

2013

**VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS  
PROPIEDADES DEL SUELO CON FINES  
AGROPECUARIOS EN LA FINCA LA  
PRIMAVERA-LAS DELICIAS, MUNICIPIO DE  
TERUEL, HUILA**

Johnny Gutiérrez

Ingrid Castaño

Universidad Surcolombiana

2013

**VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO CON  
FINES AGROPECUARIOS EN LA FINCA LA PRIMAVERA - LAS DELICIAS,  
MUNICIPIO DE TERUEL, HUILA**

**INGRID DARIANA CASTAÑO ORTIZ  
JOHNNY MAURICIO GUTIÉRREZ MARROQUIN**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA AGRÍCOLA  
NEIVA  
2013**

**VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO CON  
FINES AGROPECUARIOS EN LA FINCA LA PRIMAVERA - LAS DELICIAS,  
MUNICIPIO DE TERUEL, HUILA**

**Trabajo presentado como requisito de grado para optar el título de  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**INGRID DARIANA CASTAÑO ORTIZ  
JOHNNY MAURICIO GUTIÉRREZ MARROQUIN**

**Director  
ARMANDO TORRENTE TRUJILLO  
I.A. Ms.C. Ph.D. Ciencias Agropecuarias**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA AGRÍCOLA  
NEIVA  
2013**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

---

Director del proyecto

**Neiva, Abril de 2013**

## **DEDICATORIA**

### **Ingrid Dariana Castaño Ortiz:**

Dedico este trabajo a mi DIOS todo poderoso que en su inmensa e infinita misericordia me ha acompañado y ayudado a superar todos los obstáculos de mi vida y hasta este punto de mi carrera me ha llenado de muchas bendiciones ; a mis padres Diana María Ortiz y Jesús Martin Castaño que han dedicado su vida entera a llenarme de buenos valores y principios; a mi hermanita Yetzulin Castaño que ha sido más que mi hermana, mi amiga y mi apoyo condicional; a mi hija Saray Danitza castaño que es el motor de mi vida; a mi novio Willmar Hernando y a sus padres Lizette Ribon, Hernando Quizá; y aquellas personas que en el transcurso de mi carrera han sido un apoyo de una u otra manera Iván, Jhon F, John A, Faiber, Elías, Raúl, Mauricio Erika, Angélica, Johnny; y por último a todos aquellos que han contribuido de una forma directa e indirecta a mi formación como ingeniera agrícola.

### **Johnny Mauricio Gutiérrez Marroquín:**

Dedico este trabajo a Dios, por su amor incondicional como Padre; por darme la fuerza y la capacidad para alcanzar este sueño. A Urbano Gutiérrez y Argeny Marroquín que con su coraje dejan un legado de como levantar unos hijos, y mi más profundo agradecimiento a quienes me han ayudado a ganar esta carrera; mi hermanita hermosa Jenny Gutiérrez y Oscar B. por sus oraciones, a mis amigos: Iván por su inteligencia , Jhon F. por su orden, John A. por su liderazgo, Faiver por sus locuras, Elías por su sabiduría, Raúl por la revolución, Mauricio el gomelo, Angélica por sus consejos, Erika por sus risa, Ángela por sus carcajadas, Ingrid por ser la ayuda idónea en este trabajo, a los compañeros y profesores de la universidad, a mi familia y hago extensivo este agradecimiento a todos aquellos que de una u otra forma contribuyeron a mi formación como ingeniero agrícola.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

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

EDINSON MUJICA Y HEIDY KARINA ORTIZ por su inmensa colaboración durante la realización de las pruebas de laboratorio.

Dr. ALFREDO OLAYA AMAYA por su apoyo financiero y logístico en el desarrollo del proyecto.

GILBERTO ÁLVAREZ LINÁRES, Topógrafo, Especialista en Irrigación, Profesor de la Universidad Surcolombiana

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

GLADIS QUINO, Secretaria del Programa de Ingeniería Agrícola,

## TABLA DE CONTENIDO

	Pg.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	14
<b>2. REVISIÓN LITERARIA</b>	
2.1. VARIABILIDAD, ESPACIAL DEL SUELO	15
2.2. ESTUDIOS DE VARIABILIDAD ESPACIAL DEL SUELO	17
2.3. USO ACTUAL, USO POTENCIAL Y CONFLICTO DE USO DEL SUELO	23
2.4. PLAN DE MANEJO AGROPECUARIO DE UNA FINCA	23
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
3.1. LOCALIZACIÓN	24
3.2. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS	25
3.3. BALANCE HÍDRICO DE LA ZONA	26
3.4. METODOLOGÍA	28
3.4.1 ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO	30
3.4.2 ELABORACION DE MAPAS DE VARIABILIDAD ESPACIAL	36
3.4.3 CLASIFICACIÓN DE SUELOS	
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	
4.1. PUNTOS DE MUESTREO	39
4.2. DESCRIPCION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO	
4.2.1 Textura	40
4.2.2 Densidad real	40
4.2.3 Densidad aparente	40
4.2.4 Porosidad	40
4.2.5 Marchitez permanente	41
4.2.6 Capacidad de campo	41
4.2.7 Agua aprovechable	41
4.2.8 Infiltración	42
4.2.9 Conductividad hidráulica	42

4.3.	DESCRIPCION DE LAS PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO	
4.3.1	Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo	42
4.3.2	pH	42
4.3.3	Capacidad de intercambio catiónico	43
4.3.4	Contenido de materia orgánica	43
4.4	DESCRIPCION DE LOS SEMIVARIOGRAMAS	58
4.5	DESCRIPCION DETALLADA DE LOS SUELOS	62
4.5.1	Estabilidad estructural	68
4.5.2	Color del suelo	68
4.6	USO ACTUAL DEL SUELO	69
4.7	CLASIFICACION AGROLOGICA	70
4.8	USO POTENCIAL DEL SUELO	71
4.9	CONFLICTO DE USO	72
5.	<b>CONCLUSIONES</b>	73
6.	<b>RECOMENDACIONES</b>	74
7.	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	76
8.	<b>ANEXOS</b>	80



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Esquema de un semivariograma.
- Figura 2. Ubicación finca La Primavera- Las Delicias.
- Figura 3. Comportamiento Hidrológico Mensual, estación San Rafael (Teruel).
- Figura 4. Triangulo de las clases texturales del suelo, (Tomado de SSDS, 1993).
- Figura 5. Semivariogramas de las propiedades físicas y químicas del suelo.

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Valores máximos, medios y mínimos mensuales de precipitación.
- Tabla 2. Comportamiento Hidrológico Mensual.
- Tabla 3. Resumen estadístico de las propiedades físicas y químicas del suelo La Primavera-Las Delicias.
- Tabla 4. Resultados de la Porosidad y agua aprovechable en el suelo.
- Tabla 5. Resumen de parámetros geoestadísticos de los semivariogramas.
- Tabla 6. Características edáficas del *Typic Durustepts*
- Tabla 7. Características edáficas del *Typic Haplustepts*- Las Delicias
- Tabla 8. Características edáficas del *Typic Haplustepts* - La Primavera
- Tabla 9. Clasificación de la estabilidad estructural de los suelos.

## LISTA DE FOTOS

Foto 1. Unión de la formación (KPGs) con (Ji), sobre la vía a la vereda Monserrate.

Foto 2. Mármol La Primavera - Las Delicias.

Foto 3. Vista La Primavera desde la parte alta de la reserva Los Anturios.

Foto 4. Perfil de suelo en el punto 30 Las Delicias.

Foto 5. Prueba de infiltración, punto 25 Las Delicias.

Foto 6. Prueba de conductividad hidráulica, punto 6.

Foto 7. Secado natural de las muestras de suelo (Universidad Surcolombiana).

Foto 8. a) Picnómetros más suelo, b) eliminación del aire en la estufa, c) volumen completado con agua.

Foto 9. a) Sellamiento de poros con parafina b) peso del terrón en agua.

Foto 10. a) Equipos para la retención de humedad a 0.3 bar y 15 bar, b) muestras secas en la estufa.

Foto 11. a) Agitación de 100 g de suelo con el agente dispersante b) Probetas en proceso de sedimentación para la lectura del hidrómetro.

Foto 12. a) Tamizado en húmedo. b) Instalación y puesta en marcha del equipo.

Foto 13. a) Solución suelo, agua 1:1. b) Determinación de la CE, y el pH en el Thermos científico Orion 3star pH y Orion 3star CE.

Foto 14. a) Filtración del suelo b) Muestra filtradas con 4 gotas de fenolftaleína para la titulación.

Foto 15. *Typic Durustepts*

Foto 16. *Typic Haplustepts* - Las Delicias

Foto 17. *Typic Haplustepts* - La Primavera

## LISTA DE MAPAS

- Mapa1. Geología de La Primavera-Las Delicias modificado de (adaptado de Ingeominas, plancha 344 Tesalia).
- Mapa 2. Grilla inicial de puntos de muestreo La Primavera -Las Delicias (Teruel).
- Mapa 3. Grilla final de puntos tomados en campo.
- Mapa 4. Curvas a nivel La Primavera-Las Delicias.
- Mapa 5. Textura del suelo.
- Mapa 6. Densidad real del suelo.
- Mapa 7. Densidad aparente del suelo.
- Mapa 8. Porosidad total del suelo.
- Mapa 9. Retención de humedad a punto de marchitez permanente del suelo.
- Mapa 10. Retención de humedad a capacidad de campo del suelo.
- Mapa 11. Agua aprovechable del suelo.
- Mapa 12. Infiltración del suelo.
- Mapa 13. Conductividad hidráulica saturada del suelo.
- Mapa 14. Conductividad eléctrica del suelo.
- Mapa 15. pH del suelo.
- Mapa 16. La capacidad de intercambio catiónico del suelo.
- Mapa 17. Contenido de materia orgánica del suelo.
- Mapa 18. Uso actual del suelo La Primavera – Las Delicias.
- Mapa 19. Clasificación agroológica del suelo La Primavera – Las Delicias.
- Mapa 20. Uso potencial del suelo La Primavera – Las Delicias.
- Mapa 21. Conflicto de uso La Primavera – Las Delicias.

## LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A. Clasificación de las propiedades físicas y químicas del suelo
- ANEXO B. Análisis químicos del suelo (en orden calicatas 1, 2 y 3)
- ANEXO C. Laboratorio de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico
- ANEXO D. Coordenadas en puntos de muestreo, La Primavera - Las Delicias
- ANEXO E. Textura- método del hidrómetro
- ANEXO F. Densidad real método del picnómetro
- ANEXO G. Densidad aparente método terrón parafinado
- ANEXO H. Marchitez permanente método ollas de presión
- ANEXO I. Capacidad de campo método ollas de presión
- ANEXO J. Infiltración método de los anillos
- ANEXO K. Conductividad hidráulica saturada método pozo barrenado invertido
- ANEXO L. Conductividad eléctrica del suelo y pH por el método potenciométrico
- ANEXO M. Capacidad de intercambio catiónico
- ANEXO N. Contenido de materia orgánica método Walkley-Black
- ANEXO Ñ. Estabilidad estructural método de Yoder
- ANEXO O. Color del suelo - Tablas Munsell

## RESUMEN

En la finca La Primavera-Las Delicias en el municipio de Teruel-Huila con una extensión de 111.5 ha, elevación de 850 a 1025 msnm, temperatura de 23.4°C y precipitación promedio anual de 2200 mm, ubicada en zonas de bosque húmedo tropical (bh-T), y bosque húmedo premontano (bh -PM), dedicadas en su mayor parte a la ganadería extensiva, se realizó el estudio de variabilidad espacial del suelo. Mediante un GPS Garmin y AutoCAD2010 se trazó una grilla con puntos para medición de las propiedades hidrofísicas y químicas en los primeros 30 cm de profundidad del suelo, lo que permitió trazar los mapas de variabilidad espacial y su respectivo semivariograma utilizando software Gs+ y Surfer 9. Se determinó la taxonomía de los suelos y se elaboraron los mapas de uso actual, uso potencial y conflicto de uso del suelo.

**Palabras clave:** Variabilidad espacial del suelo, uso del suelo, Propiedades hidrofísicas y químicas del suelo.

## ABSTRACT

In the La Primavera-Las Delicias in the town of Teruel, Huila with an area of 111.5 ha, elevation of 850-1025 meters, temperature of 23.4 ° C and average annual precipitation of 2200 mm, located in rainforest areas (bh-T), and montane rain forest (bh-PM), mostly dedicated to cattle ranching, is the study of spatial variability of soil. Using a Garmin GPS and AutoCAD2010 was drawn a grid with points for measuring the properties hydro and chemical in the first 30 cm of soil depth, allowing trace maps of spatial variability and its respective semivariogram using software Gs + and Surfer 9. We determined soil taxonomy and maps were developed using current and potential use of land use conflict.

**Keywords:** Spatial variability of soil, land use, hydro and chemical properties of the soil.

## 1. INTRODUCCION

Determinar cuando y donde las propiedades del suelo causan variaciones en el rendimiento agrícola o pecuario de un área, es el desafío que enfrenta la agricultura de precisión, por eso es de vital importancia conocer el suelo en el entorno agropecuario para los planes de nutrición y producción. Como no se tiene un conocimiento técnico de la finca La Primavera-Las Delicias en el municipio de Teruel, departamento del Huila, cuyo manejo tradicional ha sido ganadería extensiva, se formuló el presente estudio.

El proyecto busca responder las siguientes preguntas: ¿Cuál sería la variación espacial de las principales propiedades físicas y químicas del suelo?, ¿Cual es el uso actual, el uso potencial y los conflictos de uso de esta finca?, ¿Cuales serian las mejores directrices de manejo para aprovechar de manera sostenible los suelos de la misma finca con base en la variabilidad espacial y el uso potencial del suelo?.

La medición de las propiedades hidrofísicas y químicas del suelo permitió definir la taxonomía del suelo y sus condiciones nutricionales junto con las variaciones de dichas propiedades, se elaboraron mapas de uso actual, potencial, conflictos de uso y de variabilidad espacial con aplicación de las técnicas geoestadísticas. Se recomiendan usos específicos de cultivos, pastos y buenas prácticas agropecuarias, la conservación de suelos y fuentes hídricas con propósitos de mantener la biodiversidad en el área esperando los mejores beneficios económicos y ecológicos.

En el cuerpo del documento se hace referencia a La Primavera-Las Delicias para denominar la finca en general, o las zonas específicas como La Primavera o Las Delicias.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 VARIABILIDAD ESPACIAL DEL SUELO

La variabilidad de las propiedades del suelo es una condición inherente al mismo debido a que en su formación intervienen varios procesos diferentes, controlados, a su vez, por los factores de formación; estas interacciones pueden ser muy variadas dando como consecuencia una alta cantidad de suelos posibles. La variabilidad depende de la propiedad que se analice, siendo más variables las propiedades químicas que las físicas. Además, hay menor variabilidad en las propiedades del suelo, en su condición natural, que cuando es sometido a uso. Aquellas propiedades que más se afectan por el manejo del suelo serán las que presenten la mayor variabilidad (Ovalles, 1992).

Mulla *et al* (2000), señalan que la variación en las propiedades del suelo puede deberse a diferencias regionales, como son clima, topografía y material parental; sin embargo, existen numerosas evidencias de que variaciones importantes son comunes no sólo en diferentes regiones, sino también en superficies relativamente pequeñas (Van Groenigen *et al.* 2000 citado por Zarazúa *et al*, 2007).

Para interpretar el coeficiente de variación de las propiedades del suelo, se presentan los rangos de valores recopilados por Vauclin (s.f.) (anexo A). Para este coeficiente, Jury *et al* (1991) citado por Jaramillo, 2002, presenta rangos para el coeficiente de variación con valores menores a 50% para la porosidad, la densidad aparente, el porcentaje de arena o de arcilla y los contenidos de agua a 0.1 y 15 bares; hasta del 100% para la velocidad de infiltración y hasta de 320% para la conductividad hidráulica saturada, observando una gran amplitud en la mayoría de las propiedades del suelo

La Geoestadística se define como una ciencia aplicada de la estadística que estudia las variables distribuidas espacialmente sobre una superficie, partiendo de una o varias muestra de la variable. Relacionando un dato con otros cercanos creando una dependencia espacial, utilizando modelos de interpolación como kriging. La dependencia espacial ha sido reconocida desde hace dos décadas para propiedades del suelo (Trangmar, Yost y Uehara 1985. citado por Obando *et al.* 2005) y se manifiesta más fuertemente en las propiedades químicas (Webster 1985, citado por Obando *et al.* 2005)

Al estudiar la dependencia espacial se realizan semivariogramas según (Mulla *et al.* 2000), esta dependencia se modela mediante la ecuación:

$$Y_h = \frac{1}{2(n-h)} \sum_{i=1}^{n-h} (\theta_i - \theta_{i+h})^2$$

Donde:  $(Y_h)$  es el valor de semivarianza obtenido entre pares de valores,  $h$  es la distancia de separación entre los puntos  $X_i$  y  $X_{i+h}$ ,  $Z_i$  y  $Z_{i+h}$  son los valores medidos para la variable regionalizada en los puntos  $X_i$  o  $X_{i+h}$  y  $n(h)$  es el número de pares en cualquier distancia de separación  $h$ .

El semivariograma experimental, para una cierta dirección, según lo plantean Acevedo *et al.* (1996), Se obtiene al graficar los valores de  $Y_h$  contra los valores del intervalo  $h$ . Teóricamente, la semivarianza aumenta con el incremento de la distancia entre los puntos muestreados y alcanza un valor constante, denominado "umbral" o meseta (sill en inglés), representado como  $C_0+C$ , a una cierta distancia llamada rango, representado como  $A_0$ , el cual marca el grado de dependencia espacial. En teoría, el semivariograma experimental debe pasar a través del origen cuando la distancia de separación es cero; sin embargo, varios factores, como son errores de muestreo y escala pequeña de variabilidad, pueden provocar que valores demuestras separadas por mínimas distancias sean ligeramente diferentes, tal es el caso de varias propiedades del suelo que presentan una semivarianza diferente de cero cuando la distancia de separación es cero (Figura 1).

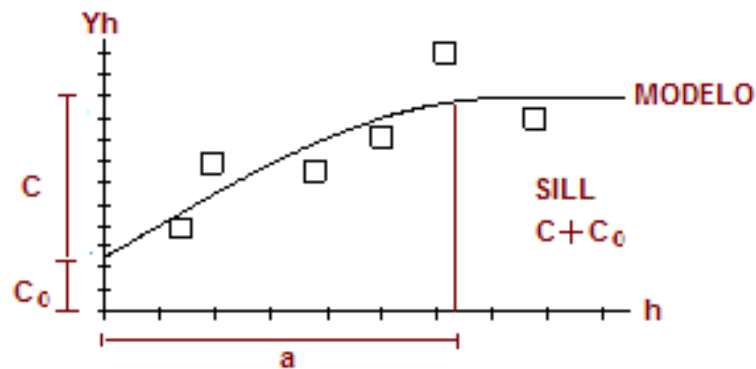


Figura 1. Esquema de un semivariograma

Donde:  
 $Y_h$ : semivarianza.  
 $h$ : distancia.

$C_0$ : Nugget o efecto pepita es la variabilidad aleatoria que representa la semivarianza independiente de la distancia de muestreo o micro variabilidad.



**$C_0+C$** : Sill, umbral o meseta, El sill es el valor de la semivarianza que se torna constante a partir de una determinada distancia, a partir de la cual hay independencia espacial. Cuando el sill no se estabiliza, o no se vuelve constante a ninguna distancia de las utilizadas en el muestreo, se dice que no se pudo resolver el problema de la variabilidad espacial de la propiedad en la zona de muestreo y el modelo más simple que se ajusta a los datos es lineal (Jaramillo, 2012).

**a**: Alcance o rango, distancia a la cual la semivarianza alcanza su máximo valor y se estabiliza la semivarianza, se obtiene el sill. Este parámetro define la distancia hasta la cual hay dependencia espacial entre las muestras, es decir aquellas tomadas a una distancia menor al rango, están relacionadas espacialmente y las que se tomen a una distancia mayor al rango son espacialmente independientes. (Jaramillo, 2012)

**$C_0/(C_0+C)$** : Efecto Nugget relativo. Cambardella *et al.* (1994), a calificado la dependencia espacial a través de esta relación expresada en porcentaje, señalando que una relación <25% indica una fuerte dependencia espacial, entre 25% y 75% indica moderada dependencia espacial y >75% es reflejo de una débil dependencia espacial.

## 2.2 ESTUDIOS DE VARIABILIDAD ESPACIAL DEL SUELO

El estudio de la variabilidad espacial del suelo permite ampliar el conocimiento de este recurso natural además permite la elaboración de mapas de propiedades del suelo por procesos de interpolación, definir el tamaño y la ubicación de unidades experimentales para esquemas adecuados de muestreo, mejorar la interpretación de resultados de investigación, ayudar en el manejo intensivo de los suelos, evaluar y hacer controles a las condiciones del suelo, útiles en estudios de levantamiento y clasificación de suelos evaluando su fertilidad, clasificación agrologica, uso potencial, definir prácticas apropiadas de manejo de suelos como las contempladas en la agricultura de precisión o por sitio específico con fines ambientales, ganaderos o agrícolas.

En Colombia y en mundo entero se han venido realizando diferentes estudios de variabilidad espacial de la mano con universidades interesadas en el desarrollo de la agricultura de precisión y sistemas de información geográfica algunos ejemplos de estos estudios son:

**Variabilidad espacial de las propiedades químicas del epipedón de un Andisol hidromórfico del Oriente Antioqueño (Colombia)** de la Universidad Nacional de Colombia Medellín, donde la mayoría de las propiedades estudiadas presentó una dependencia espacial alta, con rango relativamente corto de 20 m en promedio,

reflejando una alta intensidad de uso y manejo del suelo en actividades agropecuarias como la aplicación de fertilizantes y enmiendas (Jaramillo, 2008).

**Variabilidad espacial de propiedades químicas y físicas en un *Typic Udivitrands*, arenoso de la Región Andina Central Colombiana**, estudio realizado en la granja experimental Tesorito de la Universidad de Caldas, en un área de 4 ha; para un total de 60 sitios. Resultando una variabilidad espacial alta de los atributos del suelo, siendo mayor en las propiedades químicas. Igualmente permitió visualizar la variabilidad espacial del deterioro estructural del suelo, coincidiendo con la zona de mayor variabilidad química (Obando *et al*, 2006).

**Modelo de interpolación espacial mediante sistemas de información geográfica para el estudio de la variabilidad espacial de la resistencia a la penetración del suelo** de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Los ensayos realizados fueron resistencia a la penetración estándar y ensayos de resistencia a la compresión simple. Se realizó un proceso de georeferenciación para profundidades específicas de 2.5, 5.0 y 7.5 m en el ensayo SPT; y 2.30 y 3.30 m en los ensayos de compresión simple. Mediante el uso de técnicas geoestadísticas, se modeló superficies para el área encontrando información en locaciones no medidas (Londoño *et al*, 2010).

**Distribución espacial de la conductividad hidráulica en un lote de la granja Tunguavita (Paipa)**, de la Universidad Nacional de Colombia en un área de 29 ha, con 110 puntos de muestreo. Se analizó la densidad real, la densidad aparente, la porosidad, la aireación, los contenidos de humedad y la relación de vacíos del suelo. A través de geoestadística se obtuvieron 13 semivariogramas y 10 mapas de distribución espacial. La conductividad hidráulica presentó un rango de variación bajo a muy bajo, influenciada por condiciones de alta densidad aparente y baja porosidad. Las propiedades físicas evaluadas presentaron dependencia espacial fuerte a moderada y los datos de los semivariogramas oscilaron entre 22,5 y 242 m (Guatibonza *et al*, 2009).

**Influencia de la variabilidad espacial de algunas propiedades del suelo sobre el rendimiento del cultivo de caña de azúcar (*saccharum officinarum*)**, de la Universidad de los Andes. En 70 ha de cultivo con espaciamiento de 10 m, a profundidad de 0-20 cm se determinaron: pH, CE, P, K y separados del suelo. Se hicieron mediciones de rendimiento en cada punto de muestreo aplicando estadística clásica y geoestadística, resultando mayor coeficiente de variación (CV) para las variables P y K, seguidos por la variable rendimiento del cultivo. El porcentaje de limo, resultó altamente correlacionado con el rendimiento, y explica la disminución en los rendimientos junto con la concentración de sales, afectando el desarrollo y producción. El alto porcentaje Nugget mostrado por casi todos los semivariogramas comparado con la varianza espacial, sugiere que la tendencia espacial de las diferentes variables del

suelo, tiene una estrecha relación con la génesis y el manejo agronómico al cual han sido sometidos estos suelos, con esto se observó el impacto de la variabilidad en el rendimiento (Fernández, 2007).

**Oferta edáfica en un suelo de la asociación zarzal (Za), bosque seco Tropical-Valle del Cauca, bajo pastoreo de bovinos.** Mediante el muestreo libre, tomando como referente la fisiografía del terreno, se tomaron 32 muestras a 30 cm de profundidad y se determinaron las propiedades físicas y químicas del suelo. Se aplicó estadística descriptiva, análisis de correlaciones y procesamiento en SIG, (software Arc-Gis 9.3®), para elaborar mapas, a cada zona homogénea se le determinó su oferta edáfica y se dieron las bases para el reordenamiento de uso del suelo (planificación predial), que junto a la aplicación de adecuadas técnicas en el manejo del pastoreo permitirá el desarrollo sostenible de los sistemas de producción ganadera (Trujillo, 2011).

**Variabilidad espacial de algunas propiedades químicas en un Entisol,** en el municipio de Pasca (Cundinamarca), en área de *Cyphomandra betacea*. Se tomaron 64 muestras en una malla de 25 x 12,5 m, a una profundidad de 0,20 m, determinando carbono orgánico, pH, Ca, Mg, K, suma de bases y la relación Ca:Mg. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, análisis multivariado, geoestadística e interpolación kriging. Los atributos manifestaron variabilidad baja o media, donde el K fue el único atributo que no presentó dependencia espacial. Se observó una fuerte relación entre los cationes, así como una estrecha relación entre el Ca y la suma de bases. Los mapas de contorno confirmaron la variabilidad espacial de las propiedades, lo que indica la conveniencia de la aplicación de insumos agrícolas mediante tasa variada. Con la adaptación de esta metodología, se puede mejorar el diseño experimental de futuras investigaciones, además de ser la base para el establecimiento de cultivos, bajo la concepción de agricultura de precisión (Garzón *et al*, 2010).

**Características físicas e hidrodinámicas en suelos con alta saturación de magnesio en el Valle del Río Cauca – Colombia** de la Universidad Nacional de Colombia en 68 ha del Cl. Palmira conformado por tres órdenes taxonómicos de suelo: Vertic Ustropept, Typic Haplustert y Pachic Haplustoll. Se realizaron mapas de variabilidad para las fracciones minerales del suelo donde las zonas de textura arenosa correlacionaron con un mayor valor las variables hidráulicas. La resistencia a la penetración incrementó con la profundidad del suelo, siendo en más del 50% del área superior a 1 MPa, mostrando impedimentos para el desarrollo normal de las raíces. La infiltración resultó altamente heterogénea con valores entre 0.13 cm.h<sup>-1</sup> y 33 cm.h<sup>-1</sup> con alcance de 140 m, alta variabilidad y bajo coeficiente de determinación. Para la conductividad hidráulica se utilizó el Permeámetro de Guelph, siendo de alcance alto (rango = 856 m) con valores en un rango estrecho, calificando esta propiedad de lenta a

muy lenta. Esto significa que con la medición de tres (3) sitios es posible inferir sobre su calificación en el área (Torrente, 2003).

**Variabilidad espacial de las propiedades del suelo en relación con su producción, en plantaciones industriales de Ceiba Roja (*pachira quinata*),** de la Universidad Nacional en la Hacienda Monterrey con 4567 ha en zona de bosque seco tropical, para suelos de planicie aluvial y lomerío bajo, relacionando datos de producción con datos físico-químicos de suelo, con apoyo de los valores espectrales y la precipitación, utilizando cinco bandas electromagnéticas Landsat 9-53, modelos kriging y cokriging, variogramas, donde presentó mejor correlación la conductividad hidráulica, limos y magnesio (Rubiano, 2010).

**Variabilidad espacial del suelo y su relación con el rendimiento de mango (*Mangifera indica* L.)** donde el rango de los modelos de semivarianza ajustados varió entre 10 y 192 m. Con excepción del pH y del Ca las relaciones efecto nugett/meseta fueron menores del 30%, es decir, que en general hay precisión en las predicciones debido a que los procesos espaciales considerados son explicados en su mayoría por la variación estructural. K, Ca, CIC, pendiente del terreno, relación  $(Ca+Mg)/K$  y altitud fueron las variables que mayor influencia tuvieron en el rendimiento. El método aplicado es útil para definir zonas de manejo dentro de los lotes y algunos criterios como la altitud y la pendiente son aplicables para zonificación de áreas mayores, calculándolos a partir de un modelo digital de elevación (Valbuena *et al*, 2008).

**Caracterización de la variabilidad espacial de las propiedades físicas de los lotes experimentales destinados al cultivo de hortalizas en CEUNP** de la Universidad Nacional de Colombia-Palmira. Se estudió la densidad aparente, la resistencia a la penetración, la textura y la conductividad hidráulica saturada utilizando una cuadrícula de 23 x 23 m para un total de 179 puntos de muestreo. Se utilizó estadística descriptiva y geoestadística, determinando que la densidad aparente tiene baja variación; el contenido de humedad y los componentes texturales variación media; la resistencia a la penetración y la conductividad hidráulica saturada alta variación. Los componentes texturales revelan una fuerte dependencia espacial, mientras que las propiedades restantes una moderada dependencia espacial. El índice de homogeneidad multivariado para los suelos fue bajo; las propiedades físicas con mayor contribución a la heterogeneidad del suelo fueron: resistencia a la penetración, arena, arcilla, humedad gravimétrica y limo (Giraldo *et al*, 2003).

**Variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo y su uso en el diseño de experimentos** de la Universidad Autónoma Chapingo-México en 12.7 ha a 182 muestras ubicadas a 25 x 25 m. Se estudió el pH, la materia orgánica (MO), el nitrógeno total (Nt), el fósforo disponible (P-Olsen) y el potasio intercambiable (K). Se analizó la

variabilidad espacial con los siguientes valores medios, coeficientes de variación (CV) y número mínimo de determinaciones: 6.97, 3.7%, y 2 para pH; 2.3%, 25.5% y 103 para MO; 0.12%, 24.3% y 93 para Nt; 21.34 mg.kg<sup>-1</sup>, 53.6% y 451 para P-Olsen, 215.97 mg.kg<sup>-1</sup>, 70.0% y 768 para K. Al aplicar el enfoque geoestadístico se encontró que todas las variables presentaron estructura espacial, manifestada en el semivariograma con modelos esférico, gaussiano lineal, lineal y efecto de agujero, para pH, MO, Nt, P y K. Se obtuvieron mapas de distribución de las variables aplicando el método de kriging y se ubicaron zonas con diferentes gradientes y patrones de variabilidad importantes para el establecimiento de experimentos y la práctica de agricultura de precisión (Acevedo, 2008).

**Variabilidad espacial de fertilidad química del suelo en un diseño de bloques**, de la Universidad Nacional del Sur, Argentina. Con 4 bloques, profundidad efectiva de 80-100 cm. en un *Paleustol Petrocálcico*, franco grueso térmico donde se tomaron muestras a 0-6, 0-12 y 0-20 cm. determinando: pH, CE, CIC, Ca, Mg, K, Na, P, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, B, Fe, Mn, Cu, Zn, carbono y el nitrógeno orgánico total (COT y N). La elección de un suelo con pastoreo poco intensivo de las especies nativas, se reflejó en las variables de carbono orgánico. El rango de pH (7,3-8,0) reflejó que el complejo de cambio estaba completamente saturado con bases, con porcentajes de Ca<sub>int</sub>, Mg<sub>int</sub> y K<sub>int</sub> en el nivel ideal. Se registró muy buena provisión de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, B, Fe, y Mn y valores medios de Cu y Zn. La media de P correspondió a un nivel de baja disponibilidad. Un 50 % de las variables presentó un CV entre 7-11 %. Los parámetros más estables (CV < 7 %) fueron pH, Mg, CIC, C:N y Cu. Presentaron variabilidad mayor CO, N, Mn y Zn (CV 11-20 %) y P (CV 33,9 %). la producción de biomasa, explicaría los gradientes horizontales de CIC, Ca y carbono orgánico. La tendencia inversa encontrada para P se atribuye a su relación negativa - no significativa - con el pH. Concluyendo que el estudio de la variabilidad puede enriquecer el monitoreo de propiedades químicas en estudios a largo plazo (Ron *et al*, 2011).

**Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones Pampeana y Extrapampeana Argentina**, con 31.619 muestras para CO y 31.398 para pH de suelo tomadas de 0-20 cm para realizar los mapas con ambas variables, comparando dos métodos de interpolación, el método inverso de la distancia ponderada (IDP) y el método Kriging ordinario (KO). Ambos métodos produjeron mapas similares de CO y pH, pero la eficiencia de predicción fue ligeramente mayor para el KO (65 a 80%) comparado al IDP (63 a 79%). Los valores de CO variaron de 5,5 a 38,0 g.kg<sup>-1</sup>, la mayor parte del área presentó un pH de 6 a 7,5, salvo algunas zonas de pH 5,5-6. El contenido de CO manifiesta una tendencia declinante, e indica la necesidad de prácticas de manejo de suelo tendientes a revertir este proceso degradativo. El pH de los suelos no sería limitante para la producción de cultivos en la mayor parte del área, pero se pueden presentar potenciales problemas de acidez en determinadas zonas (Sainz *et al* 2011).

**Número de observaciones para obtener semivariogramas de algunas propiedades de suelo y distancias de muestreo** por el CONICIT, Venezuela determinando materia orgánica, arena, limo y arcilla, y pH a profundidades de 0-20 cm y 40-60 cm El análisis geoestadístico de estas propiedades reveló que cuando se aumenta el número de observaciones, el ruido disminuye por lo que la precisión de las estimaciones aumenta. Así, 66 observaciones o menos no son suficientes para este propósito, pero un número entre 66 y 89 pudieran ser suficientes para el área estudiada. Del mismo análisis se desprende la ocurrencia de una variabilidad de corto alcance, motivado a la existencia de altos valores de varianza en cortas distancias y una dependencia espacial entre 30 y 70 m, por lo que una distancia de muestreo menor de 30 m estaría justificada para aquellas áreas destinadas a la investigación y 70 m para las destinadas a otros usos (Henríquez *et al*, 1997).

**Variabilidad espacial de la salinidad en suelos regados con aguas residuales del sistema de riego Taiguaguay, Venezuela.** Se recolectaron muestras de 0-20 cm, en 254 puntos con cuadrículas de 500x500 m, se interpoló por Kriging, se utilizó Statistix 8.0, Vesper 1.6 y Arc View 3.2, y semivariogramas con modelo esférico. La salinidad fue medida a través de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación. Los resultados indicaron que los suelos pertenecientes a la región aluvial están compuestos por un 65% de suelos normales ( $CE \leq 2 \text{ dS.m}^{-1}$ ), 28% con ligeras a moderadas concentraciones de sales ( $CE 2-8 \text{ dS.m}^{-1}$ ) y 7% con fuerte a extrema salinidad ( $CE > 8 \text{ dS.m}^{-1}$ ). Los suelos pertenecientes a las región lacustrina poseen un 38% de suelos normales ( $CE \leq 2 \text{ dS.m}^{-1}$ ) y 62% con ligeras a moderadas concentraciones de sales ( $CE 2-8 \text{ dS.m}^{-1}$ ). De 5582 ha cultivadas en la zona se encontró que un 40% esta potencialmente afectada por problemas moderados a fuertes por salinidad (Méndez *et al*, 2001).

**Variabilidad espacial de propiedades físicas de un Ferralsol en Selvíria (Brasil),** en la capa superficial del suelo de 0 – 0,40 m. Fue instalada una red de muestreo geoestadística conteniendo 119 puntos distribuidos en un área de 1 ha. Las diferentes propiedades físicas del suelo estudiadas (porosidad total, macroporosidad, microporosidad y densidad aparente) presentaron baja variabilidad, reflejada por los valores de coeficiente de variación y de los valores de efecto ( $C_0$ ). El espaciamiento utilizado no fue suficiente para detectar la estructura espacial de algunas de las propiedades físicas estudiadas. Las capas de suelos superficiales (0 - 0.3 m), mostraron incrementos de los valores de densidad aparente y microporosidad respecto de 0,3 - 0,4 m. La misma propiedad, dependiendo de la capa estudiada, presenta estructura espacial en unos casos y efecto nugget puro en otros. (Montanari *et al*, 2008).

**Variabilidad espacial de las propiedades físicas, químicas y biológicas de dos suelos agrícolas de la provincia de Quebec, Canadá** de la Universidad del Zulia-

Venezuela. En un gleysol (frigid Aerice Haplaquept), franco-limoso con drenaje imperfecto, en una red de 10x10 m a 20, 30, 40 cm de profundidad realizando análisis geoestadísticos con el programa GS+. La textura, la humedad del suelo y los cambios en los compuestos orgánicos afectaron la distribución espacial de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos evaluados. La variabilidad espacial del carbono orgánico, nitrógeno total y C/N aumentó significativamente con la profundidad en los suelos; en tanto que la densidad aparente mostró poca variación espacial (Moreno, 2011).

### **2.3 USO ACTUAL, USO POTENCIAL Y CONFLICTO DE USO DEL SUELO**

El suelo constituye un recurso sumamente importante para la supervivencia del ser humano y por esta razón se deben agotar todos los esfuerzos posibles para procurar su conservación. Determinar el uso o aprovechamiento de las distintas clases de tierra ubicadas dentro de la explotación agrícola, es el primer paso para obrar con criterios conservacionistas. Uso actual es el mapa con las áreas representadas en lo que se está usando el suelo; llámese cultivo, pastoreo, lagos. El uso potencial de las tierras se define como el uso más intensivo que puede soportar el suelo, garantizando una producción agropecuaria sostenida y una oferta permanente en el tiempo de bienes y servicios ambientales, sin deteriorar los recursos naturales. El mapa de conflictos de usos del suelo se grafica interponiendo los dos anteriores y delimitando que áreas están siendo subutilizadas o sobreexplotadas.

### **2.4 PLAN DE MANEJO AGROPECUARIO DE UNA FINCA**

El objetivo de la introducción del Plan de Uso de Finca (PUF) es brindar a los grupos de agricultores o empresarios del campo un instrumento de mediano a largo plazo que les permita planificar e implementar el uso racional y sostenible del terreno en las fincas, contribuyendo a la conservación del ambiente y al mejoramiento de la productividad y la rentabilidad. La confección del PUF se realiza como una acción urgente estipulada en el Plan de Actividades Iniciales del grupo, inmediatamente después del establecimiento de la finca grupal. El PUF se compone de los siguientes elementos: información general de la finca, plano de uso actual del terreno, plano para el uso futuro del terreno o uso potencial, estimación de recursos necesarios y cronograma de actividades.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 LOCALIZACIÓN

La Finca Primavera-Las Delicias tiene un área de 111.55 ha y está ubicada en el municipio de Teruel-Huila en las veredas Estambul y La Cañada; en la parte baja de las cuencas Beberrecio y La Cañada, las cuales tributan las aguas del Rio Pedernal que a su vez desemboca en el rio Yaguará.

Se localiza entre 850 y 1200 msnm (mapa 4), con temperatura media de 23.4°C y una precipitación total anual de 2000 a 2400 mm, bioclimáticamente pertenecen a las zonas de vida de bosque húmedo Tropical (bh-T) y bosque húmedo Premontano (bh-PM), la mayor parte de la finca está dedicada a la ganadería extensiva de doble propósito, tiene 5 ha en cacao y aproximadamente 15 ha en bosque (figura 2).

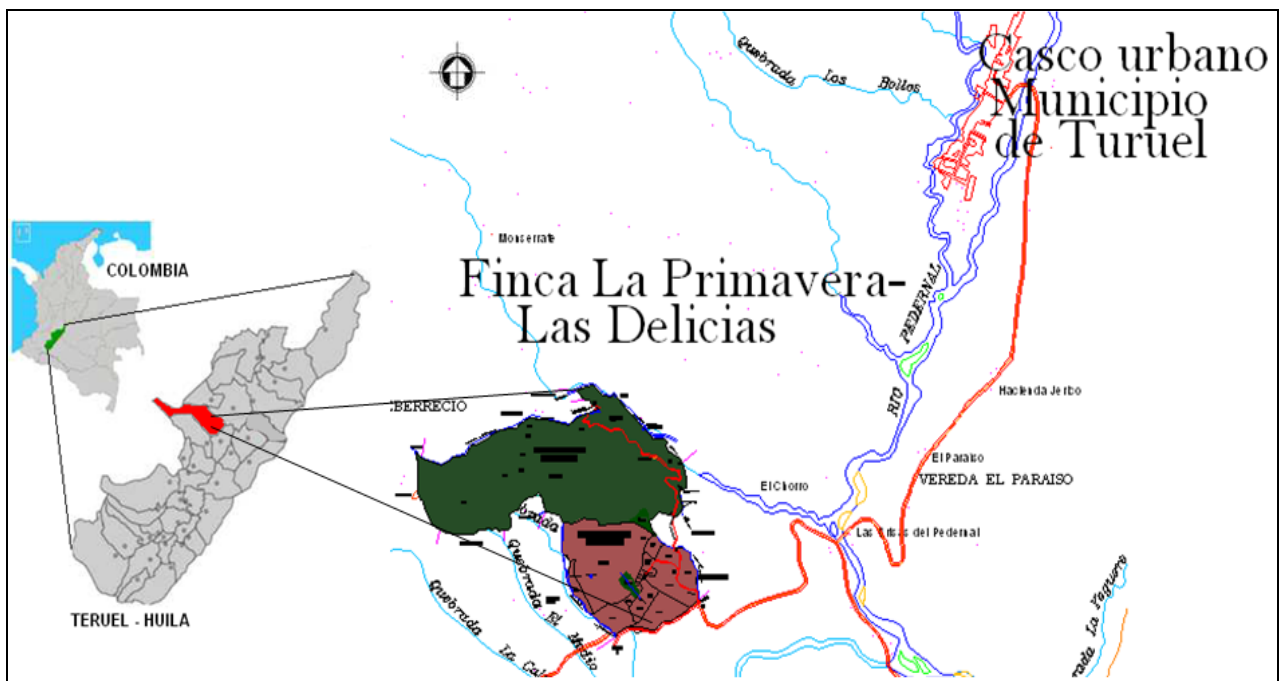


Figura 2 Ubicación finca La Primavera- Las Delicias

La finca siempre ha tenido una vocación ganadera, que a la medida de los años a causado compactación en la superficie del suelo, en la parte alta de la finca se observa erosión conocida como pata de vaca debido a los caminos que hace el ganado por el lomerío que al ser desprovistos de vegetación permiten la escorrentía en tiempos de



lluvia, arrastrando parte del suelo, en las zonas de alta pendiente, ha habido dos deslizamientos de tierra por falta de arboles que penetren y agarren las capas del suelo.

La Finca cuenta con tres nacimientos de agua, la quebrada el Higuerón, los Anturios y las Frutas de Oro, de ésta última se abastece un tanque de almacenamiento para el suministro de agua a la vivienda, el noreste de Las Delicias es delimitado por la quebrada el Beberreco de mayor caudal que las anteriores, donde se capta agua que es conducida por ducto plástico a los bebederos de ganado. La mayor parte de esta zona es ganadera con pequeñas parcelas de cacao y café, y pastos de corte localizadas en la parte alta del municipio, el cultivo predominante es el café, mientras que en los valles cerca al pueblo predomina el cultivo de arroz.

### 3.2 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

Las unidades litológicas de distinto origen presentes en La Primavera- Las Delicias es un ejemplo de las características geológicas que dieron origen y evolución a la Cordillera Central, entre ellas se encuentran las rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias de diferente edad, haciendo presencia principalmente las del cuaternario, Jurásico, precámbrico y cretácico. Según la plancha 344 Tesalia de Ingeominas y la información de campo obtenida en la finca se identifican tres unidades litológicas, Pea (complejo aleluya), Ji (Batolito de Ibagué) y KPgs (formación seca) (Mapa 1); las dos últimas separadas por la falla (Figura 3), que pertenece a un sistema de fallas denominado Chusma, una prolongación que proviene desde los municipios de La Argentina y Oporapa que continúan hasta el Municipio de Colombia en el departamento del Huila. Ésta falla atraviesa la finca en dirección de suroccidente a nororiente (Ingeominas, 2002, citado por Ramos, 2011).

**Formación Seca (KPgs).** Pertenece al periodo cretácico, esta formación sedimentaria se caracteriza por la alternancia de arcillolitas y limolitas pardo - rojizas con niveles de areniscas perteneciente al periodo cretácico (Ingeominas, Plancha 344 Tesalia, 1999). Esta representada por un área de 18 ha 989.02 m<sup>2</sup>, se encuentra localizada principalmente al sur de la finca y sobre parte baja. Geológicamente esta formación está limitada por la falla de La Plata que surca la cuenca en sentido occidente – oriente donde se pone en contacto con el Batolito de Ibagué.

**Complejo Aleluya (Pea).** Pertenece al precámbrico compuesto por rocas metamórficas conteniendo xenolitos de mármol de color gris, blanco, naranja y violeta del periodo precámbrico (Ingeominas). El complejo esta representada por un área de 9.84 ha, se evidencian rocas de mármol y pequeñas franjas localizados en la finca (Foto1).



Foto 1. a) Unión de la formación (KPgs) con (Ji), sobre la vía a la vereda Monserrate, b) Mármol La primavera-Las Delicias

**Batolito de Ibagué (Ji).** Rocas ígneas de grandes proporciones, pertenece al periodo Jurásico compuesto por monzogranitos, cuarzomonzodioritas y granodioritas con textura fanerítica desde gruesa a muy fina, se caracteriza por tener un relieve abrupto, pendiente fuerte, drenaje dendrítico, deforestación y pobre desarrollo del perfil de meteorización; puede tener una profundidad entre 2 y 6 m (Ramos, 2011 citado por Tovar 2012). Cuenta con 83.59 ha del área de la parte alta, de la finca. Presenta evidentes afloramientos sobre la vía que conduce de la vereda Monserrate.

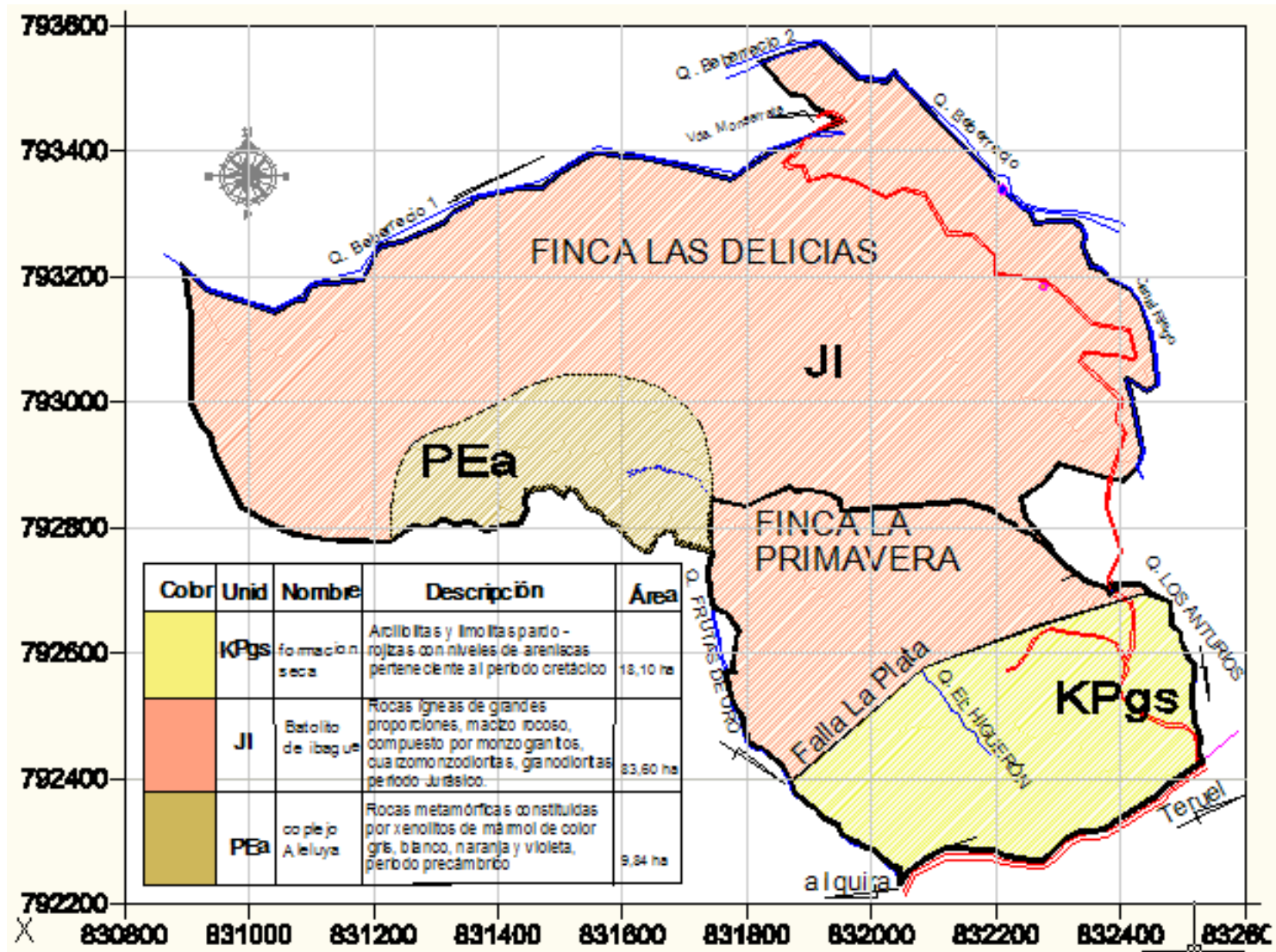
### 3.3 BALANCE HÍDRICO DE LA ZONA

Para el balance hídrico se utilizó la estación San Rafael del IDEAM para el periodo 1985 - 2010, localizada sobre la Cuenca del Pedernal, municipio de Teruel (tomado de Tovar 2012), información clave para determinar la tendencia mensual de la evapotranspiración potencial (ETP) en el área de estudio, siguiendo la metodología de Holdridge (Tabla 2).

Tabla 2. Climatología mensual en la Estación San Rafael

Parámetro	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	sept	oct	nov	dic
<b>P media (mm)</b>	194,1	198,1	240,2	227,1	165,9	70,8	47	40,1	93,2	242,9	293,8	255
<b>P max (mm)</b>	472.9	473.7	451.9	407.4	355.9	155.1	134.1	08.6	257.0	638.6	494.9	426.4
<b>P min (mm)</b>	38.5	20.8	93.3	44.5	35.8	10.5	13.0	4.2	21.88	48.9	144.4	59.1
<b>ETP (mm)</b>	121,8	123,8	119,3	115,9	114,4	109,5	110,5	114,4	113,4	112	106,1	117,9
<b>Bio T (°C)</b>	24,8	25,2	24,3	23,6	23,3	22,3	22,5	23,3	23,1	22,8	21,6	24.0

Fuente: Tovar 2012



Mapa 1. Geológico Primavera Las Delicias (adaptado de Ingeominas, plancha 344 Tesalia)

La precipitación media anual es de 2068 mm (figura 3).

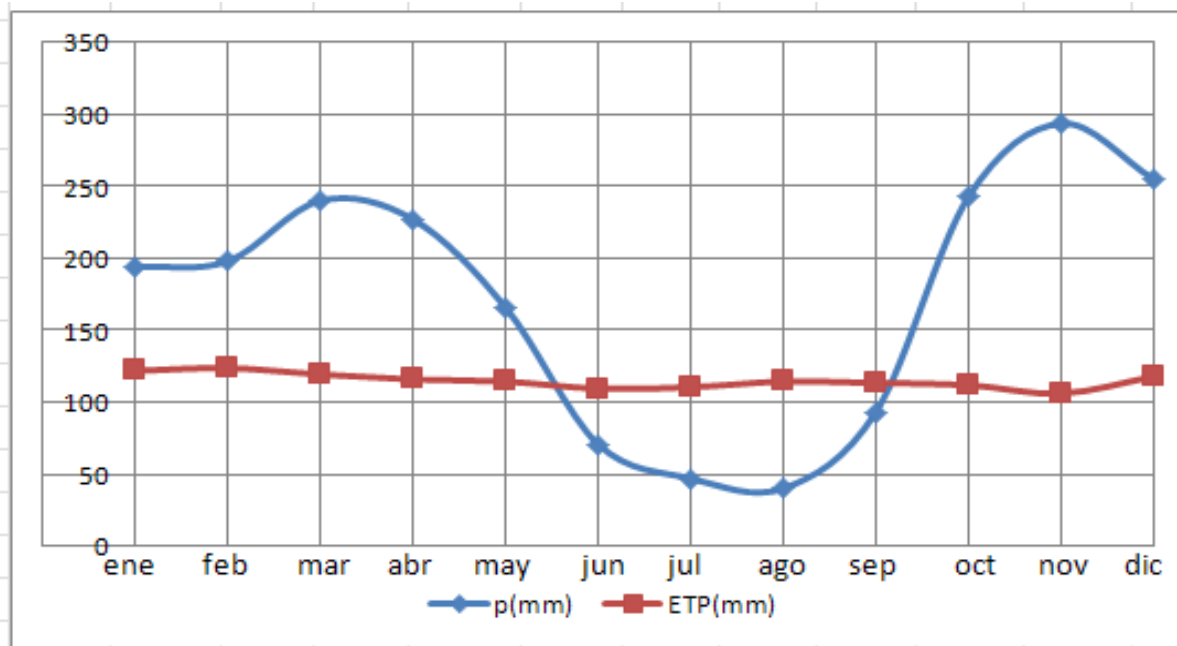


Figura 3. Balance hídrico mensual estación San Rafael (Teruel)

La precipitación media mensual oscila entre 40,1 mm (agosto) y 293,8 mm (noviembre). Cuando la precipitación (P) es menor que la evapotranspiración potencial (ETP) se tiene una temporada de sequía y cuando sucede lo contrario, se presentan dos temporadas de lluvias para un periodo anual, siendo abril el mes de mayor precipitación en la primera temporada y noviembre en la segunda; mientras que para la temporada de sequía, el mes más representativo es agosto.

De acuerdo a estas consideraciones, en el sector existe un régimen climático caracterizado por dos temporadas marcadas de lluvias y una de sequía al año, teniendo en cuenta que los meses más lluviosos obedecen a octubre, noviembre y diciembre y los más secos corresponden a julio y agosto, que se intensifican durante los periodos climáticos del El Niño y La Niña, con incidencia en los suelos y la producción agropecuaria.

### 3.4 METODOLOGIA

**Documentación bibliográfica y cartográfica:** Se recolectó la información existente sobre la finca, en trabajos de grado de la Universidad Surcolombiana y sobre temas similares en la web.

**Reconocimiento de campo:** Toma de fotografías y ubicación del recorrido con GPS, donde se encontraron dos zonas de acuerdo a su relieve; la parte baja esta formada por un terreno ondulado con pendientes inferiores al 25% y la parte alta con pendientes menores a 55%, moderado a fuertemente escarpado, cubierto con pastos enrastrados y bosque protector (Foto 2).



Foto 2. Vista La Primavera desde la parte alta de la reserva Los Anturios

Se observa la vegetación característica del bosque húmedo tropical (bh-T), y el bosque húmedo premontano (bh-PM) como arbustos de guayabo, chaparro, arboles de guácimo (*Guazuma Ulmifolia*), Gualanday (*Tabebuia Rosea*), Balso (*Ochroma Pyramidals*), Payande, Dinde, Garrudo. En las reservas y en el bosque protector se encontraron especies como el higuierón, Cambulo, Caracolí, Guadua entre otras especies nativas; cerca a la vivienda se encuentran árboles de aguacate, palmas y mangos; también tiene una variedad de fauna, rica en insectos, reptiles como serpientes cazadoras y ranas, aves de rapiña, pericos y algunos mamíferos como ardillas; al fondo de la fotografía, se observa la vía hacia Iquira, frente a la Finca se observa la cuenca media y baja de la quebrada la Cañada.

### 3.4.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO

**MUESTREO.** Para efectos del estudio de suelos se consideró la Finca La Primavera - Las Delicias dividida en dos grandes áreas. Las Delicias localizada en la parte superior de la Finca cuya área es 76.67 ha y La Primavera localizada en la parte media y baja de la Finca cuya área es 34.88 ha. Esta división de área permite detallar los estudios en el sector de mayor interés para adecuación de tierras y el desarrollo de las actividades agropecuarias de la Finca, como es el área de la Primavera; mientras que el área de las Delicias presenta mayor vocación de tierras para conservación y protección de bosque y producción de agua haciendo parte de la cuenca media del Beberreceo.

En razón de lo anterior, se realizó un muestreo de suelos más detallado para La Primavera, tomando una muestra cada dos hectáreas y para Las Delicias una muestra cada cinco hectáreas, esto con la ayuda del mapa de la vista en planta de la Finca en AutoCAD. Se trazó una grilla de 100 x 200 m en La Primavera para un total de 17 puntos de muestreo en 34,88 ha, mientras que en Las Delicias se trazó una grilla de 225 x 225 m para un total de 15 puntos en 76,67 ha (mapa 2 y anexo D).

**Observación y muestreo del suelo.** Se realizaron tres calicatas de 1m x 1m con 2 m de profundidad, dos en La Primavera (Calicata 1) sobre los 800 y (Calicata 3) 950 msnm y una en las Delicias (Calicata 2), sobre los 11650 msnm, con el fin de observar los horizontes del suelo y predecir su taxonomía.

**PRUEBAS FÍSICAS DEL SUELO EN CAMPO.** Se ubicaron las coordenadas de los puntos de muestreo lo más cercanas posibles a las del mapa, utilizando un GPS Garmin. En cada punto se estudió el perfil del suelo con la ayuda de un barreno holandés y se tomaron muestras de suelo del primer horizonte para su análisis en el laboratorio (foto 3).

**Color.** El color del suelo es una de las características morfológicas más importantes, se determinó a través de las tablas Munsell, identificando las distintas clases de suelos, fue el atributo más relevante utilizado en la separación de horizontes.

**Infiltración.** La infiltración es la propiedad que mide la velocidad de la entrada del agua en el suelo muy útil para diseños de riego porque esta define el tiempo en que debe permanecer el agua sobre la superficie del suelo. Se utilizó el anillo

infiltrómetro de 30 cm de diámetro, se incó fijamente en la superficie del suelo con la ayuda de un martillo, se llenó con agua tomando lecturas a 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 60, 90 y 120 minutos y realizando las respectivas recargas en caso de requerirlas (foto 4).

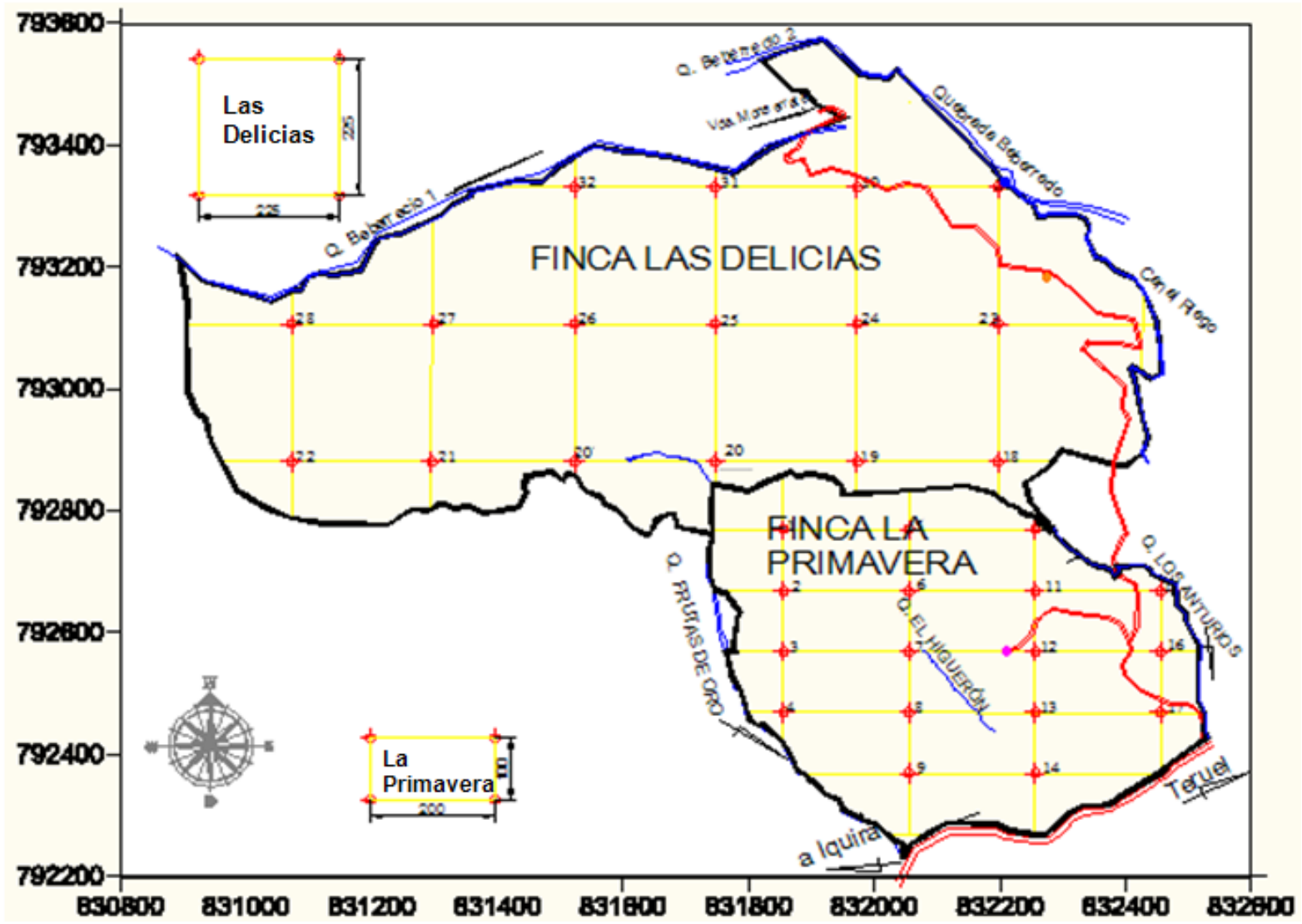


Foto 3. Perfil de suelo en el punto 30 - Las Delicias

Se tabulan los datos organizando la infiltración acumulada (cm) con su respectivo tiempo (min) y se traza un gráfico de dispersión con línea de tendencia potencial, obteniendo la función de infiltración acumulada. Se calculó la infiltración instantánea derivando la función y de ésta la infiltración básica, reemplazando el tiempo básico en la infiltración instantánea en los 32 puntos de muestreo.

**Conductividad hidráulica saturada.** Esta propiedad hidrodinámica del suelo permite medir la velocidad con que se mueve el agua en el suelo expresada en  $\text{m.día}^{-1}$  es muy importante para diseñar sistemas de drenaje. La conductividad hidráulica del suelo es dependiente de la humedad, es máxima cuando está saturado, pues todos los poros están llenos con agua y actúan como conductores; además, a mayor tamaño de poros, mayor es la conductividad, por lo cual es una propiedad que depende fuertemente de la estructura y la textura.

Las pruebas de conductividad hidráulica se hicieron por el método del pozo barrenado inverso; para su realización se instaló el equipo en el orificio perforado con el barreno donde también se observaron los perfiles estratigráficos del suelo. Se tomaron medidas de la geometría del pozo barrenado y se llenó con agua hasta cerca de la superficie, para luego hacer lecturas del descenso del agua en el pozo cada minuto durante un tiempo de 15 minutos. Los datos se tabulan y se calcula la conductividad hidráulica saturada (foto 4).



Mapa 2. Grilla inicial de puntos de muestreo La Primavera - Las Delicias (Teruel)





Foto 4. Pruebas de infiltración y conductividad hidráulica saturada - Las Delicias

**PRUEBAS FISICAS DEL SUELO EN LABORATORIO.** Las muestras fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Surcolombiana, donde se separaron los terrones a ser utilizados en las pruebas de densidad aparente y el resto del suelo se colocó a secado natural durante 24 horas (foto 5). Las muestras se pulverizaron con rodillo y luego pasaron por tamiz 200; quedando el material listo para las pruebas físicas y químicas según las metodologías el IGAC, 2006.



Foto 5. Secado natural de las muestras de suelo (Universidad Surcolombiana)

**Densidad real.** La densidad real de un suelo depende principalmente de la composición y cantidad de minerales y de la proporción de materia orgánica e inorgánica que contiene. Se denomina densidad real del suelo, al peso o masa en seco de una muestra de suelo, por unidad de volumen real ocupado por las partículas de la composición sólida del mismo, sin contener el espacio poroso y sin importar la organización de dichas partículas. Método del picnómetro o balón aforado (foto 6).



Foto 6. a) picnómetros más suelo, b) eliminación del aire en la estufa, c) volumen completado con agua.

**Densidad aparente.** Método del terrón parafinado (foto 7). La densidad aparente expresa la masa del suelo contenida en un determinado volumen teniendo en cuenta la organización de las partículas del suelo, permitiendo calcular la porosidad y analizar el grado de compactación determinando el estado natural en la cual se halla el suelo y sus posibles mejoras.

**Porosidad.** Se determina de manera indirecta a través de la relación de densidad aparente y densidad real. La porosidad es el espacio que hay en los poros del suelo, disponible para el aire o el agua, esta propiedad es importante para determinar la compactación, equivale a la diferencia entre la densidad real y la aparente (tabla 16). Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P (\%) = 100 (1 - D_a / D_r)$$

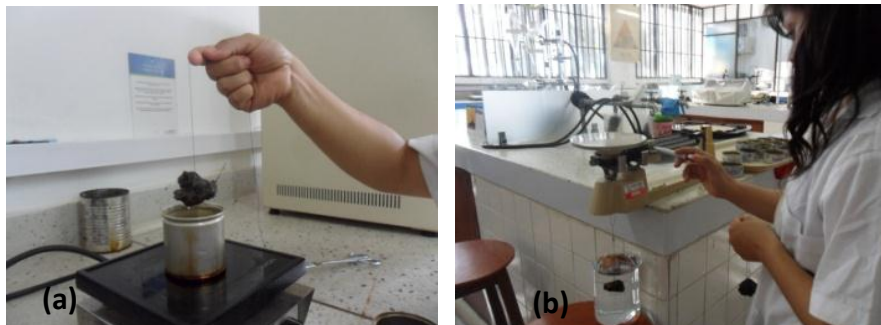


Foto 7. a) sellamiento de poros con parafina, b) peso del terrón en agua

**Retención de humedad.** Método de la olla de presión y la membrana de presión (Foto 8). El punto de marchitez permanente es el límite mínimo de humedad por debajo del cual las plantas no pueden extraer agua del suelo para sus funciones. El agua aprovechable es la diferencia entre el porcentaje de humedad a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente de una determinada muestra de

suelo que representado a través de una variabilidad espacial permite estimar un valor del agua disponible para las plantas.



Foto 8. a) Equipos para la retención de humedad b) muestras secas en la estufa

**Textura.** Método: Bouyoucos. Se calculan los porcentajes de arena, limo y arcilla por este método y se llevan al triangulo textural para determinar la clasificación del suelo (foto 9).

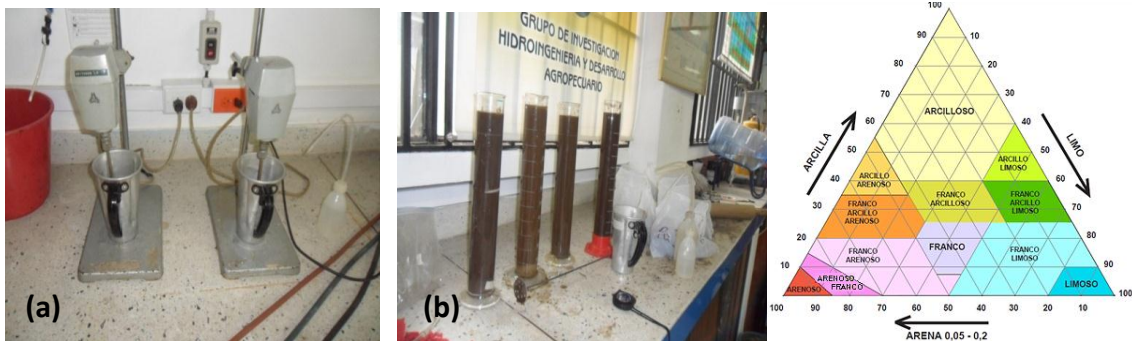


Foto 9. a) Agitación del suelo, b) Probetas en proceso de sedimentación para la lectura del hidrómetro, c) triangulo interpretación de texturas.

**Estabilidad estructural.** Método del tamizado en húmedo o Yoder (Foto 10).



Foto 10. a) Tamizado en húmedo, b) Instalación y puesta en marcha del equipo

## ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

**pH y Conductividad eléctrica.** Método Potenciométrico, extracto saturado del suelo. La conductividad eléctrica representa la capacidad de una solución para transmitir la electricidad, la cual está en relación directa con su contenido de sales. (foto 11).

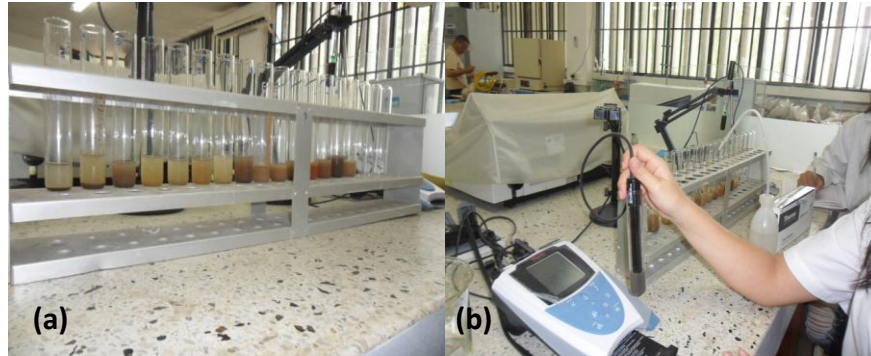


Foto 11. a) Solución suelo, agua 1:1, b) Determinación de la CE, y el pH en el Thermo scientific Orion 3star pH y Orion 3star CE.

**Capacidad de intercambio catiónico.** Método acetato de amonio a pH 7 (foto 12). La capacidad de intercambio catiónico permite determinar la capacidad que posee un suelo de adsorber cationes y es equivalente a la carga negativa del suelo. Esta propiedad es la que define la cantidad de sitios disponibles para almacenar los cationes en el suelo importantes para la absorción, almacenamiento e intercambio de nutrientes del suelo, disponibles para las plantas. Y quedan protegidos contra los procesos que tratan de evacuarlos del suelo, como la lixiviación. Los cationes más importantes en los procesos de intercambio catiónico, por las cantidades de ellos que participan en dichos procesos, son  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  y  $\text{Na}^{+}$  (las bases del suelo).

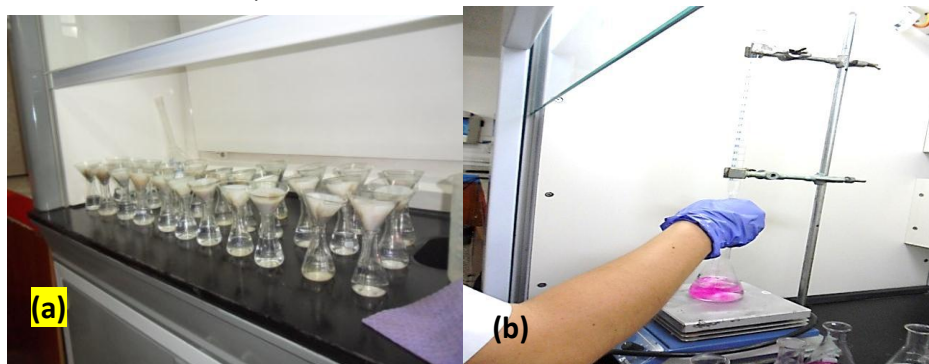


Foto 12. a) Filtración del suelo, b) Muestra filtradas con 4 gotas de fenolftaleína para la titulación

### 3.4.2 ELABORACION DE MAPAS DE VARIABILIDAD ESPACIAL

Se recolectó la información de las pruebas realizadas en campo y en laboratorio en los 32 puntos y se tabularon los datos de cada propiedad en Microsoft Excel. Se aplicó análisis geoestadístico para cada variable con el programa Gs+ versión 9, obteniendo el promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación, los valores mínimo y máximo con el programa STATGRAPHICS centurión XV. Los mapas de variabilidad espacial se trazaron por la interpolación de Kriging utilizando Golden Software Surfer 9 y luego AutoCAD 2010.

### 3.4.3 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

**Clasificación Agrológica.** La capacidad agrológica tiene como propósito clasificar los terrenos en clases con capacidades de uso similar. Se agrupan terrenos con diferencias pequeñas en bloques o sectores que se consideran uniformes en cuanto a sus capacidades de uso y necesidades de manejo; es así como estas clases permiten sistematizar la selección de alternativas de uso y manejo para cada sector de La Primavera - Las Delicias, se utilizó la metodología del IGAC, 2009. Las unidades de capacidad de uso de las tierras se representan por símbolos formados por números arábigos y letras minúsculas. El primer número indica la clase por capacidad que va de 1 a 8.

Las cuatro primeras (1 a 4) se destinan preferentemente a usos agrícolas; la siguiente, clase (5), respetando los criterios de sostenibilidad, debe destinarse para conservación por tratarse de áreas de gran valor ecosistémico; la clase (6) apropiados para pastos, para la silvicultura y se pueden usar para frutales y café, la clase (7) son aptas para usos ya sea de praderas o de plantaciones forestales, y la clase (8) para el fomento de la vida silvestre y la conservación de los recursos naturales, especialmente de las fuentes de agua.

Las letras minúsculas representan la subclase por limitaciones: (s) por suelo, (t) por pendiente, (e) por erosión, (h) por drenaje, (c) por clima y combinaciones entre estos. El número arábigo que continúa, separado por un guión, está relacionado con el grupo climático que va de 1 a 6: subnival (1), frío muy húmedo (2), templado muy húmedo (3) cálido muy húmedo (4), cálido seco (5), cálido semiárido (6).

**Clasificación de uso actual.** De acuerdo a los recorridos de campo, a la información cartográfica de la Finca y a los mapas recopilados sobre la zona, se procedió a trazar el mapa de uso actual sobre una imagen satelital, separando las zonas forestales, los cultivos, clasificando los pastos y el rastrojo y sus consociaciones entre estos usos del suelo.

**Clasificación de uso potencial.** El uso potencial del suelo consiste en asignar a cada unidad agrológica el tipo de uso apropiado, así como las prácticas específicas que le correspondan, con el propósito de obtener el máximo beneficio económico, social y ambiental. Los indicadores e índices de mayor uso en el proceso de zonificación de las tierras que se tuvieron en cuenta en el presente estudio fueron el clima (precipitación, temperatura), la pendiente, la erosión, el drenaje natural, la inundabilidad o el encharcamiento, la presencia de pedregosidad o rocosidad, la profundidad efectiva, la fertilidad, salinidad o alcalinidad y la acidez de los suelos.

Las unidades de tierra han sido identificadas con símbolos, cada uno de los cuales está formado por tres letras mayúsculas de acuerdo a la actividad agrícola como cultivos transitorios semiintensivos (CTS), Cultivos permanentes intensivos (CPI), Cultivos permanentes semiintensivos (CPS), ganadera como pastoreo extensivo (PEX), agroforestía como agrosilvícola (AGS), agrosilvopastoril (ASP), forestal como Forestal protector productor (FPP), Forestal protector (FPR) o de conservación como Conservación y recuperación (CRE), Áreas protegidas (PN).

**Clasificación taxonómica.** La clasificación taxonómica utilizada para determinar los suelos, se hizo de acuerdo con el Sistema Americano, siguiendo los lineamientos de la *Soil Taxonomy* (USDA, 2006), donde la estructura funcional del sistema es integrada por las categorías de orden, suborden, gran grupo, subgrupo, familia y serie. Teniendo en cuenta características como el color, el relieve de los horizontes, la clase de cutanes presentes, la lixiviación de minerales a otros horizontes, la materia orgánica, el clima entre, la textura, la salinidad, el contenido de nutrientes, entre otras características.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 PUNTOS DE MUESTREO

En campo se hizo el replanteo de los puntos seleccionados en la grilla cartográfica, como es el caso del punto 28 que se reemplazó por el punto 20' (mapa 3 y anexo E), debido a la importancia de evaluar el suelo correspondiente al establecimiento del cultivo de café. Algunos puntos se desplazaron ligeramente debido a la dificultad de acceso a los sitios. El estudio estadístico de cada variable permite la interpretación de la respectiva propiedad, junto con su mapa de variabilidad a una escala aproximada de 1:10600 (tabla 3).

Tabla 3. Resumen estadístico de las propiedades físicas y químicas del suelo La Primavera-Las Delicias

Variable	N°	Prom.	S <sub>x</sub>	CV (%)	Mín.	Máx.	Rango	Sesgo	Curtosis
%A	32	70,20	5,16	7,3	57,72	79,72	22	-0,72	0,04
%Ar	32	10,75	6,30	58,6	2,78	25,86	23,08	1,94	-0,21
%L	32	19,05	6,07	31,9	3,84	28,76	24,92	-1,55	0,87
Dr (g.cm <sup>-3</sup> )	32	2,32	0,09	4	2,14	2,47	0,33	-0,8	-0,43
Da (g.cm <sup>-3</sup> )	30	1,58	0,13	8,3	1,26	1,75	0,48	-2,06	0,12
%poros	30	31,85	6,17	19,4	21,99	47,99	26	2,19	1,44
%PMP	32	20,81	8,75	42	7,8	37,7	29,9	0,78	-1,34
%CC	32	33,04	6,82	20,6	19,7	45,9	26,2	0,06	-1,03
%AA	32	12,24	5,93	48,5	1,19	25,22	24,03	-0,03	-0,49
I (cm.h <sup>-1</sup> )	32	4,55	5,08	111,6	0,14	22,37	22,23	4,81	5,6
K (m.dia <sup>-1</sup> )	32	1,68	2,15	128	0,18	10,57	10,39	6,93	11,35
CE (μSm.cm <sup>-1</sup> )	32	178,67	133	74,3	31,8	682	650,2	4,39	6,37
pH	32	5,72	0,63	11,1	4,09	7,6	3,51	1,41	2,83
CIC (Cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )	17	15,25	5,3	34,8	7,6	25,15	17,55	0,41	-0,77
%MO	17	1,69	0,86	51,1	0,21	3,16	2,95	0,16	-0,88

%A porcentaje de arena, % Ar porcentaje de arcilla, %L porcentaje de limo, Dr densidad real, Da densidad aparente, %P porosidad, %PMP punto de marchitez permanente, %CC capacidad de campo, %AA agua aprovechable, i infiltración básica, K conductividad hidráulica saturada, CE conductividad eléctrica, CIC capacidad de intercambio catiónico, %MO contenido de materia orgánica.

## 4.2 DESCRIPCION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

**4.2.1 Textura.** La Primavera-Las Delicias contiene tres tipos de suelos, arenosos con texturas (AF) clasificadas dentro del grupo de texturas como gruesas, el tipo de suelo franco con dominio de arenas (FA), clasificada como moderadamente gruesa y suelos franco con dominios de arcillas (FARa), dentro del grupo textural como moderadamente fina (Anexo F).

La textura franco arenosa es predominante en la parte sur del área en estudio, en el sector de La Primavera cambia a franco arcillo arenosa, que coincide en el mapa geológico con la formación KPgs del periodo cretácico donde predominan las arcillolitas, en general los suelos francos se caracterizan por ser favorables para la agricultura, con algunas recomendaciones para controlar los procesos erosivos debido a las pendientes del terreno.

Se hallaron coeficientes de 7.6% para la arena, 58.6% para la arcilla y 31.9% para limos con distribución normal de los porcentajes de arena y limos, y distribución heterogénea para arcilla (mapa 5).

**4.2.2 Densidad real.** En La Primavera-Las Delicias el suelo varía en su densidad real entre 2.14 y 2.47 g.cm<sup>-3</sup>, que según la clasificación corresponde a valores bajos (anexos A y G).

Según Jaramillo 2002, el valor promedio para la densidad real es de 2.65 gr.cm<sup>-3</sup>, en este caso la densidad real está por debajo del promedio, lo que puede indicar la presencia de materiales alófanos de origen volcánico, contenido de aluminosilicatos no cristalinos o presencia de materia orgánica. Teniendo en cuenta el mapa y las observaciones de campo, los valores más bajos de densidad real se encuentran en las zonas de bosque protector, atribuyéndose el motivo de una baja densidad (mapa 6).

**4.2.3 Densidad aparente (Da).** La densidad aparente del suelo en La primavera - Las Delicias varía entre 1.26 y 1.75 gr.cm<sup>-3</sup>, clasificado de medio a muy alto (Anexo A). Los resultados de esta variable arrojan un promedio de 1.58 gr.cm<sup>-3</sup>, que corresponde a una densidad alta (anexo H). La densidad aparente puede verse afectada por el contenido de materiales orgánicos, textura y origen del suelo principalmente, de acuerdo a las observaciones de campo estos valores altos de Da pueden deberse a procesos de compactación del suelo debido a una



ganadería tradicional porque a medida que los suelos se compactan disminuye la porosidad y aumenta la densidad aparente (mapa 7).

**4.2.4 Porosidad.** La porosidad del suelo en La Primavera - las Delicias varía del 22 al 48%, siendo de muy baja a media con un promedio de 31.85% cuya clasificación es muy bajo (tabla 15 y mapa 8). Los valores bajos de porosidad pueden deberse al grado de compactación de los suelos por una ganadería tradicional, y a medida que el suelo se compacta pierden espacio poroso y dificulta la circulación del agua y el aire, y la penetración de las raíces.

**4.2.5 Marchitez permanente.** Los resultados de retención hídrica del suelo a 15 bares en La Primavera presentó un valor promedio de 20.81%, dichos valores altos pueden deberse a los coloides presentes en el suelo de este sector (anexo I) y según Jaramillo 2002 acorde con el orden del suelo, en este caso inceptisol, influye en la retención de humedad. Las Delicias presenta valores más bajos de retención de humedad a punto de marchitez permanente (mapa 9).

**4.2.6 Capacidad de campo.** Se halló a retención hídrica del suelo a 0.3 bares asimilando el drenaje libre del suelo sin evaporación, lo que representa el límite superior de agua disponible para las plantas. La humedad a capacidad de campo varió entre 19.7 y 45.9%, correspondiendo los valores más altos a La Primavera, debido a su mayor contenido de arcilla (anexo J y mapa 10).

**4.2.7 Agua aprovechable.** En el mapa 11 se observan unas tonalidades claras que representan niveles bajos de agua aprovechable, ubicadas en las zonas con mayor contenido de arcillas, debido a que estas aunque tienen buena capacidad de almacenamiento de agua así mismo la retienen, mientras que en las zonas con tonalidades oscuras, son mayores los contenidos de agua aprovechable que coinciden con zonas de vegetación protectora (tabla 4).

**Tabla 4.** Resultados de porosidad y agua aprovechable del suelo

N°	Poros (%)	AA (%)	N°	Poros (%)	AA (%)
1	30,04	14,41	17	--	12,91
2	30,79	14,22	18	47,99	11,89
3	32,03	1,19	19	30,71	7,95
3	32,23	3,52	20	--	5,33
5	26,86	16,44	21	30,26	18,01
6	47,10	8,92	22	21,99	13,86
7	31,46	13,24	23	33,97	10,30
8	32,45	13,55	24	28,57	22,51
9	35,33	13,61	25	25,29	13,34
10	36,24	16,63	26	41,88	19,53

11	28,41	6,65	27	23,41	14,87
12	23,72	4,53	29	33,61	16,19
13	37,64	4,1	30	26,26	20,29
14	29,41	2,64	31	26,21	9,8
15	33,38	6,04	32	32,64	15,18
16	36,66	14,77	20'	28,92	25,22

%Poros porosidad, AA agua aprovechable del suelo

**4.2.8 Infiltración.** La infiltración esta en un rango de 0.14 a 22.37 cm.h<sup>-1</sup>, clasificada de lenta a rápida (anexo K). En las Delicias predominan valores bajos de infiltración sobre el costado noroeste y hacia el centro (mapa 12). De acuerdo a las observaciones de campo puede deberse a una compactación por sobre pastoreo que dificulta el paso del agua de la superficie al interior del suelo, también influyen procesos de erosión eólica, excepto el punto 30, que tiene una infiltración rápida debido a la conservación de la estructura del suelo con escasa alteración protegida por bosque en el sector de la quebrada Beberreceo1.

**4.2.9 Conductividad hidráulica saturada.** Esta propiedad del suelo varía entre 0.18 y 10.57 m.día<sup>-1</sup> clasificada de lenta a moderadamente rápida cuyo promedio se ubica en una conductividad moderada, los valores bajos en La Primavera se explican por el contenido de arcillas en esta zona. Mientras que los puntos 1 y 23 con el valor de K altos, se debe a la presencia de areniscas cuya porosidad facilita el drenaje interno del suelo (anexo L y mapa 13).

### 4.3 DESCRIPCION DE LAS PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO

**4.3.1 Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CEe).** La CEe en la Primavera – Las Delicias presenta un rango de 31,8 a 682,0 μSm.cm<sup>-1</sup>, siendo estos valores inferiores a 2000 μSm.cm<sup>-1</sup>, clasificándose como suelos normales sin problemas de salinidad (anexo M, mapa 14).

**4.3.2 pH.** En general, los suelos de La Primavera- Las Delicias son de carácter ácido a neutro, siendo de extremadamente ácido (4.1) hacia el sureste de Las Delicias a neutro (7.6) hacia el sureste de La Primavera (anexo M y mapa 15).

Guerrero (1991) sostiene que agronómicamente la mayoría de elementos esenciales y de cultivos se comportan bien a pH entre 5.5 y 6.7 y que probablemente el pH óptimo está entre 6.2 y 6.5, que están representados con color azul oscuro y verde cubriendo la mayor parte de La Primavera (mapa 15). El pH del suelo en el rango ácido es variable según la presencia del tipo y la

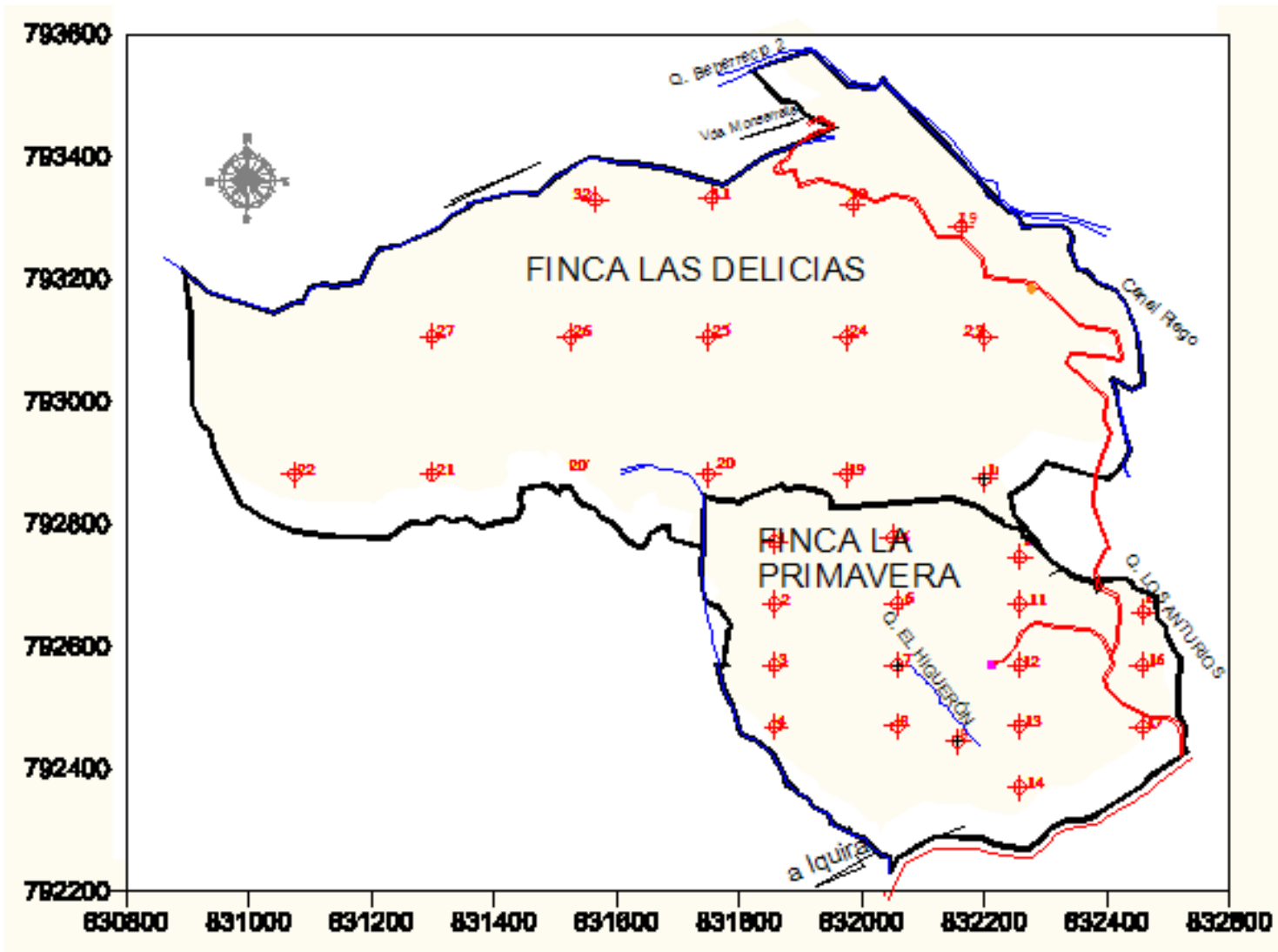
concentración de los cationes que controlan la acidez. Esto genera propiedades y problemas de manejo diferentes; los principales limitantes para su uso agropecuario se relacionan con problemas de nutrición ocasionados por desbalances entre nutrientes o por deficiencia de ellos en el suelo.

Los suelos minerales con  $\text{pH} < 4.5$  presentan formas de aluminio intercambiable  $\text{Al}^{3+}$ ; iones de  $\text{H}_3\text{O}^+$  y  $\text{Mn}^{2+}$ , que producen toxicidad en el suelo, además los procesos de transformación de amoníaco a nitrato son muy lentos, pudiendo causar deficiencias de nitrógeno (Jaramillo 2002). La disponibilidad de fósforo puede ser muy baja en estos suelos, debido a que frecuentemente hay una alta fijación de este elemento que lo lleva a formar compuestos completamente insolubles.

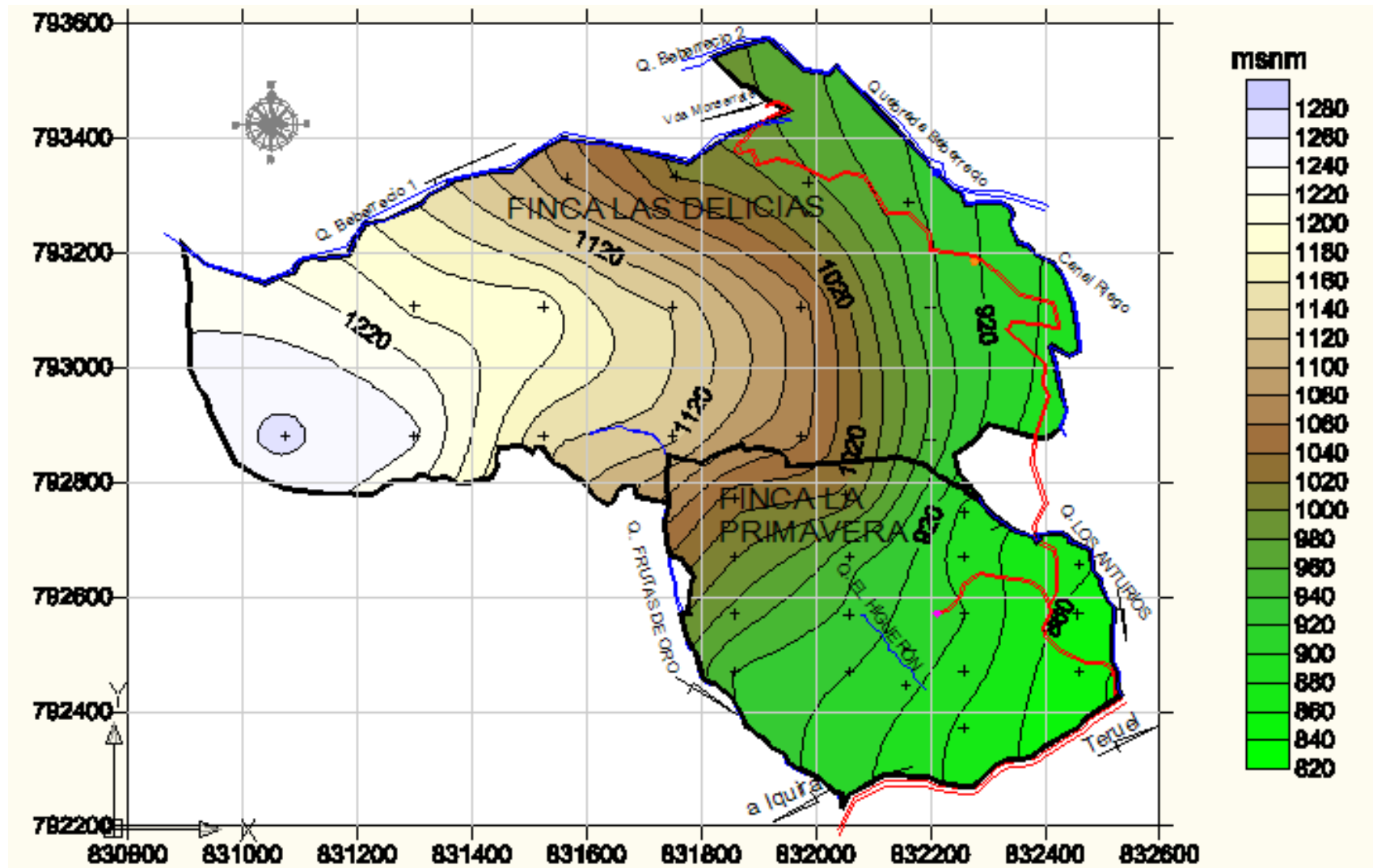
Suelos minerales con  $\text{pH}$  entre 5.5 y 6.5 representados por la escala de azules que cubre la mayoría de los suelos de La Primavera y gran parte de las Delicias, según Jaramillo(2002), en este grupo de suelos ya no hay ningún contenido de acidez intercambiable por lo que desaparece la posibilidad de toxicidad con  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$  o  $\text{Mn}^{2+}$ . Hay una mejora en la actividad biológica bacteriana; el suministro de bases, de molibdeno y de fósforo se mejora llegando a ser óptimo para muchas plantas.

**4.3.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC).** Para La Primavera-las Delicias los valores de CIC varían entre 7.6 y 25.15  $\text{cmol}^+ \text{Kg}^{-1}$ , clasificados de bajos a altos (anexo N, mapa 16). Los valores bajos de CIC predominan en La Primavera, con excepción de un punto ubicado en el potrero 1 que tiene una CIC media, esta propiedad va muy ligada de la materia orgánica debido que a mayor materia orgánica mayor es el intercambio catiónico.

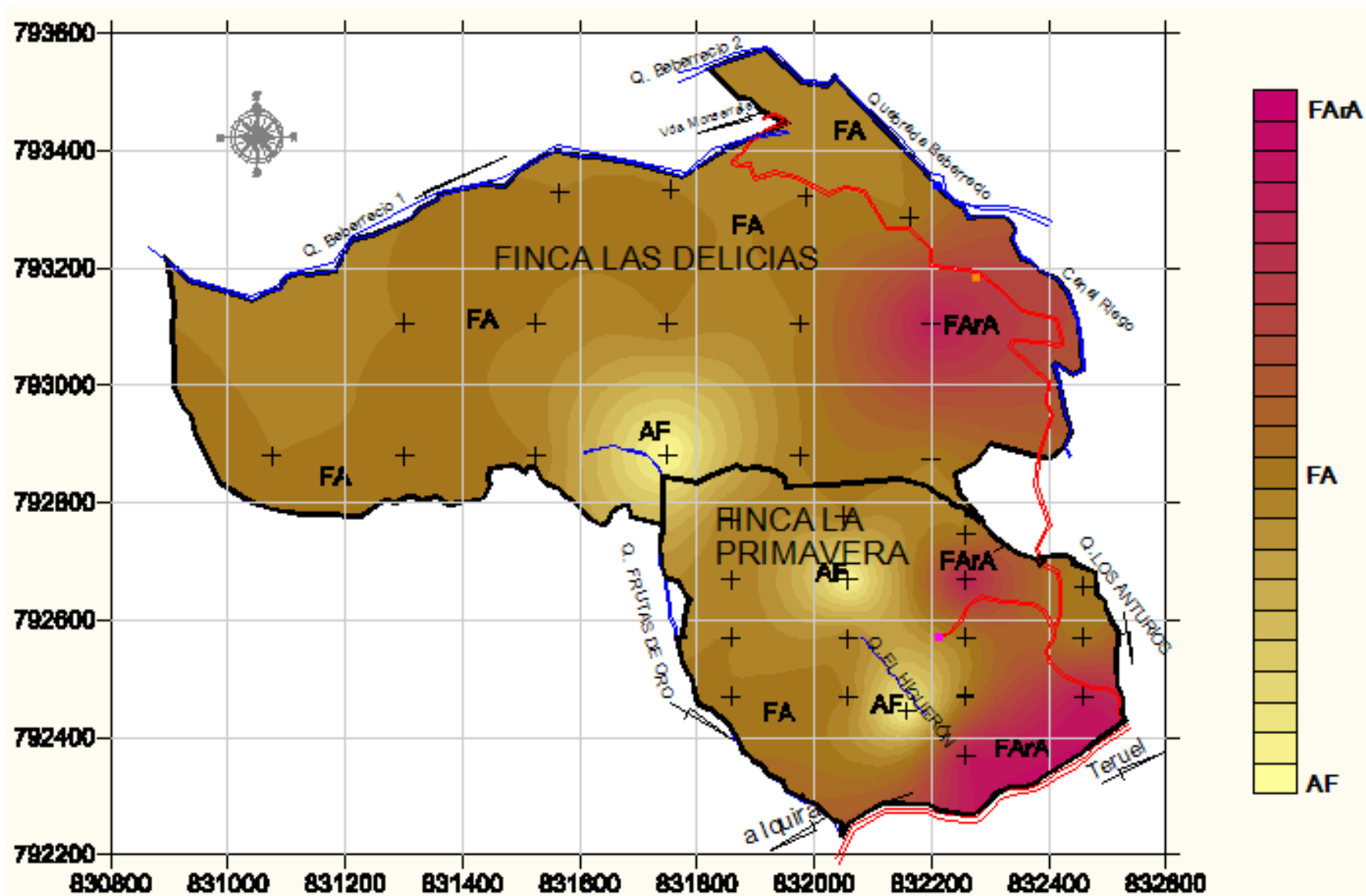
**4.3.4 Contenido de materia orgánica (MO).** El contenido de MO del suelo varía entre el 0.21 al 3.16%, que según la clasificación corresponde a valores bajos a medios (anexos A y Ñ, mapa 17).



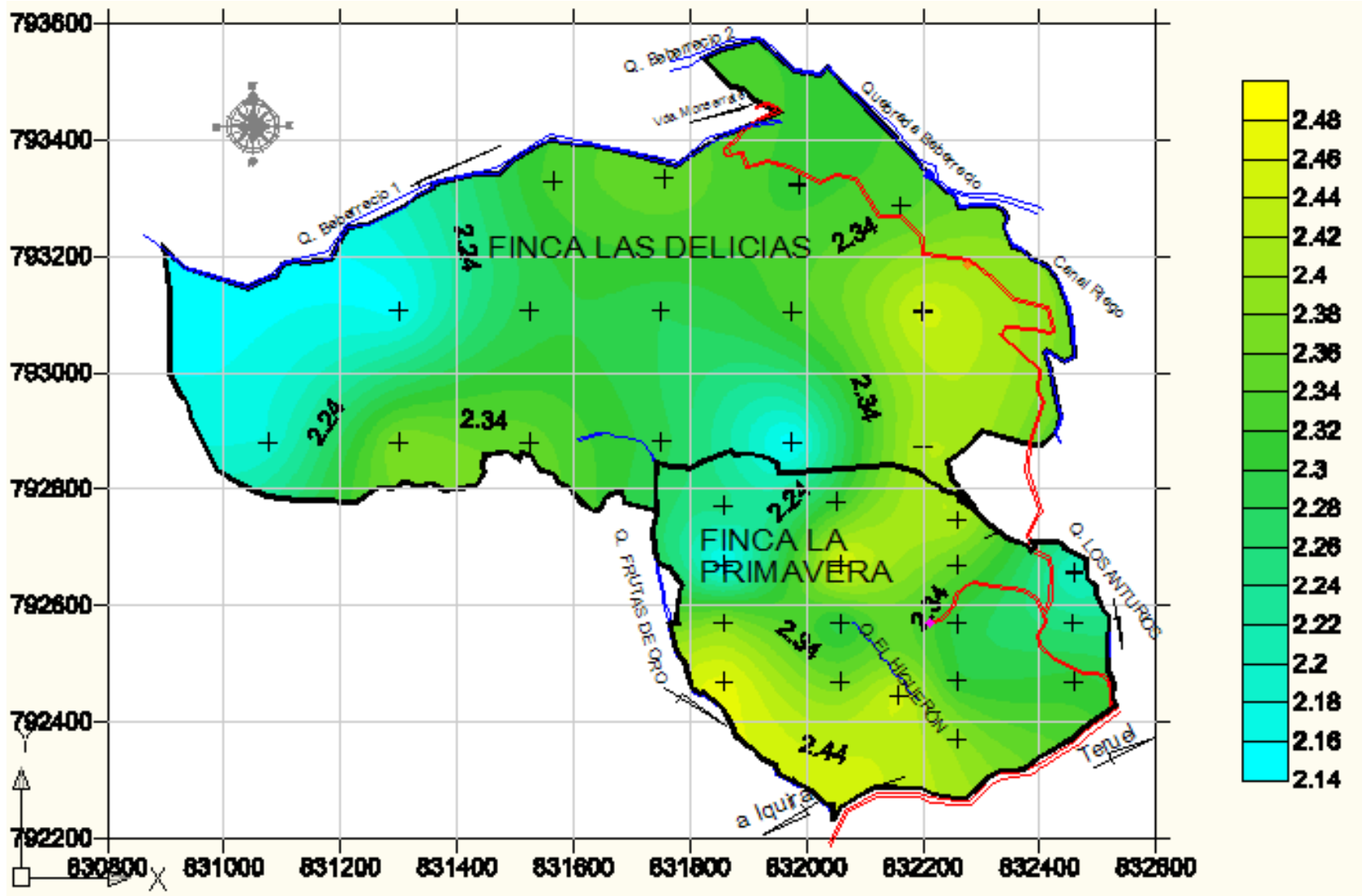
Mapa 3. Malla de puntos tomadas en campo



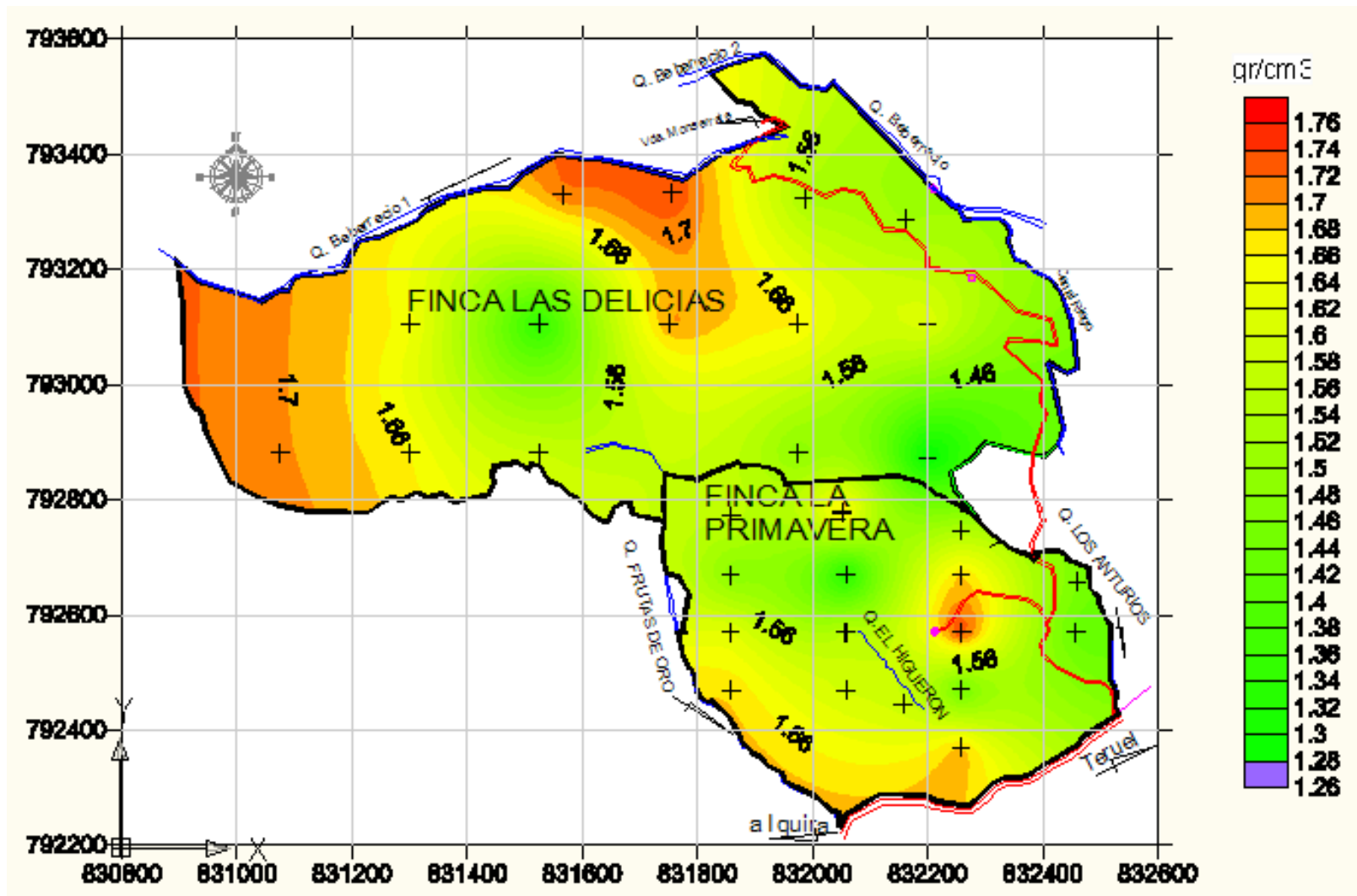
Mapa 4. Curvas de nivel La Primavera-Las Delicias



Mapa 5. Textura del suelo

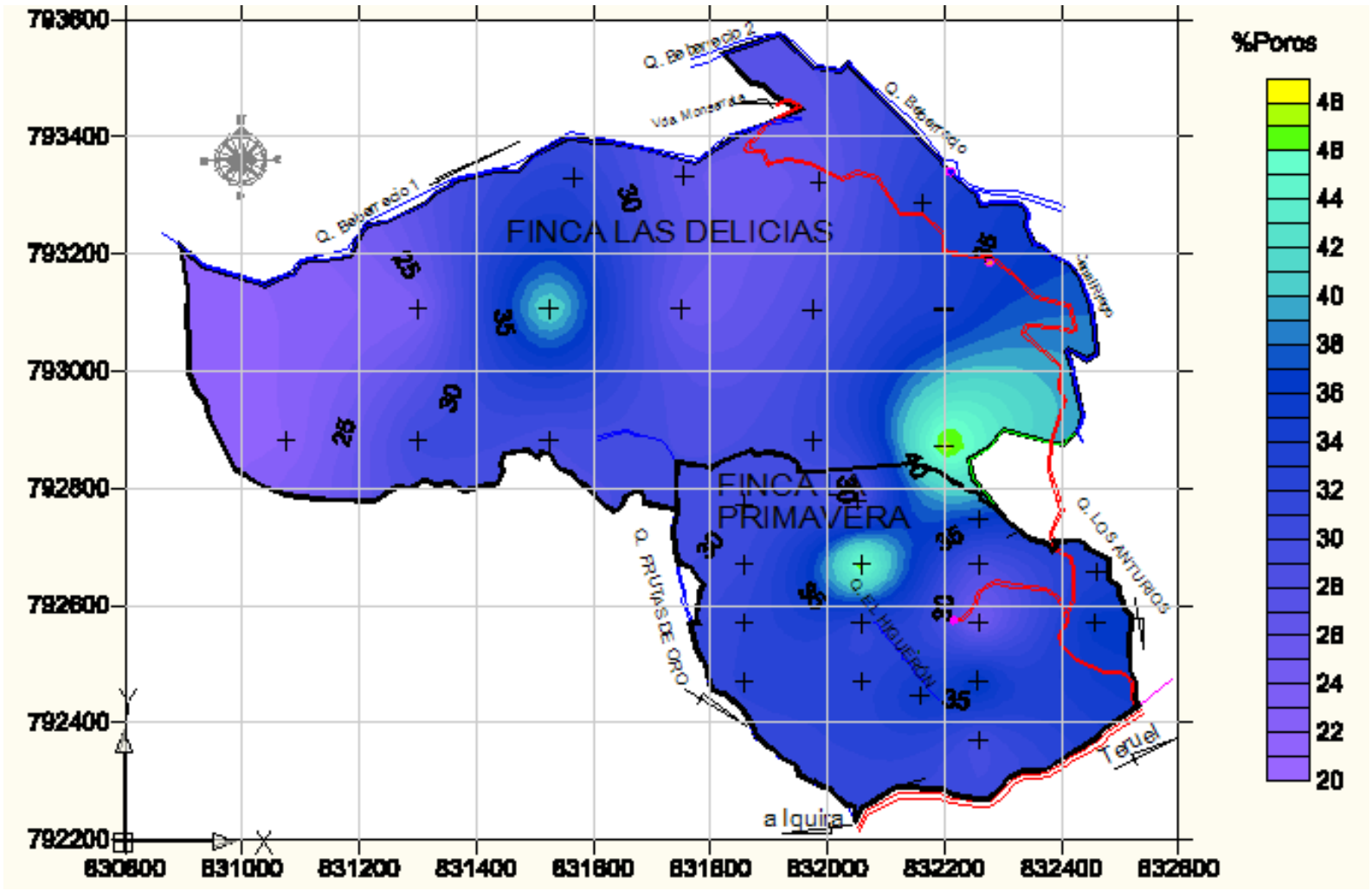


Mapa 6. Densidad real del suelo

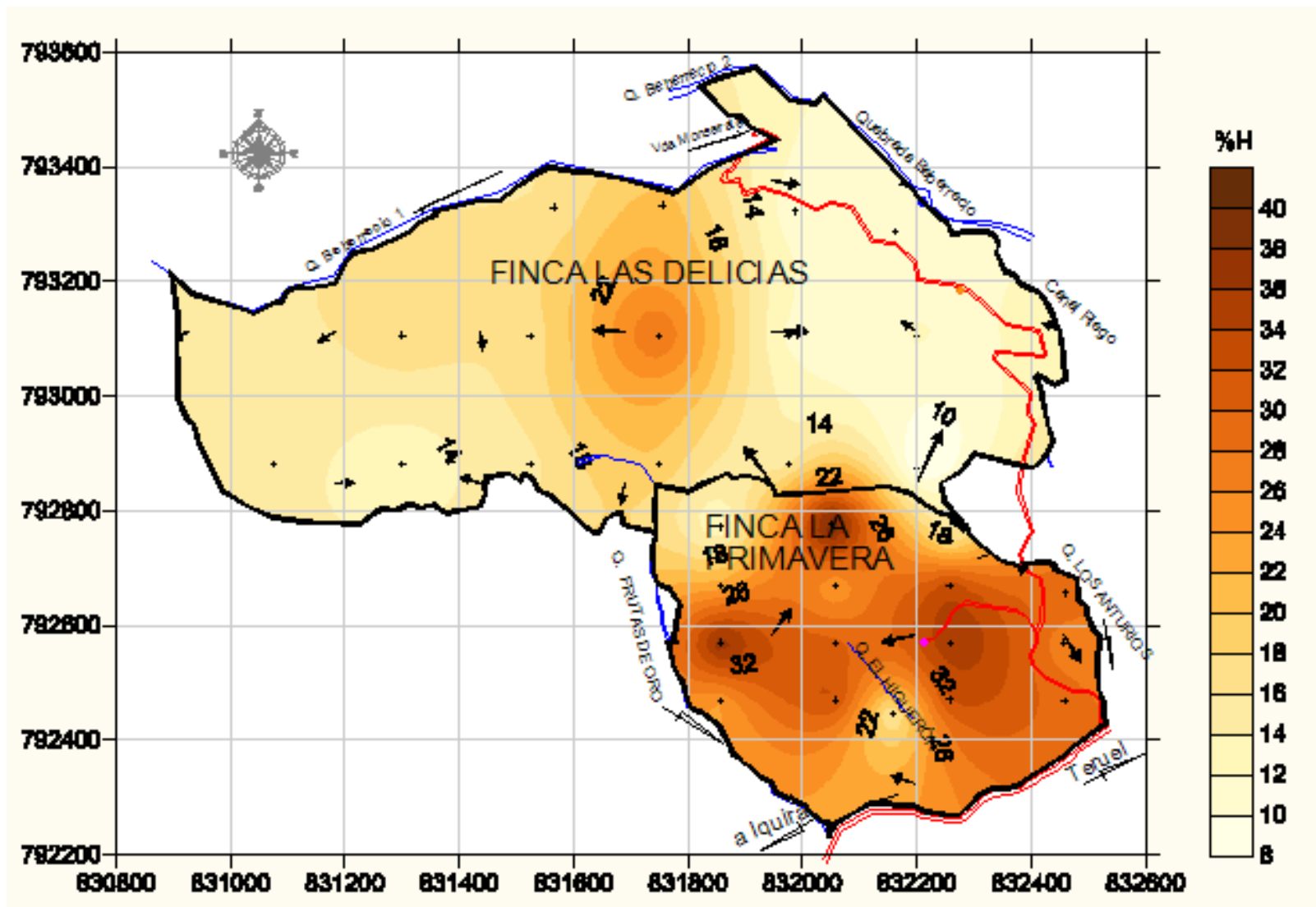


Mapa 7. Densidad aparente del suelo

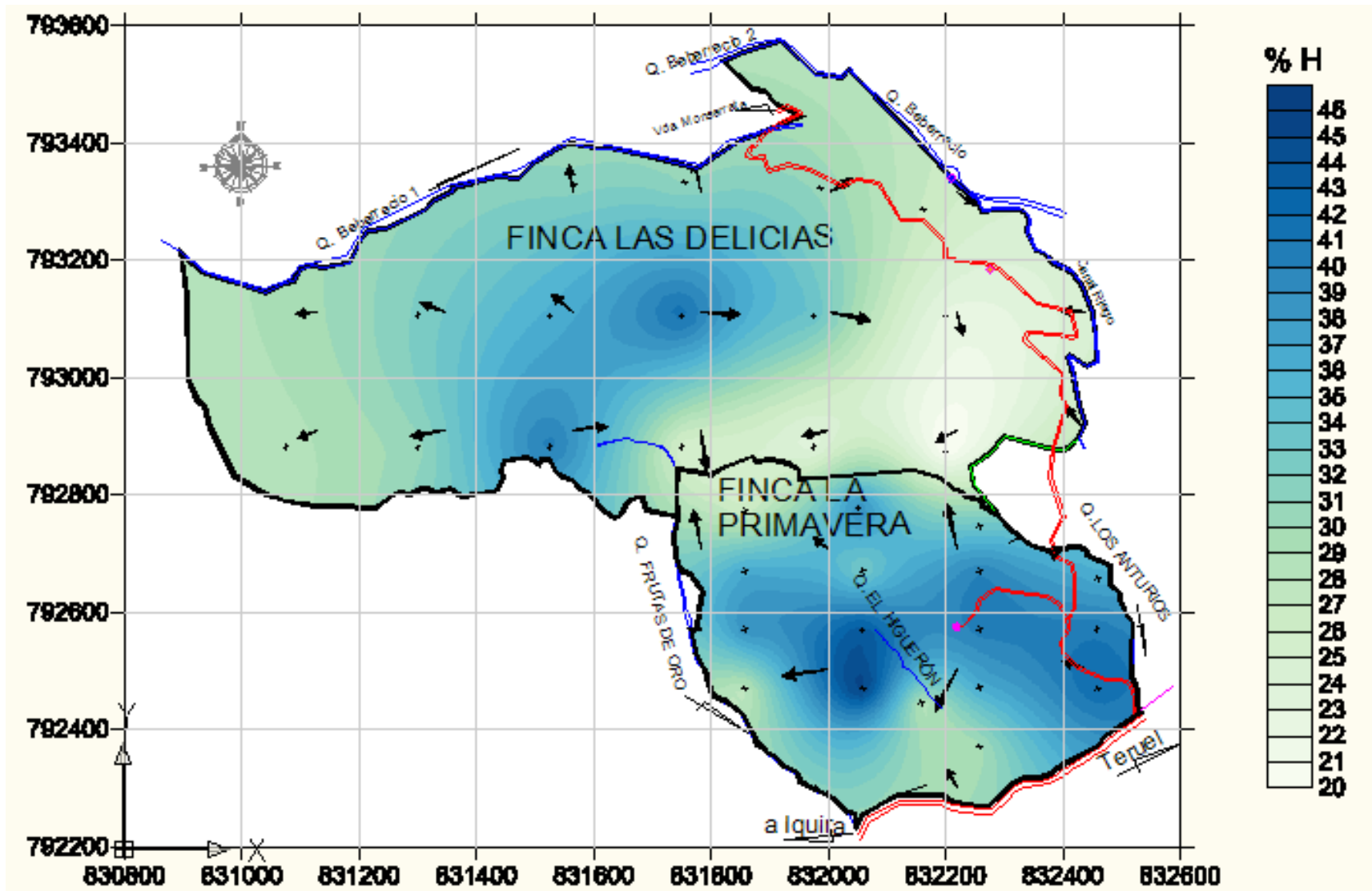




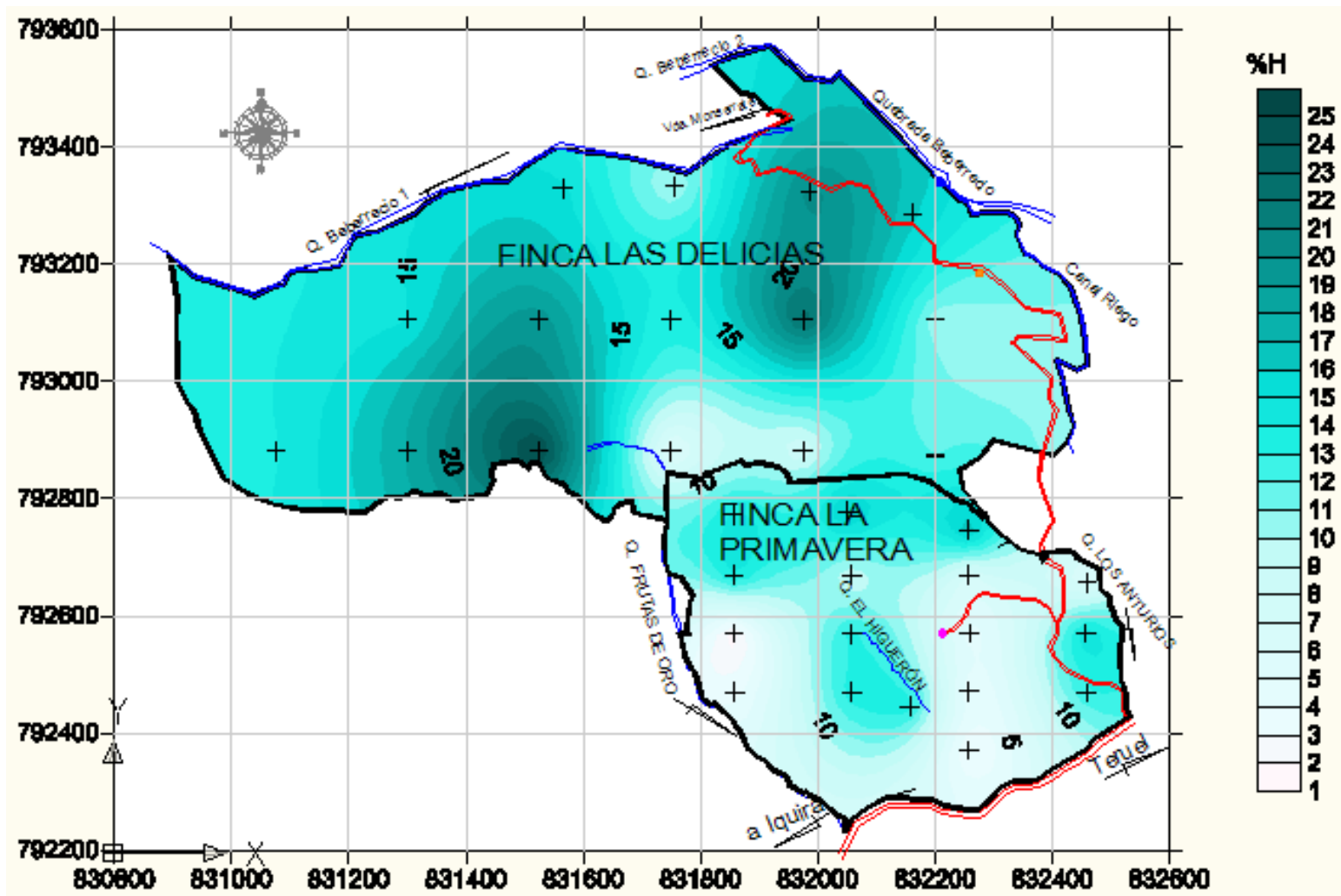
Mapa 8. Porosidad total del suelo



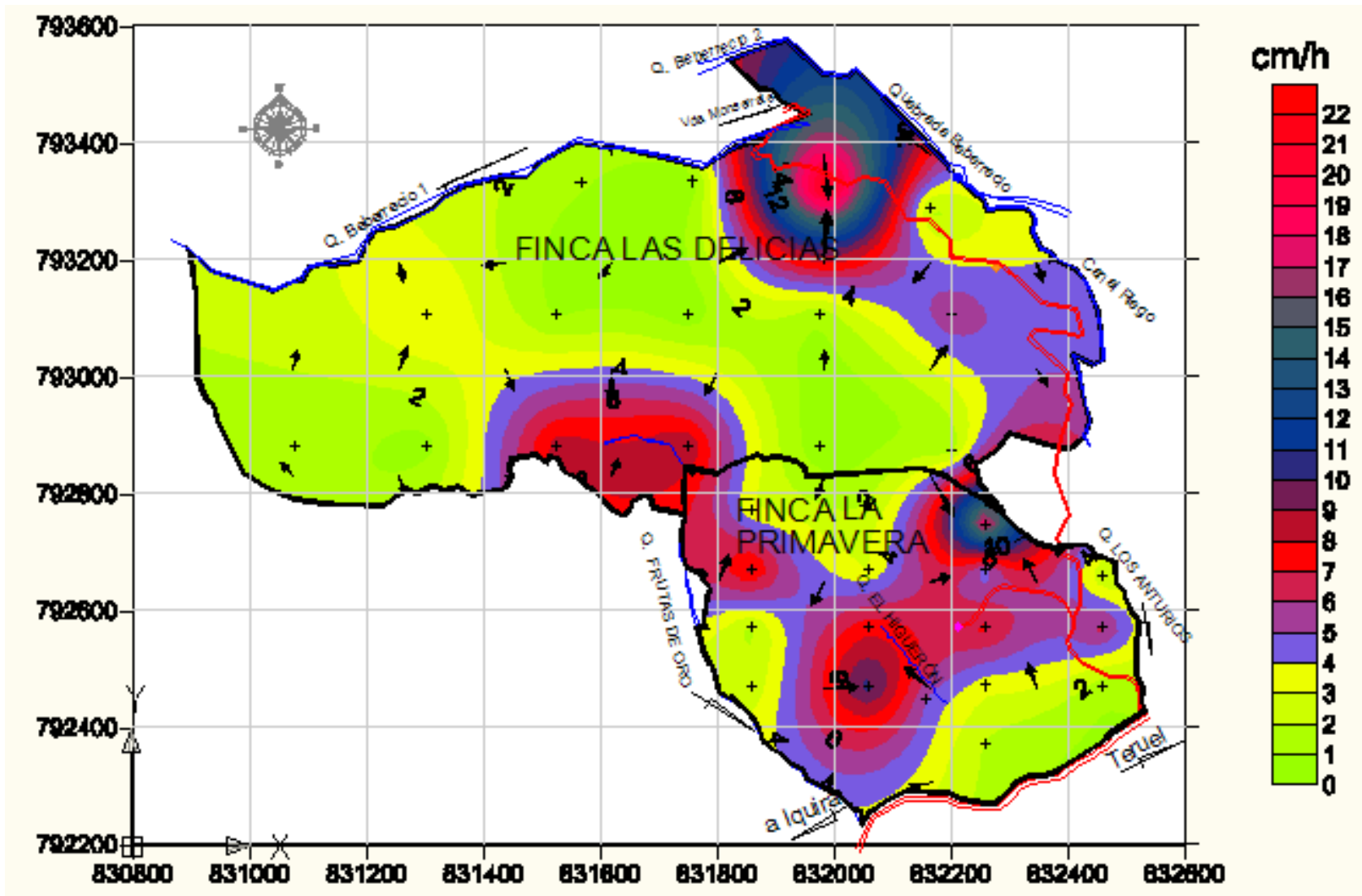
Mapa 9. Retención de humedad a punto de marchitez permanente del suelo



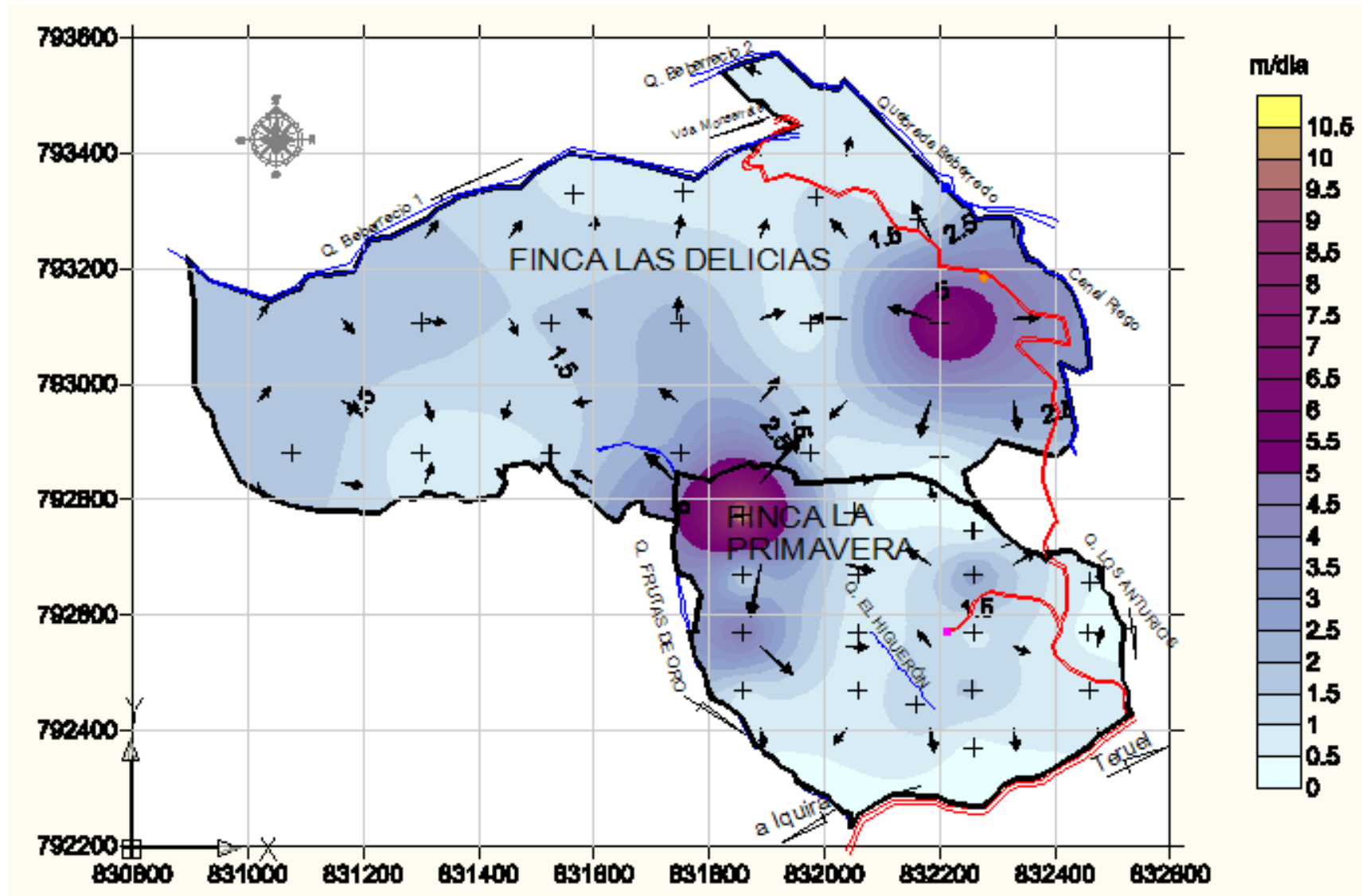
Mapa 10. Retención de humedad a capacidad de campo del suelo



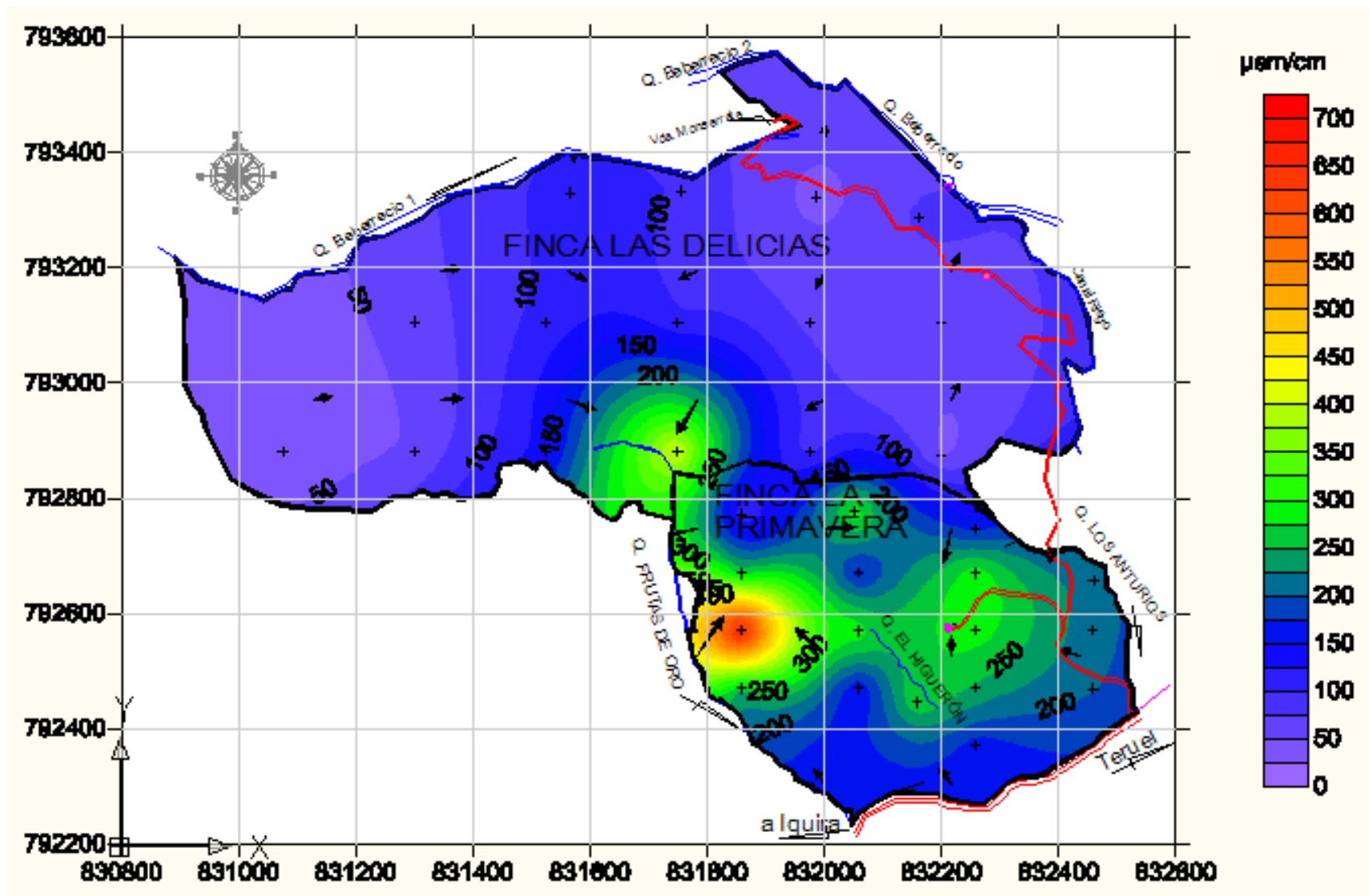
Mapa 11. Agua aprovechable del suelo



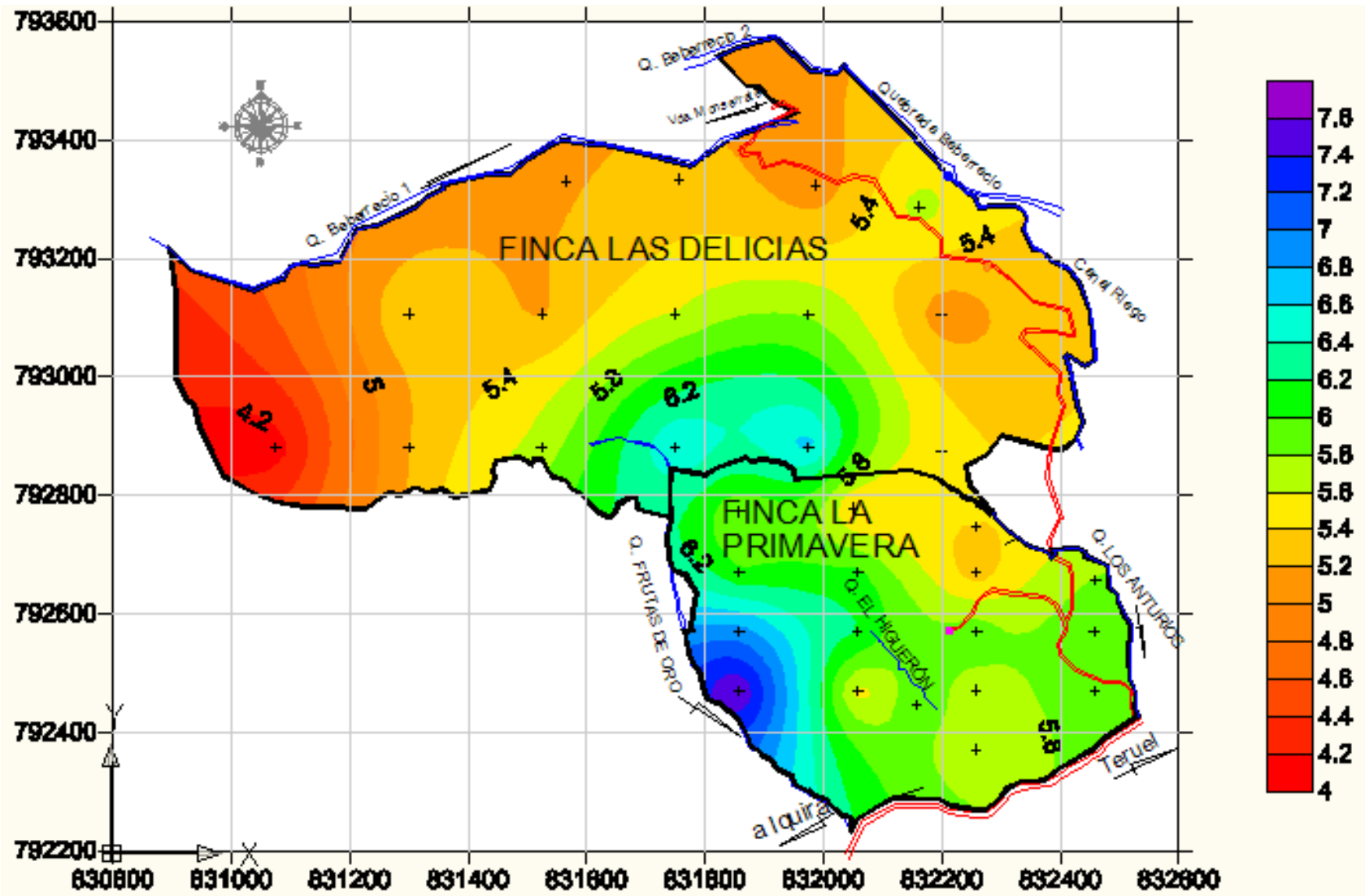
Mapa 12. Infiltración del suelo



Mapa13. Conductividad hidráulica saturada del suelo

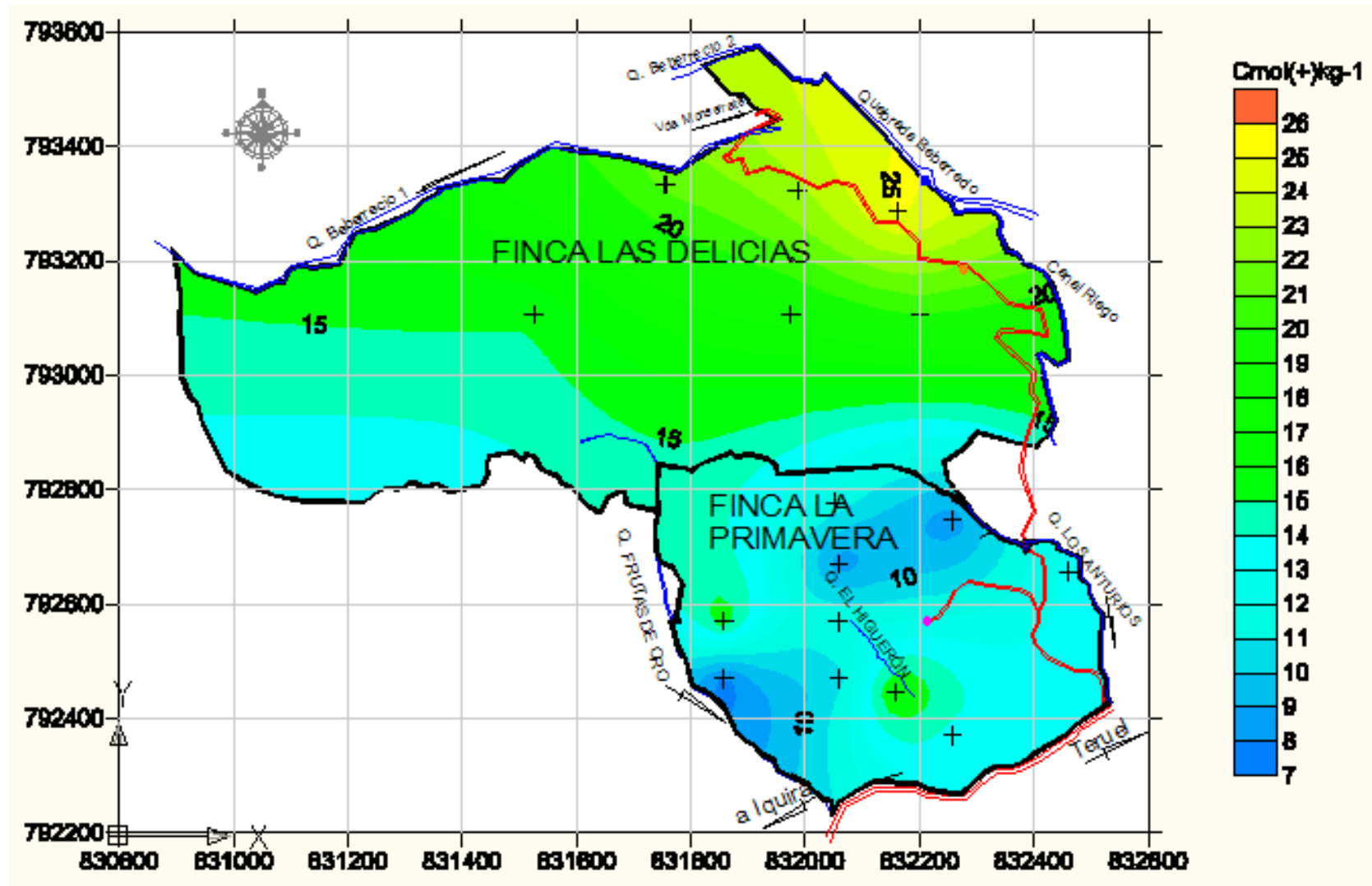


Mapa 14. Conductividad eléctrica del suelo

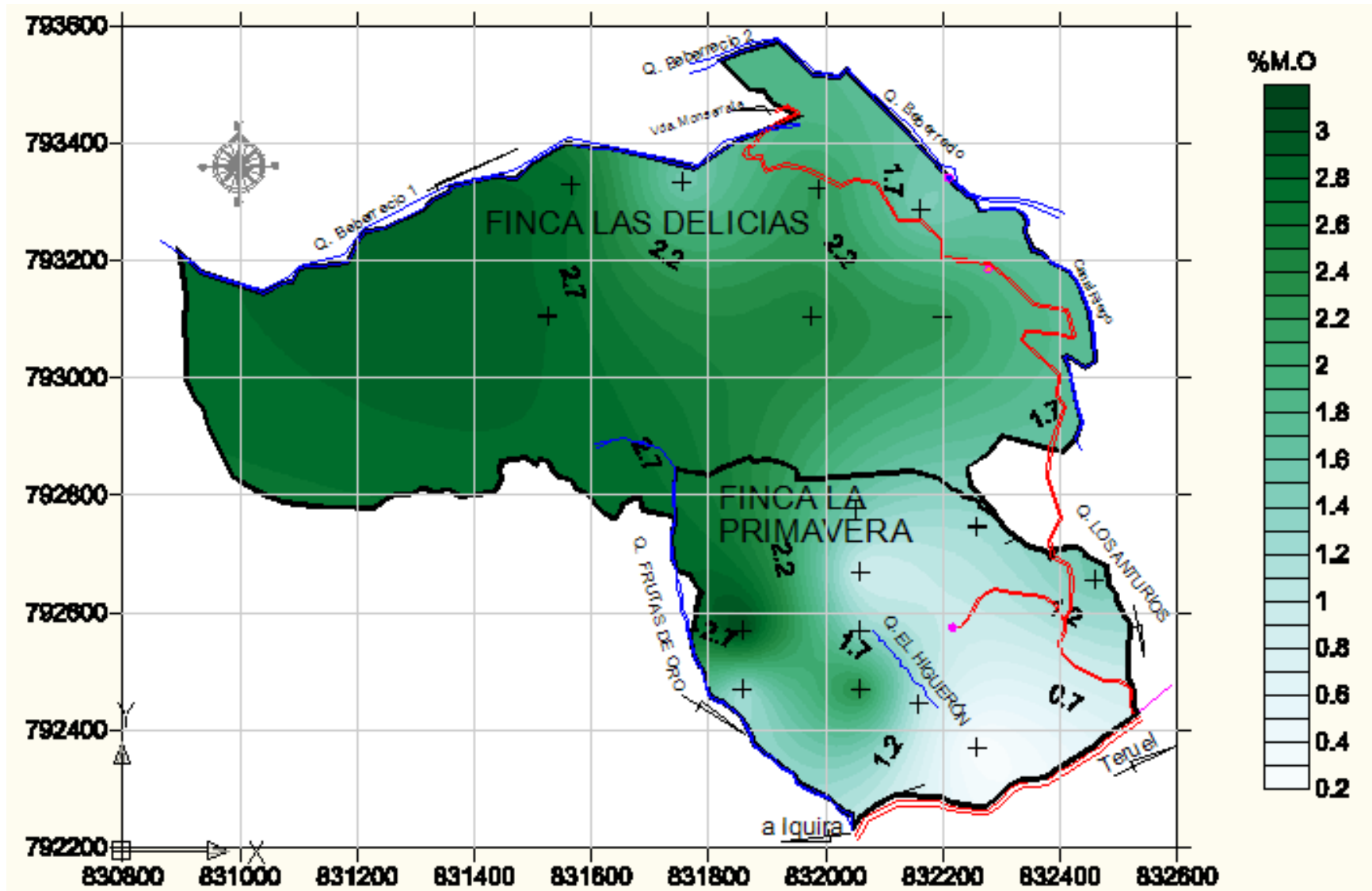


Mapa15. pH del suelo





Mapa 16. Capacidad de intercambio catiónico del suelo



Mapa17. Contenido de materia orgánica del suelo

#### 4.4 DESCRIPCION DE LOS SEMIVARIOGRAMAS

El modelo más utilizado fue el gaussiano, que mejor se ajustó a las variables de Dr, Da, i, K y CIC, seguido del modelo exponencial para las variables retención de humedad a PMP, CE, pH y MO, el modelo esférico se ajustó a la retención de humedad a CC y porosidad, por último el modelo lineal representa una alta dependencia para el agua aprovechable (figura 5).

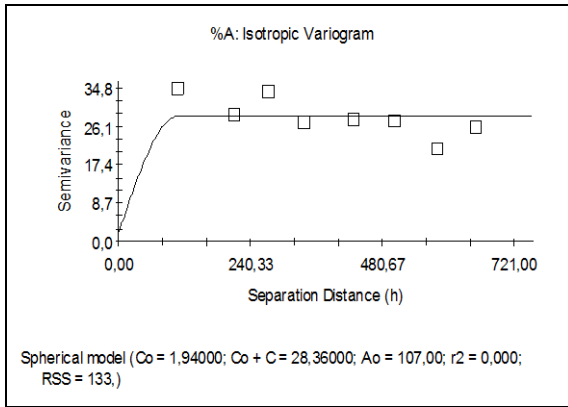
Para evaluar la dependencia espacial se utilizó el efecto Nugget relativo [ $\%C_0/(C_0+C)$ ], resultando fuerte dependencia 9 de las 13 variables estudiadas, estas fueron textura, Dr, Da, porosidad, CC, CEe, pH, CIC, MO con valores menores al 25%, mientras que las variables PMP, AA, i, k presentaron valores entre 25 y 75%, siendo moderadamente dependientes (tabla 5).

Tabla 5. Resumen de parámetros geoestadísticos de los semivariogramas

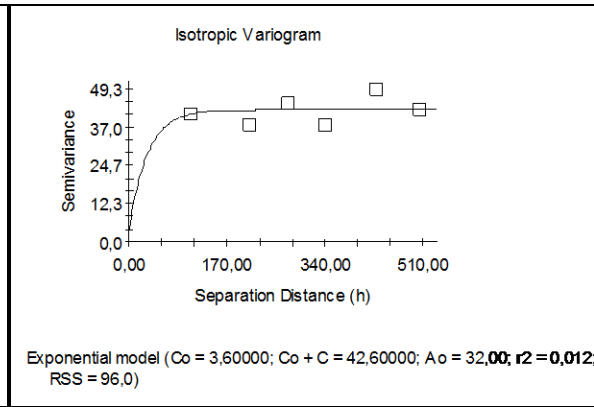
Variable	Modelo	$C_0$	$C_0+C$	$\%C_0/(C_0+C)$	$A_0$ (m)	$R^2$
%A	Exponencial	1,94	28,36	6,8	107,0	0,0
%Ar	Esférico	3,60	42,6	8,45	32,0	0,01
%L	Esférico	1,0	44,57	2,24	478,0	0,59
Dr	Gaussiano	0,01	0,86	0,70	1261,00	0,88
Da	Gaussiano	0,02	0,26	8,86	1883,00	0,81
P	Esférico	0,10	39,22	0,25	189,00	0,22
PMP	Exponencial	57,40	203,70	28,18	2110,00	0,50
CC	Esférico	14,10	57,38	24,57	399,00	0,68
AA	Lineal	20,88	38,92	53,65	892,51	0,63
i	Gaussiano	21,90	56,63	38,67	1259,00	0,56
K	Gaussiano	4,41	12,85	34,32	851,00	0,36
CEe	Exponencial	10300	41700	24,70	1445	0,25
pH	Exponencial	0,00	0,67	0,15	537,00	0,84
CIC	Gaussiano	3,90	58,80	6,63	618,00	0,78
MO	Exponencial	0,40	1651,00	0,02	1615,00	0,35

%A porcentaje de arena, %Ar porcentaje de arcilla, %L porcentaje de limo, Dr densidad real, Da densidad aparente, P porosidad, PMP punto de marchitez permanente, CC capacidad de campo, AA agua aprovechable, i infiltración básica, K conductividad hidráulica saturada, CEe conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo, CIC capacidad de intercambio catiónico, MO contenido de materia orgánica.

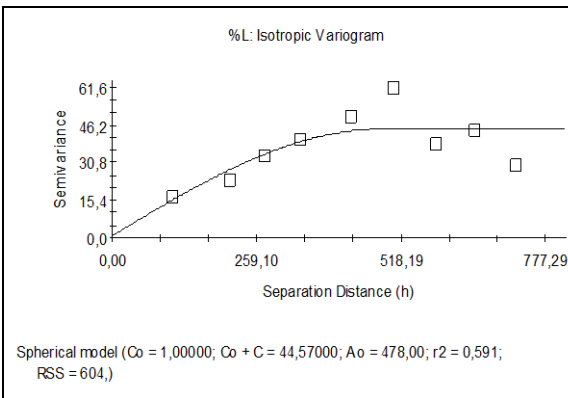
La mayor distancia o rango de dependencia espacial ( $A_0$ ) a la cual se estabiliza la semivarianza la obtuvo el semivariograma de la retención de humedad a punto de marchitez permanente con 2110 m, y la menor fue de 32 m para el porcentaje de arcilla indicando que las mediciones en distancias menores a los rangos de cada variable están correlacionadas, por encima de  $A_0$  los valores pierden veracidad.



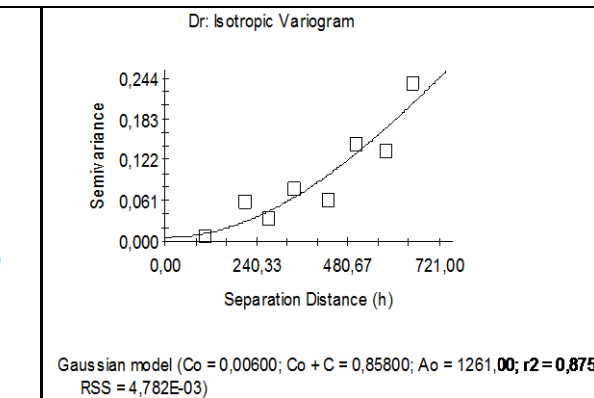
a. Porcentaje de arena



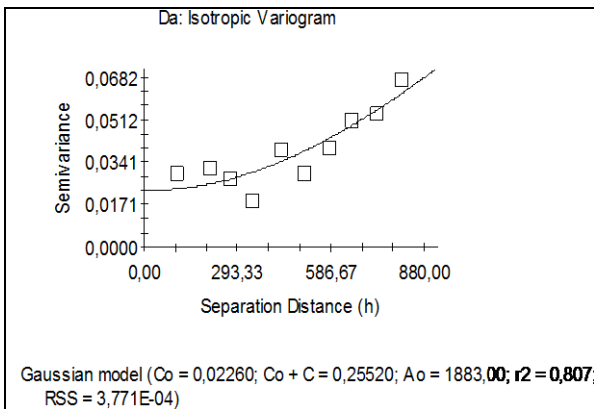
b. Porcentaje de arcilla



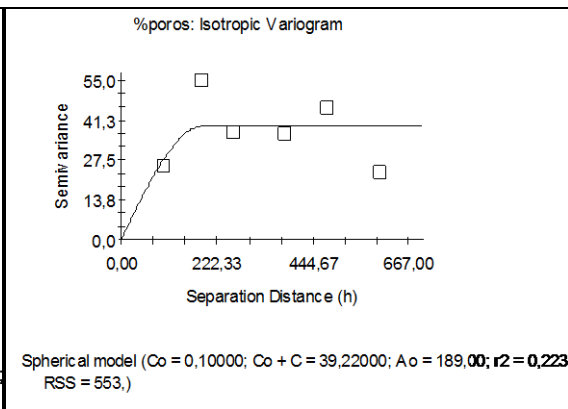
c. Porcentaje de limos



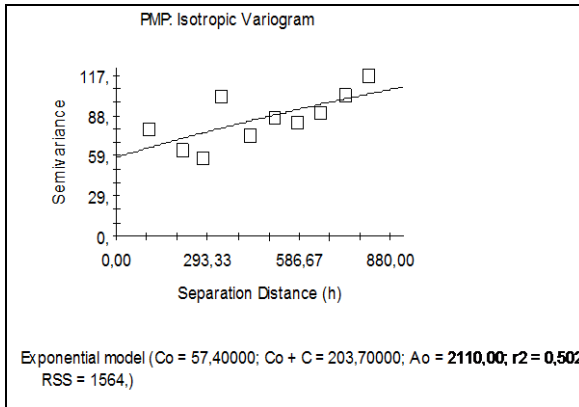
d. Densidad real del suelo



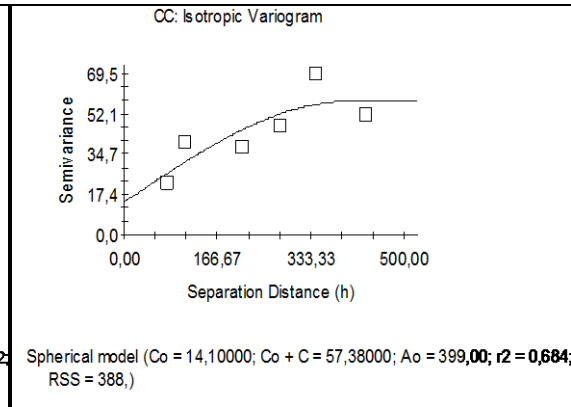
e. Densidad aparente del suelo



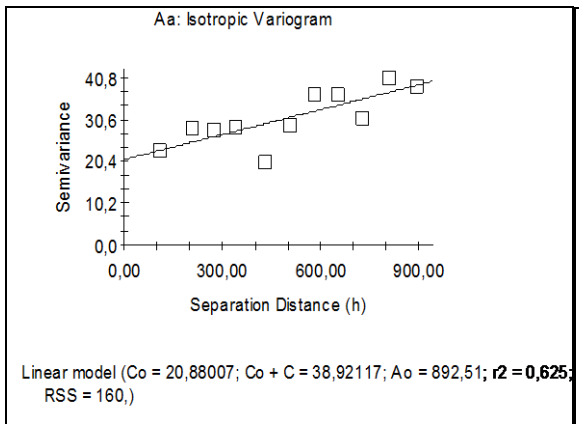
f. Porosidad del suelo



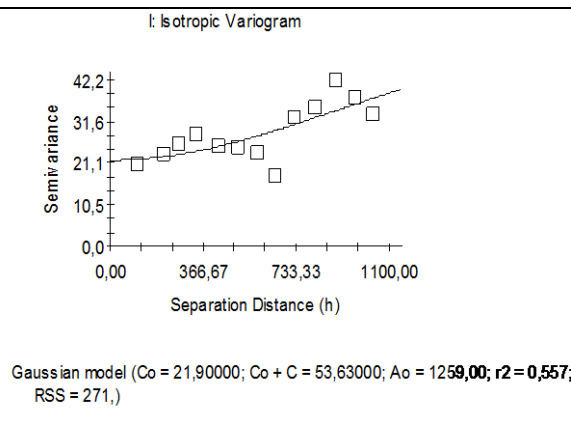
g. Punto de marchitez permanente



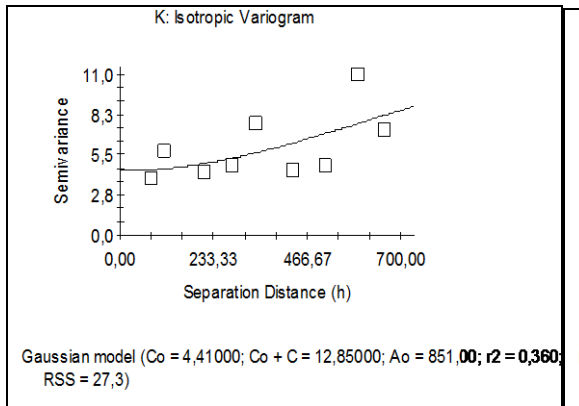
h. Capacidad de campo



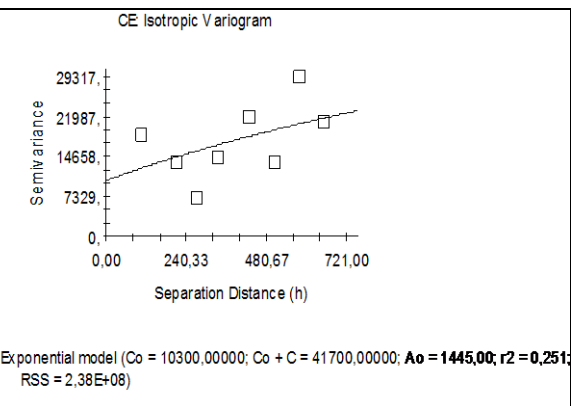
i. Agua aprovechable del suelo



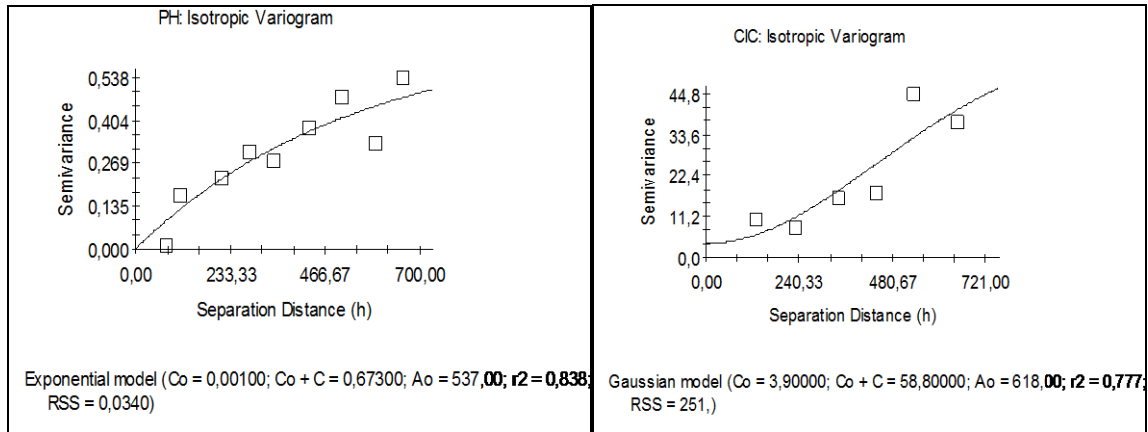
j. Infiltración básica del suelo



k. conductividad electrica del suelo

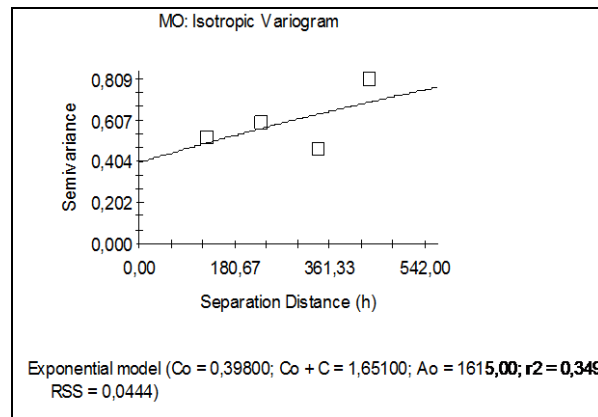


l. Conductividad hidráulica del suelo



m. pH del suelo

n. Capacidad de Intercambio catiónico del suelo



o. Materia orgánica del suelo

Figura 5. Semivariogramas de las propiedades físicas y químicas del suelo

#### 4.5 DESCRIPCION DETALLADA DE LOS SUELOS

A continuación se describen las características de los suelos estudiados en las tres calicatas de observación:

**Typic Durustepts.** Relieve ondulado con pendiente de 12.3%, temperatura ambiente de 25°C, con vegetación compuesta por árboles de Guácimo, Payande, Dinde, Diomate, Garrucho, Gualanday, sobre la zona se presenta erosión del tipo golpe de cuchara; el régimen de humedad es ústico, 20 cm de profundidad efectiva, material parental compuesto por arcillolitas y temperatura freática de 30°C, con drenaje externo bueno, drenaje interno deficiente y drenaje natural perfecto. Las demás características se muestran en la tabla 6 y foto 15.

Tabla 6. Características edáficas del *Typic Durustepts*

Horizonte	A	B	C1	C2	C3	C4
Profundidad (cm)	0-23	23-48	48-90	90-120	120-140	140-200
color	10YR3/2	10YR3/3	10YR6/4	10YR5/8	10YR4/6	10YR5/4
Textura	F	FAr	ArA	ArL	Ar	Ar
Modificación textura				gravoso		pedregoso
Estructura	Bloque angular	Bloque angular	Prismática	Sin	Sin	Sin
Topografía horizonte	Plana	irregular	irregular	Plana	Plana	Plana
Consistencia en seco	dura	muy dura	dura	blanda	dura	muy dura
Pegajosidad	ligeramente pegajosa	pegajosa	ligeramente pegajosa	ligeramente pegajosa	muy pegajosa	muy pegajosa
Poros	muchos, finos, discontinuos intersticiales	frecuentes, finos, discontinuos intersticiales	muchos, continuos, intersticiales	muchos, medianos, continuos	pocos, finos, discontinuos	
Plasticidad	ligeramente plástica	plástica	no plástica	no plástica	no plástica	no plástica
Microorganismos	poca	poca	no hay	no hay	no hay	no hay
Raíces	regulares	pocas	pocas	no hay	no hay	no hay

***Typic Haplustepts - Las Delicias.*** Presenta un relieve ligeramente escarpado con pendiente mayor del 25%, temperatura ambiente de 25°C y edáfica de 17°C, con vegetación compuesta por Guácimo, chaparro y pastos enrastrados, régimen de humedad ústico, seco hasta los 50 cm de profundidad, con 30 cm de profundidad efectiva, drenaje interno y externo bueno. Las demás características se muestran en la tabla 7 y foto 16.

Tabla 7. Características edáficas del *Typic Haplustepts- Las Delicias*

Horizonte	A	B	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
Profundidad (cm)	0-46	46-82	82-134	134-200
Color	10YR3/2	10YR3/6	7,5YR5/8	2,5Y6/4
Textura	F	FArA	ArA	Ar
Fragmentos	gravilla	pedras		
Estructura	Bloque subangular	Bloque angular	Granular	Sin
Topografía Horizonte	irregular	irregular	irregular	Plana
Consistencia en seco	dura	dura	ligeramente dura	blanda
Pegajosidad	no pegajosa	ligeramente pegajosa	ligeramente pegajosa	muy pegajosa

<b>Poros</b>	pocos, finos, discontinuos intersticiales	muchos, finos y medianos, intersticiales	frecuentes, medianos	pocos, finos
<b>Plasticidad</b>	ligeramente plástica	plástica	no plástica	no plástica
<b>Microorganismos</b>	poca	poca	no hay	no hay
<b>Raíces</b>	abundantes	pocas	no hay	no hay

**Typic Haplustepts - La Primavera.** Presenta relieve ligeramente quebrado con pendiente mayor del 12%, temperatura ambiente de 25°C y edáfica de 17°C, con vegetación compuesta por Guácimo, chaparro y pastos en rastrojados, el régimen de humedad es ústico, seco hasta los 70 cm de profundidad, con 30 cm de profundidad efectiva, drenaje interno y externo bueno con limitaciones por cascajo. Las demás características se representan en la tabla 8 y foto 17.

Tabla 8. Características edáficas del *Typic Haplustepts* - La Primavera

Horizonte	A	B	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
<b>Profundidad (cm)</b>	0-28	28-35	35-125	125-200
<b>color</b>	10YR2/2	10YR2/1	7,5YR3/3	2,5YR5/4
<b>Textura</b>	Ar	FAr	FArA	ArA
<b>fragmentos</b>	cascajo	gravilla, cascajo, piedra	cascajo	
<b>Estructura</b>	Bloque angular	Bloque angular	Bloque subangular	Granular
<b>Topografía horizonte</b>	irregular	irregular	irregular	irregular
<b>Consistencia en seco</b>	blanda	dura	dura	ligeramente dura
<b>Pegajosidad</b>				no pegajosa
<b>Poros</b>	frecuentes, gruesos, continuos, intersticiales	pocos, finos y medianos, discontinuos	frecuentes, finos y medianos continuos	pocos, finos, continuos
<b>Plasticidad</b>	ligeramente plástica	plástica	no plástica	no plástica
<b>Microorganismos</b>	regular	poca	no hay	no hay
<b>Raíces</b>	abundantes	regulares	pocas	no hay



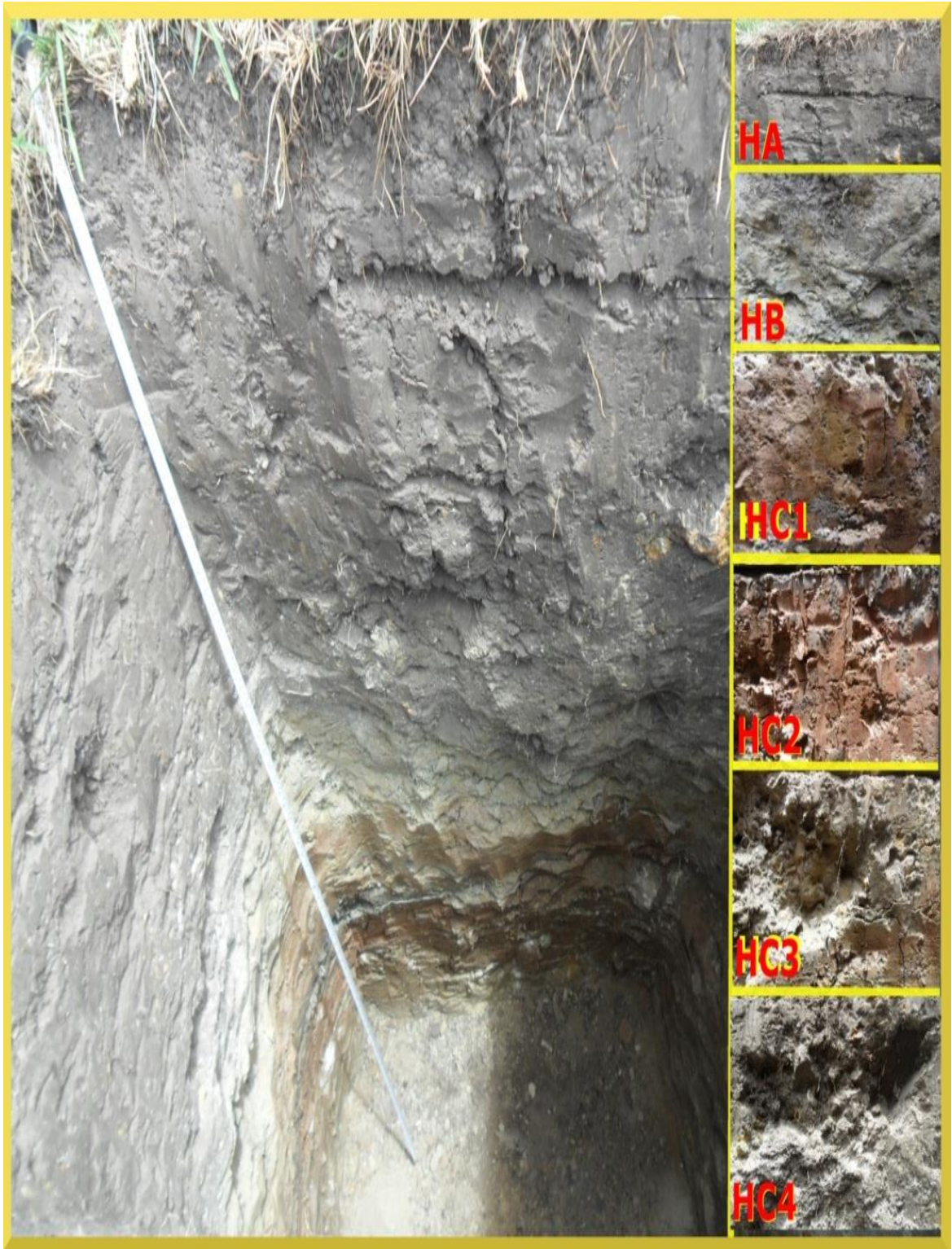


Foto 15. *Typic Durustepts*

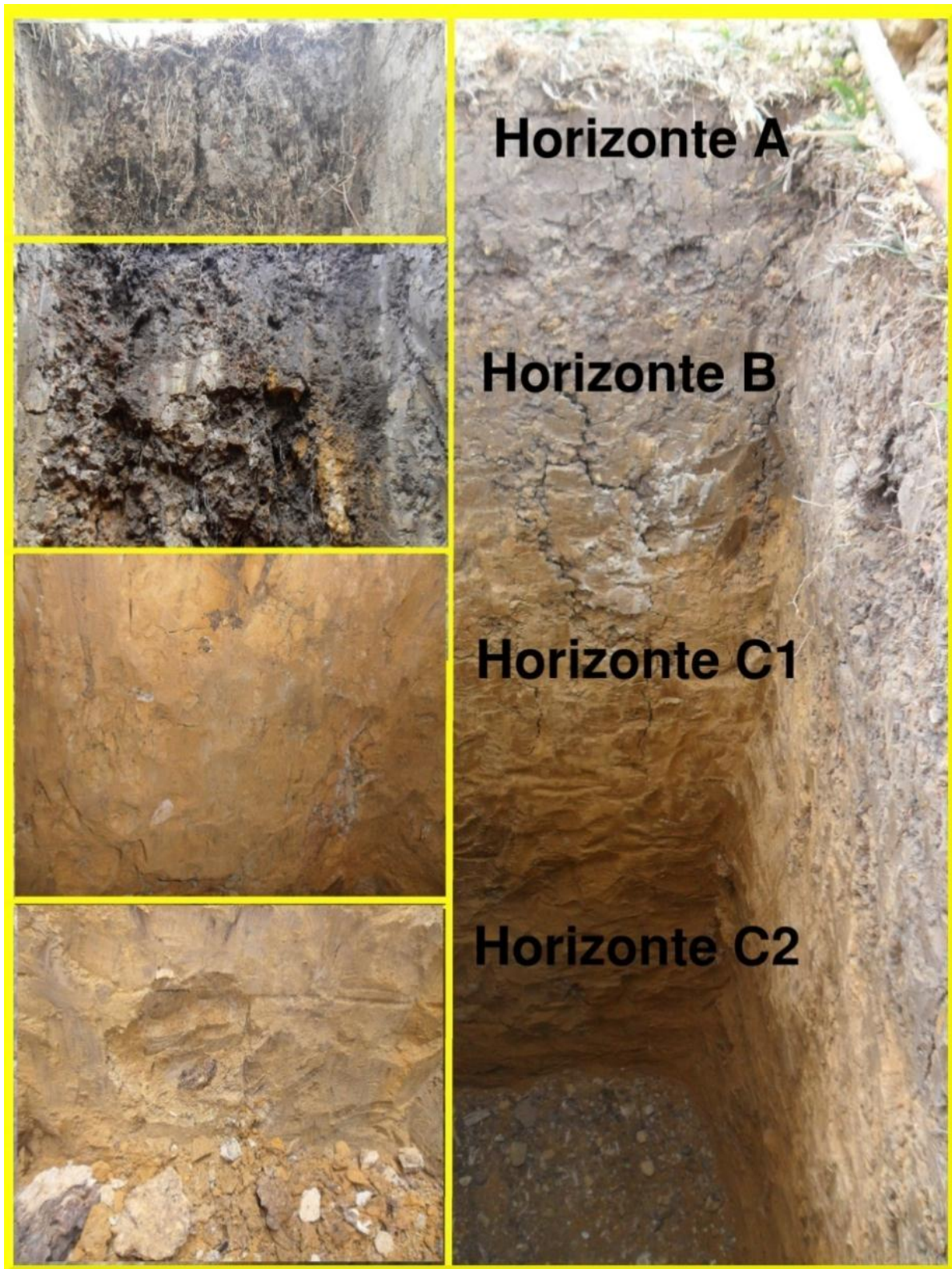


Foto16. *Typic Haplustepts- Las Delicias*

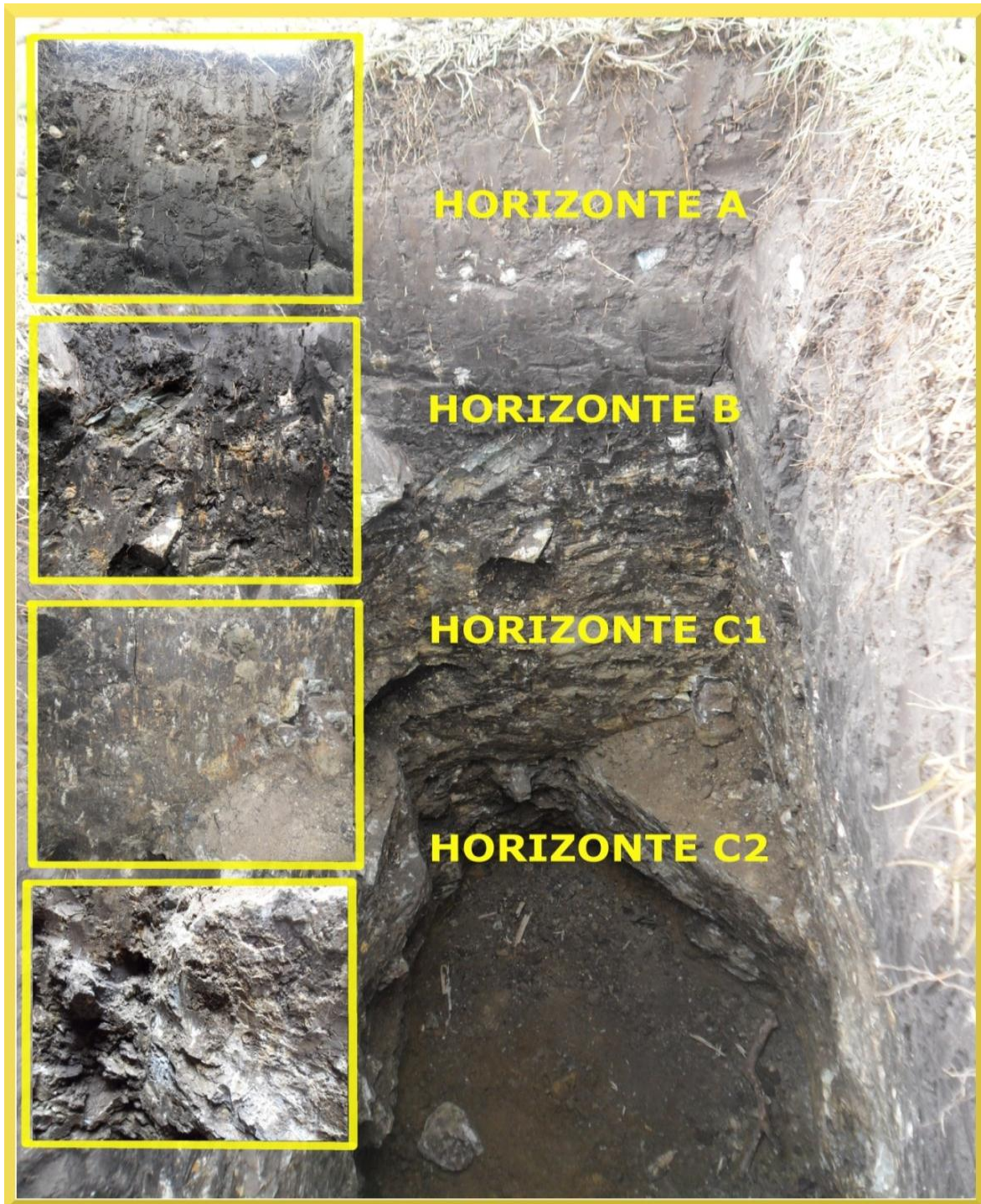


Foto 17. *Typic Haplustepts - La Primavera*

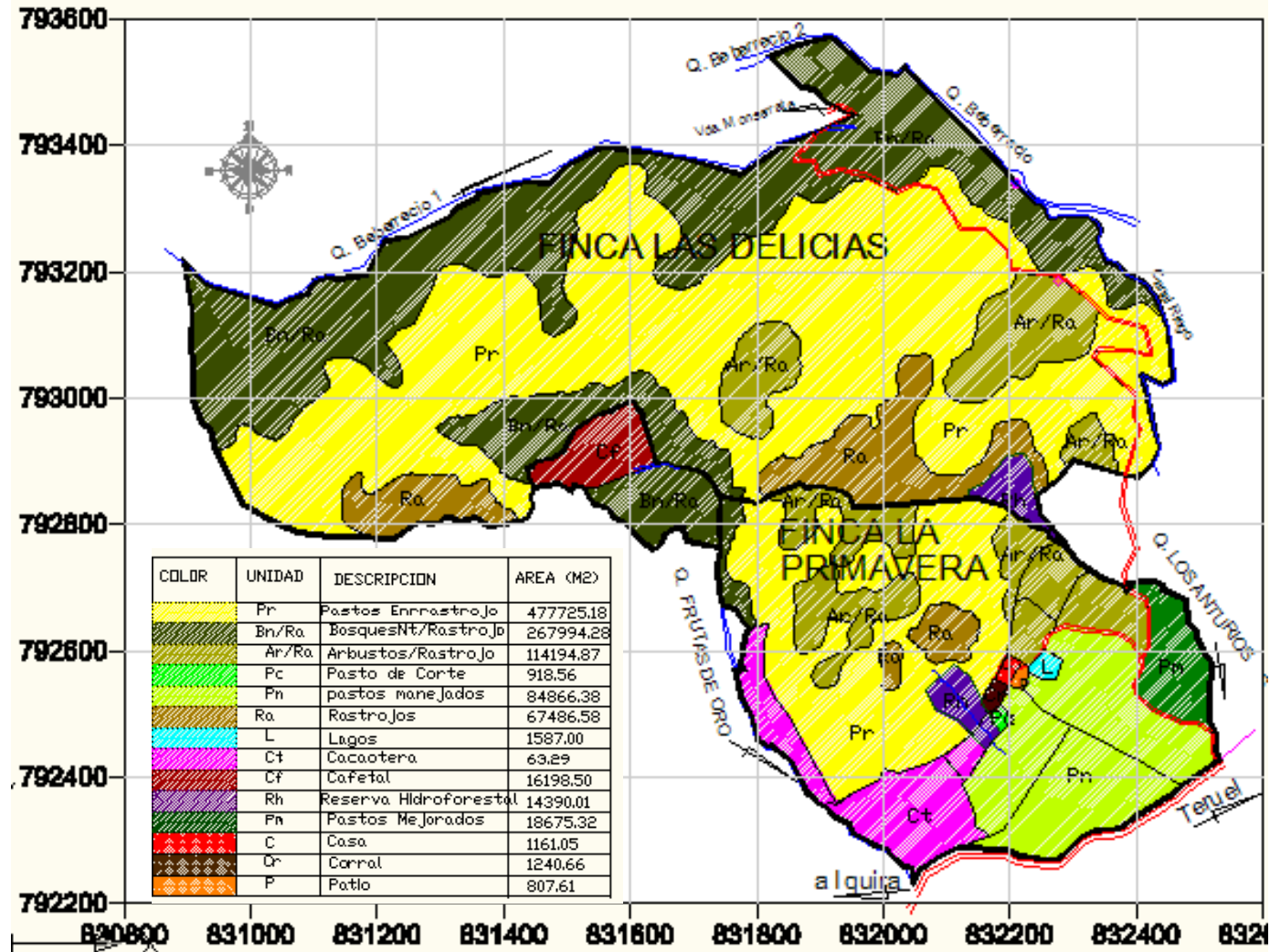
**4.5.1 Estabilidad estructural.** El diámetro ponderado medio (DPM) para los tres suelos resultó entre 0.5 y 1.5 mm, clasificados como ligeramente estables estructuralmente (tabla 9).

Tabla 9. Clasificación de la estabilidad estructural de los suelos

Suelo	DPM (mm)	Clasificación
<i>Typic Durustepts</i>	0,57	ligeramente estable
<i>Typic Haplustepts</i> - Las Delicias	0,63	ligeramente estable
<i>Typic Haplustepts</i> - La Primavera	0,58	ligeramente estable

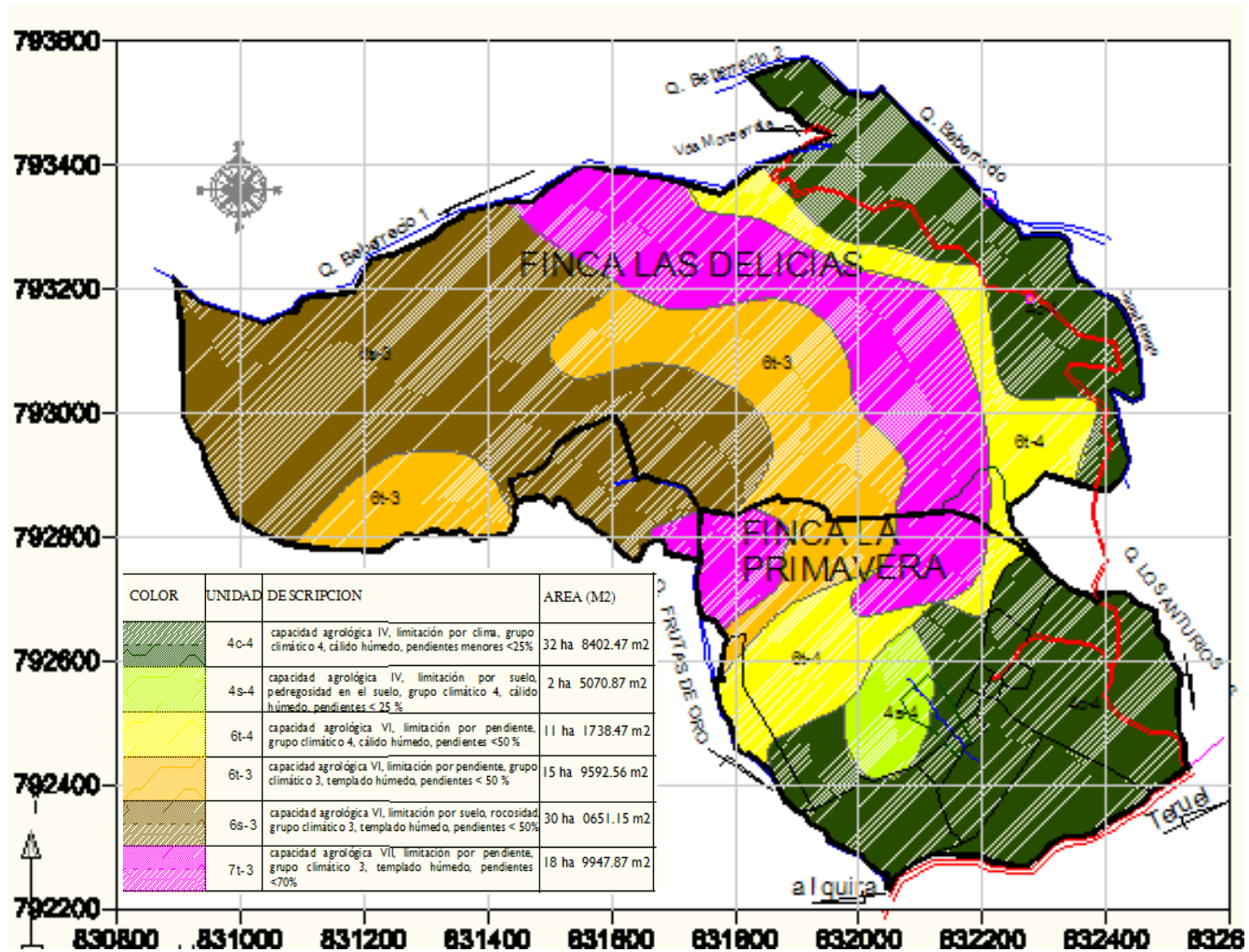
**4.5.2 Color del suelo.** El color característico de los suelos estudiados fue el matiz 10YR, seguido de la 2.5Y, con café oscuro en el primer horizonte pasando a café claro y amarillo, en algunos casos debido al contenido de materia orgánica que decrece en forma regular al aumentar la profundidad del suelo. A excepción del perfil 14, donde se observó la tonalidad rojiza debido al contenido de arcillas (anexo O).

#### 4.6 USO ACTUAL DEL SUELO



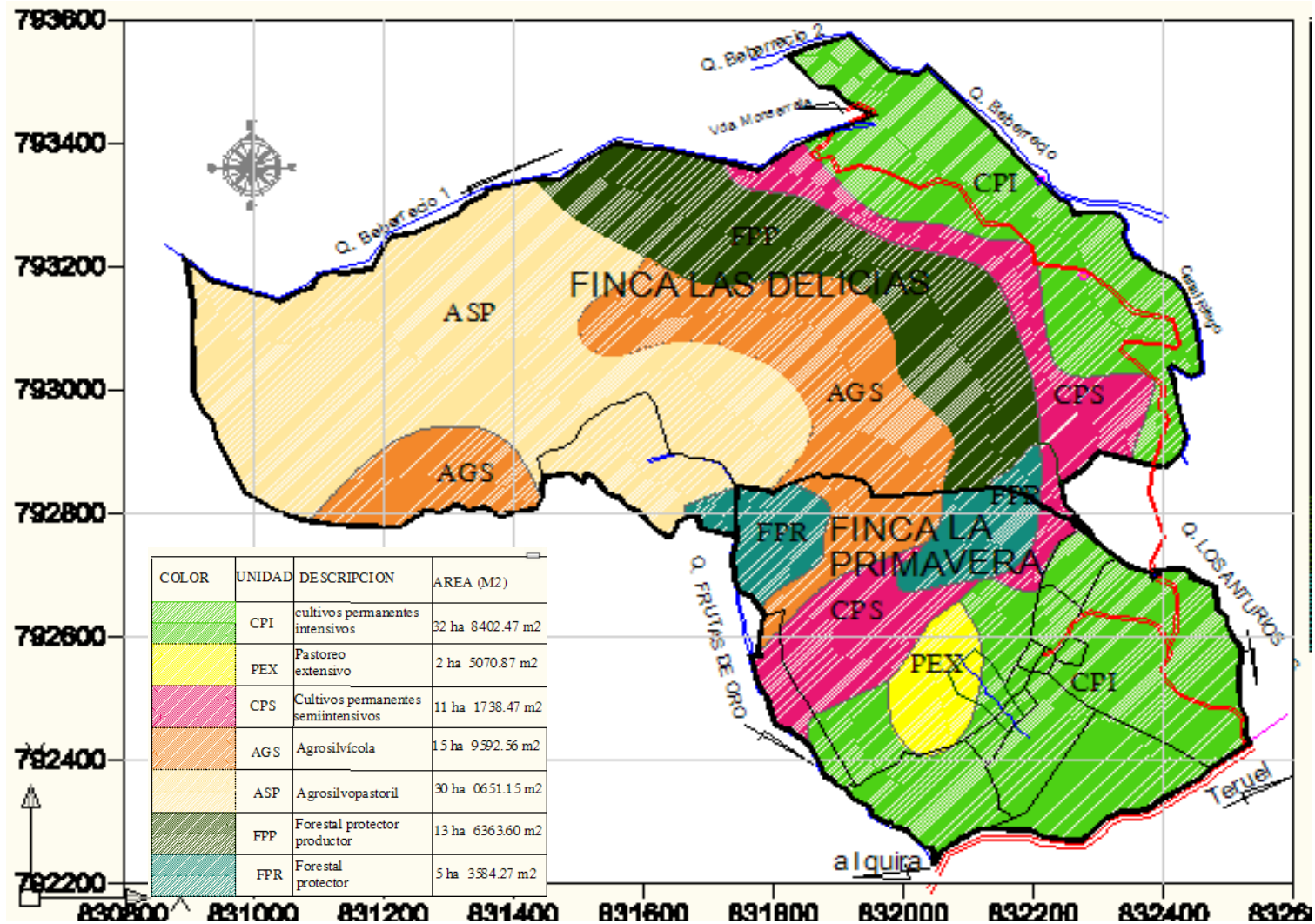
Mapa18. Uso actual del suelo La Primavera – Las Delicias

#### 4.7 CLASIFICACION AGROLOGICA DEL SUELO



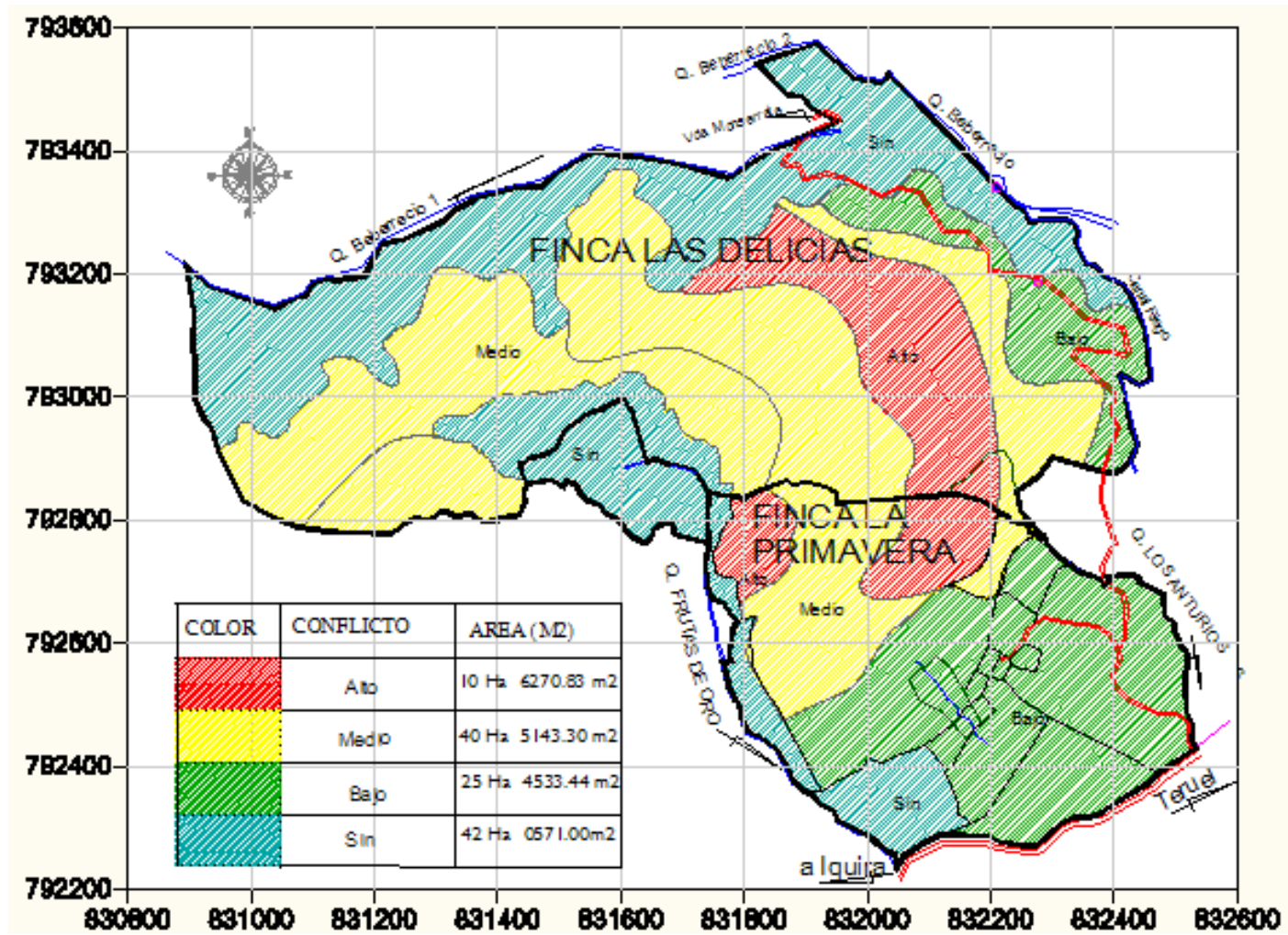
Mapa19. Clasificación agrológica del suelo La Primavera – Las Delicias

#### 4.8 USO POTENCIAL DEL SUELO



Mapa20. Uso potencial del suelo La Primavera – Las Delicias

#### 4.9 CONFLICTO DE USO



Mapa 21. Conflicto de uso La Primavera – Las Delicias



## 5. CONCLUSIONES

La variabilidad espacial del suelo está estrechamente asociada con las variaciones de textura y manejo del suelo como de los factores bioclimáticos del área. Existe fuerte dependencia espacial en las variables materia orgánica, pH, densidad real, densidad aparente, porosidad, conductividad eléctrica y coeficiente de capacidad de campo, y moderada dependencia en las variables agua aprovechable, coeficiente de punto de marchitez permanente, infiltración básica y conductividad hidráulica saturada.

La materia orgánica del suelo es la variable con mayor dependencia espacial, alcanzando los 1615 m.

La conductividad hidráulica saturada del suelo presentó la mayor variabilidad con un coeficiente de variación del 128%, por el contrario la densidad real del suelo presentó la menor variación (4%).

Según el relieve, el clima y las características físico-químicas del suelo, se seleccionaron e identificaron zonas con aptitud agrícola para cultivos permanentes intensivos en 32.8 ha, en cultivos permanentes semi-intensivos 11.2 ha, en asociación agrosilvícola 15.9 ha, asociación agrosilvopastoril 30.6 ha, pastoreo extensivo 2.5 ha, forestal productor 13.6 ha y forestal protector 5.4 ha.

Los mapas de uso actual y uso potencial permitieron clasificar los conflictos de uso del suelo así: áreas sub-explotadas destinadas a la protección de fuentes hídricas 42.1 ha y áreas de aislamiento y protección 10.6 ha, estas últimas dedicadas a la ganadería extensiva que deben ser utilizadas con barreras vivas.

## 6. RECOMENDACIONES

De acuerdo al uso potencial del suelo, las zonas que están en bosque protector a las orillas de los afluentes y nacederos, son aptas para asociaciones agrosilvopastoriles bajo conservación de las fuentes hídricas como el valor ecosistémico de la finca.

La zona agrosilvopastoril (ASP) que comprende la parte alta de Las delicias, se recomienda solo la asociación silvícola y pastoril, excluyendo los árboles frutales, debido a la escasa profundidad efectiva del suelo. Esta asociación se puede establecer con especies maderables y pastos mejorados para ganadería.

La zona agrosilvícola (AGS) es apta para el establecimiento de sistemas asociados a especies forestales con cultivos permanentes. Se puede incorporar en frutales bajo un manejo de plan de riego y fertilización adecuado. La especie maderable a seleccionar debe no ser muy frondosa, con espaciamiento de 9 m aproximadamente entre árboles para evitar la competencia por luz.

La zona para cultivos permanentes semi-intensivos (CPS) es apta para cultivos de ciclo vegetativo superior a un año, requieren moderada inversión de capital para su establecimiento, adecuada tecnología y mano de obra calificada, como mantener la cobertura vegetal, más no requieren laboreo frecuente del suelo. Como ejemplos se mencionan café tradicional, cacao, plátano, caña panelera y frutales como el aguacate.

En la zona para cultivos permanentes intensivos (CPI) se deben implantar cultivos de ciclo vegetativo superior a un año, requieren alta inversión de capital para su establecimiento, adecuada tecnología y mano de obra calificada, el manejo de coberturas nobles más no requieren laboreo frecuente del suelo. Como ejemplos se mencionan café, cacao, palma de aceite, plátano, banano, caña de azúcar, caña panelera y frutales.

Como las condiciones estructurales del suelo son limitantes debido a la compactación por prácticas de sobrepastoreo, se recomienda hacer un ahoyado profundo y amplio para la siembra de cultivos permanentes, esto con el fin de incrementar la profundidad efectiva en el suelo.

En la zona alta de las Delicias, se debe construir un reservorio o tanque de almacenamiento para el abastecimiento de riego de las especies frutales; se sugiere implementar el método de riego por goteo en las áreas de mayor pendiente y microaspersión en áreas onduladas para evitar la erosión por escorrentía.

La zona baja de La Primavera presenta las mejores condiciones para la implementación de cultivos permanentes semi-intensivos, junto con la zona baja hacia el sector oriental de la finca Las Delicias con un total de 32,8 ha. Según la clase agrológica, se recomienda la incorporación de materia orgánica para mejorar las características físicas del suelo.

## 7. BIBLIOGRAFIA

ACEVEDO, D. C., Álvarez M. E., Hernández E., Maldonado R., Pérez M. y Castro R. 2008. Variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo y su uso en el diseño de experimentos. Universidad Autónoma Chapingo, Terra Latinoamericana, Vol. 26, Núm. 4, pp. 317-324

ACEVEDO, C. D., O. Palacios V. y Ruiz F. 1996. Comparación de métodos de interpolación en variables hídricas del suelo. *Agrociencia* 30: 329-343.

BRAVO C., Cabrera J., Carvallo M., Canchica H., Ramirez E. y González I. 2008. Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con el rendimiento de frijol (*Vigna Unguiculata* L.) en una parcela experimental de los Llanos Centrales Venezolanos, Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNER *Revista Científica Agropecuaria* vol 12, núm1, p15-23

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

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

FERNÁNDEZ O., Reyes J. y Matheus, J. 2007. Influencia de la variabilidad espacial de algunas propiedades del suelo sobre el rendimiento del cultivo de caña de azúcar (*saccharum officinarum*). Universidad de los Andes, departamento de Ciencias Agrarias, Agricultura Andina, volumen 13.

GARZÓN C. A., Cortés C. A., Camacho J.H. 2010. Variabilidad espacial de algunas propiedades químicas en un Entisol, *Spatial Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient.* 13 (1) p. 87-95.

GIRALDO S. y Mendoza A. M. 2003. Caracterización de la variabilidad espacial de Las propiedades físicas de los lotes experimentales destinados al cultivo de hortalizas en CEUNP. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería- Palmira p. 102.

GUATIBONZA M., Álvarez J. G. y Sanabria J. E. 2009. Distribución espacial de la conductividad hidráulica en un lote de la granja Tinguavita (Paipa, Colombia)

Universidad Nacional de Colombia-Bogotá, Agronomía Colombiana, vol. 27, núm. 2, p 261-271.

GUERRERO, R. 1991. La acidez del suelo: Su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. SCCS. Bogotá. p 141-163.

HENRÍQUEZ M. y Vilorio J. 1997. Número de observaciones para obtener semivariogramas de algunas propiedades de suelo y distancias de muestreo. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT), Venezuela, p 27.

INGEOMINAS 2002. Plancha 344, Tesalia.

IGAC, 2009. Estudio general de suelos y zonificación de tierra departamento del Magdalena. Instituto Geográfico Agustín Codazzi ,145-168.

IGAC, 2007 Métodos analíticos de laboratorio de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. p 8-411.

JARAMILLO D. F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Medellín – Colombia, 619 Pág.

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

JARAMILLO D. F. 2012, Variabilidad espacial del suelo: Bases para su estudio, Universidad Nacional de Colombia- Medellín, Revista de la Facultad de Ciencias, vol 1, núm1, p 73-87.

LADINO A. 2010. Caracterización de propiedades físico-químicas de los suelos de la zona cafetera del municipio de Isnos con el fin de establecer su aptitud de uso y manejo. Tesis Ingeniería Agrícola, Universidad Surcolombiana- Neiva. p74.

LONDOÑO L. A., Ramírez J. R., Ramírez G. I., Ordóñez C. A. 2010. Modelo de interpolación espacial mediante sistemas de información geográfica para el estudio de la variabilidad espacial de la resistencia a la penetración del suelo. Universidad Nacional de Colombia - Medellín, Dyna, vol. 77, núm. 164, p. 109-118.

MÉNDEZ F. y Zapata F. 2010. Variabilidad espacial de la salinidad en suelos regados con aguas residuales del sistema de riego Taiguaiguay-Venezuela. *Interciencia*, vol. 35 núm 5 357-362.

MONTANARI R., Passos E. M., Alves M. C., Dafonte J., Paz A. y Machado G. Variabilidad espacial de propiedades físicas de un ferralsol en Selvíria (Ms, Brasil), UNESP. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira - Av. Brasil, 56, Centro, CP 31, 15385-000.

MORENO M. 2011. Variabilidad espacial de las propiedades físicas, químicas y biológicas de dos suelos agrícolas de la provincia de Quebec, Canadá. Departamento de Ingeniería, Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 28: p 223-241.

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

OBANDO F. H., Villegas A. M.; Betancur J. H.; Echeverri L. 2006. Variabilidad espacial de propiedades químicas y físicas en un typic udvitrand, arenoso de la región andina central Colombiana, Universidad Nacional de Colombia - Medellín, *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, vol. 59, núm. 1, pp. 3217-3235.

OLAYA A. D. F. 2007. Variabilidad espacial para la adecuación de tierras con riego superficial en la granja "La Universidad", distrito Juncal – Municipio de Palermo. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Surcolombiana, Neiva. 110 p.

OCHOA, W.A. 2001, Variabilidad espacial del nitrógeno disponible en dos andisoles de la zona cafetera, Palmira- Valle. Universidad Nacional de Colombia p77.

OVALLES, F. 1992. Metodología para determinar la superficie representada por muestras tomadas con fines de fertilidad. FONAIAP-CENIAP-IIAG. Maracay. 44 p.

RAMOS, A. Diagnóstico y plan de manejo ambiental de la cuenca hidrográfica de la quebrada Beberrecio del Municipio de Teruel-Huila. Trabajo de grado Maestría en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos. Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería p 66-67.

RON M. M., Orden L., Mandolesi M. E. Jürgen R. 2011. Variabilidad espacial de fertilidad química del suelo en un diseño de bloques. *SJSS*, vol1, núm1.p 04.

RUBIANO D. J. 2010. Variabilidad espacial de las propiedades del suelo en relación con su producción, en plantaciones industriales de Ceiba Roja (*pachira quinata*). Universidad Nacional, Facultad de Agronomía. Tesis de grado. MSc. Geomática. p130.

SAINZ H. R., Echeverria H. E. y Angelini H. P. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones Pampeana y Extrapampeana-Argentina.

TOVAR, F. L. 2012. Diagnóstico y plan de manejo de la cuenca hidrográfica de la quebrada la Cañada, municipio de Teruel, departamento del Huila, Universidad Surcolombiana, Neiva. 215 p.

TORRENTE A. 2003. Características físicas e hidrodinámicas en suelos con alta saturación de magnesio en el Valle Del Río Cauca - Colombia Universidad Nacional de Colombia-Palmira, Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas, p 234.

TRANGMAR, B. B.; Yost, R. S. and Uehara, G. 1985. Application of geostatistic to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*. 38: 45-94.

TRUJILLO O. 2011. Oferta edáfica en un suelo de la asociación Zarzal (za), bosque seco tropical-Valle del Cauca, bajo pastoreo de bovinos. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia-Palmira, Facultad de Ciencias Agropecuarias p 91.

USDA. 2006. Claves para la taxonomía de suelos, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Décima Edición, p 339.

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

ZARAZÚA V. P.; González-Eguiarte, D. R.; Nuño-Romero, R.; Ruiz- Corral, J. A.; Torres-Morán, J. P. 2007. Variabilidad espacial del pH del suelo en tres parcelas agrícolas. *Terra Latinoamericana*, Vol. 25, Núm. 2, Universidad Autónoma Chapingo, México pp. 203-210.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA, 2009. Manual Laboratorio de Suelos, Facultad de Ingeniería. p.1-5.

# ANEXOS



## ANEXO A. CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO

Valores comunes del coeficiente de variación para algunas propiedades del suelo, tomados del vauclín (sf)

PROPIEDAD	RANGO DE VARIACION DEL CV (%)
<b>Densidad aparente</b>	60 - > 400
<b>Conductividad eléctrica</b>	25 - ~ 250
<b>Materia orgánica</b>	25 - 100
<b>pH</b>	0 - 25

*Fuente: Jaramillo, 2002*

Rangos de clasificación de la densidad real, densidad aparente y porosidad del suelo

DENSIDAD REAL (g.cm <sup>-3</sup> )	DENSIDAD APARENTE (g.cm <sup>-3</sup> )	POROSIDAD (%)	CLASIFICACIÓN
<b>&lt;2.4</b>	<1.0	<40	Muy bajo
<b>2.4 – 2.6</b>	1.0 – 1.2	40-45	Bajo
<b>2.6 – 2.8</b>	1.2 – 1.45	45-55	Medio
<b>&gt;2.8</b>	1.45 – 1.60	55-65	Alto

*Fuente: Cairo, 1995*

Rangos de clasificación de la infiltración y conductividad hidráulica del suelo

I (cm.h <sup>-1</sup> )	K(m.día <sup>-1</sup> )	interpretación
<0.1	<0.1	Muy lento
0.1-0.5	0.1-0.5	Lenta
0.5-2.0	0.5-1.6	Moderadamente lenta
2.0-6.3	1.6-5.0	Moderada
6.3-12.7	5.0-12.0	Moderadamente rápida
12.7-25.4	12.0-18.0	Rápida
>25.4	>18.0	Muy rápida

*Fuente: Malagon 1996*

Clasificación de la estabilidad estructural

D. P. M. (mm)	Interpretación
<b>&lt;0.5</b>	Inestable
<b>0.5-1.5</b>	Lig. Estable.
<b>1.5-3.0</b>	Mod.Estable
<b>3.0-5.0</b>	Estable.
<b>&gt; 5.0</b>	Muy estable

*Fuente: Universidad Surcolombiana 2009*

## Rangos de clasificación conductividad eléctrica y afectación en los cultivos

CE $\mu\text{Sm.cm}^{-1}$	Descripción	Características en cultivos
0-2000	Suelos normales	No afectados
2000-4000	Suelos ligeramente salinos	Afectados los rendimientos de los cultivos muy sensibles
4000-8000	Suelos salinos	Afectados los rendimientos de la mayoría de los cultivos.
8000-16000	Suelos fuertemente salinos.	Rendimientos aceptables en los cultivos tolerantes.
16000	Suelos extremadamente salinos.	Muy pocos cultivos dan rendimientos aceptables

Fuente: Grados de salinidad. United States Salinity Laboratory de Riverside

## Rangos de clasificación pH determinado en agua 1:1

pH	CALIFICACIÓN
<3.5	Ultra ácido
3.5-4.4	Extremadamente ácido
4.5-5.0	Muy fuertemente ácido
5.1-5.5	Fuertemente ácido
5.6-6.0	Moderadamente ácido
6.1-6.5	Ligeramente ácido
6.6-7.3	Neutro
7.4-7.8	Ligeramente alcalino
7.9-8.4	Moderadamente alcalino
8.5-9.0	Fuertemente alcalino
>9.0	Muy fuertemente alcalino

Fuente: Soil Survey Division Staff (SSDS, 1993).

## Clasificación de la Capacidad de intercambio catiónico

Rango de la CIC ( $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ )	Clasificación
<5	Muy baja
5 – 15	Baja
15 – 25	media
25 – 40	Alta
> 40	Muy alta


Fuente: Jaramillo, 2002

## Clasificación de la Materia Orgánica

M.O (%)	Interpretación
< 2	bajo
2-4	medio
>4	alto

Fuente: IGACC, 2006

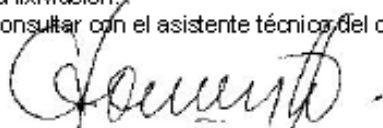
**ANEXO B. RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICOS DEL SUELO  
(EN ORDEN CALICATAS 1, 2 Y 3)**

 <b>UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA</b> <small>MIT. 891.19003+2</small> INSTITUTO DE ENSAYOS E INVESTIGACIONES IDEI <b>LABORATORIO DE SUELOS - LABSUS</b> FACULTAD DE INGENIERIA							
Solicitante: Alfredo Olaya Amaya				Vereda: Estambul			
Cultivo: Cacao				Municipio: Teruel			
Finca: La primavera				Departamento: Huila			
Fecha: 06 de agosto 2012				Ultimo cultivo: Potreros			
No. Laboratorio		02Q- 1365			Recomendación fertilización		Método Analítico
Muestra 01		Calicata 1					
PARAMETROS QUÍMICOS	UNIDAD	RESULTADO	CALIFICACION	RANGO MEDIO	Nutrientes puros	Requerimientos kg/ha-año	
pH	-	5.72	<small>Mediamente bajo</small>	6.6 - 7.3	-	-	Potenciómetro
Materia Orgánica (MO)	%	4.66	M	3 - 5	N	65	Walkley - Black
C.I.C.	Cmol'.kg <sup>-1</sup>	31.20	A	10 - 20	-	-	NH <sub>4</sub> OA <sub>c</sub> - pH 7
Fósforo (P)	ppm	7.5	B	15 - 40	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40	Bray II
Calcio (Ca)	Cmol'.kg <sup>-1</sup>	14.85	A	3 - 6	-	-	NH <sub>4</sub> OAC - AA
Magnesio (Mg)	Cmol'.kg <sup>-1</sup>	3.43	A	1.25 - 2.50	-	-	
Sodio (Na)	Cmol'.kg <sup>-1</sup>	0.08	N	0.1 - 0.5	-	-	
Potasio (K)	Cmol'.kg <sup>-1</sup>	0.32	M	0.2 - 0.4	K <sub>2</sub> O	60	
Bases Totales (BT)	Cmol'.kg <sup>-1</sup>	18.68	-	-	-	-	Suma cationes
Saturación de bases (SB)	%	59.87	A	35 - 50	-	-	Relación catiónica
Azufre (S)	ppm	11.4	M	8 - 16	S	20	Turbidimetría
Hierro (Fe)	ppm	691	MA	50 - 100	-	-	Doble Ácido -AA
Manganeso (Mn)	ppm	80.7	A	20 - 40	-	-	
Cobre (Cu)	ppm	2.2	M	2.0 - 2.4	Cu	4	
Cinc (Zn)	ppm	3.6	M	3 - 6	Zn	4	
Boro (B)	ppm	-	-	0.3 - 0.6	B	1	H <sub>2</sub> O Caliente
Aluminio (Al)	Cmol'.kg <sup>-1</sup>	-	-	1.0 - 1.5	Cal	400	Volumétrica
Relación Ca/Mg	-	4.33	I	2 - 4*	-	-	Relación catiónica
Relación (Ca + Mg)/K	-	57.12	D	10*	-	-	
Relación Mg/K	-	10.72	D	3*	-	-	
TEXTURA	Clase	FA	FRANCO ARENOSO			Organoléptico	

ANALISTA QUÍMICO: Heidi Karina Ortiz B.  
 NOTA: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada. \*Corte óptimo.  
 CALIFICACIÓN: D: DEFICIENTE, N: NORMAL, I: IDEAL, MB: MUY BAJO, B: BAJO, M: MEDIO, A: ALTO, MA: MUY ALTO

RECOMENDACIONES:

Incorporar Cal Dolomita en dosis de 400 kg/ha.  
 Utilizar las siguientes fuentes de fertilización: Urea (3 bultos/ha), Fosforita Huila (2 bultos/ha), Sulfato de Potasio (2.5 bultos/ha) y Zincobor (0.5 bultos/ha).  
 Aplicar el fertilizante en corona alrededor del tallo en un radio de 40 cm de manera fraccionada para evitar su lixiviación.  
 Consultar con el asistente técnico del cultivo.

  
 ARMANDO TORRENTE TRUJILLO  
 COORDINADOR LABORATORIO DE SUELOS



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**  
 N.º 17. 351. 130.034-2  
 INSTITUTO DE ENSAYOS E INVESTIGACIONES IDEI  
**LABORATORIO DE SUELOS - LABSUS**  
 FACULTAD DE INGENIERIA

Solicitante: Alfredo Olaya Amaya				Vereda: Estambul			
Cultivo: Guanábana				Municipio: Teruel			
Finca: La primavera				Departamento: Huila			
Fecha: 06 de agosto 2012				Ultimo cultivo: Potreros			
No. Laboratorio		02Q- 1366			Recomendación fertilización		Método Analítico
Muestra 02		Calicata 2					
PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	CALIFICACION	RANGO MEDIO	Nutrientes puros	Requerimientos kg/ha-año	
pH	-	5.78	Mediamente ácido	6.6 - 7.3	-	-	Potenciómetro
Materia Orgánica (MO)	%	4.05	M	3 - 5	N	80	Walkley - Black
C.I.C.	Cmol'.kg <sup>-1</sup>	29.17	A	10 - 20	-	-	NH <sub>4</sub> OA <sub>c</sub> - pH 7
Fósforo (P)	ppm	10.0	B	15 - 40	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40	Bray II
Calcio (Ca)	Cmol'.kg <sup>-1</sup>	17.70	A	3 - 6	-	-	NH <sub>4</sub> OAC - AA
Magnesio (Mg)	Cmol'.kg <sup>-1</sup>	2.19	M	1.25 - 2.50	MgO	20	
Sodio (Na)	Cmol'.kg <sup>-1</sup>	0.06	N	0.1 - 0.5	-	-	
Potasio (K)	Cmol'.kg <sup>-1</sup>	0.17	B	0.2 - 0.4	K <sub>2</sub> O	50	
Bases Totales (BT)	Cmol'.kg <sup>-1</sup>	20.12	-	-	-	-	Suma cationes
Saturación de bases (SB)	%	68.97	A	35 - 50	-	-	Relación catiónica
Azufre (S)	ppm	5.8	B	8 - 16	S	18	Turbidimetría
Hierro (Fe)	ppm	676	MA	50 - 100	-	-	Doble Ácido -AA
Manganeso (Mn)	ppm	71.4	A	20 - 40	-	-	
Cobre (Cu)	ppm	2.6	A	2.0 - 2.4	-	-	
Cinc (Zn)	ppm	5.5	M	3 - 6	Zn	4	
Boro (B)	ppm	-	-	0.3 - 0.6	B	1	H <sub>2</sub> O Caliente
Aluminio (Al)	Cmol'.kg <sup>-1</sup>	-	-	1.0 - 1.5	Cal	400	Volumétrica
Relación Ca/Mg	-	8.08	-	2 - 4*	-	-	Relación catiónica
Relación (Ca + Mg)/K	-	117.0	D	10*	-	-	
Relación Mg/K	-	12.88	D	3*	-	-	
TEXTURA	Clase	FARA	FRANCO ARCILLO ARENOSO				Organoléptico

ANALISTA QUIMICO: Heidi Karina Ortiz B.

NOTA: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada. \*Corte Ácido Óptimo.

CALIFICACIÓN: D: DEFICIENTE, N: NORMAL, I: IDEAL, MB: MUY BAJO, B: BAJO, M: MEDIO, A: ALTO, MA: MUY ALTO

**RECOMENDACIONES:**

Incorporar Cal Dolomita en cantidad de 400 kg/ha.

Utilizar como fuentes de fertilización: Nitrato de Amonio (3.5 bultos/ha), Fosforita Huila (2 bultos/ha), Sulfato de Potasio (2 bultos/ha) y Bórax. Aplicar por vía foliar Sulfato de Cinc.

Aplicar el fertilizante en corona alrededor del tallo a distancia de 40 cm.

Consultar con el asistente técnico del cultivo.

ARMANDO TORRENTE TRUJILLO  
 COORDINADOR LABORATORIO DE SUELOS



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**  
 NIT. 891.180.084-2  
 INSTITUTO DE ENSAYOS E INVESTIGACIONES IDEI  
**LABORATORIO DE SUELOS - LABSUS**  
 FACULTAD DE INGENIERIA

Solicitante: Alfredo Olaya Amaya				Vereda: Estambul			
Cultivo: Aguacate				Municipio: Teruel			
Finca: Las Delicias				Departamento: Huila			
Fecha: 08 de agosto 2012				Ultimo cultivo: Potreros			
No. Laboratorio		02Q- 1367			Recomendación fertilización		Método Analítico
Muestra 03		Calicata 3					
PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	CALIFICACION	RANGO MEDIO	Nutrientes puros	Requerimientos kg/ha-año	
pH	-	5.79	Mediamente ácido	6.6 - 7.3	-	-	Potenciómetro
Materia Orgánica (MO)	%	5.11	A	3 - 5	N	55	Walkley - Black
C.I.C.	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	31.89	A	10 - 20	-	-	NH <sub>4</sub> OAc - pH 7
Fósforo (P)	ppm	9.5	B	15 - 40	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40	Bray II
Calcio (Ca)	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	18.72	A	3 - 6	-	-	NH <sub>4</sub> OAc - AA
Magnesio (Mg)	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	5.06	A	1.25 - 2.50	-	-	
Sodio (Na)	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	0.06	N	0.1 - 0.5	-	-	
Potasio (K)	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	0.12	B	0.2 - 0.4	K <sub>2</sub> O	50	
Bases Totales (BT)	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	23.96	-	-	-	-	Suma cationes
Saturación de bases (SB)	%	75.13	A	35 - 50	-	-	Relación catiónica
Azufre (S)	ppm	3.4	B	8 - 16	S	10	Turbidimetría
Hierro (Fe)	ppm	658	MA	50 - 100	-	-	Doble Ácido -AA
Manganeso (Mn)	ppm	199.2	MA	20 - 40	-	-	
Cobre (Cu)	ppm	4.1	A	2.0 - 2.4	-	-	
Cinc (Zn)	ppm	6.7	A	3 - 6	-	-	
Boro (B)	ppm	-	-	0.3 - 0.6	B	2	H <sub>2</sub> O Caliente
Aluminio (Al)	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	-	-	1.0 - 1.5	Cal	400	Volumétrica
Relación Ca/Mg	-	3.73	I	2 - 4*	-	-	Relación catiónica
Relación ( Ca + Mg )/K	-	198.17	D	10*	-	-	
Relación Mg/K	-	42.17	D	3*	-	-	
<b>TEXTURA</b>	Clase	FA	FRANCO ARENOSO				Organoléptico

ANALISTA QUIMICO: Heidy Karina Ortiz B.

NOTA: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada. \*Contenido óptimo.

CALIFICACIÓN: D: DEFICIENTE, N: NORMAL, I: IDEAL, MB: MUY BAJO, B: BAJO, M: MEDIO, A: ALTO, MA: MUY ALTO

**RECOMENDACIONES:**

Incorporar Cal Dolomita en cantidad de 400 kg/ha.

Utilizar como fuentes de fertilización: Urea (2.5 bultos/ha), Fosforita Huila (2 bultos/ha), Sulfato de Potasio (2 bultos/ha) y Bórax.

Aplicar el fertilizante en corona de manera fraccionada en el tiempo.

Consultar con el asistente técnico del cultivo.

**ARMANDO TORRENTE TRUJILLO**  
 COORDINADOR LABORATORIO DE SUELOS

## ANEXO C. RESULTADOS DE LABORATORIO DE MATERIA ORGÁNICA Y CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO

PARAMETROS QUÍMICOS		No. Laboratorio				Recomendación Fertilización		Método Analítico Empleado
		MUESTRA No	UNIDAD	RESULTADO	CALIFICACION	RANGO MEDIO	Nutrientes puros	
Materia Orgánica (MO)	3	%	3.53	M	3 - 5	-	-	Walkley - Black
C.I.C.	3	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	15.59	M	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>C</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	4	%	1.59	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	4	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	7.60	B	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>C</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	5	%	1.52	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	5	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	11.60	M	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>C</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	6	%	0.87	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	6	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	8.38	B	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>C</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	7	%	1.32	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	7	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	11.96	M	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>C</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	8	%	2.80	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	8	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	10.38	M	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>C</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	9	%	1.34	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	9	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	16.39	M	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>C</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	10	%	1.68	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	10	Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	8.38	B	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>C</sub> - pH 7

ANALISTA QUÍMICO: Heidi Karina Ortiz B.

NOTA: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada. \*Contenido óptimo.

CALIFICACIÓN: D: DEFICIENTE, N: NORMAL, I: IDEAL, MB: MUY BAJO, B: BAJO, M: MEDIO, A: ALTO, MA: MUY ALTO



**ARMANDO TORRENTE TRUJILLO**

Coordinador Laboratorio de Ciencias y Recursos Geagroambientales - LABGAA  
Universidad Surcolombiana



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

NIT. 891.180.084-2

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE RECURSOS GEAGROAMBIENTALES - LABGAA



Solicitante: Alfredo Olaya Amaya	Vereda: Estambul
Cultivo: Pastos, aguacate y guanabana	Municipio: Teruel
Finca: La Primavera	Departamento: Huila
Fecha: Julio 16 de 2012	Último cultivo: Potreros

PARAMETROS QUÍMICOS	No. Laboratorio					Recomendación Fertilización		Método Analítico Empleado
	MUESTRA No	UNIDAD	RESULTADO	CALIFICACION	RANGO MEDIO	Nutrientes puros	Requerimientos kg/ha	
Materia Orgánica (MO)	14	%	0.58	B	3 - 5	-	-	Walkley - Black
C.I.C.	14	Cmol <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	13.57	M	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>c</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	15	%	1.89	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	15	Cmol <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	13.19	M	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>c</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	23	%	2.25	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	23	Cmol <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	19.96	M	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>c</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	24	%	2.48	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	24	Cmol <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	18.38	M	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>c</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	26	%	2.79	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	26	Cmol <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	15.19	M	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>c</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	29	%	1.46	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	29	Cmol <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	25.15	A	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>c</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	30	%	2.22	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	30	Cmol <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	22.74	A	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>c</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	31	%	1.49	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	31	Cmol <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	21.19	A	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>c</sub> - pH 7
Materia Orgánica (MO)	32	%	2.74	B	3 - 5			Walkley - Black
C.I.C.	32	Cmol <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	19.58	M	10 - 20			NH <sub>4</sub> OA <sub>c</sub> - pH 7

ANALISTA QUÍMICO: Heidi Karina Ortiz B.

NOTA: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada. \*Corte alido óptimo.

CALIFICACIÓN: D: DEFICIENTE, N: NORMAL, I: IDEAL, MB: MUY BAJO, B: BAJO, M: MEDIO, A: ALTO, MA: MUY ALTO

**ARMANDO TORRENTE TRUJILLO**

Coordinador Laboratorio de Ciencias y Recursos Geagroambientales - LABGAA  
Universidad Surcolombiana

**ANEXO D. COORDENADAS EN PUNTOS DE MUESTREO, LA PRIMAVERA -  
LAS DELICIAS**

Inicial

LA PRIMAVERA			LAS DELICIAS		
N°	ESTE ( m)	NORTE (m)	N°	ESTE (m)	NORTE (m)
1	831856.37	792770.28	17	832456.37	792470.28
2	831856.37	792670.28	18	832198.46	792881.95
3	831856.37	792570.28	19	831973.46	792881.95
4	831856.37	792470.28	20	831748.46	792881.95
5	832056.37	792770.28	21	831296.41	792881.95
6	832056.37	792670.28	22	831073.59	792881.95
7	832056.37	792570.28	23	832198.46	793106.95
8	832056.37	792470.28	24	831973.46	793106.95
9	832056.37	792370.28	25	831748.46	793106.95
10	832256.37	792770.28	26	831523.46	793106.95
11	832256.37	792670.28	27	831298.46	793106.95
12	832256.37	792570.28	28	831073.46	793106.95
13	832256.37	792470.28	29	832198.46	793331.95
14	832256.37	792370.28	30	831973.46	793331.95
15	832456.37	792670.28	31	831748.46	793331.95
16	832456.37	792570.28	32	831523.46	793331.95

Final

LA PRIMAVERA				LAS DELICIAS			
N°	ESTE (m)	NORTE(m)	Z(msnm)	N°	ESTE (m)	NORTE(m)	Z(msnm)
1	831857.80	792772.08	1028.25	18	832199.83	792873.46	953.75
2	831857.63	792669.51	1001.09	19	831975.05	792880.90	1064.30
3	831857.63	792570.19	974.17	20	831749.73	792881.46	1127.26
4	831857.99	792469.62	938.61	21	831299.92	792880.80	1244.30
5	832051.18	792778.00	1018.15	22	831075.20	792880.96	1264.25
6	832058.14	792670.01	945.82	23	832199.72	793105.51	944.13
7	832057.65	792569.39	936.92	24	831974.75	793105.47	1067.90
8	832058.14	792469.82	920.10	25	831749.66	793105.61	1138.32
9	832157.64	792445.72	904.48	26	831524.64	793105.61	1190.95
10	832257.67	792746.78	894.87	27	831300.11	793106.30	1194.31
11	832257.71	792669.49	888.38	29	832162.21	793286.85	944.37
12	832258.55	792570.05	901.36	30	831986.32	793323.05	983.31
13	832257.53	792470.91	890.06	31	831755.25	793333.30	1017.67
14	832257.87	792370.37	874.92	32	831565.36	793329.72	1076.31
15	832459.44	792656.97	864.10	20'	831524.43	792880.86	1144.57
16	832457.39	792570.23	854.49				
17	832458.81	792469.42	843.20				



## ANEXO E. TEXTURA - MÉTODO DEL HIDRÓMETRO

M	Lectura a los 40sg			Lectura a las 2h			%A	% Ar	% L	T
	Hidróm	T° 40"	Lec	Hidróm	T° 2h	Lec				
1	30	26,8	31,48	10	26,2	11,36	68,52	11,36	20,12	FA
2	34	25,9	35,3	5,2	26,1	6,54	64,7	6,54	28,76	FA
3	31	26,8	32,48	10	26,2	11,36	67,52	11,36	21,12	FA
4	27	26	28,32	5	26,1	6,34	71,68	6,34	21,98	FA
5	28	26,8	29,48	5	27,2	6,56	70,52	6,56	22,92	FA
6	23	26,6	24,44	3	27	4,52	75,56	4,52	19,92	AF
7	32	26,8	33,48	5	27	6,52	66,52	6,52	26,96	FA
8	25	26,8	26,48	3,5	27	5,02	73,52	5,02	21,46	FA
9	19	25,8	20,28	2,5	25,8	3,78	79,72	3,78	16,5	AF
10	21	25,9	22,3	8	25,9	9,3	77,7	9,3	13	FA
11	39	25,75	40,27	23	25,75	24,27	59,73	24,27	16	FArA
12	25	25,8	26,28	6,5	25,8	7,78	73,72	7,78	18,5	FA
13	26	26,3	27,38	5	26,2	6,36	72,62	6,36	21,02	FA
14	31	26,2	32,36	19	26,2	20,36	67,64	20,36	12	FArA
15	25	26,1	26,34	6,3	26,1	7,64	73,66	7,64	18,7	FA
16	26	26,1	27,34	11,2	26,1	12,54	72,66	12,54	14,8	FA
17	41	25,8	42,28	24,5	26,2	25,86	57,72	25,86	16,42	FArA
18	20	27	21,52	16,1	27,3	17,68	78,48	17,68	3,84	FA
19	28	25,6	29,24	16	25,8	17,28	70,76	17,28	11,96	FA
20	23	25,6	24,24	3	26	4,32	75,76	4,32	19,92	AF
21	33	26	34,32	12,5	26,4	13,9	65,68	13,9	20,42	FA
22	33	23,8	33,88	16	26,2	17,36	66,12	17,36	16,52	FA
23	22,1	25,8	23,38	17,8	26,2	19,16	76,62	19,16	4,22	FArA
24	30,5	25,6	31,74	17,2	26,2	18,56	68,26	18,56	13,18	FA
25	31	25,8	27,42	1,5	25,8	2,78	72,58	2,78	24,64	AF
26	29	25,8	26,12	5	25,8	6,28	73,88	6,28	19,84	FA
27	35	25,75	31,48	1,8	25,6	3,04	68,52	3,04	28,44	FA
29	28	26,3	29,38	9,8	26,3	11,18	70,62	11,18	18,2	FA
30	31	26,4	32,4	4,1	26,4	5,5	67,6	5,5	26,9	FA
31	35	26,6	36,44	7,5	26,4	8,9	63,56	8,9	27,54	FA
32	30,5	27,1	32,04	10	26,6	11,44	67,96	11,44	20,6	FA
20'	32,5	25,4	33,7	9	27,1	10,54	66,3	10,54	23,16	FA

M muestra, Hidrom hidrómetro, T°40" temperatura a 40 segundos, Lec lectura, T°2h temperatura a 2 horas, %A porcentaje de arena, %Ar porcentaje de arcilla, %L porcentaje de limo, T textura.

## ANEXO F. DENSIDAD REAL - MÉTODO DEL PICNÓMETRO

<b>M</b>	<b>P<sub>b</sub> (g)</b>	<b>P<sub>b+s</sub> (g)</b>	<b>P<sub>S</sub> (g)</b>	<b>P<sub>Z</sub> (g)</b>	<b>W<sub>a</sub> (g)</b>	<b>V<sub>S</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Dr (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
1	44,3	92,4	48,1	171	78,6	21,4	2,25
2	41,8	79,9	38,1	162,1	82,2	17,8	2,14
3	46,2	93,5	47,3	173,7	80,2	19,8	2,39
4	41,9	103	61,1	178,3	75,3	24,7	2,47
5	44,4	89,2	44,8	169,8	80,6	19,4	2,31
6	54	113,8	59,8	189,6	75,8	24,2	2,47
7	62,9	124,8	61,9	197,6	72,8	27,2	2,28
8	54,5	106,7	52,2	184,6	77,9	22,1	2,36
9	54,4	112,7	58,3	188,9	76,2	23,8	2,45
10	55,5	106,7	51,2	185,5	78,8	21,2	2,42
11	46	79,1	33,1	165	85,9	14,1	2,35
12	41,9	76,9	35	161,6	84,7	15,3	2,29
13	44,5	80,8	36,3	165	84,2	15,8	2,30
14	54,2	99,2	45	180,4	81,2	18,8	2,39
15	63	101,8	38,8	184,1	82,3	17,7	2,19
16	54,7	94,7	40	176,9	82,2	17,8	2,25
17	54,5	93,7	39,2	176,7	83	17	2,31
18	54	111,2	57,2	187,6	76,4	23,6	2,42
19	56,2	110,6	54,4	185,2	74,6	25,4	2,14
20	44,5	85,2	40,7	167,4	82,2	17,8	2,29
21	46,6	87,3	40,7	170,2	82,9	17,1	2,38
22	63,2	121,5	58,3	194,8	73,3	26,7	2,18
23	45,2	99,3	54,1	177,2	77,9	22,1	2,45
24	62,8	101,7	38,9	185	83,3	16,7	2,33
25	42,2	94,6	52,4	171,6	77	23	2,28
26	54,3	83,4	29,1	170,7	87,3	12,7	2,29
27	54,3	99,5	45,2	178,5	79	21	2,15
29	41,8	68,1	26,3	156,7	88,6	11,4	2,31
30	54,5	93,2	38,7	176,8	83,6	16,4	2,36
31	54,5	85,2	30,7	172	86,8	13,2	2,33
32	54,3	94	39,7	177,1	83,1	16,9	2,35
20'	55,9	104,1	48,2	183,6	79,5	20,5	2,35

M muestra, P<sub>b</sub> peso del balón, P<sub>b+s</sub> peso del balón mas suelo, P<sub>S</sub> peso del suelo, P<sub>Z</sub> peso del balón, suelo y agua, W<sub>a</sub> peso del agua, V<sub>S</sub> volumen del suelo

## ANEXO G. DENSIDAD APARENTE - MÉTODO TERRÓN PARAFINADO

<b>M</b>	<b>Wth (g)</b>	<b>Wtp (g)</b>	<b>Tensión (g)</b>	<b>V<sub>parafina</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>V<sub>total</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>V<sub>turrón</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Pss (g)</b>	<b>Da (gr.cm<sup>-3</sup>)</b>
1	6,3	6,6	3	0,34	3,60	3,26	5,12	1,572
2	66,2	71,2	26,4	5,75	44,80	39,05	57,86	1,481
3	42	46,4	16,6	5,06	29,80	24,74	40,17	1,624
3	35,6	38,4	14,6	3,22	23,80	20,58	34,50	1,676
5	35,4	37,7	15,1	2,64	22,60	19,96	33,71	1,689
6	31,8	34,6	11,7	3,22	22,90	19,68	25,73	1,307
7	32,4	35,1	12,6	3,10	22,50	19,40	30,26	1,560
8	32,9	35,2	14,4	2,64	20,80	18,16	28,97	1,595
9	38,2	40,6	14,9	2,76	25,70	22,94	36,34	1,584
10	32,5	34	15,1	1,72	18,90	17,18	26,45	1,540
11	37	38,8	17,6	2,07	21,20	19,13	32,15	1,681
12	28	29,4	13,5	1,61	15,90	14,29	24,94	1,745
13	40,3	43,7	14,9	3,91	28,80	24,89	35,66	1,433
14	36,3	38,6	17	2,64	21,60	18,96	32,03	1,690
15	31,3	32,9	13,2	1,84	19,70	17,86	26,08	1,460
16	26,5	28,2	11,4	1,95	16,80	14,85	21,13	1,423
18	10,2	11	3	0,92	8,00	7,08	8,92	1,261
19	49	51	20	2,30	31,00	28,70	42,59	1,484
21	69,5	73,9	30	5,06	43,90	38,84	64,47	1,660
22	58,6	64,6	23,8	6,90	40,80	33,90	57,75	1,703
23	50	53,5	21	4,02	32,50	28,48	46,03	1,616
24	25,2	29,3	9,8	4,71	19,50	14,79	24,60	1,664
25	34	36,7	13,8	3,10	22,90	19,80	33,69	1,702
26	38,8	40,5	14,6	1,95	25,90	23,95	31,89	1,332
27	48,8	52,4	20,7	4,14	31,70	27,56	45,43	1,648
29	19,5	20,4	8,3	1,03	12,10	11,07	16,95	1,532
30	48,8	53,8	20,6	5,75	33,20	27,45	47,77	1,740
31	32,9	36,5	13,7	4,14	22,80	18,66	32,03	1,716
32	20	20,8	8,7	0,92	12,10	11,18	17,69	1,582
20'	24,2	26,1	10,5	2,18	15,60	13,42	22,42	1,671

M muestra, Wth peso terrón húmedo, Wtp peso del terrón parafinado, Vparafina volumen de la parafina, Vturrón volumen del terrón, Pss peso del suelo seco, Da densidad aparente del suelo.

**ANEXO H. PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE - MÉTODO OLLAS DE PRESIÓN**

N°	MUESTRA				CONTRAMUESTRA				PMP
	Pi(g)	PF(g)	PFT(g)	%H	Pi(gr)	PF(gr)	PFT(g)	%H	%H
1	11,2	9,8	3,1	20,9	12	11,1	3,4	11,7	11,7
2	10,8	8,9	3,3	33,9	10,9	9,5	3,3	22,6	22,6
3	11,5	9,2	3,5	40,4	11,6	9,3	3,2	37,7	37,7
4	11,5	9,9	3,2	23,9	11,1	9,4	2,9	26,2	23,9
5	11,1	10,5	3,8	9,0	10,7	10	3,8	11,3	9,0
6	12,9	10,9	3	25,3	12,6	10,8	3,1	23,4	23,4
7	9,6	8	3	32,0	10,7	8,9	3	30,5	30,5
8	12,3	10,1	3,3	32,4	11,9	9,7	3,1	33,3	32,4
9	12,5	11,3	3,1	14,6	12,9	11,5	3,1	16,7	14,6
10	11,2	9,8	3,3	21,5	11,8	10,6	3,4	16,7	16,7
11	11,5	9,45	3,3	33,3	11,3	9,3	3,3	33,3	33,3
12	10,3	8,4	3,1	35,8	9,8	7,9	3	38,8	35,9
13	10,2	8,4	3,1	34,0	11,6	9,6	3,4	32,3	32,3
14	11,9	10,1	3,4	26,9	12,9	10,8	3,3	28,0	26,9
15	11,7	9,6	3,2	32,8	10,3	8,6	3	30,4	30,4
16	9,8	8,4	3	25,9	10,5	8,5	3,1	37,0	25,9
17	10,1	8,5	3	29,1	10,6	8,4	2,9	40,0	29,1
18	9,3	8,8	2,8	8,3	10,2	9,7	3,3	7,8	7,8
19	10,8	9,8	3,2	15,2	10,4	9,4	3	15,6	15,2
20	10,5	9,2	3,1	21,3	10,4	9,2	3,1	19,7	19,7
21	10,3	9,5	3,1	12,5	11,7	10,6	3,1	14,7	12,5
22	11,8	10,2	3,4	23,5	10,8	9,8	3	14,7	14,7
23	9,3	8,4	2,8	16,1	9,6	8,9	3,2	12,3	12,3
24	9,7	8,9	2,9	13,3	10,1	9,4	3,2	11,3	11,3
25	11,9	10	3,3	28,4	12,1	9,8	3,1	34,3	28,4
26	10,7	9,5	3,1	18,8	10,2	9,2	3,2	16,7	16,7
27	11,4	10,1	3,3	19,1	12,2	10,9	3,4	17,3	17,3
29	10,3	9,6	3	10,6	11,7	10,9	3,5	10,8	10,6
30	11,8	11	3,3	10,4	11	10	3,2	14,7	10,4
31	11	9,5	2,9	22,7	10,5	9,2	3	21,0	21,0
32	12	10,8	3,4	16,2	10,9	9,8	3,1	16,4	16,2
20'	11,9	10,5	3,2	19,2	8,8	8	2,8	15,4	15,4

Pi peso inicial del suelo, PF peso final del suelo, PFT peso final de la tara, %H porcentaje de humedad, PMP punto de marchitez permanente.

## ANEXO I. CAPACIDAD DE CAMPO - MÉTODO OLLAS DE PRESIÓN

N°	MUESTRA				CONTRAMUESTRA				CC
	Pi(g)	PF(g)	PFT(g)	% H	Pi(g)	PF(g)	PFT(g)	% H	%H
1	11,8	10	3,1	26,1	12,5	10,7	3,4	24,66	26,1
2	11,3	9,2	3,5	36,8	12,2	10	3,4	33,33	36,8
3	10,3	8,4	3,2	36,5	10,6	8,5	3,1	38,89	38,9
4	10,7	9,0	2,8	27,4	13,5	11,4	3,4	26,25	27,4
5	12,8	11	3,9	25,4	12,2	10,6	3,9	23,88	25,4
6	11,5	9,4	2,9	32,3	12,2	10,0	3,0	31,43	32,3
7	11,9	9,4	3,2	40,3	12,6	9,8	3,4	43,75	43,8
8	12,2	9,5	3,3	43,5	12,0	9,2	3,1	45,90	45,9
9	12,5	10,4	2,9	28,0	14,2	11,8	3,3	28,24	28,2
10	9,4	7,8	3,0	33,3	10,7	8,9	3,2	31,58	33,3
11	11	8,9	3,1	36,2	11,7	9,4	3,5	38,98	40,0
12	11,5	9,3	3,3	36,7	10,4	8,3	3,1	40,38	40,4
13	12,1	9,8	3,4	35,9	10,6	8,6	3,1	36,36	36,4
14	11,3	9,4	2,9	29,2	11,0	9,2	3,1	29,51	29,5
15	12,2	9,8	3,2	36,4	10,9	8,9	3,0	33,90	36,4
16	11,4	9,0	3,1	40,7	12,5	10,0	3,3	37,31	40,7
17	10,3	8,2	3,2	42,0	12,4	9,9	3,6	39,68	42,0
18	12,3	10,9	3,2	18,2	10,8	9,5	2,9	19,70	19,7
19	12,7	10,9	3,1	23,1	13,3	11,5	3,3	21,95	23,1
20	12,4	10,8	3,2	21,1	12,9	11	3,4	25,00	25,0
21	12,4	10,3	3,3	30,0	10,8	9	3,1	30,51	30,5
22	12,3	10,5	3,1	24,3	11,1	9,3	3	28,57	28,6
23	11,2	9,7	3	22,4	10,7	9,3	3,1	22,58	22,6
24	12	9,7	2,9	33,8	12,7	10,3	3,4	34,78	33,8
25	13,6	10,6	3,4	41,7	12,8	10,4	3,5	34,78	41,7
26	11	8,9	3,1	36,2	11,6	9,1	3,1	41,67	36,2
27	12,4	10,2	3,3	31,9	11,2	9,3	3,4	32,20	32,2
29	12,3	10,4	3,3	26,8	12,9	11	3,5	25,33	26,8
30	13,6	11,5	3	24,7	12,87	10,6	3,2	30,68	30,7
31	12,2	10,1	3,2	30,4	13,5	11,1	3,3	30,77	30,8
32	12,3	10,1	3,1	31,4	13,2	11	3,2	28,21	31,4
20'	12,3	9,5	2,6	40,6	12,9	10,2	2,9	36,99	40,6

Pi peso inicial del suelo, PF peso final del suelo, PFT peso final de la tara, %H porcentaje de humedad, CC capacidad de campo

## ANEXO J. INFILTRACIÓN MÉTODO DE LOS ANILLOS

N°	función	$I_{cum}$		$I_{inst}$		$t_b$	$i_b$ ( $cm.h^{-1}$ )
		K	m	k'	n		
1	$y = 0,42x^{0,67}$	0,42	0,67	16,79	-0,33	199,56	2,88
2	$y = 3,05x^{0,56}$	3,05	0,56	101,35	-0,45	267,18	8,42
3	$y = 1,48x^{0,45}$	1,48	0,45	40,06	-0,55	330,06	1,65
4	$y = 2,23x^{0,44}$	2,23	0,44	59,00	-0,56	335,28	2,29
5	$y = 7,23x^{0,31}$	7,23	0,31	132,65	-0,69	416,52	2,01
6	$y = 3,99x^{0,40}$	3,99	0,40	95,97	-0,60	359,64	2,82
7	$y = 3,82x^{0,52}$	3,82	0,52	118,39	-0,48	289,68	7,67
8	$y = 2,53x^{0,60}$	2,53	0,60	91,83	-0,40	237,3	10,56
9	$y = 8,17x^{0,38}$	8,17	0,38	186,20	-0,62	372,18	4,74
10	$y = 5,17x^{0,58}$	5,17	0,58	180,93	-0,42	250,14	18,10
11	$y = 3,85x^{0,45}$	3,85	0,45	103,56	-0,55	330,66	4,23
12	$y = 4,36x^{0,50}$	4,36	0,50	130,05	-0,50	301,98	7,34
13	$y = 6,30x^{0,19}$	6,30	0,19	139,38	-0,63	378,66	3,29
14	$y = 3,28x^{0,38}$	3,28	0,38	74,47	-0,62	372,78	1,88
15	$y = 4,21x^{0,35}$	4,21	0,35	88,85	-0,65	389,10	1,86
16	$y = 6,33x^{0,44}$	6,33	0,44	166,55	-0,56	336,84	6,35
17	$y = 7,71x^{0,25}$	7,71	0,25	117,90	-0,75	447,12	1,25
18	$y = 0,49x^{0,54}$	0,49	0,54	15,79	-0,46	276,18	1,19
19	$y = 0,99x^{0,32}$	0,99	0,32	18,84	-0,68	410,34	0,31
20	$y = 2,21x^{0,60}$	2,21	0,60	79,45	-0,40	239,70	8,90
21	$y = 1,39x^{0,34}$	1,39	0,34	28,15	-0,66	397,44	0,53
22	$y = 0,46x^{0,56}$	0,46	0,56	15,61	-0,44	261,60	1,38
23	$y = 0,55x^{0,72}$	0,55	0,72	24,07	-0,28	165,36	5,89
24	$y = 1,28x^{0,43}$	1,28	0,43	32,64	-0,58	345,00	1,13
25	$y = 0,43x^{0,41}$	0,43	0,41	10,73	-0,59	352,20	0,34
26	$y = 1,78x^{0,35}$	1,78	0,35	37,35	-0,65	390,00	0,77
27	$y = 2,34x^{0,50}$	2,34	0,50	70,31	-0,50	299,10	4,10
29	$y = 0,60x^{0,55}$	0,60	0,55	19,57	-0,45	272,04	1,54
30	$y = 1,91x^{0,74}$	1,91	0,74	84,40	-0,26	157,50	22,37
31	$y = 0,58x^{0,29}$	0,58	0,29	10,13	-0,71	423,90	0,14
32	$y = 1,88x^{0,39}$	1,88	0,39	43,72	-0,61	367,56	1,17
20'	$y = 7,39x^{0,45}$	7,39	0,45	201,19	-0,55	327,72	8,50

$I_{cum}$  infiltración acumulada,  $I_{inst}$  infiltración instantánea,  $i_b$  infiltración básica, (k,m) variables de la función de infiltración acumulada, (k,n) variables derivadas de la función  $I_{cum}$ .

**ANEXO K. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA - MÉTODO POZO  
BARRENADO INVERTIDO**

<b>N°</b>	<b>h<sub>0</sub> (cm)</b>	<b>h<sub>n</sub> (cm)</b>	<b>t<sub>0</sub>-t<sub>n</sub> (s)</b>	<b>K (m.dia<sup>-1</sup>)</b>
1	66	15,7	220	10,57
2	53	28,3	960	1,07
3	63	11,6	540	5,01
4	61	37	960	0,86
5	45	30,9	900	0,68
6	50	32,4	960	0,74
7	45	31,5	900	0,65
8	43	28,8	960	0,68
9	60	26,2	900	1,51
10	61	55,4	900	0,18
11	61	11,4	900	2,97
12	60	39,8	900	0,76
13	63	25,4	900	1,66
14	61,8	53,4	900	0,27
15	60	45,6	900	0,51
16	65	54,4	900	0,33
17	71	47,5	900	0,75
18	63,3	47,5	960	0,50
19	52	27,1	960	1,11
20	39	8	900	2,71
21	59	42,3	960	0,58
22	46	15	900	1,99
23	47	12,5	300	7,01
24	59,5	45,9	1020	0,42
25	71	28	660	2,33
26	53	21,4	960	1,54
27	27	8,9	900	1,88
29	58	35,3	900	0,91
30	51,5	28,4	900	1,09
31	50	34,6	900	0,67
32	42	25,3	960	0,86
20'	42,5	24,5	900	1,00

Radio del barreno = 4cm, h<sub>0</sub> altura del agua inicial, h<sub>n</sub> altura del agua final, t<sub>0</sub> tiempo inicial, t<sub>n</sub> tiempo final, K conductividad hidraulica del suelo.

**ANEXO L. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO Y PH - MÉTODO POTENCIOMÉTRICO**

N°	CEe ( $\mu\text{s.cm}^{-1}$ )	pH	N°	CEe( $\mu\text{s.cm}^{-1}$ )	pH
1	96,9	5,77	18	43,8	5,49
2	257,5	6,01	19	89,3	6,69
3	682	6,88	20	411	6,59
4	244,3	7,6	21	53,7	5,2
5	298	5,35	22	31,8	4,09
6	156,4	6,05	23	64,6	5,07
7	288,5	6,21	24	68,9	5,78
8	145,7	5,48	25	104,4	5,6
9	273,3	5,94	26	109,4	5,17
10	164,7	5,4	27	62,6	5,39
11	292,3	5,27	29	79,3	6,41
12	284,5	5,91	30	41,4	5,68
13	246	5,69	31	98,2	5,05
14	158,2	5,63	32	112,4	5,33
15	212,6	5,81	20'	136,6	5,17
16	208	5,96			5,68
17	201,2	5,93			

CEe conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo

**ANEXO M. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO DEL SUELO**

N°	Pi (g)	NaOH (ml)	CIC(Cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup> )
3	2,5018	4,2	15,59
4	2,5012	2,2	7,6
5	2,5005	3,2	11,6
6	2,5072	2,4	8,38
7	2,5086	3,3	11,96
8	2,506	2,9	10,38
9	2,5021	4,4	16,39
10	2,5054	2,4	8,38
14	2,5051	3,7	13,57
15	2,5019	3,6	13,19
23	2,5050	5,4	19,96
24	2,5032	5	18,38
26	2,5018	4,2	15,19
29	2,5053	6,7	25,15
30	2,5062	6,1	22,74
31	2,5010	5,7	21,19
32	2,5027	5,3	19,58

Pi peso inicial de la muestra, CIC capacidad de intercambio catiónico del suelo



**ANEXO N. CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA - MÉTODO WALKLEY-  
BLACK**

<b>N°</b>	<b>Pi(g)</b>	<b>R(ml)</b>	<b>%C</b>	<b>%MO</b>
<b>3</b>	0,3307	2,8	0,0183	3,16
<b>4</b>	0,4135	3,8	0,0069	1,20
<b>5</b>	0,3659	4	0,0088	1,52
<b>6</b>	0,5230	4,2	0,0050	0,87
<b>7</b>	0,3850	4,1	0,0076	1,32
<b>8</b>	0,3677	3,1	0,0138	2,39
<b>9</b>	0,5298	3,7	0,0060	1,04
<b>10</b>	0,3617	3,9	0,0070	1,22
<b>14</b>	0,5227	4,5	0,0012	0,21
<b>15</b>	0,4298	3,5	0,0089	1,54
<b>23</b>	0,4621	2,8	0,0131	2,26
<b>24</b>	0,3761	3	0,0144	2,49
<b>26</b>	0,4909	2,2	0,0162	2,80
<b>29</b>	0,4516	3,5	0,0084	1,46
<b>30</b>	0,4688	2,8	0,0129	2,23
<b>31</b>	0,5145	3,3	0,0086	1,50
<b>32</b>	0,4199	2,6	0,0159	2,75

Pi es el peso inicial del suelo, R sulfato ferroso gastado en la titulación, %C porcentaje de carbono, %Mo porcentaje de materia orgánica.

**ANEXO Ñ. ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DEL SUELO -  
METODO YODER**

<b><i>Typic Durustepts</i></b>							
<b>M</b>	<b>WT(g)</b>	<b>Wi (g)</b>	<b>WF(g)</b>	<b>WFF (g)</b>	<b>%H</b>	<b>%Pssi</b>	<b>DPM (mm)</b>
<b>1,1</b>	46,5	87,4	65,3	56,8	117,55	18,80	0,376
<b>1,2</b>	52,6	79,9	64,4	57,0	131,36	11,80	0,118
<b>1,3</b>	45,0	75,9	58,7	48,7	125,55	13,70	0,069
<b>1,4</b>	46,7	76,3	47,9	47,1	2366,67	1,20	0,003
							<b>0,566</b>
<b><i>Typic Haplustepts</i></b>							
<b>2,1</b>	51,6	96,4	71,6	60,5	124,00	20,00	0,400
<b>2,2</b>	55,8	81,4	67,4	60	120,69	11,60	0,116
<b>2,3</b>	46	85,6	67,2	55,7	86,79	21,20	0,106
<b>2,4</b>	33,8	44,8	37,1	34,5	233,33	3,30	0,0083
							<b>0,630</b>
<b><i>Humic Dystrustepts</i></b>							
<b>3,1</b>	45,3	82,7	61,2	49,3	135,22	15,90	0,318
<b>3,2</b>	50,6	76,7	62,1	53	126,96	11,50	0,115
<b>3,3</b>	33,5	92,9	60,1	36	123,31	26,60	0,133
<b>3,4</b>	31,3	45,8	34,8	32,6	314,29	3,50	0,0088
							<b>0,575</b>

## ANEXO O. COLOR DEL SUELO - TABLAS MUNSELL



Perfiles de suelo 1, 2, 3, 5, 7,9, 10, 11, 12



Perfiles de suelo 13, 14,16,17,1819, 20, 21, 22



. Perfiles de suelo 24, 26, 27, 29, 30, 31, 32