

EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE SUELOS DEL PREDIO HATO VIEJO, MUNICIPIO DE LA PLATA

Rafael Morantes D., *Ing. Agrónomo*

I. A. Gestor Unidad de Emprendimiento

Centro de Desarrollo Agroempresarial y Turístico del Huila - SENA, La Plata.

rafamorantes@misena.edu.co

Resumen: El sector primario de la economía colombiana debe ser más competitivo; y una de las limitaciones a superar es el uso excesivo de los fertilizantes, a pesar de conocerse los requerimientos nutricionales de los cultivos. Este trabajo se realizó en el predio Hato Viejo del municipio de La Plata (Huila), y tuvo como objetivo evaluar una metodología de muestreo de suelos basada en principios de Agricultura de Precisión (AP) y Agricultura Específica Por Sitio (AEPS) ajustada al medio. Inicialmente se realizó la segmentación de los suelos con el propósito de elaborar una primera caracterización física por color y textura al tacto; esto permitió realizar una aproximación inicial a la variabilidad espacial de los suelos en lotes de café en producción, encontrando en este predio una variabilidad promedio del 61 %. En este estudio se utilizaron tecnologías como el sistema de posicionamiento geodésico, el cual hizo posible localizar en campo los sectores con características físicas y químicas diferentes.

Esta labor permitió establecer que la variabilidad de los suelos es tan alta que la metodología convencional de muestreo de suelos utilizada no respondería a las necesidades nutricionales de los lotes. Por lo tanto, se requiere un manejo más específico por sitio, es decir: microlotes. De esta forma se estará contribuyendo a mejorar la rentabilidad de la empresa cafetera, proporcionando condiciones de sostenibilidad para el caficultor y su familia. Es necesario ampliar este tipo de estudios en la región para mejorar la determinación de la variabilidad de los suelos en la zona.

Palabras claves: Agricultura de Precisión (AP), Agricultura Específica Por Sitio (AEPS), fertilizantes, café, segmentación.

ASSESSMENT ABOUT SPATIAL VARIABILITY IN SOILS FROM "HATO VIEJO'S FARM" LA PLATA, TOWN

Abstract: The primary sector of the economy in Colombia should be more competitive and one of the limitations to be overcome is the excessive use of fertilizers, even when the nutritional needs of plants are known. The research was carried out in Hato Viejo farm at La Plata Huila. The objective was to evaluate a sampling methodology in soils based on precision farming principles and specific agriculture by site adjusted to the environment. At first we developed soil segmentation, aiming at physical characterisation by color and texture to the touch. This allowed an initial approach to spatial variability of soils in coffee lots in production, finding in this farm a variability average of 61 %. Technologies were used in this study such as the geodesic positioning system which made possible to locate in the field the sectors with different physical and chemical characteristics. This work established that the field variability of soil is so high that the conventional methodology of soil sampling used would not be relevant to the nutritional needs of the lots. A more specific management by site is needed, i. e. microlots. In this way we will contribute to improve the return of coffee enterprises by providing sustainability conditions to the coffee grower and his family. This sort of studies should be expanded in the region to improve the determination of soil variability.

Key words: Precision Agriculture, Specific Agriculture For Site, fertilizers, coffee, segmentation.

Introducción

El desarrollo socioeconómico del municipio de La Plata se sustenta en la producción y comercialización del grano de café, siendo esta actividad de vital importancia para el desarrollo integral de la comunidad.

Al mejorar los procesos de producción del café, especialmente en lo referente a los planes de fertilización, mediante la implementación de una metodología de muestreo de suelos basada en los principios de Agricultura de Precisión (AP) y Agricultura Específica Por Sitio (AEPS) se mejorarán los ingresos del productor, aumentando la rentabilidad económica, estimulando el arraigo de los productores con la empresa cafetera, disminuyendo los problemas edáficos derivados de un uso inadecuado del suelo, reduciendo con esto los desórdenes fisiológicos, y haciendo que el agro ecosistema sea sustentable y sostenible, lo que conlleva a

la obtención de un producto altamente competitivo en los actuales mercados globales. Todo lo anterior dará como resultado un mejoramiento de la calidad de vida del productor cafetero y de su familia.

Marco teórico

Tradicionalmente, el manejo de la nutrición se ha basado en el promedio del contenido de nutrientes medido por el análisis de suelos. Este método de diagnóstico trata de definir el manejo nutricional sobre la premisa de que la variabilidad intrínseca del suelo está bien cubierta cuando se muestrea para obtener una media de la fertilidad del lote. Se empieza a sospechar que la variabilidad espacial del campo es un factor que limita severamente los rendimientos (Espinosa, 2006).

Cuando se dividen los lotes para muestreo tradicional, se asume que cada lote es uniforme, pero en realidad la variabilidad intrínseca es muy grande y lamentablemente no se dimensiona con esta forma de muestreo (Carrillo, Suárez y Sanz, 1995). Este mismo criterio es esbozado por Jaramillo (2013).

Igualmente Jaramillo (2013) plantea que:

Es claro que el manejo basado en la media de la fertilidad ya no es suficiente para mantener rendimientos altos sostenibles en agricultura empresarial y aun en agricultura de menor intensidad. Es común observar que se sobre-fertiliza las áreas de bajo rendimiento y que no usan suficientes nutrientes en las áreas de alto rendimiento. El continuar con el manejo basándose en la media de la fertilidad solamente incrementa la variabilidad y reduce la productividad de la finca.

Teniendo en cuenta algunos principios de AEPS, Espinosa (2006) plantea que para el manejo por sitio específico se requiere que el productor conozca lo mejor que pueda el suelo de su finca. Para esto es necesario hacer un muestreo de suelos intenso y cuidadoso. Esto se logra dividiendo los lotes en cuadrículas y tomado muestras de cada una de las cuadrículas. Los sitios de muestreo son geo-referenciados con un sistema satelital, de modo que se puede confeccionar un mapa donde se observe la variabilidad de suelos en el lote, y que ayude a entender la fertilidad y otras condiciones del sitio. Este criterio es compartido por Jaramillo (2013).

La situación actual a nivel del SENA, por Centros de Formación, en cuanto a la utilización e implementación de las nuevas tecnologías en la aplicabilidad de la AP y AEPS fue determinada por Segura (Segura, Correa, Vásquez, 2010).

La fertilización de los cafetales en Colombia está dada por las recomendaciones generales de CENICAFÉ, que según Sadeghian, (Sadeghian y González Osorio,

2012b) para plantaciones con poca sombra (menos de 35 %) y densidades entre 5000 y 7500 plantas o ejes por ha, se sugiere aplicar el 95 % de las cantidades definidas para el criterio base.

Para todos los casos la relación entre N: P2O5: K2O: MgO: S es aproximadamente de 6:1:5:1:1. Esta información puede servir de guía para definir formulaciones o grados generales de fertilizantes para la caficultura nacional. Teniendo en cuenta las anteriores razones, es decir, el criterio base, para la zona en estudio se aplicaría: 300 kg/ha/año de nitrógeno (N), 260 kg/ha/año de potasio (K₂O), 50 kg/ha/año de fósforo (P₂O₅), magnesio (MgO) y sulfatos (S), el cual se obtiene de la adición de 1765 kg/ha/año (Sadeghian y González Osorio, 2012b).

Por otro lado, para la etapa de levante del café, que comienza con el trasplante al sitio definitivo de los almácigos y finaliza antes de la primera cosecha, es decir, entre los 18 a 24 meses, Sadeghian (Sadeghian y González Osorio, 2012a) plantea iniciar al primer o segundo mes de sembrado el colino de café en el sitio definitivo y continuar cada tres o cuatro meses, donde la dosis de fertilizante deberá incrementarse conforme al crecimiento del cultivo y se expresa en gramos por planta. Teniendo en cuenta los nutrientes de nitrógeno (N), fósforo (P₂O₅), potasio (K₂O) y magnesio (MgO).

Debido a la cultura del caficultor de la región, esta registra muy costosa la implementación del estudio de suelos aplicando el concepto literal de AP y AEPS. Por lo anterior, este trabajo permitió evaluar una metodología intermedia o de gama media, que resulte de fácil aplicabilidad en el occidente del Huila y para la zona cafetera del país, que mejore el sistema convencional de muestreo de suelos con fines de análisis de fertilidad y se detecte así la variabilidad espacial de los suelos para ajustar la recomendaciones de fertilización en forma de microlotes. Por otra parte, las decisiones de fertilización deberán tomarse con base en un análisis estadístico.

Planteamiento del problema

La zona cafetera del occidente del Huila presenta condiciones agroecológicas muy favorables para la producción de café, como son altitud, precipitación, temperatura, pendiente, radiación solar; suelos provenientes de formaciones ígneas, metamórficas, sedimentarias y volcánicas, en constante proceso de meteorización debido a la posición geomorfológica de la región y al manejo cultural de la misma.

Por otro lado, los cultivadores de café del occidente del Huila, cuentan con un servicio de extensión especializado que les brinda asesoría técnica, acceso a recursos crediticios, puntos de venta de los insumos requeridos para el cultivo, puntos de compra para el café húmedo y seco, y una aceptable red de vías terciarias; sin embargo, la producción por área es baja y la calidad del grano no es la mejor, de acuerdo a lo valorado por el Laboratorio de Catación de Café del SENA-CDATH.

¿Por qué se presenta una baja productividad y calidad del café que se obtiene en el occidente del Huila a pesar de aplicarse las recomendaciones generales pertinentes al cultivo?

Objetivo general:

Evaluar una metodología de muestreo de suelos que facilite la detección de la variabilidad intrínseca del suelo, y que permita mejorar la productividad, rentabilidad y calidad del café obtenido en el occidente del departamento del Huila.

Objetivos específicos:

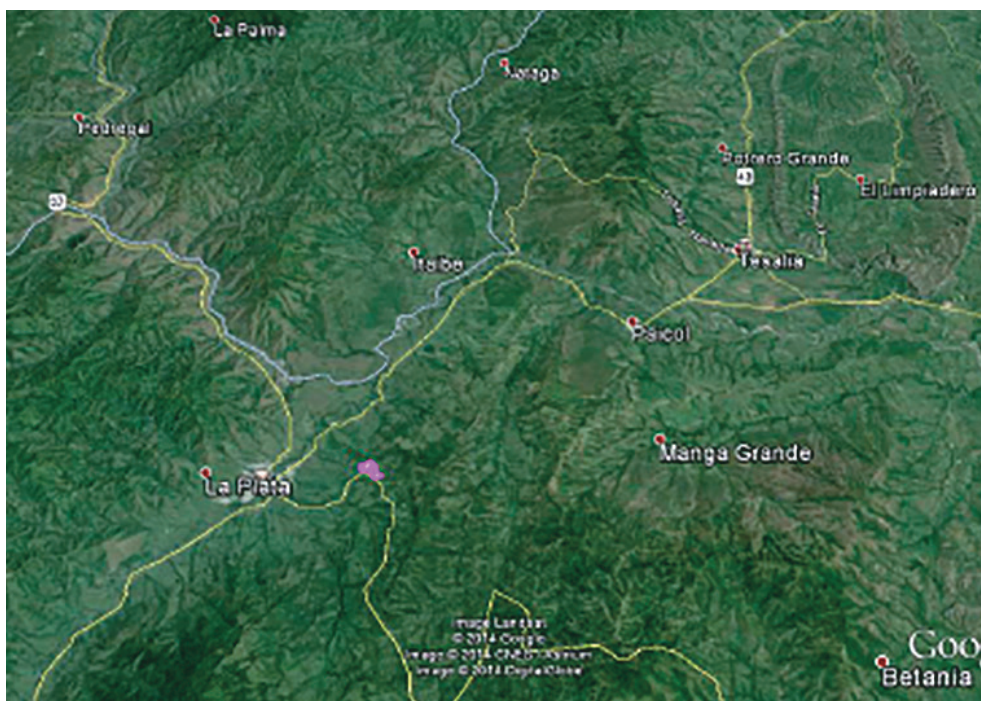
- Optimizar el uso de los insumos edáficos empleados en la producción de café.

- Disminuir los costos de la mano de obra empleada en la producción de café, especialmente en el aspecto de la fertilización.
- Evaluar la variabilidad del suelo bajo los principios de Agricultura Específica Por Sitio (AEPS) y Agricultura de Precisión (AP).

Metodología

El trabajo de campo se efectuó en la Empresa Cafetera Hato Viejo, localizada en la vereda La Morena del municipio de La Plata, comprendido entre las coordenadas geodésicas:

N 02° 23' 30.0" W 75° 51' 47.5"; N 02° 23' 24.2" W 75° 51' 16.7"; N 02° 23' 41.7" W 75° 51' 27.3"; N 02° 23' 38.1" W 75° 51' 41.7"



Plano de Localización del predio "Hato Viejo".

La zona cuenta con las siguientes características: Con altitudes comprendidas entre 1245 msnm a 1338 msnm, pendiente promedio del 9,6 %; el área total del predio de estudio: 21 ha – 7605 m², cultivada con café

variedades Caturra y Castillo, con edades comprendidas entre los 1,5 a 5 años, con una exposición solar entre el 75 % a 70 % dividido administrativamente en 12 lotes de café. Las distancias de siembra utilizadas son de 1,40 m x 1,60 m y 2,00 m. x 2,00 m, para un total de 76600 árboles de café.

La primera información tomada fue la geo-referenciación del predio por lotes cultivados. Esta medición se realizó mediante receptor GPSmap76CS, marca Garmin. Luego, se calculó el área de cada lote; este cálculo se realizó con el software AutoCAD2012. Una vez establecida el área, se procedió a estipular el tamaño de la grilla mediante la aplicación de la estadística, empleando la fórmula para determinar el tamaño de muestra para población finita, con un nivel de confianza del 90 %, proporción esperada del 50 %, precisión del 3 %. El tamaño de muestra fue de 749,09 m², con una distancia entre muestras de 27,37 m, para un total de puntos de muestreo de 290 sitios. En cada sitio de muestreo se tomó una porción de suelo mediante barreno holandés, hasta una profundidad de 20 cm y se procedió a empacar en una bolsa plástica nueva y a rotular con la información de número de punto de muestreo, coordenadas del punto y nombre del lote dentro de la empresa cafetera.

Una vez recolectada la totalidad de las muestras, se comenzó a construir una maqueta de suelos para apreciar la variabilidad del suelo de cada lote, teniendo en cuenta la secuencia de muestreo. Luego se procedió a agruparlas o segmentarlas de acuerdo a la característica física de color, como primera aproximación; si se tenían dudas en la comparación de muestras, se evaluaban por la característica física de textura al tacto. Una vez segmentadas las

muestras, se empacaron en bolsa plástica nueva con capacidad de una libra y se rotularon para ser enviadas al laboratorio de suelos. Por otra parte, en el plano que se construyó la grilla, se realizó la misma segmentación de campo y se procedió a determinar el área de cada segmento (muestra). La segmentación del suelo resultante fue de 56 segmentos (muestras), con un área promedio por segmento de 3886 m², equivalente a un 1,8 % del área total; igualmente el promedio de árboles de café por segmento fue de 1358.

Los parámetros analizados fueron:

pH, aluminio (Al³⁺), amonio (NH₃-N), nitratos (NO₃-N), nitritos (NO₂-N), nitrógeno total, fósforo (P₂O₅), potasio (K₂O), calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg₂₊), sulfatos (SO₄²⁻), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B), Densidad Aparente, Conductividad Eléctrica, Textura por Bouyucos.

Para el análisis de los datos obtenidos se construyeron tablas de frecuencia, aplicando la fórmula de Sturges para la determinación de rangos, a estos rangos se les calculó la media y se les realizó la prueba F, con un nivel de confianza al 95 % y se aplicó el concepto de probabilidades (*p*) (Becerra E, n.d.) para determinar la variabilidad espacial de cada una de las variables en estudio del suelo.

En cuanto a la clase textural, el estudio arrojó los siguientes resultados:

TABLA 1. FRECUENCIA CLASE TEXTURAL SUELOS EMPRESA HATO VIEJO DEL MUNICIPIO DE LA PLATA-2013

CLASE TEXTURAL	MICROLOTES	FRECUENCIA RELATIVA
FRANCO ARCILLO ARENOSO (FArA)	36	64,29 %
FRANCO (F)	8	14,29 %
FRANCO ARCILLOSO (FAR)	7	12,50 %
FRANCO ARENOSO (FA)	5	8,93 %

Variabilidad espacial del 36 % para la clase textural.

Para el análisis de las demás variables en estudio, se obtuvo la siguiente información:

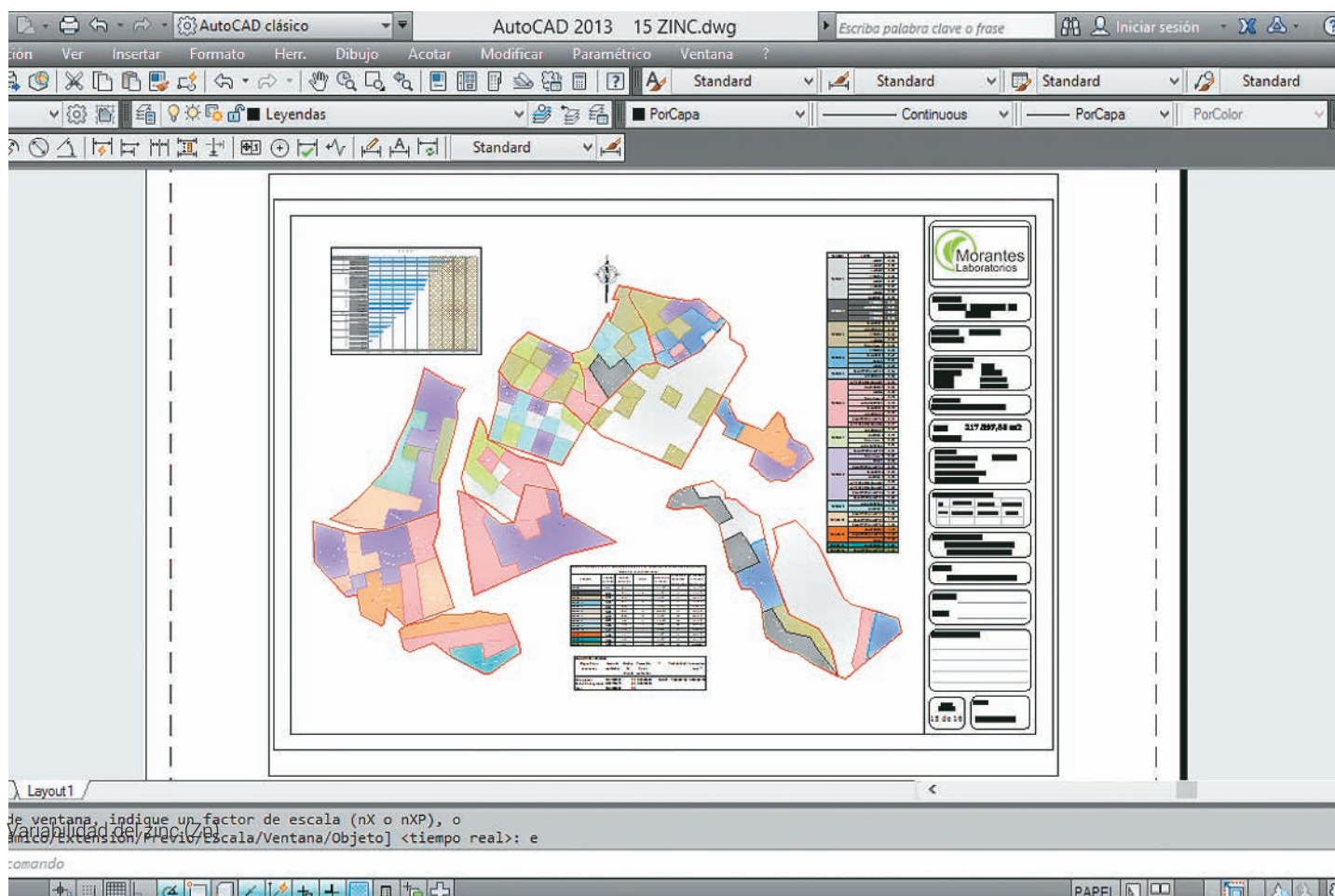
TABLA 2. RANGOS DETERMINADOS- ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR – VARIABILIDAD. PREDIO HATO VIEJO. LA PLATA 2013

VARIABLE	RANGOS	F – CALCULADO	F – TABULADO	DIFERENCIA ESTADÍSTICA ENTRE MEDIAS AL 95 %	VARIABILIDAD
Sulfatos (SO ₄ ²⁻):	13	546,13	1,9852	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	5,4 %
Hierro (Fe):	7	913,90	2,2904	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	26,8 %
Calcio (Ca ²⁺):	12	1748,49	2,0140	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	41,1 %
Magnesio (Mg ²⁺):	11	2593,53	2,0487	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	50,0 %
Aluminio (Al ₃ ⁺):	12	1491,92	2,0909	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	53,6 %
Cobre (Cu ²⁺):	10	872,13	2,0909	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	53,6 %
Boro (B):	10	724,37	2,0909	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	66,1 %
Nitrógeno total:	13	590,83	1,9612	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	67,9 %
Conductividad Eléctrica	10	436,13	2,0909	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	69,6 %
Manganeso (Mn):	12	580,16	2,0140	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	75,0 %
Densidad Aparente:	13	296,75	1,9852	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	75,0 %
Nitritos (NO ₂ -N):	14	590,83	1,9612	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	75 %
pH:	9	451,99	2,1427	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	76,8 %
Nitratos (NO ₃ -N):	12	745,91	2,0140	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	76,8 %
Potasio(K ₂ O):	11	554,76	2,0487	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	78,6 %
Amonio (NH ₃ -N):	10	1491,92	2,0909	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	80,4 %
Fósforo (P ₂ O ₅):	10	400,77	2,0909	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	80,4 %
Zinc (Zn):	13	546,13	1,9852	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	82,1 %

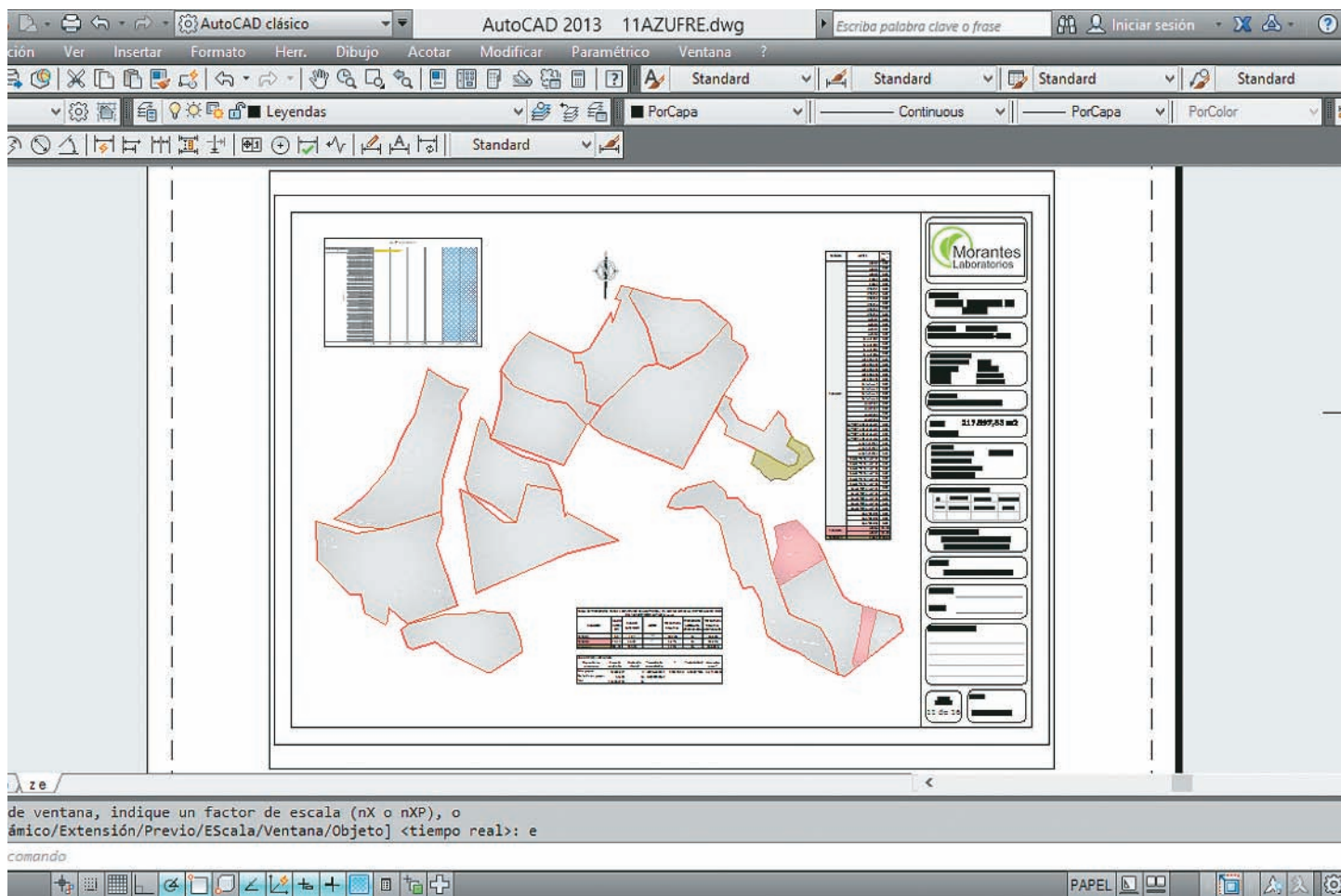
Teniendo en cuenta las diferentes variables estudiadas, el promedio de variabilidad de los suelos del predio Hato Viejo es del 61 %, siendo el zinc el nutriente con mayor variabilidad, mientras que el de sulfatos es el de menos variabilidad. Esto se puede apreciar mejor al comparar los mapas de estas dos variables (Mapas

1 y 2). Lo anterior concuerda con lo encontrado por Sánchez (Adolfo & Moreno, 2012) quien determinó que las variables químicas de suelo del lote bajo un estudio presentaban diferentes comportamientos espaciales, encontrando que cuatro componentes explicaban el 79,2 % de la variabilidad.

MAPA 1. DISTRIBUCIÓN DEL ZINC. PREDIO HATO VIEJO LA PLATA. 2013



MAPA 2. DISTRIBUCIÓN DE SULFATOS. PREDIO HATO VIEJO LA PLATA. 2013



Variabilidad del Sulfatos (SO₄)

Debido a la alta variabilidad de disponibilidad de nutrientes en el suelo del predio Hato Viejo y con base el requerimiento del cultivo de café, se determinó la relación de nutrientes mayores, secundarios y menores en

cada micro lote, fundados en el requerimiento de fósforo, encontrando 29 relaciones, las cuales se muestran a continuación:

TABLA 3. GRADOS DEL FERTILIZANTE REQUERIDO POR MICROLOTES PARA CAFÉ. PREDIO HATO VIEJO LA PLATA. 2013

GRADOS	MICROLOTES	GRADOS	MICROLOTES	GRADOS	MICROLOTES
0-1-0-0,75-0,002	2	2-1-4-0,75-0,013	2	4-1-9-0,75-0,021	1
0-1-1-0,75-0,002	1	2-1-5-0,75-0,017	1	5-1-3-0,75-0,019	1
0-1-2-0,75-0,005	2	2-1-6-0,75-0,007	1	5-1-4-0,75-0,02	4
0-1-3-0,75-0,004	5	3-1-5-0,75-0,017	2	5-1-5-0,75-0,02	1
0-1-4-0,75-0,006	3	3-1-6-0,75-0,027	2	5-1-6-0,75-0,019	2
0-1-5-0,75-0,008	5	4-1-2-0,75-0,016	1	5-1-17-0,75-0,024	1
0-1-6-0,75-0,01	2	4-1-3-0,75-0,016	1	6-1-5-0,75-0,025	1
1-1-2-0,75-0,011	3	4-1-4-0,75-0,02	3	6-1-6-0,75-0,025	1
1-1-3-0,75-0,011	2	4-1-5-0,75-0,018	3	7-1-4-0,75-0,023	1
2-1-2-0,75-0,011	1	4-1-6-0,75-0,019	1		

Rodríguez (*et al.*, 2008) concluyó que el análisis del beneficio financiero, realizado mediante presupuestos parciales, muestra mejores resultados con la fertilización específica por sitio, al compararla con el manejo convencional. No obstante, se requiere mayor investigación en métodos económicos de muestreo de sue-

los, con el fin de reducir los costos para implementar el manejo por sitio específico de la fertilidad. Finalmente, se evaluó cómo esta variabilidad del suelo se refleja en los costos de fertilización en el predio Hato Viejo para el año 2013.

TABLA 4. COMPARACIÓN DE COSTOS DEL FERTILIZANTE REQUERIDO. PREDIO HATO VIEJO LA PLATA. 2013

ITEM	Costo del Fertilizante (\$)*	
	MEZCLA	17-6-18-2
ADQUISICIÓN FERTILIZANTES	\$ 27.524.847	\$ 49.161.383
TRANSPORTE FERTILIZANTES	\$ 988.000	\$ 1.538.000
MEZCLA DE FERTILIZANTES	\$ 988.000	\$ 0
APLICACIÓN FERTILIZANTES	\$ 2.470.000	\$ 3.845.000
COSTO TOTAL DEL FERTILIZANTE PARA EL PREDIO:	\$ 31.970.847	\$ 54.544.383

* Precios a julio de 2013

Como se puede apreciar, el ahorro en dinero de la aplicación de esta metodología, para el predio Hato Viejo, fue de \$ 22.573.536 lo que representa una disminución en este costo del 41,39 % frente a la fertilización de tipo convencional.

Conclusión

La investigación realizada en el predio Hato Viejo, permite corroborar que con la metodología desarrollada mediante el muestreo de suelos sistemático y con la segmentación de las muestras obtenidas, se alcanzan resultados confiables que permiten ajustar los requerimientos de fertilizantes para café de una forma más precisa (microlotes), disminuyendo en un 41,39 % los costos de producción que se invierten en la compra de insumos. De esta manera, también es posible aumentar la rentabilidad de la empresa cafetera.

Bibliografía

- Adolfo, G.; & Moreno, L. (2012). "Variabilidad del Crecimiento y Rendimiento del Cultivo de Maíz para Choclo (*Zea mays L.*) como Respuesta a Diferencias en las Propiedades Químicas del Suelo en la Sabana de Bogotá", Colombia, *65*(26), 6579–6583.
- Becerra E, J. M. (n.d.). "Estadística Descriptiva. In UNAM. Facultad de Contaduría y Administración". (Ed.), *Matemáticas Básicas* (pp. 1–38). México.
- Carrillo P, Federico; I. Suárez V, Senén; Sanz U, J. R. (1995). "Cómo obtener una buena muestra para el análisis de suelos". *ISSN-0120-0178, AVANCES TÉ*, 1–4.
- Espinosa, J. (n.d.). "Manejo de nutrientes en agricultura por sitio específico en cultivos tropicales". *INFORMACIONES AGRONÓMICAS*, *39* (39), 9–13.
- Espinosa, J. (2006). "Tendencia en el manejo sostenible de la fertilidad del suelo". *X Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*, 1–7.
- J, D. F. J. (2013). *ZONA CAFETERA CENTRAL COLOMBIANA SPATIAL VARIABILITY OF BASES IN AN ANDISOL OF THE COLOMBIAN CENTRAL COFFEE ZONE*, 111–124.
- Rodríguez, J.; González, A. M.; Rodrigo, F.; & Guerrero, L. (2008). "Fertilización por sitio específico en un cultivo de maíz (*Zea mays L.*) en la Sabana de Bogotá" *Site-specific soil fertilization in maize crop (Zea mays L.) at Bogotá plateau*, *26*(2), 308–321.
- Sadeghian Khalajabadi, Siavosh; González Osorio, H. (2012a). "Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de levante". *ISSN-0120-0178, AVANCES TÉ*, 4.
- Sadeghian Khalajabadi, Siavosh; González Osorio, H. (2012b). "Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de producción". *ISSN-0120-0178, AVANCES TÉ*, 8.
- Segura, L. F.; Correa, S.; Vásquez, J. M.; Valle, U.; & Arte, E. D. E. L. (2010). "EJERCICIO EAD Agricultura de Precisión". *Facultad de Ciencias de La Administración Universidad Del Valle Servicio Nacional de Aprendizaje SENA*, 53.