitiendo comprender mejor las características del suelo de acuerdo a los requerimientos del cultivo a establecer, sin embargo, como las áreas definidas por cada grupo generado en este estudio son muy pequeñas se pueden tener en cuenta para trabajos de investigación.

Con el fin de facilitar la preparación del suelo y el manejo agronómico del cultivo con fines comerciales, de acuerdo a la variabilidad espacial, se dividió el árbol en dos áreas homogéneas. Según Díaz (2007), el investigador corta el árbol en diferentes niveles guiado por las necesidades y opiniones acerca de la adecuada estructura de los datos, lo cual es bastante satisfactorio.

Basado en lo anterior, el análisis de conglomerados para las variables físicas y químicas se ordenó en dos grupos, siendo el primer grupo representado por las muestras tomadas en 14 puntos en un área de 8,750 m<sup>2</sup>, mientras que el segundo grupo es explicado en 18 puntos con un área de 11,250 m<sup>2</sup>, (Tabla, 46).



Tabla 46. Determinación de las áreas homogéneas recomendadas para preparación del suelo y manejo agronómico del cultivo por grupo.

Grupo	Puntos para las propiedades físicas	Área en m <sup>2</sup>
I	8, 10, 7, 11, 13, 12, 9, 14, 1, 2, 5, 6, 3, 4	8,750
II	30, 31, 28, 29, 27, 32, 23, 18, 19, 16, 17, 15, 24, 26, 25, 20, 21, 22	11,250
	Puntos para las propiedades químicas	
I	3, 4, 1, 2, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 8, 10, 9	8,750
II	28, 29, 27, 25, 30, 31, 32, 22, 24, 23, 26, 19, 20, 21, 16, 17, 15, 18	11,250

Se observa un mayor porcentaje de humedad en el segundo grupo con relación al primer grupo que lo clasifica de *alta*, la estabilidad estructural y el diámetro ponderado medio del agregado en húmedo y en seco respectivamente, presentan valores ligeramente más altos en éste grupo, que le dan mayor estabilidad estructural del agregado con predominio de agregados intermedios, que junto con el diámetro ponderado medio del agregado entre *moderadamente estable* a *estable* cuando se evaluó en seco para el segundo grupo, (Tabla 47 y figura 23).

Con relación a la resistencia mecánica a la penetración, de manera general, se observa un mayor incremento en todas las profundidades del segundo grupo con respecto al primer grupo, siendo clasificada en ambos grupos de *ligeramente limitante* a la profundidad entre 00 y 10 cm, y de *limitante* entre 10 y 50 cm de profundidad.

Al analizar las características físicas del suelo para cada área definida se considera que lo más pertinente es prepararlo con arado de subsolador inicialmente, debido a que éste mejora las propiedades físicas en profundidad, para después continuar con labranza de conservación esta labor se debe realizar en ambas áreas del lote, pero con mayor énfasis en la segunda, de acuerdo a los datos presentes en la tabla 47 y en la figura 13.

Tabla 47. Distribución de las variables físicas por cada agrupamiento evaluado para las recomendaciones de manejo agronómico del suelo.

Variables físicas del suelo por cada agrupamiento					
Variables	I	II	Variables	I	II
Toneladas/hectárea	4,82	10,14	<b>RMP (00 -10 cm)</b>		
% de Arcilla	34,11	41,51	Julio	0,61	0,52
% de Limo	32,60	28,71	Septiembre	0,43	0,99
% de Arena	33,29	29,79	Octubre	0,64	0,74
<b>Densidad aparente en (g/cm3) por mes</b>			Noviembre	0,35	0,47
Julio	1,02	1,09	Diciembre	1,26	0,78
Septiembre	1,14	1,11	Febrero	0,53	0,65
Octubre	1,18	1,21	Promedio	0,64	0,69
Noviembre	1,21	1,17	<b>RMP (10 -20 cm)</b>		
Diciembre	1,22	1,19	Julio	1,00	1,05
Febrero	1,21	1,18	Septiembre	1,16	1,39
Promedio	1,17	1,16	Octubre	1,04	1,14
<b>Densidad real en (g/cm3)</b>			Noviembre	0,89	0,95
Julio	2,28	2,29	Diciembre	1,08	0,99
Febrero	2,28	2,28	Febrero	2,01	2,34
Promedio	2,28	2,28	Promedio	1,20	1,31
<b>Porcentaje de porosidad</b>			<b>RMP (20 -30 cm)</b>		
Julio	55,03	52,44	Julio	1,34	1,27
Febrero	46,90	48,15	Septiembre	1,56	1,52
Promedio	50,96	50,30	Octubre	1,33	1,28
<b>Porcentaje de humedad del suelo</b>			Noviembre	1,11	1,11
Julio	20,52	20,72	Diciembre	1,15	1,33
Septiembre	32,14	32,37	Febrero	2,51	2,14
Octubre	25,51	31,01	Promedio	1,30	1,44
Noviembre	37,96	39,03	<b>RMP (30 -40 cm)</b>		
Diciembre	34,71	35,99	Julio	1,66	1,28
Febrero	27,93	27,81	Septiembre	1,70	1,59
Promedio	29,79	31,16	Octubre	1,46	1,39
<b>Estabilidad estructural en húmedo del agregado</b>			Noviembre	1,38	1,31
Julio	1,28	1,28	Diciembre	1,47	1,30
Febrero	1,29	1,34	Febrero	1,95	2,31
Promedio	1,28	1,31	Promedio	1,61	1,53
<b>Estabilidad estructural en seco del agregado</b>			<b>RMP (40 -50 cm)</b>		
Julio	1,45	1,76	Julio	1,40	1,63
Febrero	1,49	1,70	Septiembre	1,45	1,74
Promedio	1,47	1,73	Octubre	1,40	1,42
<b>Dímetro ponderado medio en húmedo del agregado</b>			Noviembre	1,42	1,48
Julio	2,50	3,07	Diciembre	1,40	1,32
Febrero	2,94	2,73	Febrero	1,70	2,03
Promedio	2,72	2,90	Promedio	1,46	1,61
<b>Diámetro ponderado medio en seco del agregado</b>					
Julio	3,11	3,14			
Febrero	2,86	3,43			
Promedio	2,98	3,29			

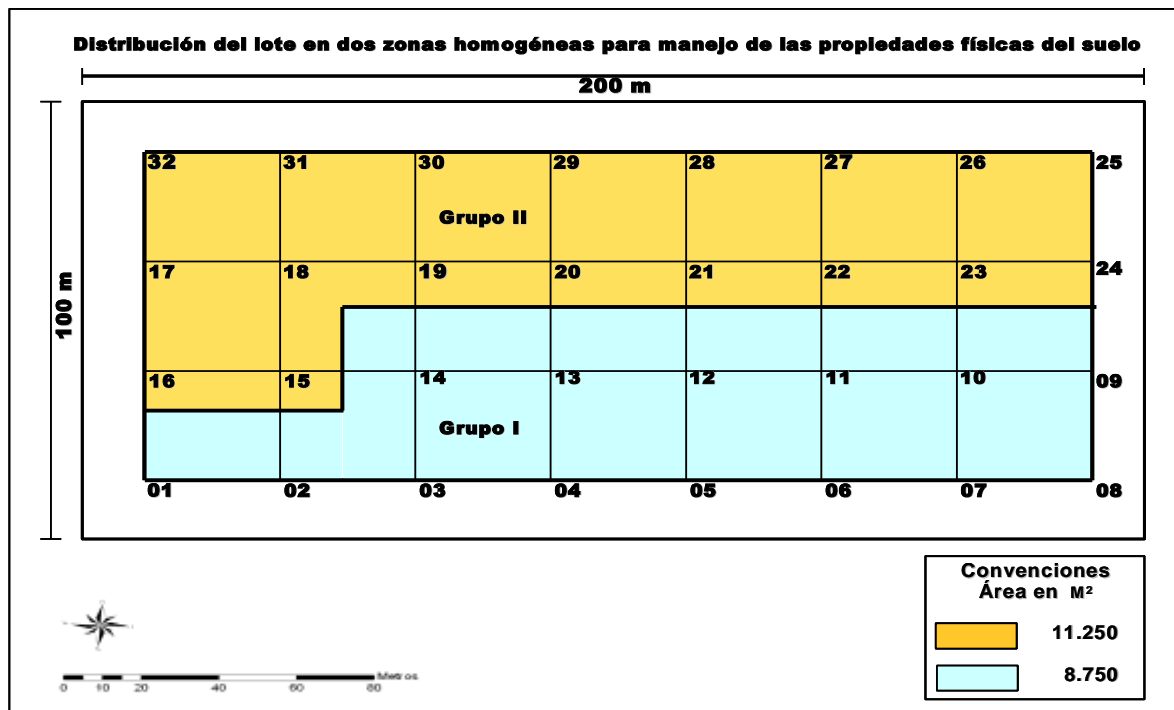
La labranza se debe complementar con la incorporación de residuos de cosecha y cobertura vegetal, para que mejore las características del suelo y disminuya los efectos negativos ocasionados por el sistema actual de labranza convencional sobre los agentes formadores de éste, ello le permite a la planta desarrollar un mayor sistema radicular en profundidad lo cual le mejora la capacidad de absorber nutrientes y de explorar mayores volúmenes de suelo.

La fertilidad del suelo se debe manejar acorde con los requerimientos del cultivo y las deficiencias nutritivas por área homogénea cultivada, de acuerdo a las metas de rentabilidad trazadas por cosecha, teniendo en cuenta los resultados generados para éste ítem presentes en la tabla 48 y la figura 14.

Tabla 48. Distribución de las variables químicas del suelo por cada agrupamiento evaluado para las recomendaciones de manejo.

<b>Valores químicas del suelo por cada agrupamiento evaluado</b>		
<b>Variables</b>	<b>I</b>	<b>II</b>
<b>Primera lectura antes de la siembra del cultivo</b>		
Toneladas/hectárea	5,25	9,49
pH	5,08	5,17
% CO	2,764	3,290
% MO	4,766	5,672
% N total	0,238	0,284
% N Disponible	0,004	0,004
* P	67,257	63,761
** K	0,904	0,860
** Ca	10,396	11,353
** Na	1,017	1,297
** CIC	23,964	25,534
+ CE	0,621	0,845
<b>Segunda lectura a los sesenta días después de sembrado el cultivo</b>		
pH	5,264	5,096
% CO	2,813	3,622
% MO	4,849	6,244
% N total	0,242	0,312
% N Disponible	0,004	0,005
* P	118,621	137,361
** K	0,779	1,143
** Ca	10,101	11,147
** Na	0,894	1,197
** CIC	23,079	25,600
+ CE	0,991	1,442
* (ppm)	** (meq/100g/suelo)	+ ds/m

Figura 13. Mapa de distribución espacial de las áreas homogéneas de las variables físicas para los dos grupos clasificados por el análisis de conglomerados de acuerdo a la recomendación de manejo agronómico.



Elaboró: Adriana Martínez Arias, laboratorio SIG U/Nal Palmira

Figura 14. Mapa de distribución espacial de las áreas homogéneas de las variables químicas para los dos grupos clasificados por el análisis de conglomerados de acuerdo a la recomendación de manejo agronómico.



Elaboró: Adriana Martínez Arias, laboratorio SIG U/Nal Palmira

## 5. CONCLUSIONES

Las variables físicas tomadas antes de la preparación del suelo, como la DA, %P, %H y la EES se reflejaron en el rendimiento del cultivo y en el mejoramiento de la resistencia mecánica a la penetración en los primeros 10 cm de profundidad del perfil.

A partir del análisis estadístico se determinó que las propiedades físicas que más influyeron sobre el rendimiento del cultivo de maíz estuvieron conformadas por la textura principalmente el porcentaje de arcilla, seguida de la estabilidad estructural en seco y por el porcentaje de humedad y entre las químicas sobresalieron el porcentaje de materia orgánica, los altos niveles de sodio y la capacidad de intercambio cationico, las cuales influyeron en la distribución homogénea de nutrientes como el fósforo, potasio y calcio, respectivamente.

El análisis geoestadístico de las propiedades físicas y químicas evaluadas generó rangos con dependencia espacial que oscilaron entre 00 a 60 m para la RMP de 30 a 40 y de 40 a 50 cm de profundidad y la CE; rangos de 60 a 100 m lo presentaron la RMP de 20 a 30 cm, porcentaje de arcilla, limo, arena y de humedad, EEH, EES, DPMH, Na, Ca, pH, cosecha; mientras que en el rango entre 100 y 346 m se presentaron el DPMS, el porcentaje de porosidad, la DA, la DR, la RMP entre 00 y 10 cm y de 10 a 20 cm, %MO, porcentaje de nitrógeno total, P, K y CIC.

El uso de la geoestadística como herramienta para evaluar la variabilidad espacial del suelo, determinó la heterogeneidad de las características que influyeron sobre el rendimiento del cultivo de maíz, que junto con el análisis de componentes

principales y de conglomerados permitió clasificar los puntos muestreados del lote en cinco grupos por rendimiento de la cosecha de maíz de manera homogénea.

El análisis de componentes principales determinó que las propiedades físicas del suelo, como textura (porcentaje de arcilla, limo y arena), densidad aparente de julio y febrero, porcentaje de porosidad de febrero, estabilidad estructural del agregado en húmedo y en seco, resistencia mecánica a la penetración de 10 a 50 cm de profundidad y entre las químicas, el porcentaje de Materia Orgánica, la Capacidad de Intercambio Cationico y el sodio, fueron las variables responsables que explicaron la variabilidad espacial del rendimiento de la cosecha de maíz por sitio en todo el lote.

Si bien es cierto que las variables evaluadas por sitio influyeron sobre el rendimiento de la cosecha y determinaron la formación y distribución de los grupos por el análisis de conglomerados, en algunos sitios la variabilidad en el rendimiento no tuvo un comportamiento similar a la variabilidad de las variables evaluadas porque posiblemente hay otros factores, como elementos menores que influyeron sobre el rendimiento y que no se tuvieron en cuenta en este estudio.



## BIBLIOGRAFÍA

**ABDUL AZIZ M.** Performance of maize varieties under waterlogged soil conditions. Training Report of the 1st Reg. Training Course on Maize Agron. and Prod., Asian Maize Training Center, Farm Suwan, Pak Chong, Nakhonratchasima, Thailand. 1995. 15 p.

**ÁLVAREZ Roberto, HAYDÉE S. Steinbach, BAUSCHEN Bernardo y ENJALBERT JEAN Nicolás.** Variabilidad espacial de propiedades de los suelos de la pampa ondulada: Efecto sobre el número de submuestras a tomar para el diagnóstico de la fertilidad. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453, Buenos Aires, Argentina, (UBACYT G004) y CONICET (PIP 02050) E-mail ralvarez@agro.uba.ar 2004. 5P.

**ALMANZA Edgar, BAQUERO E. José, CHOPART Jean Louis, ROVEDA Hoyos Gabriel, ROJAS Leyla Amparo y RODRÍGUEZ Fernando.** La raíz un indicador de limitantes físico - químicos de los suelos de los llanos orientales, En: X congreso Nacional de la Ciencia del suelo programa y resúmenes, Editor, PEREZ Juan Carlos, Colombia. 2.001. p 189.

**ALMANSA M. Edgar F., y ARGUELLO T. Jorge Orlando.** La compactación en suelos Agrícolas de la Orinoquia, En: X Congreso Nacional de la Ciencia del suelo programa y resúmenes el suelo un componente del medio natural, editado por PEREZ Juan Carlos. Colombia. 2.000. P. 189.

**AMÉZQUITA COLLAZOS Edgar y OROZCO D. Olga Lucia.** El potasio del suelo y su dinámica. En: Memorias Seminario de vinazas, potasio y elementos menores

para una agricultura sostenible. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo Capitulo Valle del Cauca. Palmira. 2004. P. 233.

**AMÉZQUITA COLLAZOS Edgar** Aplicabilidad de la agricultura de precisión en el trópico En: Manejo productivo de suelos para cultivos de alto rendimiento Colombia 2001. p 77-93.

----- Procesos físicos de degradación de suelos en Colombia En: Actualidades ICA. Bogotá. D.C. 1.992. p. 85.

**BARCENA GUARDIOLA José Luís y GARCIA Luís Amparo.** Fisiología vegetal I: Nutrición y transporte. ISBN: 84-7738-095-3. España 1990. P. 435.

**BECHINI Luca, BOCCHI Stefano y MAGGIORE Tommaso.** Spatial interpolation of soil physical properties for irrigation planning. A simulation study in northern Italy Department of Crop Science, Section of Agronomy, University of Milano, Milan, Italy. Received 23 May 2.000; received in revised form 20 November 2.001; accepted 13 January 2.002 En: Disponible en página de Internet: [www.elsevier.com/locate/eja](http://www.elsevier.com/locate/eja) Elsevier Science Ireland B.V.

**BELOW E. Fred.** Fisiología, Nutrición y fertilización nitrogenada del maíz. Tomado Informaciones agronómicas. Instituto de la potasa y el fósforo. Inpofos A. S. En: Disponible en página de internet: [www.inpofos.org.Quito](http://www.inpofos.org.Quito) Ecuador 2002. 7 p.

**BONGIOVANNI Rodrigo.** Econometría espacial: una herramienta clave para el manejo sitio-específico de insumos En: tercer taller de Agricultura de Precisión del Cono Sur de América, Argentina, Organizado por PROCISUR (Programa Cooperación para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur. INTA Manfredi. Disponible en Internet:

<http://www.agricultuadeprecisión.org/cursos/IIIallerInternational/>. Argentina. 2.002.  
10 P.

**BUERBANO ORJUELA Hernán** La materia orgánica del suelo en el contexto de una agricultura sostenible. *En:* Fertilidad de suelos diagnostico y control de la sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo ISBN 958-95-299-1-7. Bogotá 1.994 Pp 186 – 214.

**BRAGACHINI Mario.** Proyecto de Agricultura de Precisión, INTA Manfredi Córdoba, disponible en Internet [agricultuadeprecision.org](http://agricultuadeprecision.org). Argéntica 2003. 25 P.

**CAMACHO TAMAYO Jesús H, CORTÉS A. César, GAMBOA D. Wilson y LEIVA RODRIGUEZ Fabio.** Evaluación de la variabilidad espacial y temporal de la resistencia a la penetración en suelos de la sabana de Bogotá. *En:* III Encuentro Nacional de Agricultura de conservación. Comité regional de los Llanos Orientales de la Sociedad Colombiana de la Ciencia. Villavicencio Colombia 2007. P.264.

**CASTRO FRANCO Hugo E.** Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. ISBN 958-9340-56-3. Instituto Universitario Juan de Castellanos Tunja Colombia 1998. 360 p.

**CROVETTO Carlos.** La cero labranza y la nutrición del suelo. *En:* Memorias sobre encuentro nacional de labranza de conservación realizado en Villavicencio Meta, Colombia. ISBN 958-608-138-9. 1.998. 557 p

**DÍAZ MONRROY Luís Guillermo.** Estadística multivariada: Inferencia y métodos. Departamento de estadística de la facultad de ciencia de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. ISBN 978-958-701-195-1. 2.007. 556 P.

**ESPINEL FEDERICO G Carlos, MARTÍNEZ COVALEDA Héctor J., y ACEVEDO GAITÁN Ximena.** La cadena de cereales, alimentos balanceados para animales, avicultura y porcicultura en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica En: Documento de trabajo N° 87 del Observatorio de agrocadenas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia 1.991-2.005. Disponible en página de Internet: <http://www.agrocadenas.gov.co> Colombia 2.006. 95 p.

**FAO.** 1993. Organización de las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación En: El maíz en la nutrición humana. Roma, N° 25, 172p.

**FENALCE.** Informe técnico al Congreso Nacional Cerealista. Fondo Nacional Cerealista y de Leguminosas de Grano. En: Revista el cerealista. Colombia 2004. 11 p.

**FERRERAS Laura, MAGRA Gustavo, BESSON Pablo, KOVALEVSKI, Esteban y GARCÍA Fernando.** Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de argentina bajo siembra directa. En: Facultad de Ciencias Agrarias-UNR, Campo Experimental JF Villarino, e Instituto Internacional de Nutrición de Plantas-IPNI Cono Sur, Av. Santa Fe 910, Acassuso, Buenos Aires Argentina, Recibido: 29/06/07 y Aceptado: 25/09/07.

**GARCÍA O. Fernando y PICOTE Liliana Fósforo:** Dinámica y manejo en sistemas de siembra directa En: Informaciones agronómicas N° 55. INTA Cautelar. INPOFOS: Argentina. 2.004. 16 p.

**GAVANDE SAMPAT A.** Físicas de suelos principios y aplicaciones editorial limusa ISBN 968-18-0304-3. México 1.987. 347 p.

**GIRALDO Soláis y MENDOZA NIÑO Andrés Mauricio:** Caracterización de la variabilidad espacial de las propiedades físicas de los lotes experimentales destinados al cultivo de hortalizas en CEUNP. En: tesis de pregrado de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 2.003. 99 p.

**GIRALDO HENAO Ramón.** Introducción a la Geoestadística su teoría y aplicación. En: Simposio de estadística Bogotá D. C. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá D.C. 2.002. 18 p.

**GIL C. Rodolfo.** El comportamiento físico-funcional de los suelos. Algunos criterios para la cuantificación y diagnóstico del comportamiento estructural del suelo, y su relación con la dinámica del agua y la producción de los cultivos. En: Informaciones agronómicas N° 53. INTA Cautelar. INPOFOS: Argentina. 2.002. 20 p.

**GOMEZ FRANCO Evelio.** Procesos erosivos: Estrategias para su caracterización e implementación de sus prácticas básicas de control y prevención, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales y Ecología – Cine. Medellín. 1.999. 143 p.

**GUERRERO, RIASCOS, Ricardo.** Manual de Fertilización de cultivos en clima cálido. Colombia. 1.998. 290 p.

----- **Fundamentos técnicos para la fertilización de cultivos.** En: Fertilidad de suelos diagnóstico y control de la sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo ISBN 958-95-299-1-7. Bogotá 1.994 Pp 247 – 278.

**INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTÍN CODAZZI IGAC.** Estudio general de Suelos de Colombia ISBN 958-9067-67-0 En CD. Santafé de Bogotá D. C. 2005

**JARAMILLO J. DANIEL F.** Introducción a la ciencia del suelo. En: Universidad Nacional de Colombia facultad de Ciencias Medellín Colombia. 2.002. p. 619.

**KENAN KILIÇ, ENGIN ÖZGÖZ, FEVZI AKBAŞ.** Assessment of spatial variability in penetration resistance as related to some soil physical properties of two fluents in Turkey. Faculty of Agriculture, University of Gaziosmanpasa, 60240 Tokat, Turkey Received 17 January 2003; received in revised form 23 July 2003; accepted 8 August 2003. En: Disponible en página de internet: [www.elsevier.com/locate/still](http://www.elsevier.com/locate/still).

**KREIMER Pedro.** Las TICS en la agricultura de precisión. En: CEDITEC (Centro de Difusión de Tecnologías ETSIT-UPM). En: Disponible en Internet: <http://www.ceditec.etsit.upm.es> 2.003. 36 p.

**LEIVA BARON Fabio R.** Manejo sostenible del suelo en sistemas de cultivos transitorios bajo la concepción de agricultura de precisión. Proyecto presentado a Colciencias. Colombia. 2.003. 10 p.

**LORA SILVA Rodrigo.** Propiedades físicas y químicas del suelo. En: Memorias del Encuentro Nacional de Labranza de Conservación, Villavicencio Meta ISBN: 958-608-138-9 Colombia. 1.998. 15 p.

**LUENGAS GÓMEZ Carlos Alberto.** Estudio de la variabilidad espacial en un suelo con diferentes ciclos de intervención agrícola en la altillanura colombiana. En: Tesis de maestría en ciencias agrarias con énfasis en suelos y aguas. Escuela de Postgrado de la Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá D.C. 2005. 102 p.

**MARTINEZ M. Luís Joel.** Bases para evaluar la fertilidad del suelo en agricultura de precisión. *En:* Manejo integral de la fertilidad del suelo. Publicación de la sociedad colombiana de ciencia del suelo. Colombia. 2.003. P. 139.

**MARTINO L. Daniel.** Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa grupo de riego, agroclima, ambiente y agricultura satelital (gras) del instituto nacional de investigación agropecuaria de Uruguay. Disponible en Internet: [http://www.produccionbovina.com/suelos\\_ganaderos/11-Uruguay.2.003](http://www.produccionbovina.com/suelos_ganaderos/11-Uruguay.2.003). 27 p.

**MALAGON CASTRO. Dimas. PULIDO ROA Carlos. LLINAS RIVERA Rubén Darío. CHAMORRO BELLO Clara, FERNANDEZ LAMUS Jimmy** Suelos de Colombia, (origen, evolución, clasificación, distribución y uso). Instituto Geográfico Agustín Codazzi Subdirección de Agrología Bogotá D.C. 1995. 631p.

**MENDEZ ALDANA Hernando** Generalidades sobre la fertilidad de los Suelos en las zonas Cacaoteras Colombianas. *En* Memorias Curso Nacional de Cacao. Floridablanca (Santander). ICA. 1990. 106 p.

**MENDEZ ALDANA Hernando, PALENCIA CALDERON Gildardo y RAMÍREZ GOMEZ Margarita.** Zonificación de tierras por su aptitud para el cultivo de Cacao en los Municipios del Occidente de Boyacá. Bucaramanga. CORPOICA. *En* Informe Final. Documento de Trabajo. 2006. 35 p.

**MENGEL Honrad y KIRKBY A. Ernest.** Principios de nutrición vegetal. Traducido al español por MELGAR J. Ricardo ISBN: Nr. 3-906-53503-7. Francia 2.000. 607 p.

**MEJÍA MEJIA Adriana Elizabeth.** Variabilidad espacial de propiedades físico-químicas en un área productiva de palma africana (*elaeis guineensis* L.) de la finca

Ricaurte plantación Alespalma cantón de San Lorenzo Ecuador. En: Tesis de Magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos). Universidad Nacional de Colombia. Palmira 2.007. 144 p.

**MENJIVAR Juan Carlos.** Salinidad de los suelos En: Clase de la asignatura de Química y fertilidad avanzada de suelos para estudiantes de la maestría en Ciencias agrarias con énfasis en Manejo de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Colombia 2.007. 51 p.

**MOSQUERA GUERRERO Jairo Hernán.** Efecto de la labranza vertical y convencional sobre algunas propiedades físicas de un suelo localizado en la vereda Santa rosa, municipio del mues, Nariño, Colombia. En: Tesis de de Magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en suelos. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira 2.006. 103 p.

**MOTTA MUÑOZ, Beatriz. RODRIGUEZ T. Camilo, MONTENEGRO G. Hugo, MARULANDA S. Jairo, CORREA de C. Adela y BENDECK de V. Miriam.** Manual de Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. V edición de del IGAC. 1.990. 502 p.

**MONTENEGRO GONZALES. Hugo y MALAGON CASTRO. Dimas.** Propiedades físicas de los suelos. En: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D. C. 1.990. 813 p.

**MONTENEGRO GONZALES. Hugo.** Interpretación de las propiedades físicas del suelo. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. Bogotá D.C. 1.991. P. 99.



----- Propiedades físicas de los suelos en relación con la fertilidad. En: Manejo Integral de la Fertilidad del suelo, publicación de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo Bogotá D.C. 2.003. 12 p.

----- Suelos de la sabana de bogota: sus usos y manejos Seminario de nutrición vegetal y fertirriego en horticultura \*Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía, Sede Bogotá. 2.005. 15 p.

**NAVARRO BLAYA Simón y NAVARRO GARCIA Gines.** Manual de Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. ISBN: 874-7114-905-2. España 2.000. 432 p.

**NARRO FARIAS Eduardo.** Manual de Física de suelos con enfoque agrícola. ISBN 968-24-4672-4 **México** 1.994. 181 p.

**OSPINA RODRIGUEZ José Gabriel.** Tecnología del Cultivo del Maíz. En: Fondo Nacional Cerealista. Colombia 1.999. 11 p.

**ORTEGA REY Daniel** Consideraciones generales para interpretar análisis de suelos con fines agropecuarios. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. En: Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Colombia 1.998 p 127.

**ORTIZ L. Rafael.** Física de suelos un enfoque moderno en la agricultura actual. El caso de la degradación física por efectos de la mecanización. En: Memorias encuentro nacional de labranza de conservación en Villavicencio Meta. ISBN: 950-608-138-9. Colombia 1998. 557 p.

**OVALLES. Fernando.** Metodología para determinar la superficie representada por muestras Tomadas con fines de fertilidad FONAIAP-CENIAP-IIAG. Maracay venezuela. 1992. P 44.

**PALIWAL R. L., GRANADOS G., LAFITTE. H. R., VIOLIC D. A Y PIERRE M. J.** El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. En: FAO. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. 2.001. 486 p.

**PORTA CASANELLAS Jaime, LOPEZ ACEVEDO REGUERIN Marta y ROQUERO DE LABURU Carlos.** Edafología para la agricultura y el medio ambiente, ISBN: 84-7114-468-9 ediciones mundi prensa España 1994. 807 p.

**PEÑA Daniel** Análisis de datos multivariados. Madrid España: Mac Graw Hill, 2002, pp. 133-158.

**PEREZ Paola Tatiana.** Variabilidad espacial y relaciones entre rendimiento de cultivos, propiedades físicas del suelo y compactación en terrenos del CIAT Colombia En: Tesis de Ingeniera Agrónoma. Universidad Nacional de Colombia. Palmira 2.003. 81 p.

**PINZON PINTO Ángela.** Análisis e interpretación de propiedades físicas determinadas en el laboratorio. En: Manejo Integral de la Fertilidad del Suelo, Publicación de la Sociedad Colombiana del Suelo. Bogotá. D.C. 2003. p. 63.

**RAMÍREZ PISCO Ramiro y SALAZAR JIMÉNEZ Clara Isabel** Cambios de la resistencia a la penetración en un suelo con diferentes sistemas de manejo y su relación con algunas propiedades físicas en un Andisol-marinilla la montaña. Colombia. 2.000. p. 22.

**RENGEL L. Marcos.** Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes de Maíz (*Zea mays* L.) en Venezuela. Informaciones agronómicas 53. INPOFOS 2003: P. 5-8.

**RIVERA POSADA José Horacio** La labranza de los suelos en el trópico: ¿necesidad o costumbre? En: revista CORPOICA. 2003. p 3.

**ROSENSTEIN Emilio, BARRERA WILLS German y GARCIA ALZATE Henry.** Diccionario de especialidades agroquímicas, ISBN: 9036-79-1. 1994. p 328.

**RUBIANO Sanabria Yolanda** Herramienta SIG para apoyo a la toma de decisiones en planificación uso y manejo del suelo. Tesis de doctorado en Ciencias agrarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira 2004. 121 P.

**SÁNCHEZ TORRES Danilo.** Respuesta en el desarrollo y producción del cultivo del maíz (*Zea mays* L.) causada por la variabilidad de las condiciones químicas del suelo, en la sabana de Bogotá. En: Tesis de maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Fisiología cultivos Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá 2.008. 99P.

**SÁNCHEZ TORRES. Danilo, COCK. J. Marín, ARREDONDO N. Fernández, BERMÚDEZ Y CASTAÑO. G. M. A. SÁNCHEZ MEJÍA. M & Álvarez Villada. D. M. 2007.** Agricultura específica por sitio en frutales Tecnología desarrollada en las fincas para cada finca. Corporación BIOTEC. ISBN- 978-958-44-2383-2. 48 p.

**SANTIBÁÑEZ PONCE Oscar Andrés.** Evaluación Agronómica de tres Métodos de Zonificación Basados en Fertilidad del Suelo en el Cultivo de Maíz (*Zea maiz* L.). En: Tesis Magíster en Ciencias Vegetales Pontificia Universidad Católica de Chile Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal Dirección de Investigación y Postgrado Programa de Postgrado en Ciencias de la Agricultura. Santijul de Chile 2006. 40 p.

**SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL.** Estadísticas Agropecuarias del departamento de Cundinamarca. En: Anuario de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del departamento de Cundinamarca Oficina URPA. Volumen 17. 2001. 49 p.

**SILVA, Luís A. GUTIERREZ Noemi C., y VENIALGO Crispín.** Densidad relativa y estabilidad de agregados en cultivos anuales y perennes en la serie Zanatta (Meson de Fierro - Chaco) en Conservación y Manejo de suelos - Facultad de Ciencias Agrarias - UNNE. Sargento Cabral 2131 - (3400) Corrientes - Argentina. 2.000 p. 3

**TERAN CHAVEZ. Cesar y VILLANEDA Edgar.** Evaluación participativa de algunas prácticas agronómicas para el mejoramiento de los sistemas de producción agrícola en dos zonas piloto de los municipios de Mercaderes (Cauca) y Taminango (Nariño) 2.000 22 p.

----- Datos climatológicos de la estación de meteorología del Centro de Investigación CORPOICA Tibaitata. Bogotá. 2.005. P10.

**TORRES BAZURTO Jaime.** Levantamiento edafológico del Centro Agropecuario de Marengo. (CAM) Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia se Bogotá. D.C. En: La asignatura de Suelos I. Bogotá D.C. 2.003. 16 p.

**VÉLEZ CARVAJAL Nohora Astrid.** Desarrollo de una metodología para evaluar la sostenibilidad de sistemas agrícolas constituidos por cultivos transitorios: Un estudio de caso. En: Tesis de grado para obtener el título de Ingeniera agrícola Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, D. C. 2004. 145 p.

**VERGEL MANZANO Libardo, TERAN CHAVES Cesar, GOMEZ, de E. Clemencia, VALENZUELA, Miguel A., RENGIFO ESTRADA Gersain A. CONDE VILLAMIZAR Pedro J.** Manual técnico de Manejo de riego en Cebolla Ocañera. Ocaña N. S. Colombia. 2004. 59 p.

**VENIALGO, C.; GUTIERREZ N.; GUTIERREZ J.; SILVA L.; RAMIREZ N.; RESTELLI R.; INGARAMO O.;** 1998. Chile. Caracterización del Estado de Compactación de suelos en Lotes con Labranza Cero. *En:* 9ª Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas. Facultad de Ciencias Agrarias. U.N.N.E. pp. 120.

**VIEIRA SIDNEY ROSA Y PAZ GONZALEZ ANTONIO** Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. Research Scientist, Instituto Agronômico, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais, Received in September 26, 2001 and approved in February 3, 2003. *Bragantia*, Campinas, v.62, N.1. 2.003. 127-138 p.

**VOLVERAS MAMBUSCAY BELISARIO.** Evaluación del efecto de uso y manejo del suelo sobre algunas propiedades físicas en la zona de reconversión del cultivo de trigo (*Triticum vulgare*) del departamento de Nariño. *En:* Tesis de Magíster en ciencias agrarias con énfasis en suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira 2006. 131 p.

## LISTA DE ANEXOS

### ANEXO A. Datos de las variables físicas y químicas evaluadas

**Anexo A.1** Valores del contenidos texturales (arcilla, limo y arena) del suelo evaluado por punto e incluidos en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Características Morfológicas del primer Horizonte del Perfil del suelo por punto								
Coordenadas		Nodo	Profundidad	Nomenclatura	Granulometría (%)			Textura
X	Y		(cm.)	Horizonte	Arcilla	Limo	Arena	de campo
0	0	1	0 - 25	Ap	42.5	32.0	25.5	Ar
25	0	2	0 - 20	Ap	34.5	34.0	31.5	FAr
50	0	3	0 - 25	Ap	34.1	30.0	35.9	FAr
75	0	4	0 - 19	Ap	27.7	36.0	36.3	FAr
100	0	5	0 - 18	Ap	28.5	40.0	31.5	FAr
125	0	6	0 - 20	Ap	30.5	36.0	33.5	FAr
150	0	7	0 - 19	Ap	37.7	22.0	40.3	FAr
175	0	8	0 - 19	Ap	33.7	30.0	36.3	FAr
175	25	9	0 - 20	Ap	41.4	30.4	28.2	Ar
150	25	10	0 - 19	Ap	39.0	28.0	33.0	FAr
125	25	11	0 - 20	Ap	33.0	32.0	35.0	FAr
100	25	12	0 - 25	Ap	29.0	40.0	31.0	FAr
75	25	13	0 - 18	Ap	31.0	34.0	35.0	FAr
50	25	14	0 - 20	Ap	35.0	32.0	33.0	FAr
25	25	15	0 - 19	Ap	39.0	30.0	31.0	FAr
0	25	16	0 - 18	Ap	43.0	28.0	29.0	Ar
0	50	17	0 - 16	Ap	45.7	25.0	29.3	Ar
25	50	18	0 - 20	Ap	44.5	24.2	31.3	Ar
50	50	19	0 - 18	Ap	40.5	26.2	33.3	Ar
75	50	20	0 - 19	Ap	40.1	30.9	29.0	Ar
100	50	21	0 - 20	Ap	41.7	31.3	27.0	Ar
125	50	22	0 - 14	Ap	42.1	26.6	31.3	Ar
150	50	23	0 - 20	Ap	44.5	28.2	27.3	Ar
175	50	24	0 - 12	Ap	40.1	28.6	31.3	Ar
175	75	25	0 - 17	Ap	41.7	27	31.3	Ar
150	75	26	0 - 17	Ap	37.4	29.3	33.3	FAr
125	75	27	0 - 17	Ap	45.4	27.7	26.9	Ar
100	75	28	0 - 22	Ap	39.0	31.7	29.3	FAr
75	75	29	0 - 20	Ap	41.4	32.0	26.6	Ar
50	75	30	0 - 18	Ap	41.0	30.0	29.0	Ar
25	75	31	0 - 19	Ap	37.0	30.0	33.0	FAr
0	75	32	0 - 22	Ap	43.0	30.0	27.0	Ar
<b>Promedio</b>					<b>38.27</b>	<b>30.41</b>	<b>31.32</b>	

**Anexo A.2** Valores del contenidos texturales (arcilla, limo, arena) del suelo y del rendimiento de la cosecha incluidos en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Coordenadas geográficas por punto			Componentes texturales del suelo			Rendimiento
X	Y	punto	Arcilla	Limo	Arena	Ton/Ha
0	0	1	42.50	32.00	25.50	5.56
25	0	2	34.50	34.00	31.50	9.44
50	0	3	34.10	30.00	35.90	5.72
75	0	4	27.70	36.00	36.30	5.72
100	0	5	28.50	40.00	31.50	3.50
125	0	6	30.50	36.00	33.50	2.44
150	0	7	37.70	22.00	40.30	0.95
175	0	8	33.70	30.00	36.30	3.28
175	25	9	41.40	30.40	28.20	7.00
150	25	10	39.00	28.00	33.00	2.61
125	25	11	33.00	32.00	35.00	4.22
100	25	12	29.00	40.00	31.00	4.34
75	25	13	31.00	34.00	35.00	6.79
50	25	14	35.00	32.00	33.00	4.72
25	25	15	39.00	30.00	31.00	11.22
0	25	16	43.00	28.00	29.00	9.78
0	50	17	45.70	25.00	29.30	8.45
25	50	18	44.50	24.20	31.30	12.90
50	50	19	40.50	26.20	33.30	10.57
75	50	20	40.10	30.90	29.00	8.00
100	50	21	41.70	31.30	27.00	11.44
125	50	22	42.10	26.60	31.30	8.11
150	50	23	44.50	28.20	27.30	3.72
175	50	24	40.10	28.60	31.30	8.50
175	75	25	41.70	27.00	31.30	10.63
150	75	26	37.40	29.30	33.30	5.79
125	75	27	45.40	27.70	26.90	12.19
100	75	28	39.00	31.70	29.30	10.22
75	75	29	41.40	32.00	26.60	11.50
50	75	30	41.00	30.00	29.00	11.44
25	75	31	37.00	30.00	33.00	9.90
0	75	32	43.00	30.00	27.00	15.56

**Anexo A.3** Datos de la densidad aparente en  $\text{g/cm}^3$  del suelo tomados mensualmente e incluidos en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Coordenadas geográficas por punto			Densidad aparente (DA) del suelo en $\text{gr/cm}^3$ tomada mensualmente						
X	Y	Nodo	DA Jul.	DA Sep.	DA Oct.	DA Nov.	DA Dic.	DA Feb.	Promedio
0	0	1	1.08	1.13	1.04	1.11	1.05	1.08	1.08
25	0	2	1.04	1.02	1.18	1.17	1.13	1.19	1.12
50	0	3	0.96	1.16	1.13	1.26	1.11	1.24	1.14
75	0	4	1.04	1.10	1.12	1.22	1.23	1.27	1.16
100	0	5	0.99	1.12	1.15	1.26	1.32	1.07	1.15
125	0	6	0.92	1.30	1.22	1.15	1.19	1.18	1.16
150	0	7	1.05	1.08	1.11	1.11	1.17	1.25	1.13
175	0	8	0.97	1.09	1.08	1.20	1.17	1.21	1.12
175	25	9	1.07	1.09	1.27	1.29	1.20	1.21	1.19
150	25	10	0.98	1.19	1.22	1.32	1.35	1.31	1.23
125	25	11	1.16	1.17	1.30	1.22	1.34	1.30	1.25
100	25	12	1.01	1.25	1.39	1.23	1.33	1.28	1.25
75	25	13	1.11	1.07	1.16	1.26	1.19	1.08	1.15
50	25	14	0.96	1.13	1.17	1.20	1.32	1.30	1.18
25	25	15	1.03	0.98	1.04	1.14	1.16	1.30	1.11
0	25	16	1.27	1.12	1.22	1.05	1.21	1.11	1.16
0	50	17	1.23	1.03	1.17	1.14	1.26	1.15	1.16
25	50	18	1.10	1.03	1.18	1.05	0.99	1.13	1.08
50	50	19	0.95	1.21	0.99	1.27	1.29	1.08	1.13
75	50	20	0.91	1.03	1.10	1.19	1.19	1.17	1.10
100	50	21	1.14	1.21	1.12	1.30	1.24	1.19	1.20
125	50	22	1.21	1.22	1.69	1.21	1.25	1.21	1.30
150	50	23	0.97	1.12	1.15	1.22	1.31	1.39	1.19
175	50	24	1.09	1.17	1.15	1.10	1.16	1.32	1.17
175	75	25	1.15	1.19	1.17	1.25	1.21	1.21	1.20
150	75	26	1.19	1.19	1.17	1.21	1.24	1.22	1.20
125	75	27	1.17	1.07	1.33	1.27	1.30	1.19	1.22
100	75	28	1.07	1.12	1.25	1.14	1.07	1.19	1.14
75	75	29	1.17	1.15	1.50	1.10	1.04	1.21	1.20
50	75	30	0.98	1.03	1.24	1.22	1.26	1.15	1.15
25	75	31	1.01	1.06	1.23	1.07	1.18	1.02	1.10
0	75	32	0.97	1.01	1.15	1.10	1.08	1.04	1.06



**Anexo A.4** Datos de la densidad real en  $\text{g/cm}^3$  y del porcentaje de porosidad del suelo incluidos en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Coordenadas geográficas por punto			Densidad real del suelo en $\text{gr/cm}^3$ tomada mensualmente			% de porosidad del suelo tomada mensualmente		
X	Y	Nodo	DR Jul.	DR Feb.	Promedio	% Por Jul.	% Por Feb.	Promedio
0	0	1	2.30	2.28	2.29	53.04	53.33	53.19
25	0	2	2.29	2.29	2.29	54.59	47.77	51.18
50	0	3	2.27	2.27	2.27	57.71	45.25	51.48
75	0	4	2.25	2.27	2.26	53.78	44.06	48.92
100	0	5	2.25	2.25	2.25	56.00	52.30	54.15
125	0	6	2.27	2.26	2.27	59.47	47.97	53.72
150	0	7	2.28	2.26	2.27	53.95	44.68	49.32
175	0	8	2.29	2.28	2.29	57.64	47.18	52.41
175	25	9	2.27	2.29	2.28	52.86	47.31	50.09
150	25	10	2.29	2.30	2.30	57.21	42.92	50.07
125	25	11	2.26	2.26	2.26	48.67	42.53	45.60
100	25	12	2.28	2.35	2.32	55.70	45.52	50.61
75	25	13	2.30	2.28	2.29	51.74	52.37	52.06
50	25	14	2.29	2.29	2.29	58.08	43.37	50.73
25	25	15	2.30	2.29	2.30	55.22	43.45	49.34
0	25	16	2.29	2.26	2.28	44.54	51.07	47.81
0	50	17	2.29	2.27	2.28	46.29	49.57	47.93
25	50	18	2.30	2.28	2.29	52.17	50.33	51.25
50	50	19	2.29	2.28	2.29	58.52	52.79	55.66
75	50	20	2.30	2.29	2.30	60.43	48.83	54.63
100	50	21	2.29	2.30	2.30	50.22	48.39	49.31
125	50	22	2.31	2.29	2.30	47.62	46.95	47.29
150	50	23	2.32	2.31	2.32	58.19	39.79	48.99
175	50	24	2.27	2.26	2.27	51.98	41.46	46.72
175	75	25	2.23	2.21	2.22	48.43	45.34	46.89
150	75	26	2.30	2.28	2.29	43.26	46.53	44.90
125	75	27	2.31	2.29	2.30	49.36	48.12	48.74
100	75	28	2.30	2.30	2.30	53.48	48.17	50.83
75	75	29	2.30	2.31	2.31	49.13	47.61	48.37
50	75	30	2.31	2.31	2.31	57.58	50.14	53.86
25	75	31	2.29	2.28	2.29	55.90	55.14	55.52
0	75	32	2.24	2.21	2.23	56.70	53.05	54.88

**Anexo A.5** Valores del porcentaje de humedad del suelo tomada mensualmente e incluidos en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Coordenadas geográficas por punto			% de la humedad (%H) gravimétrica del suelo tomada mensualmente						
X	Y	Nodo	%H jul.	%H sep.	%H Oct.	%H nov.	%H dic.	%H Feb.	%H Promedio
0	0	1	25.41	29.30	21.81	28.33	30.18	25.20	26.71
25	0	2	19.67	28.60	26.48	27.98	26.30	24.02	25.51
50	0	3	19.24	28.60	19.89	34.12	28.90	28.96	26.62
75	0	4	22.06	29.20	23.06	33.54	30.63	24.86	27.23
100	0	5	22.04	29.70	20.77	42.98	37.14	27.08	29.95
125	0	6	21.20	33.50	23.73	38.92	31.23	28.62	29.53
150	0	7	15.12	40.90	29.81	45.21	46.26	29.06	34.39
175	0	8	19.02	37.50	27.39	41.81	39.18	31.89	32.80
175	25	9	21.35	32.00	28.31	37.63	35.32	28.78	30.57
150	25	10	18.35	31.50	29.05	40.74	30.57	30.32	30.09
125	25	11	17.66	30.90	26.32	40.26	32.22	27.72	29.18
100	25	12	27.80	32.50	28.31	39.41	38.84	26.92	32.30
75	25	13	26.78	33.60	26.58	40.10	38.88	25.11	31.84
50	25	14	11.56	32.10	25.65	40.36	40.22	32.46	30.39
25	25	15	23.17	27.90	28.20	36.60	31.38	12.57	26.64
0	25	16	24.78	31.50	28.82	32.95	28.75	31.23	29.67
0	50	17	23.22	32.60	30.63	38.46	30.74	27.57	30.54
25	50	18	24.91	31.80	26.23	42.80	31.99	29.62	31.23
50	50	19	22.23	35.20	32.61	43.32	35.86	33.27	33.75
75	50	20	25.74	33.40	33.27	39.86	34.12	23.93	31.72
100	50	21	18.13	35.50	30.21	37.03	37.33	29.97	31.36
125	50	22	19.18	37.20	28.50	43.27	39.44	29.62	32.87
150	50	23	18.92	35.60	31.88	44.14	36.60	31.84	33.16
175	50	24	19.94	31.20	29.52	34.30	32.95	27.86	29.30
175	75	25	22.80	28.80	28.06	40.90	35.20	24.55	30.05
150	75	26	19.67	31.10	33.79	30.35	38.61	26.18	29.95
125	75	27	17.45	29.80	30.47	34.80	38.55	27.31	29.73
100	75	28	14.65	31.40	31.62	35.77	42.39	26.67	30.42
75	75	29	14.21	33.30	29.81	43.34	35.60	27.62	30.65
50	75	30	17.91	33.90	36.40	47.05	42.73	31.80	34.97
25	75	31	16.68	31.00	34.10	41.50	38.14	29.37	31.80
0	75	32	29.38	31.50	34.02	36.08	37.50	29.54	33.00

**Anexo A.6** Valores de la estabilidad estructural del agregado del suelo en húmedo (EEH) y en seco (EES) incluidos en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Coordenadas geográficas por punto			Índice de estabilidad estructural del agregado del suelo en húmedo en mm			Índice de estabilidad estructural del agregado del suelo en seco en mm		
X	Y	Punto	EEH Jul.	EEH Feb.	Promedio EEH	EES Jul.	EES Feb.	Promedio EES
0	0	1	1.439	1.585	1.51	1.346	1.904	1.63
25	0	2	1.320	1.078	1.20	1.643	1.346	1.49
50	0	3	1.217	1.294	1.26	1.091	1.643	1.37
75	0	4	1.786	1.307	1.55	1.163	1.091	1.13
100	0	5	1.134	1.556	1.35	1.512	1.163	1.34
125	0	6	1.151	1.243	1.20	1.191	1.512	1.35
150	0	7	1.247	1.287	1.27	1.673	1.191	1.43
175	0	8	1.387	1.229	1.31	1.409	1.673	1.54
175	25	9	1.141	1.106	1.12	2.304	1.409	1.86
150	25	10	1.399	1.306	1.35	1.847	2.304	2.08
125	25	11	1.149	1.287	1.22	1.033	1.847	1.44
100	25	12	1.083	1.204	1.14	1.198	1.033	1.12
75	25	13	1.075	1.118	1.10	1.480	1.198	1.34
50	25	14	1.326	1.414	1.37	1.384	1.480	1.43
25	25	15	1.202	1.304	1.25	1.055	1.384	1.22
0	25	16	1.062	1.150	1.11	1.281	1.055	1.17
0	50	17	1.441	1.238	1.34	1.404	1.281	1.34
25	50	18	1.779	1.310	1.54	1.688	1.404	1.55
50	50	19	1.421	1.360	1.39	1.359	1.688	1.52
75	50	20	1.160	1.165	1.16	1.654	1.359	1.51
100	50	21	1.092	1.309	1.20	1.487	1.654	1.57
125	50	22	1.155	1.280	1.22	1.869	1.487	1.68
150	50	23	1.146	1.364	1.26	1.534	1.869	1.70
175	50	24	1.137	1.453	1.30	1.937	1.534	1.74
175	75	25	1.145	1.485	1.32	1.343	1.937	1.64
150	75	26	1.086	1.287	1.19	2.230	13.430	7.83
125	75	27	1.292	1.645	1.47	2.214	2.230	2.22
100	75	28	1.267	1.631	1.45	1.886	2.214	2.05
75	75	29	1.445	1.522	1.48	2.487	1.886	2.19
50	75	30	1.413	1.065	1.24	1.997	2.487	2.24
25	75	31	1.447	1.197	1.32	1.759	1.997	1.88
0	75	32	0.830	1.387	1.11	2.442	1.759	2.10

**Viene anexo A.6** Cálculos de la estabilidad estructural en húmedo por tamaño del tamiz incluido en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Primera lectura del índice de estabilidad estructural de los agregados en húmedo (EEH) y del diámetro ponderado medio del agregado en húmedo (DPMH) en mm del primer horizonte del perfil del suelo por punto tomada antes del establecimiento del experimento en campo.														
Coordenadas		Puntos	Peso en gramos de los agregados en Húmedo por tamiz					% Total de agregados retenidos por tamiz			Estado agregación		Clasificación de (D P. M. H)	
X	Y		5	3	2	1	0.5	Centrales	Extremos	Índice /EEH	%	Índice	mm	EEH
0	0	1	18.70	34.90	14.90	9.20	22.30	59.00	41.000	1.4390	77.70	Media	3.12	Estable
25	0	2	20.25	22.10	10.25	24.55	22.85	56.90	43.100	1.3202	77.15	Media	2.75	Moderadamente Estable
50	0	3	8.90	29.20	13.00	12.70	36.20	54.90	45.100	1.2173	63.80	Media	2.14	Moderadamente Estable
75	0	4	6.50	35.00	16.60	12.50	29.40	64.10	35.900	1.7855	70.60	Media	2.29	Moderadamente Estable
100	0	5	23.70	21.00	20.60	11.55	23.15	53.15	46.850	1.1345	76.85	Media	1.38	Ligeramente Estable
125	0	6	3.00	24.60	15.30	13.60	43.50	53.50	46.500	1.1505	56.50	Media	1.52	Ligeramente Estable
150	0	7	13.50	32.00	13.90	9.60	31.00	55.50	44.500	1.2472	69.00	Media	2.60	Moderadamente Estable
175	0	8	11.00	34.60	13.90	9.60	30.90	58.10	41.900	1.3866	69.10	Media	2.50	Moderadamente Estable
175	25	9	22.36	34.76	10.76	7.77	24.35	53.29	46.710	1.1409	75.65	Media	3.33	Estable
150	25	10	16.38	36.73	12.43	9.16	25.30	58.32	41.680	1.3992	74.70	Media	3.04	Estable
125	25	11	22.90	23.60	14.70	15.17	23.63	53.47	46.530	1.1492	76.37	Media	2.80	Moderadamente Estable
100	25	12	23.30	28.40	13.10	10.50	24.70	52.00	48.000	1.0833	75.30	Media	2.05	Moderadamente Estable
75	25	13	12.70	28.60	11.10	12.10	35.50	51.80	48.200	1.0747	64.50	Media	2.44	Moderadamente Estable
50	25	14	18.00	32.10	12.60	12.30	25.00	57.00	43.000	1.3256	75.00	Media	2.98	Moderadamente Estable
25	25	15	10.89	33.21	10.29	11.09	34.52	54.59	45.410	1.2022	65.48	Media	2.48	Moderadamente Estable
0	25	16	16.40	31.20	11.50	8.80	32.10	51.50	48.500	1.0619	67.90	Media	2.75	Moderadamente Estable
0	50	17	8.68	33.83	14.62	10.58	32.29	59.03	40.970	1.4408	67.71	Media	2.35	Moderadamente Estable
25	50	18	13.72	35.56	17.39	11.06	22.27	64.01	35.990	1.7785	77.73	Media	2.85	Moderadamente Estable
50	50	19	10.10	30.30	15.30	13.10	31.20	58.70	41.300	1.4213	68.80	Media	2.32	Moderadamente Estable
75	50	20	18.50	31.20	11.70	10.80	27.80	53.70	46.300	1.1598	72.20	Media	2.93	Moderadamente Estable
100	50	21	24.70	32.65	10.20	9.36	23.09	52.21	47.790	1.0925	76.91	Media	3.44	Estable
125	50	22	13.80	35.50	11.10	7.00	32.60	53.60	46.400	1.1552	67.40	Media	2.75	Moderadamente Estable
150	50	23	23.00	35.50	9.00	8.90	23.60	53.40	46.600	1.1459	76.40	Media	3.40	Estable
175	50	24	26.20	37.60	8.20	7.40	20.60	53.20	46.800	1.1368	79.40	Media	3.71	Estable
175	75	25	25.20	40.60	12.70	5.90	15.60	59.20	40.800	1.4510	84.40	Alta	3.86	Estable
150	75	26	23.43	36.61	9.12	6.32	24.52	52.05	47.950	1.0855	75.48	Media	3.48	Estable
125	75	27	16.54	41.87	7.66	6.84	27.09	56.37	43.630	1.2920	72.91	Media	3.20	Estable
100	75	28	19.40	34.62	12.72	8.54	24.72	55.88	44.120	1.2665	75.28	Media	3.19	Estable
75	75	29	21.20	42.70	9.90	6.50	19.70	59.10	40.900	1.4450	80.30	Media	3.56	Estable
50	75	30	14.68	34.43	14.87	9.25	26.77	58.55	41.450	1.4125	73.23	Media	2.83	Moderadamente Estable
25	75	31	15.31	37.06	12.89	9.18	25.56	59.13	40.870	1.4468	74.44	Media	3.02	Estable
0	75	32	20.00	35.01	9.47	7.67	27.85	52.15	62.860	1.0900	72.15	Media	3.19	Estable

**Viene anexo A.6 Cálculos de la estabilidad estructural en húmedo por tamaño del tamiz incluido en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.**

Segunda lectura del índice de estabilidad estructural de los agregados en húmedo (EEH) y del diámetro ponderado medio del agregado en húmedo (DPMH) en mm del primer horizonte del perfil del suelo por punto tomada después de recolectada la cosecha.														
Coorde/nadas		Puntos	Peso en gramos de los agregados en Húmedo por tamiz					% Total de agregados retenidos por tamiz			Estado agregación		Calificación de (D. P. M. H.)	
X	Y		5	3	2	1	0.5	Centrales	Extremos	Índice/EEH	%	Índice	mm	EEH
0	0	1	12.69	15.85	19.80	25.67	26.00	61.31	38.69	1.585	74.000	Media	2.617	Moderadamente Estable
25	0	2	11.87	17.30	11.15	23.42	36.26	51.87	48.13	1.078	63.741	Media	2.343	Moderadamente Estable
50	0	3	18.04	20.69	12.83	22.88	25.55	56.41	43.59	1.294	74.446	Media	3.007	Estable
75	0	4	15.99	19.75	14.12	22.77	27.36	56.65	43.35	1.307	72.641	Media	2.852	Moderadamente Estable
100	0	5	12.91	16.54	12.18	32.16	26.21	60.88	39.12	1.556	73.791	Media	2.525	Moderadamente Estable
125	0	6	24.69	15.80	14.07	25.55	19.89	55.42	44.58	1.243	80.114	Alta	3.299	Estable
150	0	7	25.67	20.30	12.78	23.20	18.05	56.28	43.72	1.287	81.950	Alta	3.544	Estable
175	0	8	24.44	14.45	15.12	25.58	20.42	55.15	44.86	1.229	79.580	Media	3.071	Estable
175	25	9	26.99	13.84	12.99	25.16	20.02	52.00	47.01	1.106	79.980	Media	2.839	Moderadamente Estable
150	25	10	23.10	18.18	13.89	24.57	20.26	56.63	43.36	1.306	79.740	Media	3.206	Estable
125	25	11	19.54	20.39	15.49	20.40	24.18	56.28	43.72	1.287	75.820	Media	2.893	Moderadamente Estable
100	25	12	18.08	22.16	12.48	20.00	27.29	54.63	45.37	1.204	72.709	Media	3.041	Estable
75	25	13	15.83	20.86	11.98	19.95	31.38	52.79	47.21	1.118	68.622	Media	2.795	Moderadamente Estable
50	25	14	18.22	21.25	16.44	20.88	23.21	58.57	41.43	1.414	76.793	Media	3.131	Estable
25	25	15	13.57	18.95	16.19	21.46	29.82	56.60	43.39	1.304	70.180	Media	2.609	Moderadamente Estable
0	25	16	17.14	20.63	12.93	19.94	29.38	53.49	46.51	1.150	70.624	Media	2.913	Moderadamente Estable
0	50	17	16.88	20.97	12.03	22.88	28.24	55.88	45.12	1.238	71.760	Media	2.858	Moderadamente Estable
25	50	18	15.56	20.85	15.85	20.03	27.74	56.73	43.30	1.310	72.260	Media	2.452	Moderadamente Estable
50	50	19	17.20	20.45	16.84	20.34	25.16	57.63	42.36	1.360	74.840	Media	2.593	Moderadamente Estable
75	50	20	16.92	17.53	15.53	20.74	29.28	53.80	46.20	1.165	70.720	Media	2.444	Moderadamente Estable
100	50	21	17.60	19.35	14.64	22.71	25.70	56.70	43.30	1.309	74.300	Media	2.611	Moderadamente Estable
125	50	22	19.87	20.42	16.60	19.12	23.99	56.14	43.86	1.280	76.010	Media	2.769	Moderadamente Estable
150	50	23	14.11	24.43	12.95	20.31	28.19	57.69	42.31	1.364	71.805	Media	2.893	Moderadamente Estable
175	50	24	15.98	21.22	14.66	23.35	24.79	59.23	40.77	1.453	75.210	Media	2.607	Moderadamente Estable
175	75	25	16.85	26.42	14.09	19.25	23.40	59.76	40.24	1.485	76.602	Media	3.218	Estable
150	75	26	17.11	23.77	11.53	20.98	26.61	56.28	43.72	1.287	73.390	Media	3.046	Estable
125	75	27	16.46	25.95	13.41	22.84	21.35	62.19	37.81	1.645	78.650	Media	3.184	Estable
100	75	28	13.89	25.56	15.36	21.08	24.11	61.99	38.01	1.631	75.886	Media	3.017	Estable
75	75	29	18.76	24.39	16.35	20.22	21.29	60.96	40.05	1.522	78.710	Media	2.789	Moderadamente Estable
50	75	30	19.81	17.01	14.06	20.50	28.62	51.57	48.43	1.065	71.380	Media	2.354	Moderadamente Estable
25	75	31	19.58	19.61	15.17	19.71	25.93	54.49	45.51	1.197	74.070	Media	2.192	Moderadamente Estable
0	75	32	13.79	19.57	15.61	22.93	28.10	58.11	41.89	1.387	71.900	Media	2.525	Moderadamente Estable

**Viene anexo A.6 Cálculos de la estabilidad estructural en húmedo por tamaño del tamiz incluido en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.**

Primera lectura del índice de estabilidad estructural de los agregados en seco (EES) y del diámetro ponderado medio del agregado en seco (DPMS) en mm del primer horizonte del perfil del suelo por punto tomada antes del establecimiento del experimento en campo.																			
Coordenadas		Puntos	Peso en grs de agregados en seco por tamiz					% de los agregados en seco por tamiz					% Total de agregados retenidos por tamiz			Estado agregación		Clasificación de (D .P. M. H)	
X	Y		5	3	2	1	0.5	5	3	2	1	0.5	Centros	Extremos	% Índice	%	Índice	mm	
25	0	1	16.20	18.53	17.18	31.91	15.18	10.58	19.58	19.10	17.60	31.22	56.28	41.80	1.3464	68.78	Media	3.22	Estable
50	0	2	17.70	18.90	15.30	27.98	20.12	13.34	28.19	14.94	18.17	23.97	61.30	37.31	1.6430	76.03	Media	3.27	Estable
75	0	3	18.85	19.93	17.66	26.39	15.17	16.17	7.21	22.81	21.37	30.92	51.39	47.09	1.0913	69.08	Media	3.41	Estable
100	0	4	16.87	15.60	14.21	31.11	22.21	12.44	10.90	22.97	17.74	31.93	51.61	44.37	1.1632	68.07	Media	3.07	Estable
125	0	5	15.84	15.87	17.21	25.5	22.58	13.62	15.97	28.75	14.85	25.79	59.57	39.41	1.5115	74.21	Media	3.02	Estable
150	0	6	18.10	19.07	15.25	18.28	23.22	23.80	9.46	23.46	20.28	20.87	53.20	44.67	1.1910	79.13	Media	3.18	Estable
175	0	7	11.13	19.31	16.44	27.56	13.63	13.68	19.88	22.61	18.85	22.98	61.34	36.66	1.6732	77.02	Media	2.80	Moderadamente estable
175	25	8	14.02	22.45	13.05	25.24	15.22	14.09	24.89	18.73	13.75	26.62	57.37	40.71	1.4092	73.38	Media	3.04	Estable
150	25	9	15.43	29.27	17.51	17.54	10.76	11.79	26.90	21.00	21.01	18.12	68.91	29.91	2.3039	81.88	Alta	3.48	Estable
125	25	10	14.76	28.31	16.88	19.45	8.19	12.48	22.22	20.18	21.37	22.05	63.77	34.53	1.8468	77.95	Media	3.37	Estable
100	25	11	9.06	26.14	14.37	26.2	9.28	24.87	8.47	21.94	19.41	23.35	49.82	48.22	1.0332	76.65	Media	2.89	Moderadamente estable
75	25	12	10.24	25.52	17.18	18.04	12.86	22.08	14.58	18.34	20.97	22.92	53.89	45.00	1.1976	77.08	Media	2.93	Moderadamente estable
50	25	13	10.54	28.51	16.30	16.53	13.82	13.95	25.31	18.07	16.29	26.38	59.67	40.33	1.4795	73.62	Media	3.06	Estable
25	25	14	8.48	24.63	15.91	21.99	12.81	25.38	20.50	19.30	17.20	15.80	57.00	41.18	1.3842	84.20	Alta	2.78	Moderadamente estable
0	25	15	6.26	22.90	21.12	28.19	10.82	22.40	13.64	19.07	18.06	25.74	50.77	48.14	1.0546	74.26	Media	2.76	Moderadamente estable
0	50	16	7.45	16.67	21.36	23.98	15.16	21.86	15.89	18.07	21.12	21.13	55.08	42.99	1.2812	78.87	Media	2.51	Moderadamente estable
25	50	17	9.93	22.19	18.24	30.2	8.17	19.59	19.15	21.20	17.20	21.40	57.55	40.99	1.4040	78.60	Media	2.91	Moderadamente estable
50	50	18	8.31	25.58	14.98	22.75	14.19	10.11	22.03	20.56	19.30	26.56	61.89	36.67	1.6878	73.44	Media	2.81	Moderadamente estable
75	50	19	15.38	22.42	17.67	22.69	10.17	13.93	20.08	19.84	16.83	27.82	56.75	41.75	1.3593	72.18	Media	3.20	Estable
100	50	20	15.55	26.94	12.60	15.21	15.06	10.59	26.47	20.11	14.49	26.34	61.07	36.93	1.6537	73.66	Media	3.22	Estable
125	50	21	13.82	25.76	15.49	13.35	13.75	18.86	24.55	19.51	15.09	20.91	59.15	39.77	1.4873	79.09	Media	3.08	Estable
150	50	22	12.21	14.15	28.14	24.21	7.45	16.85	25.51	22.02	16.90	17.62	64.43	34.47	1.8692	82.38	Alta	2.86	Moderadamente estable
175	50	23	17.33	20.24	17.86	24.98	8.66	21.78	24.79	21.73	12.81	16.89	59.33	38.67	1.5343	83.11	Alta	3.26	Estable
175	75	24	19.35	28.20	16.34	21.43	7.14	17.25	25.31	22.54	17.44	16.46	65.29	33.71	1.9368	83.54	Alta	3.70	Estable
150	75	25	23.59	28.76	16.55	16.77	8.45	24.30	26.40	16.80	12.40	17.10	55.60	41.40	1.3430	82.90	Alta	3.98	Estable
125	75	26	11.08	30.90	16.93	16.44	13.31	12.68	29.87	21.06	13.66	16.28	64.59	28.96	2.2303	83.72	Alta	3.24	Estable
100	75	27	15.21	25.82	14.82	23.28	10.70	12.70	27.10	22.80	18.30	18.10	68.20	30.80	2.2143	81.90	Alta	3.29	Estable
75	75	28	15.25	25.46	19.18	20.92	7.18	17.28	26.44	24.20	14.06	17.02	64.70	34.30	1.8863	82.98	Alta	3.34	Estable
50	75	29	12.41	21.75	16.95	27.11	10.12	6.27	26.45	24.12	18.15	21.36	68.72	27.63	2.4872	78.64	Media	3.00	Moderadamente estable
25	75	30	11.38	18.50	17.67	27.36	12.47	7.41	25.63	22.20	17.47	25.29	65.30	32.70	1.9969	74.71	Media	2.80	Moderadamente Estable
0	75	31	11.21	20.25	18.41	30.51	8.54	13.90	28.90	19.60	15.00	22.20	63.50	36.10	1.7590	77.80	Media	2.92	Moderadamente Estable
0	75	32	10.90	24.30	18.60	23.1	10.10	13.90	28.90	19.60	15.00	12.10	63.50	26.00	2.4423	87.90	Alta	3.60	Estable

**Viene anexo A.6 Cálculos de la estabilidad estructural en húmedo por tamaño del tamiz incluido en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.**

Segunda lectura del índice de estabilidad estructural de los agregados en seco (EES) y del diámetro ponderado medio del agregado en húmedo (DPMS) en mm del primer horizonte del perfil del suelo por punto tomada después de recolectada la cosecha.																			
Coordenadas		Puntos	Peso en gr de los agregados en seco por tamiz					% de los agregados en seco por tamiz					% Total de agregados retenidos por tamiz			Estado agregación		Clasificación (D. P. M. S.)	
X	Y		5	3	2	1	0.5	5	3	2	1	0.5	Cen/tros	Extre/mos	% Índice	%	Índice	mm	Clasificación
0	0	1	12.10	27.55	12.80	23.50	21.43	12.426	28.291	13.144	24.132	22.007	65.568	34.432	1.904	77.993	Media	2.93	Moderadamente estable
25	0	2	10.58	19.58	19.10	17.60	31.22	10.787	19.963	19.474	17.945	31.831	57.382	42.618	1.346	68.169	Media	2.80	Moderadamente estable
50	0	3	13.34	28.19	14.94	18.17	23.97	13.528	28.587	15.151	18.426	24.308	62.164	37.836	1.643	75.692	Media	2.12	Moderadamente estable
75	0	4	16.17	7.21	22.81	21.37	30.92	16.420	7.321	23.162	21.700	31.397	52.183	47.817	1.091	68.603	Media	2.51	Moderadamente estable
100	0	5	12.44	10.90	22.97	17.74	31.93	12.961	11.357	23.932	18.483	33.267	53.772	46.228	1.163	66.733	Media	1.87	Moderadamente estable
125	0	6	13.62	15.97	28.75	14.85	25.79	13.760	16.135	29.046	15.003	26.056	60.184	39.816	1.512	73.944	Media	1.98	Moderadamente estable
150	0	7	23.80	9.46	23.46	20.28	20.87	24.318	9.666	23.971	20.721	21.324	54.358	45.642	1.191	78.676	Media	3.10	Estable
175	0	8	13.68	19.88	22.61	18.85	22.98	13.959	20.286	23.071	19.235	23.449	62.592	37.408	1.673	76.551	Media	3.18	Estable
175	25	9	14.09	24.89	18.73	13.75	26.62	14.366	25.377	19.097	14.019	27.141	58.493	41.507	1.409	72.859	Alta	3.73	Estable
150	25	10	11.79	26.90	21.00	21.01	18.12	11.931	27.221	21.251	21.261	18.336	69.733	30.267	2.304	81.664	Media	3.45	Estable
125	25	11	12.48	22.22	20.18	21.37	22.05	12.696	22.604	20.529	21.740	22.431	64.873	35.127	1.847	77.569	Media	3.40	Estable
100	25	12	24.87	8.47	21.94	19.41	23.35	25.367	8.639	22.379	19.798	23.817	50.816	49.184	1.033	76.183	Media	3.07	Estable
75	25	13	22.08	14.58	18.34	20.97	22.92	22.328	14.744	18.546	21.205	23.177	54.495	45.505	1.198	76.823	Media	2.71	Moderadamente estable
50	25	14	13.95	25.31	18.07	16.29	26.38	13.950	25.310	18.070	16.290	26.380	59.670	40.330	1.480	73.620	Alta	3.19	Estable
25	25	15	25.38	20.50	19.30	17.20	15.80	25.850	20.880	19.658	17.519	16.093	58.057	41.943	1.384	83.907	Media	3.05	Estable
0	25	16	22.40	13.64	19.07	18.06	25.74	22.647	13.790	19.280	18.259	26.024	51.329	48.671	1.055	73.976	Media	3.23	Estable
0	50	17	21.86	15.89	18.07	21.12	21.13	22.290	16.203	18.426	21.536	21.546	56.164	43.836	1.281	78.454	Media	2.92	Moderadamente estable
25	50	18	19.59	19.15	21.20	17.20	21.40	19.880	19.434	21.514	17.455	21.717	58.403	41.597	1.404	78.283	Media	2.93	Moderadamente estable
50	50	19	10.11	22.03	20.56	19.30	26.56	10.258	22.352	20.860	19.582	26.948	62.794	37.206	1.688	73.052	Media	2.94	Moderadamente estable
75	50	20	13.93	20.08	19.84	16.83	27.82	14.142	20.386	20.142	17.086	28.244	57.614	42.386	1.359	71.756	Media	3.06	Estable
100	50	21	10.59	26.47	20.11	14.49	26.34	10.806	27.010	20.520	14.786	26.878	62.316	37.684	1.654	73.122	Media	3.42	Estable
125	50	22	18.86	24.55	19.51	15.09	20.91	19.066	24.818	19.723	15.255	21.138	59.796	40.204	1.487	78.862	Alta	3.88	Estable
150	50	23	16.85	25.51	22.02	16.90	17.62	17.037	25.794	22.265	17.088	17.816	65.147	34.853	1.869	82.184	Alta	3.64	Estable
175	50	24	21.78	24.79	21.73	12.81	16.89	22.224	25.296	22.173	13.071	17.235	60.541	39.459	1.534	82.765	Alta	4.14	Estable
175	75	25	17.25	25.31	22.54	17.44	16.46	17.424	25.566	22.768	17.616	16.626	65.949	34.051	1.937	83.374	Alta	3.80	Estable
150	75	26	24.30	26.40	16.80	12.40	17.10	25.052	27.216	17.320	12.784	17.629	57.320	42.680	1.343	82.371	Alta	4.19	Estable
125	75	27	12.68	29.87	21.06	13.66	16.28	13.554	31.929	22.512	14.602	17.402	69.043	30.957	2.230	82.598	Alta	3.67	Estable
100	75	28	12.70	27.10	22.80	18.30	18.10	12.828	27.374	23.030	18.485	18.283	68.889	31.111	2.214	81.717	Alta	3.39	Estable
75	75	29	17.28	26.44	24.20	14.06	17.02	17.455	26.707	24.444	14.202	17.192	65.354	34.646	1.886	82.808	Media	3.94	Estable
50	75	30	6.27	26.45	24.12	18.15	21.36	6.508	27.452	25.034	18.838	22.169	71.323	28.677	2.487	77.831	Media	3.08	Estable
25	75	31	7.41	25.63	22.20	17.47	25.29	7.561	26.153	22.653	17.827	25.806	66.633	33.367	1.997	74.194	Media	2.91	Moderadamente estable
0	75	32	13.90	28.90	19.60	15.00	22.20	13.956	29.016	19.679	15.060	22.289	63.755	36.245	1.759	77.711	Alta	3.60	Estable

**Anexo A.7** Datos del diámetro ponderado medio del agregado en húmedo (DPMH) y en seco (DPMS) incluidos en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Coordenadas geográficas por punto			Índice del Diámetro ponderado medio del agregado del suelo en húmedo en mm			Índice del Diámetro ponderado medio del agregado del suelo en seco en mm		
X	Y	punto	DPMH Jul.	DPMH Feb.	Promedio	DPMS Jul.	DPMS Feb.	Promedio
0	0	1	3.116	2.617	2.87	3.220	2.934	3.08
25	0	2	2.747	2.343	2.55	3.269	2.800	3.03
50	0	3	2.144	3.007	2.58	3.414	2.122	2.77
75	0	4	2.291	2.852	2.57	3.069	2.510	2.79
100	0	5	1.380	2.525	1.95	3.018	1.870	2.44
125	0	6	1.515	3.299	2.41	3.182	1.983	2.58
150	0	7	2.598	3.544	3.07	2.799	3.097	2.95
175	0	8	2.501	3.071	2.79	3.043	3.183	3.11
175	25	9	3.334	2.839	3.09	3.480	3.735	3.61
150	25	10	3.041	3.206	3.12	3.373	3.446	3.41
125	25	11	2.799	2.893	2.85	2.888	3.400	3.14
100	25	12	2.047	3.041	2.54	2.929	3.066	3.00
75	25	13	2.444	2.795	2.62	3.062	2.710	2.89
50	25	14	2.982	3.131	3.06	2.778	3.190	2.98
25	25	15	2.476	2.609	2.54	2.765	3.050	2.91
0	25	16	2.348	2.913	2.63	2.505	3.230	2.87
0	50	17	2.348	2.858	2.60	2.914	2.920	2.92
25	50	18	2.850	2.452	2.65	2.809	2.930	2.87
50	50	19	2.317	2.593	2.46	3.201	2.940	3.07
75	50	20	2.935	2.444	2.69	3.218	3.059	3.14
100	50	21	3.444	2.611	3.03	3.083	3.423	3.25
125	50	22	2.748	2.769	2.76	2.865	3.881	3.37
150	50	23	3.400	2.893	3.15	3.257	3.637	3.45
175	50	24	3.712	2.607	3.16	3.701	4.137	3.92
175	75	25	3.859	3.218	3.54	3.979	3.800	3.89
150	75	26	3.478	3.046	3.26	3.238	4.192	3.72
125	75	27	3.204	3.184	3.19	3.291	3.669	3.48
100	75	28	3.190	3.017	3.10	3.345	3.386	3.37
75	75	29	3.564	2.789	3.18	2.998	3.943	3.47
50	75	30	2.827	2.354	2.59	2.800	3.078	2.94
25	75	31	3.022	2.192	2.61	2.918	2.910	2.91
0	75	32	3.194	2.525	2.86	3.601	3.601	3.60



**Anexo A.8** Datos de la Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo incluido en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Coordenadas geográficas por punto			Resistencia mecánica a la penetración del suelo entre 00 – 10 cm de profundidad del perfil tomada mensualmente en Mpa						
X	Y	Punto	RMP jul.	RMP sep.	RMP oct.	RMP nov.	RMP dic.	RMP feb.	Promedio
0	0	1	1.50	0.00	0.50	0.50	2.70	0.10	0.88
25	0	2	1.50	0.00	0.80	0.50	2.70	0.50	1.00
50	0	3	0.40	0.00	0.20	0.10	1.00	0.40	0.35
75	0	4	0.70	0.20	0.50	0.20	0.70	1.70	0.67
100	0	5	0.30	0.70	0.70	0.30	0.30	0.20	0.42
125	0	6	0.30	0.80	0.95	0.25	0.60	0.60	0.58
150	0	7	0.40	0.30	0.55	0.40	0.70	0.40	0.46
175	0	8	0.50	0.60	0.70	0.50	0.40	0.40	0.52
175	25	9	0.50	0.50	0.85	0.30	0.75	0.20	0.52
150	25	10	1.30	0.40	0.55	0.20	0.75	0.70	0.65
125	25	11	0.10	0.30	0.35	0.90	0.60	0.30	0.43
100	25	12	0.45	0.40	0.40	0.35	0.40	0.50	0.42
75	25	13	0.15	0.65	0.65	0.20	1.10	0.85	0.60
50	25	14	0.50	1.10	1.25	0.20	5.00	0.60	1.44
25	25	15	0.95	0.45	0.50	0.30	1.40	0.70	0.72
0	25	16	0.85	0.80	0.65	0.50	0.40	0.65	0.64
0	50	17	0.65	1.00	0.95	0.70	1.00	0.65	0.83
25	50	18	0.60	0.80	0.50	0.20	0.50	0.50	0.52
50	50	19	0.30	1.70	0.75	0.60	0.30	0.50	0.69
75	50	20	0.30	0.75	0.95	0.30	0.50	0.80	0.60
100	50	21	0.15	0.20	0.35	0.35	0.50	0.40	0.33
125	50	22	0.65	1.55	0.95	0.40	1.50	0.55	0.93
150	50	23	0.30	1.20	0.95	0.10	0.95	0.45	0.66
175	50	24	0.45	0.70	0.50	0.35	0.40	0.50	0.48
175	75	25	0.10	1.40	0.80	0.40	0.60	1.10	0.73
150	75	26	0.65	0.50	0.60	0.40	1.15	0.70	0.67
125	75	27	0.45	0.75	0.50	0.20	0.50	0.25	0.44
100	75	28	0.75	1.25	0.95	0.50	1.00	0.60	0.84
75	75	29	0.65	0.80	0.70	0.70	0.45	0.90	0.70
50	75	30	0.50	0.55	0.70	0.25	1.05	1.30	0.73
25	75	31	0.10	0.85	0.65	0.90	0.25	0.30	0.51
0	75	32	0.90	2.50	1.30	1.25	1.50	0.80	1.38

**Viene anexo A.8** Datos de la Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo incluido en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Coordenadas geográficas por punto			Resistencia mecánica a la penetración del suelo entre 10 – 20 cm de profundidad del perfil tomada mensualmente en Mpa						
X	Y	Punto	RMP jul.	RMP sep.	RMP oct.	RMP nov.	RMP dic.	RMP feb.	Promedio
0	0	1	1.40	2.30	1.50	0.75	1.50	2.00	1.58
25	0	2	1.45	2.80	1.45	0.75	1.90	2.10	1.74
50	0	3	1.50	0.70	0.95	0.85	0.75	2.80	1.26
75	0	4	0.85	0.95	1.05	1.05	1.00	2.50	1.23
100	0	5	1.40	1.75	1.05	0.40	0.35	1.45	1.07
125	0	6	0.60	0.80	0.80	0.50	0.80	2.20	0.95
150	0	7	0.90	0.65	0.95	1.60	0.95	2.45	1.25
175	0	8	1.30	1.35	1.25	1.20	1.25	1.75	1.35
175	25	9	0.70	0.65	1.10	0.75	0.95	2.00	1.03
150	25	10	0.80	1.10	1.15	1.10	1.40	1.70	1.21
125	25	11	1.25	0.85	0.95	1.15	1.30	1.50	1.17
100	25	12	1.05	0.50	0.55	0.50	0.95	1.40	0.83
75	25	13	0.25	0.95	0.80	0.80	1.05	2.70	1.09
50	25	14	0.50	0.85	0.95	1.10	0.90	1.65	0.99
25	25	15	1.30	1.65	1.50	0.50	1.60	2.35	1.48
0	25	16	0.90	3.40	1.55	0.90	0.50	2.10	1.56
0	50	17	1.30	1.80	1.15	0.80	0.90	2.00	1.33
25	50	18	1.20	0.80	0.95	0.65	0.50	2.50	1.10
50	50	19	1.00	0.90	1.15	1.25	1.35	2.30	1.33
75	50	20	1.05	0.70	1.05	1.15	1.05	0.75	0.96
100	50	21	0.80	0.55	0.85	0.75	0.85	1.60	0.90
125	50	22	1.20	1.55	1.30	1.10	1.55	1.70	1.40
150	50	23	0.90	0.60	0.80	0.40	0.95	1.25	0.82
175	50	24	0.85	0.80	1.05	1.20	1.20	1.60	1.12
175	75	25	0.30	1.30	1.05	0.80	1.10	2.85	1.23
150	75	26	0.90	1.70	1.10	1.05	1.00	2.30	1.34
125	75	27	0.90	2.05	0.95	0.95	0.80	1.70	1.23
100	75	28	1.10	1.65	1.15	1.05	1.00	5.00	1.83
75	75	29	1.00	1.30	1.25	1.10	0.50	3.05	1.37
50	75	30	1.20	0.80	1.05	0.80	1.15	4.35	1.56
25	75	31	1.70	1.20	1.00	1.25	0.65	1.80	1.27
0	75	32	1.30	2.30	1.55	1.40	1.10	2.95	1.77

**Viene anexo A.8** Datos de la Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo incluido en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Coordenadas geográficas por punto			Resistencia mecánica a la penetración del suelo entre 20 – 30 cm de profundidad del perfil tomada mensualmente en Mpa						
X	Y	Punto	RMP jul.	RMP sep.	RMP oct.	RMP nov.	RMP dic.	RMP feb.	Promedio
0	0	1	1.35	2.80	2.10	1.50	2.15	2.85	2.13
25	0	2	1.65	2.95	2.50	0.95	1.35	2.50	1.98
50	0	3	2.00	2.85	1.55	1.10	1.00	4.90	2.23
75	0	4	1.35	0.80	1.10	1.15	1.35	2.20	1.33
100	0	5	1.40	1.75	1.10	0.75	0.55	1.90	1.24
125	0	6	1.20	1.25	1.05	0.95	0.85	2.10	1.23
150	0	7	0.85	0.80	1.10	1.15	1.30	2.10	1.22
175	0	8	1.20	1.60	1.30	1.50	1.05	2.05	1.45
175	25	9	0.75	0.75	1.05	0.90	1.00	1.25	0.95
150	25	10	1.20	1.75	1.05	1.10	1.15	1.25	1.25
125	25	11	1.30	1.10	1.25	1.55	1.35	1.55	1.35
100	25	12	1.35	0.75	1.05	0.95	0.85	1.40	1.06
75	25	13	1.30	1.45	1.30	1.20	1.00	2.25	1.42
50	25	14	1.80	1.20	1.10	0.75	1.20	1.70	1.29
25	25	15	1.60	1.95	1.45	0.90	1.40	2.30	1.60
0	25	16	1.75	3.10	1.65	1.10	0.50	1.45	1.59
0	50	17	1.30	1.70	1.05	0.90	1.20	1.55	1.28
25	50	18	2.00	1.20	1.35	0.95	1.00	4.75	1.88
50	50	19	1.40	0.95	1.25	1.35	0.90	2.25	1.35
75	50	20	0.75	1.20	1.10	0.80	1.20	1.40	1.08
100	50	21	0.95	1.30	1.15	0.90	1.55	1.75	1.27
125	50	22	1.35	1.20	1.35	1.55	1.35	1.35	1.36
150	50	23	0.75	1.30	1.05	1.20	1.55	1.10	1.16
175	50	24	1.00	0.95	1.05	0.90	1.70	2.75	1.39
175	75	25	0.60	1.00	1.00	0.80	1.55	3.30	1.38
150	75	26	1.00	2.00	1.50	1.30	1.15	3.20	1.69
125	75	27	1.70	2.15	1.45	1.30	1.50	1.50	1.60
100	75	28	1.00	1.15	1.10	1.15	1.30	4.35	1.68
75	75	29	1.00	1.40	1.35	1.45	1.10	3.75	1.68
50	75	30	1.20	1.15	1.10	1.00	1.90	4.00	1.73
25	75	31	1.80	1.75	1.40	1.05	1.90	1.45	1.56
0	75	32	1.70	1.95	1.60	1.35	1.10	2.95	1.78

**Viene anexo A.8** Datos de la Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo incluido en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Coordenadas geográficas por punto			Resistencia mecánica a la penetración del suelo entre 30 – 40 cm de profundidad del perfil tomada mensualmente en Mpa						
X	Y	Punto	RMP jul.	RMP sep.	RMP oct.	RMP nov.	RMP dic.	RMP feb.	Promedio
0	0	1	1.60	1.90	1.90	1.70	2.10	2.60	1.97
25	0	2	1.50	2.60	1.85	1.20	1.80	1.90	1.81
50	0	3	1.90	3.20	2.65	1.55	1.20	3.10	2.27
75	0	4	1.50	2.50	1.95	1.50	1.30	4.60	2.23
100	0	5	1.90	1.85	1.50	1.25	1.55	1.85	1.65
125	0	6	1.20	2.00	1.10	1.10	0.75	1.65	1.30
150	0	7	1.15	1.40	1.05	1.30	1.25	1.25	1.23
175	0	8	1.90	2.05	1.50	1.25	1.40	1.80	1.65
175	25	9	1.50	0.75	1.15	1.80	2.30	1.25	1.46
150	25	10	0.50	1.00	0.95	1.20	1.10	0.85	0.93
125	25	11	1.10	1.30	1.35	1.35	1.25	1.50	1.31
100	25	12	1.65	1.25	1.15	1.25	1.50	1.50	1.38
75	25	13	1.10	0.85	0.85	0.80	0.90	1.90	1.07
50	25	14	4.70	1.20	1.55	2.10	2.20	1.60	2.23
25	25	15	1.40	2.25	1.55	0.90	1.40	1.70	1.53
0	25	16	1.70	3.15	1.70	1.55	0.65	2.55	1.88
0	50	17	1.15	1.45	1.25	0.90	1.20	2.10	1.34
25	50	18	1.85	1.25	1.70	1.70	1.15	2.75	1.73
50	50	19	1.30	1.30	1.35	1.50	1.25	1.90	1.43
75	50	20	1.30	0.90	1.20	1.30	1.40	1.65	1.29
100	50	21	0.95	1.05	1.20	1.00	1.25	3.10	1.43
125	50	22	2.50	1.80	1.50	1.35	0.80	1.60	1.59
150	50	23	0.65	1.20	1.15	1.15	1.70	1.15	1.17
175	50	24	1.10	1.05	1.40	1.60	1.80	2.70	1.61
175	75	25	0.50	1.45	1.15	1.00	1.55	4.05	1.62
150	75	26	0.80	1.70	1.45	1.25	1.40	2.35	1.49
125	75	27	1.50	1.90	1.55	1.60	1.60	1.40	1.59
100	75	28	0.60	1.85	1.50	1.80	1.20	2.95	1.65
75	75	29	0.80	1.10	1.25	1.35	1.15	2.70	1.39
50	75	30	1.65	1.75	1.50	1.25	1.70	2.70	1.76
25	75	31	1.50	1.75	1.30	1.20	1.20	1.30	1.38
0	75	32	1.85	1.80	1.40	1.10	1.00	2.90	1.68

**Viene anexo A.8** Datos de la Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo incluido en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Coordenadas geográficas por punto			Resistencia mecánica a la penetración del suelo entre 40 – 50 cm de profundidad del perfil tomada mensualmente en Mpa						
X	Y	Punto	RMP jul.	RMP sep.	RMP oct.	RMP nov.	RMP dic.	RMP feb.	Promedio
0	0	1	1.30	1.40	1.45	1.70	2.10	2.35	1.72
25	0	2	1.95	2.60	2.15	2.25	2.25	3.45	2.44
50	0	3	2.00	2.90	2.15	1.60	1.50	2.20	2.06
75	0	4	1.10	2.40	1.55	1.10	1.15	0.10	1.23
100	0	5	1.70	1.20	1.25	1.30	1.80	1.75	1.50
125	0	6	1.20	1.25	1.50	1.65	0.70	1.70	1.33
150	0	7	1.25	1.50	1.45	1.10	1.05	1.95	1.38
175	0	8	1.75	1.65	1.45	1.10	1.40	1.30	1.44
175	25	9	2.00	0.90	1.20	1.50	1.80	1.00	1.40
150	25	10	1.65	0.95	1.10	1.10	1.25	0.60	1.11
125	25	11	1.35	1.30	1.40	1.50	1.95	2.70	1.70
100	25	12	1.35	1.35	1.35	1.35	1.40	1.30	1.35
75	25	13	0.90	0.70	0.90	0.80	1.15	1.85	1.05
50	25	14	0.10	0.20	0.75	1.80	0.10	1.60	0.76
25	25	15	1.50	2.00	1.30	1.30	1.60	2.15	1.64
0	25	16	1.00	2.75	1.65	1.90	0.65	3.00	1.83
0	50	17	2.80	1.90	1.45	1.50	1.20	3.75	2.10
25	50	18	2.90	1.20	1.65	2.50	1.20	1.75	1.87
50	50	19	1.50	1.30	1.45	1.50	1.60	2.00	1.56
75	50	20	0.90	1.10	1.25	1.20	2.10	1.80	1.39
100	50	21	1.45	1.30	1.45	1.50	1.05	2.45	1.53
125	50	22	1.55	1.85	1.35	0.85	0.90	1.70	1.37
150	50	23	0.85	1.20	1.10	1.05	0.90	1.30	1.07
175	50	24	1.50	1.90	1.55	1.20	2.05	1.25	1.58
175	75	25	1.55	1.50	1.30	0.90	1.40	2.55	1.53
150	75	26	2.05	2.15	1.55	1.40	1.30	2.15	1.77
125	75	27	1.35	1.30	1.60	2.40	1.55	1.10	1.55
100	75	28	2.75	3.35	1.80	2.10	1.25	2.20	2.24
75	75	29	1.00	1.30	1.20	1.30	1.20	2.50	1.42
50	75	30	1.50	1.65	1.20	1.35	1.30	1.40	1.40
25	75	31	1.40	1.45	1.20	1.45	1.40	1.00	1.32
0	75	32	1.80	2.20	1.55	1.20	1.15	2.55	1.74

**Viene anexo A.8** Datos de la Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo incluido en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Grado de clasificación y Resistencia mecánica a la Penetración (RMP) en Megapascuales (Mpa) tomada mensualmente a cada 10 cm hasta los 50 centímetros de profundidad del perfil del suelo por punto									
Profundidad en cm longitud/	Mes	Grado de Clasificación	Media	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Rango		Intervalo de Confianza del 95%	
						Mínimo	Máximo	Bajo	Superior
00 - 10	Julio	No limitante	0.559	0.367	65.545	0.100	1.500	0.427	0.692
10 - 20		Limitante	1.026	0.343	33.413	0.250	1.700	0.900	1.152
20 - 30		Limitante	1.298	0.375	28.908	0.600	2.000	1.163	1.434
30 - 40		Limitante	1.447	0.755	52.209	0.500	4.700	1.175	1.719
40 - 50		Limitante	1.530	0.580	37.945	0.100	2.900	1.320	1.739
<b>Promedio</b>			<b>1.172</b>	<b>0.484</b>	<b>43.604</b>	<b>0.310</b>	<b>2.560</b>	<b>0.997</b>	<b>1.347</b>
00 - 10	Septiembre	Ligeramente limitante	0.741	0.536	72.416	0.000	2.500	0.547	0.934
10 - 20		Limitante	1.289	0.702	54.426	0.500	3.400	1.036	1.542
20 - 30		Limitante	1.538	0.656	42.642	0.750	3.100	1.301	1.774
30 - 40		Limitante	1.642	0.616	37.507	0.750	3.200	1.420	1.864
40 - 50		Limitante	1.616	0.670	41.457	0.200	3.350	1.374	1.857
<b>Promedio</b>			<b>1.365</b>	<b>0.636</b>	<b>49.690</b>	<b>0.440</b>	<b>3.110</b>	<b>1.136</b>	<b>1.594</b>
00 - 10	Octubre	Ligeramente limitante	0.694	0.252	36.325	0.200	1.300	0.603	0.785
10 - 20		Limitante	1.092	0.237	21.664	0.550	1.550	1.007	1.177
20 - 30		Limitante	1.298	0.326	25.099	1.000	2.500	1.181	1.416
30 - 40		Limitante	1.425	0.346	24.260	0.850	2.650	1.300	1.550
40 - 50		Limitante	1.414	0.292	20.642	0.750	2.150	1.309	1.519
<b>Promedio</b>			<b>1.185</b>	<b>0.291</b>	<b>25.598</b>	<b>0.670</b>	<b>2.030</b>	<b>1.080</b>	<b>1.289</b>
00 - 10	Noviembre	No limitante	0.416	0.254	61.070	0.100	1.250	0.324	0.507
10 - 20		Ligeramente Limitante	0.925	0.294	31.757	0.400	1.600	0.819	1.031
20 - 30		Limitante	1.108	0.241	21.785	0.750	1.550	1.021	1.195
30 - 40		Limitante	1.339	0.295	22.034	0.800	2.100	1.233	1.445
40 - 50		Limitante	1.452	0.423	29.130	0.800	2.500	1.299	1.604
<b>Promedio</b>			<b>1.048</b>	<b>0.301</b>	<b>33.155</b>	<b>0.570</b>	<b>1.800</b>	<b>0.939</b>	<b>1.156</b>
00 - 10	Diciembre	Ligeramente limitante	0.989	0.943	95.303	0.250	5.000	0.649	1.329
10 - 20		Limitante	1.025	0.346	33.773	0.350	1.900	0.900	1.150
20 - 30		Limitante	1.250	0.364	29.147	0.500	2.150	1.119	1.381
30 - 40		Limitante	1.375	0.391	28.453	0.650	2.300	1.234	1.516
40 - 50		Limitante	1.356	0.463	34.172	0.100	2.250	1.189	1.523
<b>Promedio</b>			<b>1.199</b>	<b>0.501</b>	<b>44.170</b>	<b>0.370</b>	<b>2.720</b>	<b>1.018</b>	<b>1.380</b>
00 - 10	Febrero	Ligeramente imitante	0.597	0.327	54.867	0.100	1.700	0.479	0.715
10 - 20		Extremadamente limitante	2.198	0.843	38.352	0.750	5.000	1.894	2.502
20 - 30		Extremadamente limitante	2.348	1.063	45.257	1.100	4.900	1.965	2.732
30 - 40		Extremadamente limitante	2.153	0.851	39.515	0.850	4.600	1.846	2.460
40 - 50		Limitante	1.889	0.780	41.299	0.100	3.750	1.608	2.170
<b>Promedio</b>			<b>1.837</b>	<b>0.773</b>	<b>43.858</b>	<b>0.580</b>	<b>3.990</b>	<b>1.558</b>	<b>2.116</b>

**Viene anexo A.8** Datos de la Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo incluido en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Grado de clasificación y Resistencia mecánica a la Penetración (RMP en Megapascales (MPa) ) tomada Mensualmente por punto cada 10 cm hasta los 50 cm de profundidad del perfil del suelo por punto									
Profundidad en cm longitud/	Mes	Grado de Clasificación	Media	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Rango		Intervalo de Confianza del 95%	
						Mínimo	Máximo	Bajo	Superior
00 - 10	Julio	Ligeramente limitante	0.559	0.367	65.545	0.100	1.500	0.427	0.692
	Septiembre	Ligeramente limitante	0.741	0.536	72.416	0.000	2.500	0.547	0.934
	Octubre	Ligeramente limitante	0.694	0.252	36.325	0.200	1.300	0.603	0.785
	Noviembre	No limitante	0.416	0.254	61.070	0.100	1.250	0.324	0.507
	Diciembre	Ligeramente limitante	0.989	0.943	95.303	0.250	5.000	0.649	1.329
	Febrero	Ligeramente limitante	0.597	0.327	54.867	0.100	1.700	0.479	0.715
<b>Promedio</b>			<b>0.666</b>	<b>0.446</b>	<b>64.254</b>	<b>0.125</b>	<b>2.208</b>	<b>0.505</b>	<b>0.726</b>
10 - 20	Julio	Limitante	1.026	0.343	33.413	0.250	1.700	0.900	1.152
	Septiembre	Limitante	1.289	0.702	54.426	0.500	3.400	1.036	1.542
	Octubre	Limitante	1.092	0.237	21.664	0.550	1.550	1.007	1.177
	Noviembre	Ligeramente limitante	0.925	0.294	31.757	0.400	1.600	0.819	1.031
	Diciembre	Limitante	1.025	0.346	33.773	0.350	1.900	0.900	1.150
	Febrero	Extremadamente limitante	2.198	0.843	38.352	0.750	5.000	1.894	2.502
<b>Promedio</b>			<b>1.259</b>	<b>0.461</b>	<b>35.564</b>	<b>0.467</b>	<b>2.525</b>	<b>1.093</b>	<b>1.426</b>
20 - 30	Julio	Limitante	1.298	0.375	28.908	0.600	2.000	1.163	1.434
	Septiembre	Limitante	1.538	0.656	42.642	0.750	3.100	1.301	1.774
	Octubre	Limitante	1.298	0.326	25.099	1.000	2.500	1.181	1.416
	Noviembre	Limitante	1.108	0.241	21.785	0.750	1.550	1.021	1.195
	Diciembre	Limitante	1.250	0.364	29.147	0.500	2.150	1.119	1.381
	Febrero	Extremadamente limitante	2.348	1.063	45.257	1.100	4.900	1.965	2.732
<b>Promedio</b>			<b>1.473</b>	<b>0.504</b>	<b>32.140</b>	<b>0.783</b>	<b>2.700</b>	<b>1.292</b>	<b>1.655</b>
30 - 40	Julio	Limitante	1.447	0.755	52.209	0.500	4.700	1.175	1.719
	Septiembre	Limitante	1.642	0.616	37.507	0.750	3.200	1.420	1.864
	Octubre	Limitante	1.425	0.346	24.260	0.850	2.650	1.300	1.550
	Noviembre	Limitante	1.339	0.295	22.034	0.800	2.100	1.233	1.445
	Diciembre	Limitante	1.375	0.391	28.453	0.650	2.300	1.234	1.516
	Febrero	Extremadamente limitante	2.153	0.851	39.515	0.850	4.600	1.846	2.460
<b>Promedio</b>			<b>1.564</b>	<b>0.542</b>	<b>33.996</b>	<b>0.733</b>	<b>3.258</b>	<b>1.368</b>	<b>1.759</b>
40 - 50	Julio	Limitante	1.530	0.580	37.945	0.100	2.900	1.320	1.739
	Septiembre	Limitante	1.616	0.670	41.457	0.200	3.350	1.374	1.857
	Octubre	Limitante	1.414	0.292	20.642	0.750	2.150	1.309	1.519
	Noviembre	Limitante	1.452	0.423	29.130	0.800	2.500	1.299	1.604
	Diciembre	Limitante	1.356	0.463	34.172	0.100	2.250	1.189	1.523
	Febrero	Limitante	1.889	0.780	41.299	0.100	3.750	1.608	2.170
<b>Promedio</b>			<b>1.543</b>	<b>0.535</b>	<b>34.108</b>	<b>0.342</b>	<b>2.817</b>	<b>1.350</b>	<b>1.736</b>

**Anexo A.9** Datos de las variables químicas del suelo incluidos en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Primer análisis de los datos de las variables químicas evaluadas en campo												
Coordenadas geográficas por punto			pH	porcentaje			P (ppm)	Meq/100g/suelo				d/m <sup>-1</sup>
X	Y	Punto		CO	MO	N Dis/		K	Ca	Na	CIC	
0	0	1	5.01	3.29	5.67	0.28	140.10	1.95	13.180	0.77	28.65	0.852
25	0	2	4.91	3.34	5.76	0.29	100.50	1.64	11.230	0.79	24.86	0.681
50	0	3	4.87	2.77	4.78	0.24	76.90	0.85	10.800	0.92	23.48	0.617
75	0	4	5.01	2.60	4.48	0.22	59.90	0.65	10.130	0.81	25.95	0.468
100	0	5	5.16	2.96	5.10	0.26	89.60	0.98	10.880	0.85	24.48	0.613
125	0	6	5.18	2.67	4.60	0.23	67.40	0.92	11.080	1.02	24.64	0.639
150	0	7	5.36	3.26	5.62	0.28	62.10	1.35	11.730	1.29	25.77	0.724
175	0	8	5.25	3.00	5.17	0.26	43.20	0.97	10.000	1.01	24.78	0.498
175	25	9	4.82	2.51	4.33	0.22	40.00	0.47	8.280	1.08	22.80	0.596
150	25	10	5.04	1.76	3.03	0.15	36.80	0.39	8.580	1.21	21.26	0.596
125	25	11	5.08	2.41	4.15	0.21	64.90	0.65	10.580	1.05	21.62	0.596
100	25	12	4.92	2.59	4.47	0.22	52.20	0.45	9.300	1.05	22.56	0.532
75	25	13	4.84	2.82	4.86	0.24	54.30	0.71	9.650	1.13	22.96	0.724
50	25	14	5.07	2.72	4.69	0.23	53.70	0.67	10.130	1.26	21.68	0.562
25	25	15	5.04	3.12	5.38	0.27	71.00	0.88	11.230	0.88	24.58	0.553
0	25	16	4.96	3.53	6.09	0.30	60.40	0.69	12.730	0.77	29.75	0.511
0	50	17	4.89	3.63	6.26	0.31	50.40	0.71	11.530	0.86	28.83	0.468
25	50	18	4.89	3.92	6.76	0.34	66.70	0.59	11.480	1.19	28.15	0.809
50	50	19	4.99	3.32	5.72	0.29	54.80	0.50	11.330	1.22	25.23	0.673
75	50	20	4.95	2.99	5.15	0.26	77.60	0.82	10.730	1.05	23.56	0.766
100	50	21	4.81	2.98	5.14	0.26	49.50	0.43	10.380	1.52	24.26	1.065
125	50	22	4.92	2.84	4.90	0.24	64.40	0.57	11.800	1.74	24.78	1.192
150	50	23	5.05	2.48	4.28	0.21	55.80	0.58	10.130	1.52	22.18	1.107
175	50	24	5.04	2.52	4.34	0.22	52.50	0.43	10.080	1.52	22.58	0.852
175	75	25	5.17	3.14	5.41	0.27	44.60	0.81	10.530	1.06	24.14	0.553
150	75	26	5.04	3.12	5.38	0.27	74.30	0.55	10.530	1.09	23.74	0.724
125	75	27	4.88	3.30	5.69	0.28	60.40	0.83	11.000	1.25	25.23	0.766
100	75	28	4.94	3.06	5.28	0.26	57.80	0.92	9.500	1.15	24.76	0.745
75	75	29	4.96	3.20	5.52	0.28	61.70	1.05	11.130	1.32	24.58	0.724
50	75	30	5.00	3.93	6.78	0.34	60.40	1.83	13.000	1.74	28.19	1.192
25	75	31	5.02	3.84	6.62	0.33	99.40	1.65	13.500	2.60	26.61	1.874
0	75	32	5.00	4.30	7.41	0.37	86.00	1.64	13.750	0.87	28.47	0.639



**Viene anexo A.9** Datos de las variables químicas del suelo incluidos en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Segundo análisis de los datos de las variables químicas evaluadas en campo												
Coordenadas geográficas por punto			pH	porcentaje			P (ppm)	Meq/100g/suelo				d/cm <sup>-1</sup>
X	Y	Punto		CO	MO	N total		K	Ca	Na	CIC	
			5.36	3.46	5.97	0.3	140.1	1.11	12.850	0.77	27	0.44
25	0	2	4.97	3.12	5.38	0.27	140.0	1.31	11.130	0.62	24.6	1.17
50	0	3	5.47	3.14	5.41	0.27	140.1	0.78	10.950	0.68	24.2	0.60
75	0	4	5.34	2.8	4.83	0.24	140.2	0.93	11.430	0.78	23.5	0.76
100	0	5	5.34	2.66	4.59	0.23	108.3	0.52	10.350	0.85	22.8	0.82
125	0	6	5.62	2.57	4.43	0.22	144.3	0.78	11.330	0.87	21.9	0.85
150	0	7	5.37	2.64	4.55	0.23	87.9	0.69	9.350	0.98	210	0.90
175	0	8	5.17	2.95	5.09	0.25	77.6	0.88	8.750	0.87	22.9	1.24
175	25	9	4.91	2.9	5.10	0.25	99.70	0.40	8.000	0.79	230	1.09
150	25	10	5.14	2.26	3.90	0.19	97.10	0.54	8.680	1.15	21.4	1.54
125	25	11	5.33	2.57	4.43	0.22	122.0	0.63	10.180	1.04	22.2	1.25
100	25	12	5.19	2.6	4.48	0.22	96.9	0.62	9.280	1.05	22.6	1.06
75	25	13	5.21	2.88	4.97	0.25	123.9	0.86	9.550	1.02	23.6	1.06
50	25	14	5.27	2.83	4.88	0.24	143.0	0.86	9.580	1.05	22.4	1.10
25	25	15	4.98	3.2	5.52	0.28	140.0	0.81	10.630	0.73	23.5	1.14
0	25	16	4.77	3.82	6.59	0.33	140.1	1.40	11.730	0.46	28.5	1.62
0	50	17	5.17	4.08	7.03	0.35	140.0	1.25	12.100	0.51	26.8	0.68
25	50	18	4.85	4.24	7.31	0.37	140.2	0.76	12.830	1.29	28.1	3.03
50	50	19	5.19	3.59	6.19	0.31	134.6	0.59	11.300	1.09	25	1.17
75	50	20	5.23	3.53	6.09	0.30	140.2	0.95	10.780	1.01	23.6	1.12
100	50	21	5.15	3.27	5.64	0.28	144.3	0.84	9.600	1.26	24.4	1.37
125	50	22	5.16	3.61	6.22	0.31	140.1	0.75	9.630	1.17	25.3	1.10
150	50	23	5.18	2.25	3.88	0.19	114.3	0.65	10.800	1.34	24.8	1.39
175	50	24	5.2	3.14	5.41	0.27	129.1	0.51	9.550	1.12	22.6	1.03
175	75	25	5.23	3.41	5.88	0.29	140.0	1.14	10.530	0.97	23.8	0.90
150	75	26	5.22	3.52	6.07	0.3	140.1	0.75	10.500	1.15	24.1	1.23
125	75	27	4.84	3.78	6.52	0.33	140.2	1.03	10.200	1.22	25.3	1.57
100	75	28	5.32	3.82	6.59	0.33	140.1	1.51	11.930	1.05	26.4	1.27
75	75	29	5.17	3.15	5.43	0.27	130.3	0.67	10.150	1.36	22.7	1.62
50	75	30	4.93	4.04	6.96	0.35	140	2.35	12.730	3.65	28.7	2.11
25	75	31	5.23	4.16	7.17	0.36	140	2.58	12.230	1.3	26.6	2.21
0	75	32	5.05	4.58	7.9	0.39	140	2.04	13.430	0.87	30.6	1.5

**Viene anexo A.9** Datos de las variables químicas del suelo incluidos en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

<b>Propiedades del suelo incluidas en el análisis estadístico de variabilidad espacial</b>					
<b>Coordenadas geográficas por punto</b>			<b>Grado de acidez del suelo en 1:1</b>		
<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Punto</b>	<b>pH</b>	<b>pH</b>	<b>Promedio</b>
0	0	1	5.01	5.36	5.19
25	0	2	4.91	4.97	4.94
50	0	3	4.87	5.47	5.17
75	0	4	5.01	5.34	5.18
100	0	5	5.16	5.34	5.25
125	0	6	5.18	5.62	5.40
150	0	7	5.36	5.37	5.37
175	0	8	5.25	5.17	5.21
175	25	9	4.82	4.91	4.87
150	25	10	5.04	5.14	5.09
125	25	11	5.08	5.33	5.21
100	25	12	4.92	5.19	5.06
75	25	13	4.84	5.21	5.03
50	25	14	5.07	5.27	5.17
25	25	15	5.04	4.98	5.01
0	25	16	4.96	4.77	4.87
0	50	17	4.89	5.17	5.03
25	50	18	4.89	4.85	4.87
50	50	19	4.99	5.19	5.09
75	50	20	4.95	5.23	5.09
100	50	21	4.81	5.00	4.91
125	50	22	4.92	5.16	5.04
150	50	23	5.05	5.18	5.12
175	50	24	5.04	5.20	5.12
175	75	25	5.17	5.23	5.20
150	75	26	5.04	5.22	5.13
125	75	27	4.88	4.84	4.86
100	75	28	4.94	5.32	5.13
75	75	29	4.96	5.17	5.07
50	75	30	5.00	4.93	4.97
25	75	31	5.02	5.23	5.13
0	75	32	5.00	5.05	5.03

**Viene anexo A.9** Datos de las variables químicas del suelo incluidos en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Propiedades del suelo incluidas en el análisis estadístico de variabilidad espacial											
Coordenadas geográficas por punto			Primera y segunda lectura tomada en porcentaje								
X	Y	Nodo	CO1	CO 2	Promedio CO	MO 1	MO 2	Promedio MO	N dis/ 1	N dis/ 2	Promedio N dis/
0	0	1	3.29	3.46	3.38	5.67	5.97	5.82	0.28	0.30	0.29
25	0	2	3.34	3.12	3.23	5.76	5.38	5.57	0.29	0.27	0.28
50	0	3	2.77	3.14	2.96	4.78	5.41	5.09	0.24	0.27	0.25
75	0	4	2.60	2.80	2.70	4.48	4.83	4.65	0.22	0.24	0.23
100	0	5	2.96	2.66	2.81	5.10	4.59	4.84	0.26	0.23	0.24
125	0	6	2.67	2.57	2.62	4.60	4.43	4.52	0.23	0.22	0.23
150	0	7	3.26	2.64	2.95	5.62	4.55	5.09	0.28	0.23	0.25
175	0	8	3.00	2.95	2.98	5.17	5.09	5.13	0.26	0.25	0.26
175	25	9	2.51	2.90	2.71	4.33	5.00	4.66	0.22	0.25	0.23
150	25	10	1.76	2.26	2.01	3.03	3.90	3.47	0.15	0.19	0.17
125	25	11	2.41	2.57	2.49	4.15	4.43	4.29	0.21	0.22	0.21
100	25	12	2.59	2.60	2.60	4.47	4.48	4.47	0.22	0.22	0.22
75	25	13	2.82	2.88	2.85	4.86	4.97	4.91	0.24	0.25	0.25
50	25	14	2.72	2.83	2.78	4.69	4.88	4.78	0.23	0.24	0.24
25	25	15	3.12	3.20	3.16	5.38	5.52	5.45	0.27	0.28	0.27
0	25	16	3.53	3.82	3.68	6.09	6.59	6.34	0.30	0.33	0.32
0	50	17	3.63	4.08	3.86	6.26	7.03	6.65	0.31	0.35	0.33
25	50	18	3.92	4.24	4.08	6.76	7.31	7.03	0.34	0.37	0.35
50	50	19	3.32	3.59	3.46	5.72	6.19	5.96	0.29	0.31	0.30
75	50	20	2.99	3.53	3.26	5.15	6.09	5.62	0.26	0.30	0.28
100	50	21	2.98	3.27	3.13	5.14	5.64	5.39	0.26	0.28	0.27
125	50	22	2.84	3.61	3.23	4.90	6.22	5.56	0.24	0.31	0.28
150	50	23	2.48	2.25	2.37	4.28	3.88	4.08	0.21	0.19	0.20
175	50	24	2.52	3.14	2.83	4.34	5.41	4.88	0.22	0.27	0.24
175	75	25	3.14	3.41	3.28	5.41	5.88	5.65	0.27	0.29	0.28
150	75	26	3.12	3.52	3.32	5.38	6.07	5.72	0.27	0.30	0.29
125	75	27	3.30	3.78	3.54	5.69	6.52	6.10	0.28	0.33	0.31
100	75	28	3.06	3.82	3.44	5.28	6.59	5.93	0.26	0.33	0.30
75	75	29	3.20	3.15	3.18	5.52	5.43	5.47	0.28	0.27	0.27
50	75	30	3.93	4.04	3.99	6.78	6.96	6.87	0.34	0.35	0.34
25	75	31	3.84	4.16	4.00	6.62	7.17	6.90	0.33	0.36	0.34
0	75	32	4.30	4.58	4.44	7.41	7.90	7.65	0.37	0.39	0.38

**Viene anexo A.9** Datos de las variables químicas del suelo incluidos en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

Propiedades del suelo incluidas en el análisis estadístico de variabilidad espacial											
Coordenadas geográficas por punto			Primera y segunda lectura tomada								
X	Y	Punto	ppm			Meq/100 g/suelo					
			P 1	P2	Promedio P	K 1	K 2	Promedio K	Ca 1	Ca 2	Promedio Ca
0	0	1	140.10	140.00	140.05	1.95	1.11	1.53	13.180	12.850	13.02
25	0	2	100.50	140.00	120.25	1.64	1.31	1.48	11.230	11.130	11.18
50	0	3	76.90	140.00	108.45	0.85	0.78	0.82	10.800	10.950	10.88
75	0	4	59.90	140.00	99.95	0.65	0.93	0.79	10.130	11.430	10.78
100	0	5	89.60	108.30	98.95	0.98	0.52	0.75	10.880	10.350	10.62
125	0	6	67.40	144.30	105.85	0.92	0.78	0.85	11.080	11.330	11.21
150	0	7	62.10	87.90	75.00	1.35	0.69	1.02	11.730	9.350	10.54
175	0	8	43.20	77.60	60.40	0.97	0.88	0.93	10.000	8.750	9.38
175	25	9	40.00	99.70	69.85	0.47	0.40	0.44	8.280	8.000	8.14
150	25	10	36.80	97.10	66.95	0.39	0.54	0.47	8.580	8.680	8.63
125	25	11	64.90	122.00	93.45	0.65	0.63	0.64	10.580	10.180	10.38
100	25	12	52.20	96.90	74.55	0.45	0.62	0.54	9.300	9.280	9.29
75	25	13	54.30	123.90	89.10	0.71	0.86	0.79	9.650	9.550	9.60
50	25	14	53.70	143.00	98.35	0.67	0.86	0.77	10.130	9.580	9.86
25	25	15	71.00	140.00	105.50	0.88	0.81	0.85	11.230	10.630	10.93
0	25	16	60.40	140.00	100.20	0.69	1.40	1.05	12.730	11.730	12.23
0	50	17	50.40	140.00	95.20	0.71	1.25	0.98	11.530	12.100	11.82
25	50	18	66.70	140.00	103.35	0.59	0.76	0.68	11.480	12.830	12.16
50	50	19	54.80	134.60	94.70	0.50	0.59	0.55	11.330	11.300	11.32
75	50	20	77.60	140.00	108.80	0.82	0.95	0.89	10.730	10.780	10.76
100	50	21	49.50	144.30	96.90	0.43	0.84	0.64	10.380	9.600	9.99
125	50	22	64.40	140.00	102.20	0.57	0.75	0.66	11.800	9.630	10.72
150	50	23	55.80	114.30	85.05	0.58	0.65	0.62	10.130	10.800	10.47
175	50	24	52.50	129.00	90.75	0.43	0.51	0.47	10.080	9.550	9.82
175	75	25	44.60	140.00	92.30	0.81	1.14	0.98	10.530	10.530	10.53
150	75	26	74.30	140.00	107.15	0.55	0.75	0.65	10.530	10.500	10.52
125	75	27	60.40	140.00	100.20	0.83	1.03	0.93	11.000	10.200	10.60
100	75	28	57.80	140.00	98.90	0.92	1.51	1.22	9.500	11.930	10.72
75	75	29	61.70	130.30	96.00	1.05	0.67	0.86	11.130	10.150	10.64
50	75	30	60.40	140.00	100.20	1.83	2.35	2.09	13.000	12.730	12.87
25	75	31	99.40	140.00	119.70	1.65	2.58	2.12	13.500	12.230	12.87
0	75	32	86.00	140.00	113.00	1.64	2.04	1.84	13.750	13.430	13.59

**Viene anexo A.9** Datos de las variables químicas del suelo incluidos en el análisis estadístico de variabilidad espacial del lote 7 del CAM.

<b>Interpretación del primero y segundo análisis químico de suelo realizado antes del establecimiento del experimento en campo y sesenta días después de recolectada la cosecha de maíz en choclo de acuerdo a las variables evaluadas.</b>						
<b>Lecturas</b>	<b>Rango</b>	<b>Promedio</b>	<b>Número Puntos en lote</b>	<b>Nivel de interpretación</b>	<b>Clasificación</b>	<b>% de distribución en el lote</b>
<b>pH</b>						
Primera	4.80 - 5.00	4.91	17	4.6 a 5.0	Muy fuertemente ácido	53.125
	5.01 - 5.36	5.10	15	5.1 a 5.5	Fuertemente ácido	46.875
segunda	4.77 - 5.00	5.24	8	4.6 a 5.0	Muy fuertemente ácido	25
	5.05 - 5.47	5.24	23	5.1 a 5.5	Fuertemente ácido	71.875
	5.62	5.62	1	5.6 a 6.0	Medianamente ácido	3.125
<b>MO (%)</b>						
Primera	3.03 - 4.90	4.41	12	< 5	Bajo	37.5
	5.10 - 7.41	5.80	20	5 a 10	Medio	62.5
segunda	3.88 - 5.00	4.54	11	< 5	Bajo	34.375
	5.09 - 7.90	6.21	21	5 a 10	Medio	65.625
<b>Nitrógeno disponible (%)</b>						
Primera	0.15 - 0.24	0.22	12	< 0.25	Bajo	37.5
	0.26 - 0.37	0.29	20	0.25 a 0.50	Medio	62.5
segunda	0.19 - 0.25	0.23	12		Bajo	37.5
	0.27 - 0.39	0.31	20		Medio	62.5
<b>Fósforo (ppm) disponible (Bray II)</b>						
Primera	36.80 - 40.10	65.29	32	> 30	Alto	100
segunda	77.60 - 144.30	129.30	32	> 30	Alto	100
<b>Potasio disponible en (meq/100g de suelo)</b>						
Primera	0.39 - 1.95	0.879063	32	> 0.30	Alto	100
segunda	0.40 - 2.58	0.984063	32	> 0.30	Alto	100
<b>Calcio disponible en (meq/100g de suelo)</b>						
Primera	8.28 - 13.750	10.93469	32	> 6	Alto	100
segunda	12.850 - 3.430	10.68938	32	> 6	Alto	100
<b>Sodio disponible en (meq/100g de suelo)</b>						
Primera	0.77 - 2.60	1.175	32	> 0.5	Alto	100
segunda	0.77 - 1.30	1.065	32	> 0.5	Alto	100
	0.00 - 0.46	0.46	32	0.1 - 0.5	Medio	

**Anexo A.10** Variables físicas y químicas que explican el rendimiento por grupo.

Variables físicas que explican el rendimiento por grupo						
Grupo	Re/t/ha	%_Arcilla	%_Limo	%Arena	DA	DR
I	4.76	34.98	31.05	33.98	1.19	2.29
II	4.71	32.97	34.67	32.37	1.14	2.27
III	11.64	41.13	30.23	28.63	1.14	2.29
IV	6.53	42.54	26.68	30.78	1.13	2.29
V	10.34	41.09	28.84	30.07	1.19	2.28
Grupo	%P	%H	EEH	EES	DPMH	DPMS
I	50.11	31.44	1.23	1.53	2.89	3.14
II	52.11	27.59	1.34	1.38	2.49	2.78
III	52.03	31.76	1.37	2.11	2.92	3.30
IV	50.39	30.36	1.33	1.36	2.62	2.93
V	48.74	31.20	1.25	1.66	3.08	3.53
Grupo	Re/t/ha	00-10 cm	10- 20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm
I	4.76	0.63	1.11	1.25	1.41	1.27
II	4.71	0.65	1.30	1.69	1.87	1.71
III	11.64	0.77	1.50	1.67	1.57	1.61
IV	6.53	0.68	1.36	1.54	1.59	1.80
V	10.34	0.63	1.11	1.33	1.46	1.46
Variables químicas que explican el rendimiento por grupo						
Grupo	Re/t/ha	pH	CO	%MO	% N total	N/Dis1
I	4.76	5.12	2.67	4.60	0.23	0.003
II	4.71	5.19	2.95	5.08	0.25	0.004
III	11.64	5.03	3.76	6.49	0.32	0.005
IV	6.53	5.04	3.30	5.69	0.28	0.004
V	10.34	4.98	3.52	6.06	0.30	0.005
Grupo	P	K	Ca	Na	CIC	CE
I	78.46	0.70	9.48	1.06	22.66	0.88
II	112.25	1.04	11.28	0.81	24.67	0.71
III	104.67	1.51	11.88	1.53	26.52	1.35
IV	98.51	0.75	10.94	1.11	25.10	1.04
V	100.66	0.80	11.31	0.99	26.02	1.07
Variables con colores iguales indican correlaciones y entre colores diferentes no hay correlación						

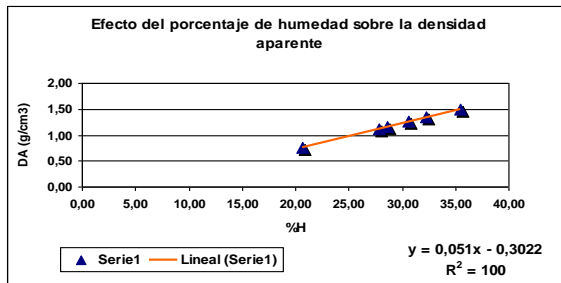
**Anexo A.11** Variables que explican el rendimiento por grupo transformadas en porcentaje y explicadas en la grafica radial.

Variables que explican el rendimiento por grupo transformadas en porcentaje								
Nº Variables	1	2	3	4	5	6	7	8
Grupo	Re/t/ha	CO	%MO	% N total	CIC	CE	%H	EES
I	4.76	2.67	4.60	0.23	22.66	0.88	31.44	1.53
II	4.71	2.95	5.08	0.25	24.67	0.71	27.59	1.38
III	11.64	3.76	6.49	0.32	26.52	1.35	31.76	2.11
IV	6.53	3.30	5.69	0.28	25.10	1.04	30.36	1.36
V	10.34	3.52	6.06	0.30	26.02	1.07	31.20	1.66
Total	37.97	16.20	27.93	1.40	124.96	5.05	152.36	8.05
Variables transformadas en porcentajes								
Variables/%	1	2	3	4	5	6	7	8
Grupo	Re/t/ha	CO	%MO	% N total	CIC	CE	%H	EES
I	12.539	16.476	16.476	16.476	18.134	17.413	20.638	19.003
II	12.400	18.202	18.202	18.202	19.742	14.044	18.108	17.199
III	30.642	23.233	23.233	23.233	21.219	26.769	20.845	26.266
IV	17.197	20.385	20.385	20.385	20.082	20.591	19.929	16.902
V	27.223	21.704	21.704	21.704	20.823	21.183	20.479	20.630
	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Variables con colores iguales indican correlaciones y entre colores diferentes no hay correlación								

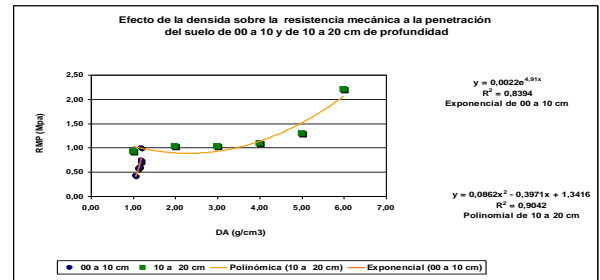
## Anexo B. Graficas

**Anexo B.1** Efecto del porcentaje de humedad sobre la densidad aparente (a), sobre la resistencia mecánica a la penetración del suelo de 00 a 10 y de 10 a 20 cm de profundidad (b), porcentaje de humedad sobre la resistencia mecánica a la penetración entre 00 y 20 cm (c) y de 20 a 50 cm (d); tomada mensualmente entre 00 – 50 cm de profundidad del suelo (e), relación entre la precipitación con la resistencia mecánica a la penetración tomada mensualmente por punto a cada 10 cm entre 00-50 cm de profundidad (f).

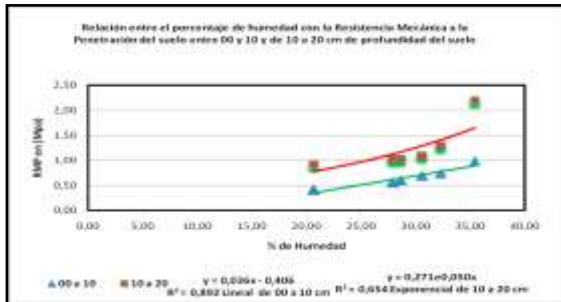
a)



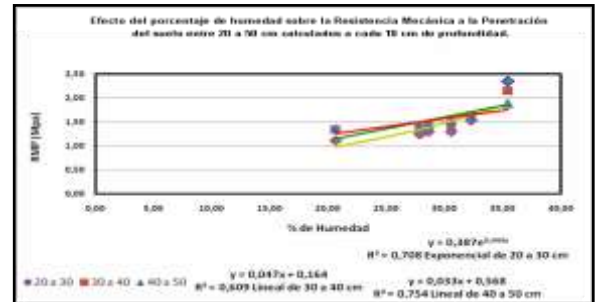
b)



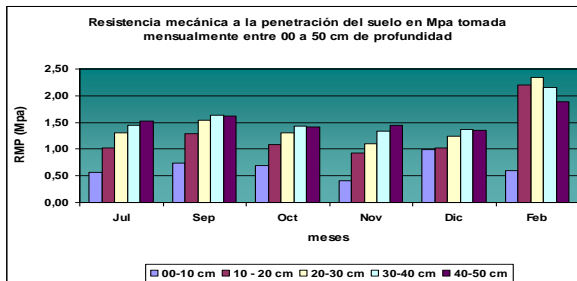
c)



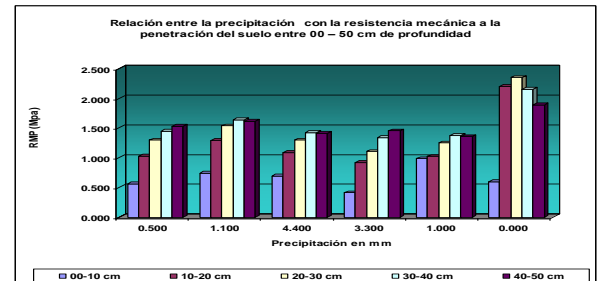
e)



e)

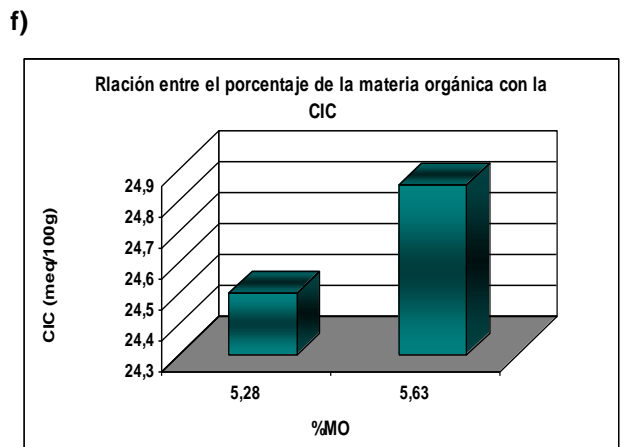
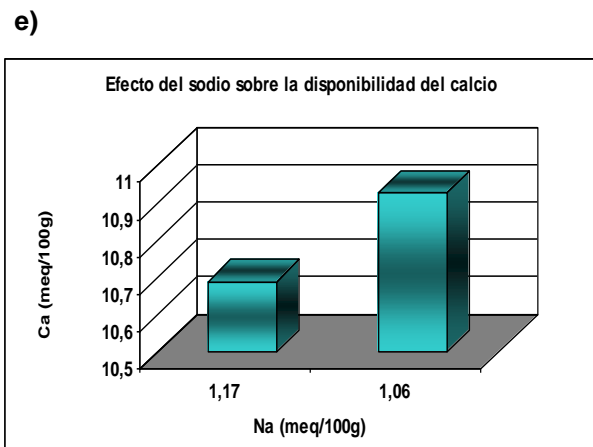
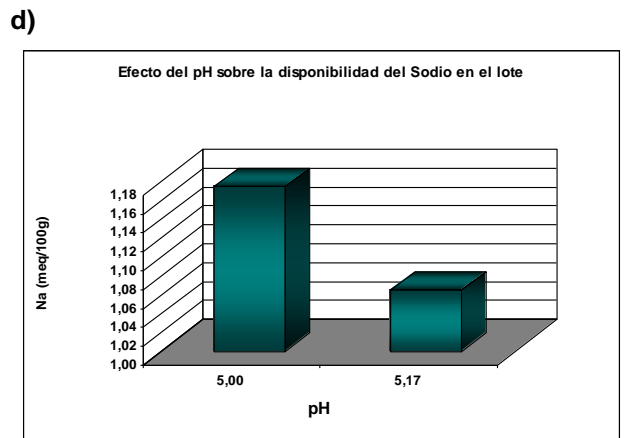
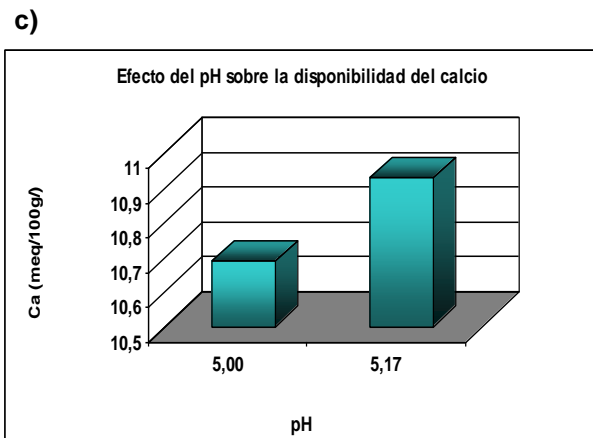
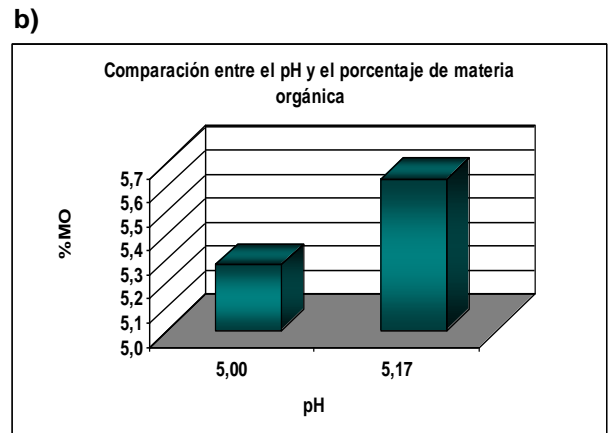
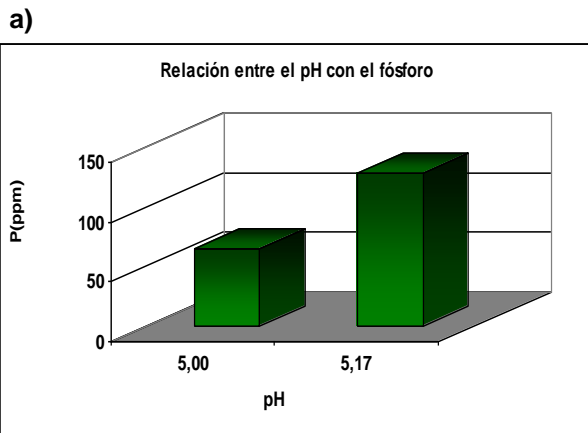


f)



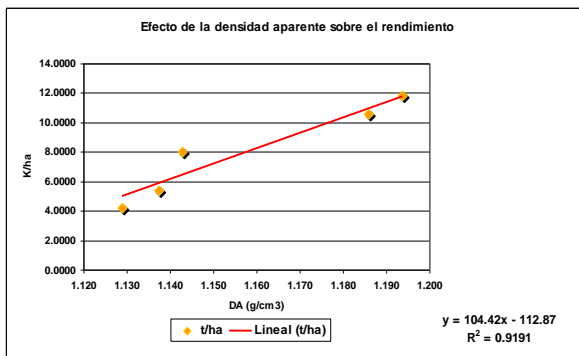


**Anexo B.2** Figuras que explican. Relación entre el pH con el fósforo (a), comparación entre el pH y el porcentaje de materia orgánica (b), efecto del pH sobre la disponibilidad del calcio (c) y del sodio (d), efecto del sodio sobre la disponibilidad del calcio (e), relación entre el porcentaje de materia orgánica con la CIC (f),

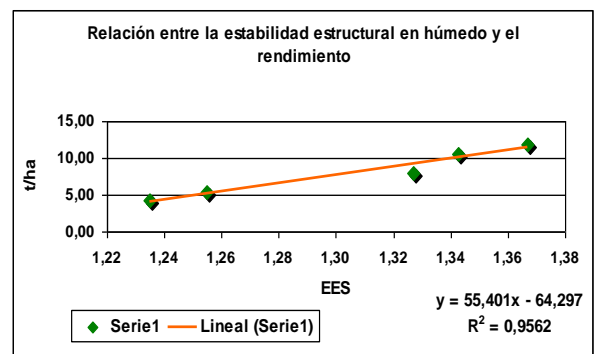


**Anexo B.3** Figuras que exponen por grupo. Relación entre la densidad aparente con el rendimiento (a), efecto de porcentaje de humedad sobre el rendimiento en t/h (b), relación entre la estabilidad estructural en húmedo con la disponibilidad de calcio y de sodio (c), efecto de la estabilidad estructural en húmedo sobre la disponibilidad del calcio y del potasio (d), efecto de la estabilidad estructural en húmedo sobre la capacidad de intercambio cationico (e), relación entre la estabilidad estructural en húmedo con el porcentaje de materia orgánica (f).

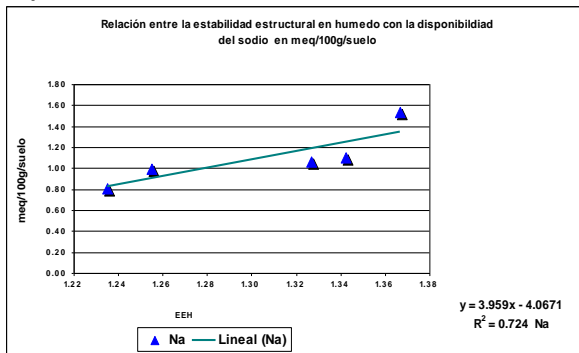
a)



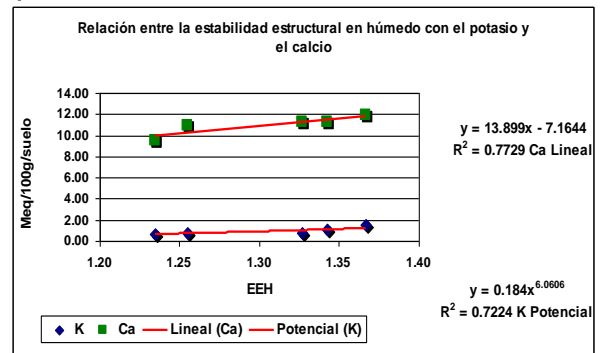
b)



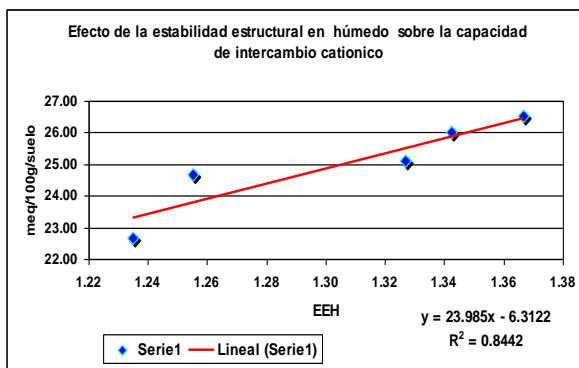
c)



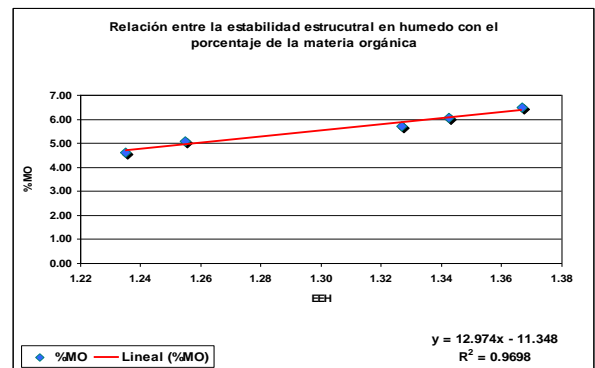
d)



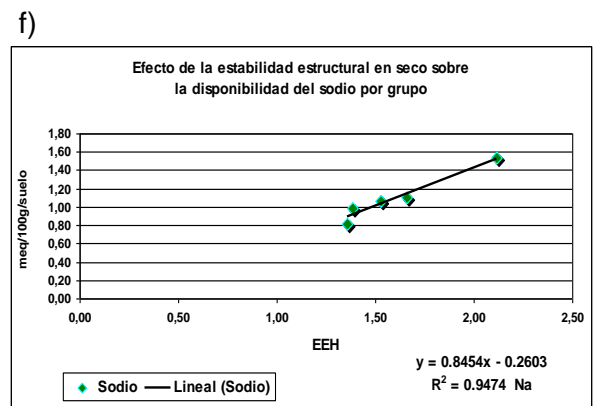
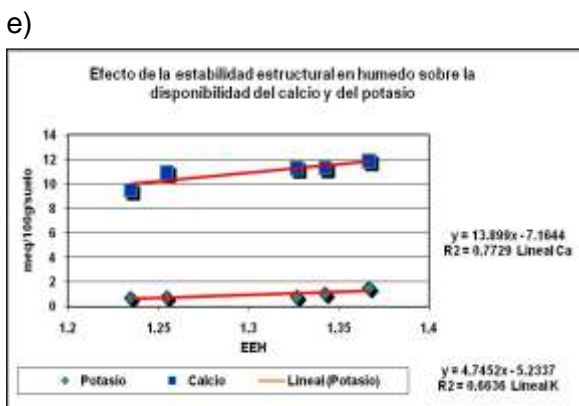
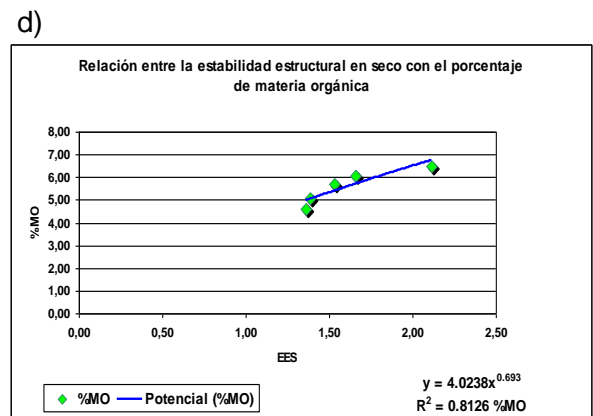
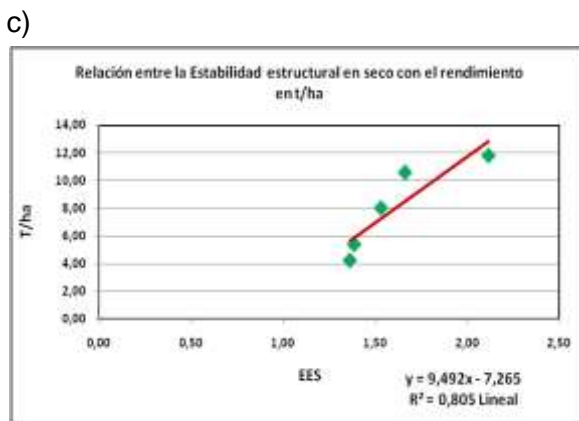
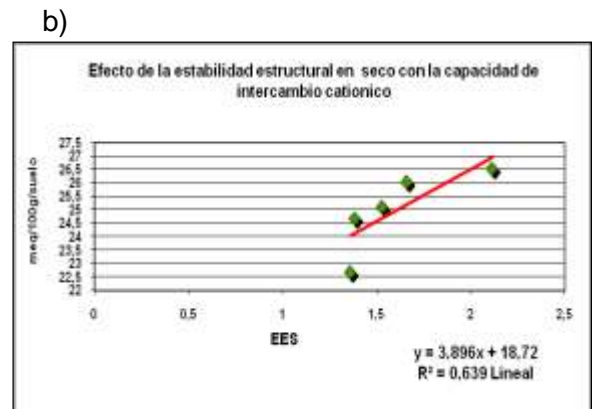
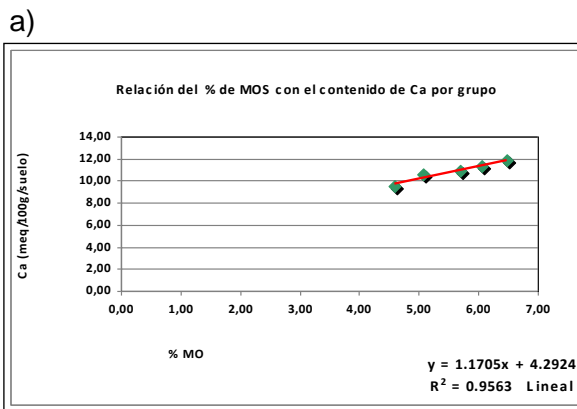
e)



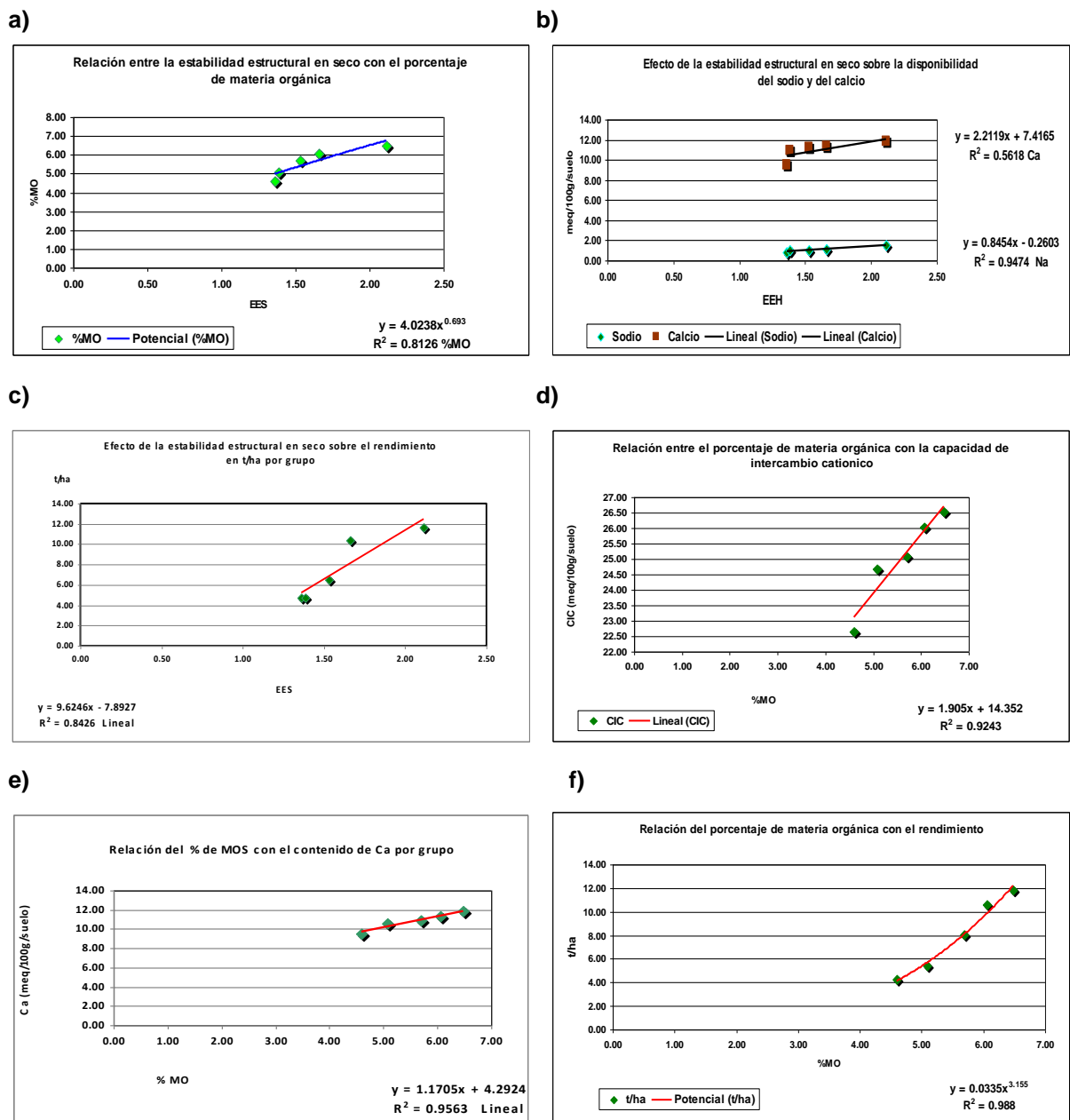
f)



**Anexo B.4** Figuras que explican por grupo. Relación entre el porcentaje de materia orgánica con el contenido de calcio (a), efecto de la estabilidad estructural en seco sobre la CIC (b), relación entre la estabilidad estructural en seco y el rendimiento (c), con el porcentaje de materia orgánica (d), efecto de la estabilidad estructural en seco sobre la disponibilidad del potasio y del calcio (e), efecto de la estabilidad estructural en seco sobre la disponibilidad del sodio (f).

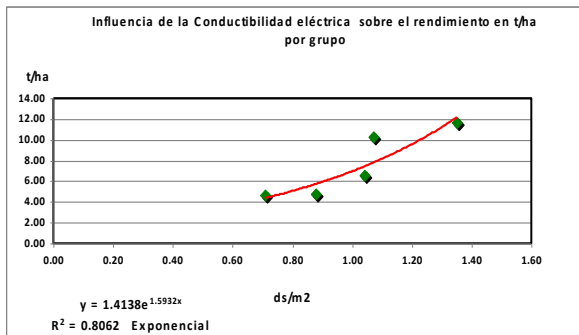


**Anexo B.5** Figuras que explican por grupo. Relación entre la estabilidad estructural en seco con el porcentaje de materia orgánica (a), efecto de la estabilidad estructural en seco sobre la disponibilidad del sodio y del calcio (b), relación entre la estabilidad estructural en seco sobre el rendimiento (c), relación del porcentaje de materia orgánica con el contenido de calcio (e), relación entre el porcentaje de materia orgánica con la capacidad de intercambio cationico (e), relación del porcentaje de materia orgánica con el rendimiento (f).

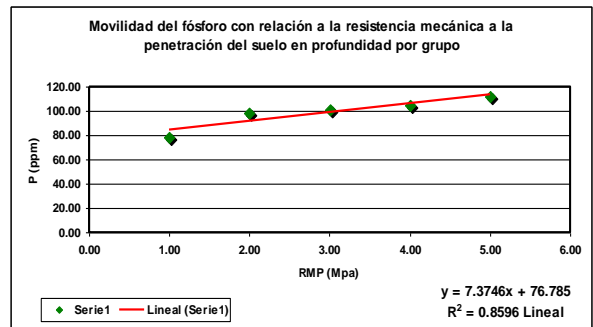


**Anexo B.6** Figuras que explican por grupo. Influencia de la conductibilidad eléctrica sobre el rendimiento (a), Movilidad del fósforo con relación a la resistencia mecánica a la penetración del suelo por grupo (b), variación de la resistencia mecánica a la penetración del suelo en Mpa en profundidad (c), efecto de la densidad aparente sobre el rendimiento (d), variables que más influyeron sobre el rendimiento en t/ha por grupo (e).

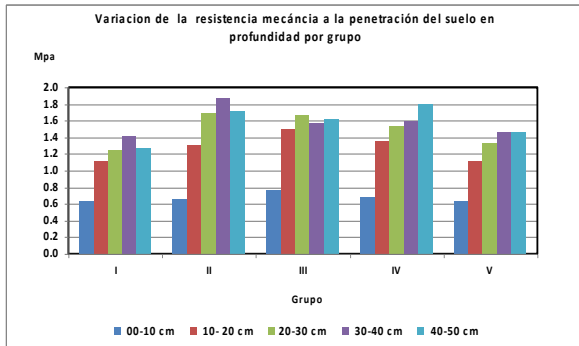
a)



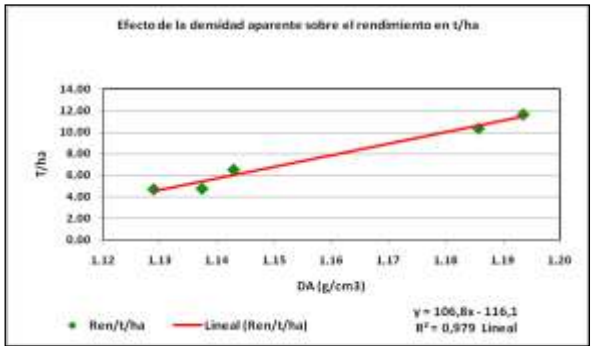
b)



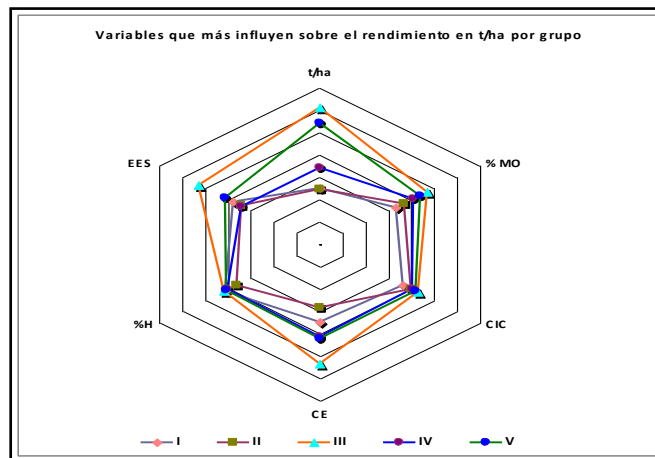
c)



d)



e)



## Anexo C. Tablas del análisis Geoestadístico.

### Anexo C.1 Análisis e interpretación de los resultados geoestadísticos en las variables físicas evaluadas por punto.

RESULTADOS GEOESTADISTICOS EN LAS VARIABLES FÍSICAS EVALUADAS POR PUNTO								
Lectura por Variable	Modelo	Efecto Nugget (Co)	Meseta Co + C1 Varianza estructural	Nugget Relativo (%)	Rango (m) distancia	R2 (%)	C/Co + C1	SS Residual
<b>Textura del suelo en % tomada antes de la siembra del cultivo de Maíz</b>								
% de Arcilla	Gaussiano	0.1000	36.5800	0.273	69.9749	0.9510	0.9970	17.9000
% de Limo	Gaussiano	0.0100	20.3000	0.049	58.0237	0.9390	1.0000	4.1000
% de Arena	Esférico	0.0100	11.9000	0.084	62.3000	0.6380	0.9990	8.0800
<b>Densidad aparente (DA) en gr/cm3 tomada mensualmente</b>								
Julio	Gaussiano	0.0008	0.0100	8.167	40.7032	0.9930	0.9180	1.75E-05
Septiembre	Exponencial	0.0008	0.0065	12.713	77.1000	0.1880	0.8730	9.92E-06
Octubre	Lineal	0.0153	0.0153	100.000	179.3412	0.6320	0.0000	3.37E-04
Noviembre	Gaussiano	0.0040	13840.0	0.000	348.1422	0.9190	0.7100	1.94E-06
Diciembre	Exponencial	0.0043	0.0086	50.234	26.1000	0.0080	0.9500	2.26E-05
Febrero	Lineal	15.5966	15.5966	100.000	179.3412	0.4790	0.0000	2.80E+13
Promedio	Esférico	0.0008	0.0038	20.476	131.8000	0.6520	0.7930	3.73E+18
<b>Densidad real (DR) en gr/cm3 tomada antes de la siembra y después de recolectada la cosecha de Maíz</b>								
Julio	Exponencial	0.0003	0.0007	36.988	360.9000	0.5880	0.6300	3.15E-08
Febrero	Esférico	0.0004	0.0008	44.933	102.6000	0.4420	0.5510	7.12E-08
Promedio	Esférico	0.0003	0.0009	32.609	316.8000	0.7300	0.6760	5.89E-08
<b>% de porosidad del suelo tomada antes de la siembra y después de recolectada la cosecha de Maíz</b>								
Julio	Esférico	0.7600	18.3000	4.153	44.0000	0.2970	0.9580	12.7000
Febrero	Esférico	8.8600	35.7800	24.762	266.7358	0.7560	0.7520	98.2000
Promedio	Esférico	3.2700	9.1630	35.687	120.9000	0.9140	0.6430	46.8900
<b>% Humedad (PH) del suelo tomada mensualmente</b>								
Julio	Esférico	0.1800	17.1500	1.050	38.9000	0.6200	0.9900	22.8000
Septiembre	Gaussiano	0.1000	103.9000	0.096	77.0763	0.7250	0.9990	28.2600
Octubre	Gaussiano	0.3800	15.7400	2.414	57.1577	0.2610	0.9760	129.0000
Noviembre	Esférico	3.1100	26.2700	11.839	90.0000	0.6260	882.0000	78.5000
Diciembre	Esférico	9.9900	274.2000	3.643	111.7000	0.3350	0.5870	122.0000
Febrero	Lineal	13.9740	13.9744	99.997	179.3412	0.0550	0.0000	143.0000
Promedio	Esférico	0.4300	5.6630	7.593	74.2000	0.3830	0.9240	6.3900
<b>Estabilidad estructural en húmedo (EEH) del suelo tomada antes de la siembra y después de recolectada la cosecha de Maíz</b>								
Julio	Esférico	8.8400	30.9500	28.562	105.0000	0.1310	0.7140	8.4700
Febrero	Esférico	0.2000	53.9100	0.371	60.8000	0.1500	0.9960	2147.0000
Promedio	Esférico	0.4300	5.6630	7.593	74.2000	0.3830	0.9240	6.3900
<b>Estabilidad estructural en seco (EES) tomada antes de la siembra y después de recolectada la cosecha de Maíz</b>								
Julio	Gaussiano	22.000	354.900	6.199	381.5708	0.7830	0.9380	10093
Febrero	Esférico	0.2000	32.6700	0.612	61.3000	0.0790	0.9940	15.4400
Promedio	Esférico	2.8600	20.1300	14.208	82.7000	0.9240	0.8580	31.5000

Vienen anexo C.1 Análisis e interpretación de los resultados geoestadísticos en las variables físicas evaluadas por punto.

RESULTADOS GEOESTADÍSTICOS EN LAS VARIABLES FÍSICAS EVALUADAS POR PUNTO								
Lectura por Variable	Modelo	Efecto Nugget (Co)	Meseta Co + C1 Varianza estructural	Nugget Relativo (%)	Rango (m) distancia	R2 (%)	C/Co + C1	SS Residual
<b>Diámetro ponderado medio en húmedo (DPMH) de la partícula del suelo tomada antes de la siembra y después de recolectada la cosecha de Maíz</b>								
Julio	Esférico	0.02800	0.12840	21.807	143.80000	0.32400	0.78000	9.01E-03
Febrero	Gaussiano	0.00100	0.36300	0.275	61.31460	0.47400	0.99700	0.0353
Promedio	Esférico	0.00010	0.12620	0.079	98.60000	0.84600	0.99900	8.99E-04
<b>Diámetro ponderado medio en seco (DPMS) de la partícula del suelo tomada antes de la siembra y después de recolectada la cosecha de Maíz</b>								
Julio	Gaussiano	0.18200	0.58800	30.952	99.53230	0.99100	0.69000	9.97E-04
Febrero	Esférico	0.00100	0.35300	0.2833	87.50000	0.51600	0.99700	3.72E-02
Promedio	Gaussiano	0.06370	271.60000	0.0235	117.25980	0.95200	0.75200	2.16E-04
<b>Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo entre 00 a 10 cm tomada mensualmente en (Mpa)</b>								
Julio	Exponencial	0.0014	0.0829	1.6888	45.9000	0.2400	0.9830	1.896E-04
Septiembre	Exponencial	0.0008	0.2566	0.3118	35.4000	0.3010	0.9970	5.577E-04
Octubre	Lineal	0.0555	0.0555	100.00	104.8997	0.0010	0.0000	9.089E-05
Noviembre	Gaussiano	0.0124	0.0346	35.838	136.1392	0.9480	0.6420	7.743E-06
Diciembre	Lineal	1.0237	1.0237	100.00	104.8997	0.0760	0.0000	0.077000
Febrero	Esférico	0.0310	0.1040	29.808	85.6000	0.9020	0.7020	9.04E-05
Promedio	Lineal	0.2054	0.2054	100.00	179.3412	0.5900	0.0000	0.047400
<b>Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo entre 10 a 20 cm tomada mensualmente en (Mpa)</b>								
Julio	Exponencial	0.0036	0.2432	1.480	47.7000	0.4230	0.9850	1.15E-03
Septiembre	Esférico	0.0550	0.6880	7.994	70.3000	1.0000	0.9200	3.31E-06
Octubre	Esférico	0.0031	0.2352	1.318	31.5000	0.0010	0.9870	1.04E-03
Noviembre	Lineal	0.2464	0.2464	100.00	104.8997	0.3030	0.0000	2.52E-03
Diciembre	Lineal	0.2558	0.2558	100.00	104.8997	0.4900	0.0000	4.67E-03
Febrero	Exponencial	0.2110	1.0720	19.683	55.8000	0.3510	0.8030	0.0362
Promedio	Lineal	0.4161	0.4161	100.00	179.3413	0.5750	0.0000	0.0938
<b>Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo entre 20 a 30 cm tomada mensualmente en (Mpa).</b>								
Julio	Esférico	0.0003	0.2226	0.135	29.6000	0.0000	0.9990	1.06E-03
Septiembre	Esférico	0.0950	0.4850	19.588	69.2000	0.9920	0.8040	1.40E-04
Octubre	Gaussiano	0.0219	0.0652	33.589	106.8675	0.9320	0.6640	4.37E-05
Noviembre	Lineal	0.2470	0.2470	100.00	104.8997	0.1690	0.0000	4.64E-03
Diciembre	Exponencial	0.0217	0.1894	11.457	51.3000	0.9990	0.8850	4.25E-07
Febrero	Esférico	0.1110	1.1670	9.512	44.0000	0.9810	0.9050	3.34E-04
Promedio	Esférico	0.0375	0.1600	23.438	253.2000	0.9880	0.7590	7.97E-05
<b>Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo entre 30 a 40 cm tomada mensualmente en (Mpa).</b>								
Julio	Lineal	0.5795	0.5760	100.62	104.8997	0.0480	0.0000	0.0625
Septiembre	Esférico	0.0180	0.4870	3.696	51.6000	0.9040	0.9630	9.57E-04
Octubre	Lineal	0.1051	0.1051	100.00	104.8997	0.3830	0.0000	6.43E-04
Noviembre	Lineal	0.1273	0.1273	100.00	104.8999	0.5350	0.0000	3.20E-03
Diciembre	Lineal	0.2241	0.2241	100.00	104.8997	0.3120	0.0000	9.28E-04
Febrero	Gaussiano	0.1080	0.9040	11.947	44.3405	0.8460	0.8810	5.75E-03
Promedio	Esférico	0.0001	0.0972	0.103	43.5000	0.0330	0.9990	4.45E-03

**Vienen anexo C.1** Análisis e interpretación de los resultados geoestadísticos en las variables físicas evaluadas por punto.

RESULTADOS GEOESTADÍSTICOS EN LAS VARIABLES FÍSICAS EVALUADAS POR PUNTO								
Lectura por Variable	Modelo	Efecto Nugget (Co)	Meseta Co + C1 Varianza estructural	Nugget Relativo (%)	Rango (m) distancia	R2 (%)	C/Co + C1	SS Residual
<b>Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo entre 40 a 50 cm tomada mensualmente en (Mpa)</b>								
Julio	Lineal	0.3360	0.3360	100.00	104.8997	0.2970	0.0000	3.38E-03
Septiembre	Esférico	0.0030	0.4620	0.649	38.0000	0.0770	0.9940	8.58E-03
Octubre	Lineal	0.1381	0.1381	100.00	104.8997	0.8100	0.0000	6.74E-04
Noviembre	Lineal	0.2279	0.2279	100.00	104.8997	0.5950	0.0000	7.96E-04
Diciembre	Lineal	0.2781	0.2781	100.00	104.8997	0.4970	0.0000	5.02E-03
Febrero	Lineal	0.0210	0.5770	3.640	76.5000	0.9530	0.9640	8.29E-04
Promedio	Esférico	0.0009	0.1238	0.727	38.7000	0.0180	0.9930	4.01E-03
<b>Valores promedios de la Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo tomada mensualmente cada 10 cm de profundidad en (Mpa)</b>								
De 00 a 10 cm	Lineal	0.2054	0.2054	100.00	179.3412	0.5900	0.000	0.0474
De 10 a 20 cm	Lineal	0.4161	0.4160	100.02	179.3413	0.5750	0.000	0.0938
De 20 a 30 cm	Esférico	0.0375	0.1600	23.438	53.2000	0.9880	0.759	7.97E-05
De 30 a 40 cm	Esférico	0.0001	0.0972	0.103	43.5000	0.0330	0.999	4.45E-03
De 40 a 50 cm	Esférico	0.0009	0.1238	0.727	38.7000	0.0180	0.993	4.01E-03
<b>Valor promedio de la Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo tomada por mes mensualmente en (Mpa)</b>								
Julio	Exponencial	0.003	0.0757	3.9630	74.1000	0.8430	0.996	5.39E-05
Septiembre	Esférico	0.0123	0.1926	6.3863	38.0000	0.9999	0.936	3.77E-06
Octubre	Esférico	0.0065	0.0389	16.7095	104.8997	0.9980	0.833	4.41E-07
Noviembre	Lineal	0.0296	0.0296	100.00	104.8997	0.0780	0.000	3.66E-06
Diciembre	Exponencial	0.0108	0.1096	9.8540	104.8997	0.7580	0.901	1.28E-04
Julio	Exponencial	0.003	0.0757	3.9630	74.1000	0.8430	0.996	5.39E-05



**Anexo C.2** Análisis e interpretación de los resultados geoestadísticos mediante la validación cruzada de las variables físicas evaluadas por punto.

<b>RESULTADOS GEOESTADÍSTICOS (VALIDACIÓN CRUZADA) EN LAS VARIABLES QUÍMICAS EVALUADAS POR PUNTO</b>					
<b>Variable Evaluada por punto</b>	<b>Coefficiente regresión</b>	<b>SE</b>	<b>R2 (%)</b>	<b>Intercepto</b>	<b>S/Predicción</b>
<b>Textura del suelo en % tomada antes de la siembra del cultivo de Maíz</b>					
% de Arcilla	1,89300	0,26400	0,63200	-33,98100	3,19500
% de Limo	1,32000	0,46300	0,21300	-9,71000	3,55100
% de Arena	0,75500	0,22700	0,27000	7,60000	2,92200
<b>Densidad aparente (DA) en gr/cm3 tomada mensualmente</b>					
Julio	-587,000	1,24800	0,00700	1,68000	0,09600
Septiembre	0,99100	0,42800	0,15100	0,01000	0,07100
Octubre	1,05800	0,73400	0,06500	-0,08000	0,13100
Noviembre	0,57700	0,27000	0,13300	0,50000	0,07000
Diciembre	0,45100	0,59800	0,01900	0,66000	0,09300
Febrero	-3,54100	1,15400	0,23900	46390,0	3504,49
<b>Densidad real (DR) en gr/cm3 tomada antes de la siembra y después de recolectada la cosecha de Maíz</b>					
Julio	0,97900	0,48600	0,11900	0,05000	0,02000
Febrero	0,49800	0,51800	0,03000	1,14000	0,02700
Promedio	0,34400	0,60300	0,01100	1,50000	0,02300
<b>% de porosidad del suelo tomada antes de la siembra y después de recolectada la cosecha de Maíz</b>					
Julio	0,42300	0,38500	0,03900	30,88000	4,11700
Febrero	0,77700	0,22700	0,28000	10,76000	3,37400
Promedio	0,86700	0,31500	0,20100	6,77000	2,48600
<b>% Humedad (PH) del suelo tomada mensualmente</b>					
Julio	0,61100	0,49100	0,04900	8,00000	4,03400
Septiembre	2,96500	0,28700	0,78100	-32,40000	4,39300
Octubre	3,07300	0,72100	0,37700	59,17000	3,12900
Noviembre	0,91500	0,22400	0,35700	3,18000	3,82900
Diciembre	0,89600	0,32700	0,20000	3,68000	4,14700
Febrero	-2,12100	1,31600	0,08000	86,70000	3,12900
Promedio	0,96700	-0,20600	0,42300	0,97000	1,75500
<b>Estabilidad estructural en húmedo (EEH) del suelo tomada antes de la siembra y después de recolectada la cosecha de Maíz</b>					
Julio	0,96700	0,24600	0,34000	2,43000	4,33600
Febrero	0,87400	0,20700	0,37200	9,23000	5,96600
Promedio	0,96700	0,20600	0,42300	0,42300	1,75500
<b>Estabilidad estructural en seco (EES) tomada antes de la siembra y después de recolectada la cosecha de Maíz</b>					
Julio	0,8740	0,2070	0,3720	9,2300	5,9660
Febrero	0,8950	0,1960	0,4100	9,4900	4,6120
Promedio	0,61900	0,25900	0,16000	27,02000	3,89700

**Viene anexo C.2** Análisis e interpretación de los resultados geoestadísticos mediante la validación cruzada de las variables físicas evaluadas por punto.

<b>RESULTADOS GEOESTADÍSTICOS (VALIDACIÓN CRUZADA) EN LAS VARIABLES QUÍMICAS EVALUADAS POR PUNTO</b>					
<b>Variable Evaluada por punto</b>	<b>Coficiente regresión</b>	<b>SE</b>	<b>R2 (%)</b>	<b>Intercepto</b>	<b>S/Predicción</b>
<b>Diámetro ponderado medio en húmedo (DPMH) de la partícula del suelo tomada</b>					
<b>antes de la siembra y después de recolectada la cosecha de Maíz</b>					
Julio	0,89600	0,25800	0,28600	0,29000	0,26600
Febrero	2,42700	0,61600	0,34100	-3,90000	0,47600
Promedio	0,86600	0,17100	0,46200	0,38000	0,23800
<b>Diámetro ponderado medio en seco (DPMS) de la partícula del suelo tomada</b>					
<b>antes de la siembra y después de recolectada la cosecha de Maíz</b>					
Julio	0,71700	0,24300	0,22500	1,11000	0,51200
Febrero	0,90200	0,14600	0,56000	0,32000	0,37600
Promedio	1,24300	0,23300	0,48600	0,88000	0,32100
<b>Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo entre 0,00 a 0,10 m.</b>					
<b>tomada mensualmente en (Mpa)</b>					
Julio	-0,1700	0,8150	0,0010	0,1100	0,2960
Septiembre	-0,9560	0,7390	0,0530	0,5600	0,5090
Octubre	-0,1630	0,5690	0,0030	0,0700	0,2460
Noviembre	-0,1350	0,4390	0,0030	0,0030	0,1760
Diciembre	0,6370	0,4380	0,0660	0,0180	0,9800
Febrero	-0,7030	0,4780	0,0670	0,1500	0,2860
<b>Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo entre 10 a 20 cm.</b>					
<b>tomada mensualmente en (Mpa)</b>					
Julio	0,68900	0,45400	0,07100	0,17000	0,48600
Septiembre	0,84700	0,22400	0,32200	0,12000	0,67600
Octubre	-0,16100	0,60200	0,00200	0,75000	0,48200
Noviembre	-0,80400	0,75700	0,03600	0,86000	0,49800
Diciembre	-2,72100	0,86100	0,25000	1,98000	0,43900
Febrero	0,24300	0,67100	0,00400	1,34000	0,94800
<b>Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo entre 20 a 30 cm.</b>					
<b>tomada mensualmente en (Mpa)</b>					
Julio	0,531000	0,42200	0,05000	0,41000	0,47900
Septiembre	0,722000	0,28100	0,18000	0,30000	0,62900
Octubre	1,427000	0,42500	0,27300	-0,43000	0,21000
Noviembre	-2,055,00	0,78200	0,18700	1,79000	0,45000
Diciembre	-637,000	0,74000	0,02400	1,41000	0,41600
Febrero	0,06200	0,37200	0,00100	1,79000	1,02700

**Viene anexo C.2** Análisis e interpretación de los resultados geoestadísticos mediante la validación cruzada de las variables físicas evaluadas por punto.

<b>RESULTADOS GEOESTADISTICOS (VALIDACIÓN CRUZADA) EN LAS VARIABLES QUÍMICAS EVALAUADAS POR PUNTO</b>					
<b>Variable Evaluada por punto</b>	<b>Coefficiente regresión</b>	<b>SE</b>	<b>R2 (%)</b>	<b>Intercepto</b>	<b>S/Predicción</b>
<b>Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo entre 30 a 40 cm.</b>					
<b>tomada mensualmente en (Mpa)</b>					
Julio	0,53100	0,50200	0,03600	0,39000	0,72100
Septiembre	0,47000	0,26700	0,09400	0,64000	0,65900
Octubre	-1,54600	0,73500	0,12900	2,44000	0,26900
Noviembre	-1,66700	0,99200	0,08600	2,52000	0,33800
Diciembre	-1,53800	0,75300	0,12200	2,42000	0,44400
Febrero	-0,83200	0,69800	0,04500	2,84000	0,89000
<b>Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo entre 40 a 50 cm.</b>					
<b>tomada mensualmente en (Mpa)</b>					
Julio	-0,74600	0,86700	0,02400	1,82000	0,55800
Septiembre	0,38200	0,45100	0,02300	0,73000	0,66900
Octubre	-1,56100	0,78300	0,11700	2,51000	0,33800
Noviembre	-0,64000	0,68700	0,02800	1,67000	0,46700
Diciembre	-2,29200	0,83600	0,20000	3,07000	0,48100
Febrero	1,12500	0,40600	0,20100	-0,13000	0,68000
<b>Valores promedios de la Resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo tomada mensualmente cada 10 cm de profundidad en (Mpa)</b>					
De 00 a 10 cm	-0,2550	0,8460	0,0030	0,8000	0,4870
De 10 a 20 cm	0,2610	0,8190	0,0030	1,5100	0,6800
De 20 a 30 cm	0,9980	0,2690	0,3140	0,0100	0,2530
De 30 a 40 cm	0,4510	0,2810	0,0790	0,8700	0,3080
De 40 a 50 cm	1,0290	0,4890	0,1290	-0,0200	0,3290
<b>Valor promedio de la Resistencia mecaniza a la penetración (RMP) del suelo tomada por mes mensualmente en (Mpa)</b>					
Julio	1,0360	0,3100	0,2720	-0,0400	0,2390
Septiembre	0,7040	0,2130	0,2670	0,4100	0,3840
Octubre	0,9770	0,1980	0,4470	0,0300	0,1400
Noviembre	-0,3330	615,0000	6,0100	1,4000	0,1690
Diciembre	0,2150	0,7770	0,0030	0,9400	0,3250
Febrero	0,6100	0,4440	0,0590	0,7400	0,5420

**Anexo C.3** Análisis e interpretación de los resultados geoestadísticos en las variables químicas evaluadas por punto.

RESULTADOS GEOESTADÍSTICOS EN LAS VARIABLES QUÍMICAS EVALUADAS POR PUNTO								
Lectura por Variable	Modelo	Efecto Nugget (Co)	Meseta Co + C1 Varianza estructural	Nugget Relativo (%)	Rango (m) distancia	R2 (%)	C/Co + C1	SS Residual
<b>Rendimiento de la cosecha de maíz en choclo en toneladas hectárea por punto</b>								
Cosecha	Esférico	0.01000	14.44000		96.90000	0.98800	0.99900	0.60300
<b>pH</b>								
Primera	Esférico	0.00524	0.01628	32.187	86.50000	0.95700	0.67800	8.9990E-07
Segunda	Exponencial	0.00740	0.04300	17.209	108.60000	0.90000	0.82800	1.1450E-05
Promedio	Exponencial	0.00187	0.01894	9.873	75.60000	0.98900	0.90100	1.9940E-07
<b>% de Carbono Orgánico (CO)</b>								
Primera	Esférico	0.04100	0.44700	9.172	215.60000	0.95200	0.90800	1.0480E-03
Segunda	Gaussiano	0.06200	0.40000	15.500	89.54700	0.99100	0.84500	3.1280E-04
Promedio	Exponencial	0.00100	0.55100	0.181	337.50000	0.97600	0.99800	6.6180E-04
<b>% de Materia orgánica (MO)</b>								
Primera	Gaussiano	0.31600	1.52500	20.721	215.64030	0.93700	0.79300	1.1500E-02
Segunda	Gaussiano	0.18600	1.19100	15.617	89.89340	0.99100	0.84400	2.6970E-03
Promedio	Exponencial	0.00100	1.66800	0.060	345.90000	0.97600	0.99900	5.7800E-03
<b>% del Nitrógeno (N) total</b>								
Primera	Esférico	0.00039	0.00291	13.368	181.10000	0.93800	0.86700	6.7960E-08
Segunda	Gaussiano	0.00042	0.00311	13.487	91.62550	0.99200	0.84200	1.7540E-08
Promedio	Gaussiano	0.00313	0.01536	20.378	107.56040	0.92100	0.79600	3.9910E-06
<b>% de Nitrógeno (N) disponible</b>								
Primera	Exponencial	3.50000	308.30000	1.135	43.10000	0.94500	0.98900	5.440
Segunda	Gaussiano	19.3000	244.50000	7.894	73.43900	0.98900	0.92100	133.000
Promedio	Gaussiano	32.0000	232.90000	13.740	75.86380	0.99200	0.86300	84.700
<b>Fósforo (P) en (ppm)</b>								
Primera	Esférico	4.040.000	10.672.000	37.856	216.700	0.95500	0.62100	250.529
Segunda	Esférico	1.710.000	9.904.000	17.266	171.400	3.99200	0.82700	89.46500
Promedio	Gaussiano	2.380.000	8.870.000	26.832	221.703	0.95300	0.73200	224343
<b>Potasio (K) en meq / 100 g / suelo</b>								
Primera	Exponencial	71900.0	208800.0	34.435	252.300	0.65500	0.65600	9.90E+08
Segunda	Gaussiano	110600	274000.0	40.365	124.015	0.97800	0.59600	1.80E+08
Promedio	Gaussiano	99100.0	276900.0	35.789	223.435	0.92300	0.64200	2.82E+10
<b>Calcio(Ca) disponible en meq / 100 g /suelo</b>								
Primera	Gaussiano	1750.000	30060.000	5.822	69.6000	0.6450	0.9420	2.1900E+07
Segunda	Esférico	100.000	64690.000	0.155	63.8000	0.6640	0.9980	2.2000E+08
Promedio	Esférico	100.000	36.2900	275.558	69.0000	0.7240	0.9970	6.2900E+07
<b>Sodio (Na) disponible en meq / 100 g / suelo</b>								
Primera	Exponencial	1.750.00	30.060.00	5.822	69.90000	0.64500	0.94200	2.1900E+07
Segunda	Esférico	100.000	64.690.00	0.155	63.80000	0.66400	0.99800	2.2000E+08
Promedio	Esférico	100.000	36.29000	275.558	69.00000	0.72400	0.99700	6.2900E+07

**Vienen anexo C.3** Análisis e interpretación de los resultados geoestadísticos en las variables químicas evaluadas por punto.

RESULTADOS GEOESTADISTICOS EN LAS VARIABLES QUÍMICAS EVALUADAS POR PUNTO								
Lectura por Variable	Modelo	Efecto Nugget (Co)	Meseta Co + C1 Varianza estructural	Nugget Relativo (%)	Rango (m) distancia	R2 (%)	C/Co + C1	SS Residual
<b>Capacidad de intercambio cationico (CIC) en meq / 100 g / suelo</b>								
Primera	Gaussiano	2.61000	9.22900	28.280	244.39240	0.82200	0.71700	0.78800
Segunda	Esférico	0.33000	5.65300	5.838	117.40000	1.00000	0.94200	1.3280E-03
Promedio	Gaussiano	2.36000	8.72900	27.036	224.12740	0.86200	0.73000	0.67800
<b>Conductibilidad Eléctrica (CE) en <math>\mu\text{S cm}^{-1}</math></b>								
Primera	Exponencial	0.00080	0.07710	1.038	40.70000	0.45000	0.99000	5.4250E-05
Segunda	Exponencial	0.01950	0.26000	7.500	60.00000	0.78600	0.92500	4.4390E-04
Promedio	Gaussiano	0.00620	0.11740	5.281	46.07260	0.72600	0.94700	2.7460E-04

**Anexo C.4** Análisis e interpretación de los resultados geoestadísticos mediante la validación cruzada de las variables químicas evaluadas por punto.

RESULTADOS GEOESTADISTICOS (VALIDACIÓN CRUZADA) EN LAS VARIABLES QUÍMICAS EVALUADAS POR PUNTO					
Lectura por Variable	Coefficiente regresión	SE	R2 (%)	Intercepto	S/Predicción
<b>Rendimiento de la cosecha de maíz en choclo en toneladas hectárea por punto</b>					
Cosecha	0,80600	0,16700	0,43700	1,54000	2,70500
<b>pH</b>					
Primera	1,0390	0,3020	0,2830	-0,1900	0,1050
Segunda	0,3690	0,4710	0,0200	3,2600	0,1880
Promedio	0,7280	0,4830	0,0700	1,3900	0,1280
<b>% de Carbono Orgánico (CO)</b>					
Primera	1,0680	0,1380	0,6660	-0,2000	0,0000
Segunda	1,3390	0,1830	0,6420	-1,0700	0,3580
Promedio	1,1020	0,1180	0,7440	-0,3100	0,2740
<b>% de Materia orgánica (MO)</b>					
Primera	0,9430	0,1320	0,6290	0,3300	0,5440
Segunda	1,3370	0,1820	0,6430	-183,0000	0,6170
Promedio	1,1000	0,1180	0,7450	-51,0000	0,4710
<b>% del Nitrógeno (N) total</b>					
Primera	1,0700	0,1490	0,6320	-0,0200	0,0280
Segunda	1,3140	0,1810	0,6370	-0,0800	0,0320
Promedio	0,3790	0,3900	0,0310	0,1700	0,1170
<b>% de Nitrógeno (N) disponible</b>					
Primera	1,25400	240,00000	0,47700	-19,99000	12,27100
Segunda	1,44200	0,24900	0,52800	-43,41000	9,95900
Promedio	1,42900	0,22900	0,56400	-38,06000	9,75300

**Viene anexo C.4** Análisis e interpretación de los resultados geoestadísticos mediante la validación cruzada de las variables químicas evaluadas por punto.

<b>RESULTADOS GEOESTADISTICOS (VALIDACIÓN CRUZADA) EN LAS VARIABLES QUÍMICAS EVALUADAS POR PUNTO</b>					
<b>Lectura por Variable</b>	<b>Coefficiente regresión</b>	<b>SE</b>	<b>R2 (%)</b>	<b>Intercepto</b>	<b>S/Predicción</b>
<b>Fósforo (P) en (ppm)</b>					
Primera	0,81900	0,36300	0,14500	56,54000	87,66600
Segunda	1,02100	0,19200	0,48500	-12,39000	61,11000
Promedio	1,06300	0,17400	0,55400	-26,98000	49,37200
<b>Potasio (K) en meq / 100 g / suelo</b>					
Primera	1,20700	0,36700	0,26500	-128,12000	348,3750
Segunda	1,08900	0,26700	0,35600	-42,32000	386,8850
Promedio	1,15100	0,21500	0,48700	-111,54000	293,4010
<b>Calcio(Ca) disponible en meq / 100 g /suelo</b>					
Primera	0,93000	0,52200	0,09600	27,03000	162,27600
Segunda	0,56300	0,23800	0,15700	214,98000	222,46900
Promedio	1,07900	0,18200	0,53900	-40,45	123,96900
<b>Sodio (Na) disponible en meq / 100 g / suelo</b>					
Primera	0,93000	0,52200	0,09600	27,03000	162,27600
Segunda	0,56300	0,23800	0,15700	214,98000	222,46900
Promedio	1,07900	0,18200	0,53900	-40,45000	123,96900
<b>Capacidad de intercambio cationico (CIC) en meq / 100 g / suelo</b>					
Primera	1,08200	0,14100	0,66300	-1,98000	1,317000
Segunda	0,84700	0,16200	0,47600	3,78000	1,674000
Promedio	0,97800	0,15300	0,57600	0,60000	1,459000
<b>Conductibilidad Eléctrica (CE) en <math>\mu\text{S cm}^{-1}</math></b>					
Primera	1,14300	0,41200	0,20400	-0,12000	0,25200
Segunda	1,11000	0,48000	0,15200	-0,16000	0,46500
Promedio	1,23000	0,48700	0,17600	-0,25000	0,30900

**Anexo C.5** Análisis e interpretación de los resultados geoestadísticos de las coordenadas factoriales de las variables físicas evaluadas por punto.

RESULTADOS GEOESTADÍSTICOS DE LAS COORDENADAS FACTORIALES DE LAS VARIABLES FÍSICAS EVALUADAS POR PUNTO								
Número Coordenada	Modelo	Efecto Nugget (Co)	Meseta Co + C1 Varianza estructural	Nugget Relativo (%)	Rango (m) distancia	R2 (%)	C/Co + C1	SS Residual
<b>Coordenadas factoriales del mes de julio</b>								
1	Gaussiano	0,00100	1,2110	0,0826	647,0000	0,9310	0,9990	0,0221
2	Esférico	0,00100	0,9710	0,1030	36,3000	0,1060	0,9990	0,0136
3	Lineal	22,2234	22,2234	100,0000	104,8997	0,4730	0,0000	16611,0000
4	Esférico	0,00200	0,9650	0,2073	37,8000	0,0240	0,9980	0,1240
5	Exponencial	0,01000	4,2110	0,2375	36,9000	0,1140	0,9980	0,6670
6	Esférico	0,05900	1,0630	5,5503	48,0000	0,2160	0,9440	0,1010
<b>Coordenadas factoriales del mes de septiembre</b>								
1	Gaussiano	0,04000	1,0220	3,9139	54,2132	0,9960	0,9610	4,52E-04
2	Gaussiano	0,00100	1,2700	0,0787	62,8734	0,9880	0,9990	4,11E-03
3	Gaussiano	0,00100	0,9410	0,1063	42,4352	0,5350	0,9990	0,02980
<b>Coordenadas factoriales del mes de Octubre</b>								
1	Esférico	0,10900	1,0680	10,2060	94,2000	0,9950	0,8980	9,00E-04
2	Gaussiano	0,00100	1,3540	0,0739	69,1088	0,9510	0,9990	0,0244
3	Exponencial	0,02000	0,9640	2,0747	2,1000	0,0000	0,9790	5,01E-03
4	Lineal	0,95158	0,9516	100,0000	81,3745	0,0000	0,0000	3,08E-03
<b>Coordenadas factoriales del mes de noviembre</b>								
1	Exponencial	0,00100	0,9640	0,1037	43,2000	0,5360	0,9990	6,15E-03
2	Gaussiano	0,00100	1,2620	0,0792	54,5596	0,9860	0,9990	2,54E-03
3	Exponencial	0,04400	1,0050	4,3781	31,2000	0,8390	0,9560	0,00036
4	Esférico	0,00100	1,0320	0,0969	60,9000	0,9420	0,9990	0,00562
<b>Coordenadas factoriales del mes de diciembre</b>								
1	Lineal	0,89508	0,8951	100,0000	81,3745	0,6590	0,0000	1,53E+04
2	Gaussiano	0,10800	1,3800	7,8261	68,0696	1,0000	0,9220	1,46E-04
3	Gaussiano	0,09500	1,0850	8,7558	44,6869	0,9970	0,9120	1,23E-04
4	Lineal	1,04698	1,0470	100,0000	81,3745	0,5650	0,0000	0,11000
5	Exponencial	0,00300	0,9180	0,3268	46,8000	0,2020	0,9970	0,02660
<b>Coordenadas factoriales del mes de Febrero</b>								
1	Esférico	0,11500	0,8650	13,2948	70,1000	1,0000	0,8670	3,329E-05
2	Gaussiano	0,66500	1,3490	49,2958	99,4197	1,0000	0,5670	1,140E-05
3	Gaussiano	0,00100	1,6680	0,0600	89,5470	0,9990	0,9990	1,024E-03
4	Exponencial	0,03600	1,0030	3,5892	52,2000	0,8380	0,9640	2,776E-03
5	Gaussiano	0,75000	2,5530	29,3772	240,7551	0,9690	0,7060	3,176E-03
6	Esférico	0,03100	1,0200	3,0392	40,2000	0,3200	0,9700	0,01250

**Viene anexo C.5** Análisis e interpretación de los resultados geoestadísticos de las coordenadas factoriales mediante la validación cruzada de las variables físicas evaluadas por punto.

<b>RESULTADOS GEOESTADISTICOS DE LAS COORDENADAS FACTORIALES DE LAS VARIABLES FÍSICAS EVALUADAS POR PUNTO</b>					
<b>Número Coordenada</b>	<b>Coficiente regresión</b>	<b>SE</b>	<b>R2 (%)</b>	<b>Intercepto</b>	<b>S/Predicción</b>
<b>Coordenadas factoriales del mes de julio</b>					
1	1,7670	0,3770	0,4230	0,0900	0,7600
2	0,2210	0,5840	0,0050	0,0000	0,9980
3	-0,5870	0,6370	0,0280	15,6800	44,7250
4	0,4540	0,2860	0,0780	-0,0100	0,9600
5	0,0140	0,6830	0,0000	0,3200	2,2570
6	1,2160	0,3340	0,3070	0,0000	0,8330
<b>Coordenadas factoriales del mes de septiembre</b>					
1	1,5000	0,3630	0,3630	0,2300	0,7980
2	1,7780	0,3620	0,4450	0,0100	0,7450
3	0,0510	0,6190	0,0000	0,0000	7,0010
<b>Coordenadas factoriales del mes de Octubre</b>					
1	1,0430	0,1670	0,5640	0,0200	0,6600
2	1,8380	0,2950	0,5640	0,0100	0,6580
3	0,0190	0,9290	0,0000	0,0000	1,0000
4	0,8040	0,2720	0,2250	-0,0200	0,8780
<b>Coordenadas factoriales del mes de noviembre</b>					
1	-0,0400	0,7320	0,0000	0,0000	1,0000
2	1,3850	0,4990	0,2040	-0,0700	0,8930
3	0,3180	0,5780	0,0100	0,0100	0,9940
4	0,7390	0,2240	0,2660	-0,0200	0,8570
<b>Coordenadas factoriales del mes de diciembre</b>					
1	-1,0390	0,7350	0,0630	-0,0300	0,9690
2	1,4090	0,4200	0,2730	0,0000	0,8530
3	0,4420	0,5930	0,0180	0,0300	0,9910
4	0,2820	0,5670	0,0080	-0,0100	0,9970
5	1,1650	0,4020	0,2250	-0,0800	0,8810
<b>Coordenadas factoriales del mes de Febrero</b>					
1	1,1650	0,4020	0,2250	-0,0800	0,8810
2	0,9430	0,2010	0,4240	-0,0200	0,7590
3	0,3470	0,5360	0,0140	0,0200	0,9930
4	1,6590	0,1780	0,7420	-0,0100	0,5070
5	0,1160	0,5920	0,0010	-0,0100	1,0000
6	-0,1770	0,3510	0,0080	0,0000	0,9960



**Anexo C.6** Análisis e interpretación de los resultados geoestadísticos de las coordenadas factoriales de las variables químicas evaluadas por punto.

RESULTADOS GEOESTADÍSTICOS DE LAS COORDENADAS FACTORIALES DE LAS VARIABLES QUÍMICAS EVALUADAS POR PUNTO								
Número Coordenada	Modelo	Efecto Nugget (Co)	Meseta Co + C1 Varianza estructural	Nugget Relativo (%)	Rango (m) distancia	R2 (%)	C/Co + C1	SS Residual
<b>Coordenadas factoriales de las propiedades químicas evaluadas antes de establecer el experimento en campo</b>								
1	Gaussiano	0,0130	0,7270	1,7882	54,2132	1,0000	0,9820	2,081E-05
2	Exponencial	0,0930	1,0710	8,6835	70,2000	0,9560	0,9130	4,690E-04
3	Exponencial	0,0810	1,0820	7,4861	81,9000	0,9940	0,9250	2,609E-04
<b>Coordenadas factoriales de las propiedades químicas evaluadas a los 60 días después de sembrado el cultivo de maíz</b>								
1	Esférico	0,0480	0,8490	5,6537	96,6000	1,0000	0,9420	1,65E-05
2	Gaussiano	15,1200	43,4600	34,7906	196,4146	0,9950	0,6520	209,3000
3	Gaussiano	0,6240	2,4920	25,0401	247,8565	0,9630	0,7500	3,75E-03

**Anexo C.7** Análisis e interpretación de los resultados geoestadísticos de las coordenadas factoriales mediante la validación cruzada de las variables químicas evaluadas por punto.

RESULTADOS GEOESTADÍSTICOS DE LAS COORDENADAS FACTORIALES DE LAS VARIABLES QUÍMICAS EVALUADAS POR PUNTO					
Número Coordenada	Coficiente regresión	SE	R2 (%)	Intercepto	S/Predicción
<b>Coordenadas factoriales del mes de julio</b>					
1	1,2420	0,2450	0,4620	0,1700	0,7330
2	0,6060	0,5500	0,0390	-0,0400	0,9820
3	0,9260	0,4390	0,1290	0,0700	0,9340
<b>Coordenadas factoriales del mes de septiembre</b>					
1	0,9500	0,1450	0,5880	0,0200	0,6420
2	-0,1230	0,3000	0,0060	-12,3200	44,4550
3	0,7810	0,2420	0,2580	0,0000	0,8610