

DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS SUELOS DE UN AREA PRODUCTIVA DE PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* L.) EN SAN LORENZO, ECUADOR.

Adriana E. Mejía Mejía^{1, 2}, Wilfredo E. Acosta V³. Hernán Burbano O, Diosdado Baena⁴

¹ Ing. Agr. M. Sc. Universidad de Nariño, FACIA. Correo electrónico: adelmejia71@hotmail.com

² Ing. Agr. Director Alespalma. wacosta@ales.com.ec

³ Ing. Agr. M. Sc. Universidad de Nariño, VIPRI. hernan.burbano@googlemail.com

⁴ Ing. Agr. M. Sc. Ph. D. Universidad Nacional de Colombia, AA 237, Palmira, Valle. Autor para correspondencia. dbaena@unalpalmira.edu.co

RESUMEN

Se estudió la variabilidad espacial de las características químicas de un suelo sembrado con palma africana (*Elaeis guineensis* L.); con un muestreo sistemático de 79 muestras en sitio fertilizado y 79 en sitio no fertilizado, en la Plantación Alespalma, ubicada en la región Chocó Pacífica del Ecuador, Cantón de San Lorenzo (60 msnm, 28°C, y 85% de humedad relativa). Se encontró que en el suelo predominan las deficiencias de fósforo, potasio y boro; el calcio es relativamente alto e influye en forma adversa sobre el magnesio y potasio; la materia orgánica es alta e incide positivamente sobre la CIC.

Palabras clave: geoestadística, correlación, variabilidad espacial, palma de aceite, Ecuador.

SUMMARY

The space variability of the chemical characteristics of a soil field was studied with African palm (*Elaeis guineensis* L.); systematic sampling was made with 79 samples in fertilized area and 79 in not fertilized area. The work area was located in the Plantation Alespalma, in the region "Choco Pacifica" of the Ecuador, Canton of San Lorenzo (60 msnm, 28°C, and 85% of relative humidity). It was found that in the soil the phosphorus deficiencies, potassium and boron prevail; the calcium is relatively high and it influences in adverse form on the magnesium and potassium; the organic matter is high and it impacts positively on the CIC.

INTRODUCCION

El Pacífico Chocoano del Ecuador es el principal escenario para el desarrollo de la palma de aceite (ANCUPA. 2005); sin embargo, pese a la climatología apropiada de la región, las pendientes superiores al 25%, limita los programas de fertilización del cultivo (ALESPALMA. 2005), condición que se presenta en un 70% del Cantón de San Lorenzo, donde se realizó esta investigación. Además, se desconoce la variabilidad nutricional del suelo, generando un incremento en los costos de producción por fertilizaciones no ajustadas con la oferta nutricional del suelo.

Para identificar la variabilidad espacial de propiedades químicas en un área productiva de palma africana (*Elaeis guineensis* L.), se hizo un estudio integral en el Lote R0102 de la plantación Alespalma de Ecuador. Se evaluaron las siguientes propiedades químicas de los suelos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), boro (B), pH, materia orgánica (MO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Así mismo, la textura y densidad aparente, en el área fertilizada y no fertilizada, y su variación de acuerdo con la pendiente del terreno.

Uno de los criterios para el diagnóstico nutricional de la palma de aceite, es el análisis de suelos, donde, lo más crítico es la obtención de una muestra representativa (Roberts, 2000). En general, cada

unidad de muestreo debe incluir de 20 a 30 hectáreas, y debe coincidir con el área representativa para el muestreo foliar, (UMS), excepto en zonas donde hay gran variabilidad en las características químicas y físicas del suelo (Munévar, 2000).

Como la mayoría de las propiedades del suelo varían en espacio y tiempo, es necesario utilizar herramientas estadísticas adicionales (Vieira *et al.*, 1983). La variabilidad de las características del suelo, limita la precisión de las recomendaciones de fertilización, que en la mayoría de los cultivos, entre los que se destacan la palma de aceite, se hacen sobre el supuesto de un comportamiento similar del suelo y bajo condiciones específicas de manejo (Webster y Birgess, 1971).

La variabilidad espacial alude a los cambios sufridos en las características a lo largo de un área determinada, por lo cual es necesario contar con datos recolectados en posiciones precisas, sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos, así como sobre el rendimiento del cultivo (García, 2001).

Journel y Huijbregts (1978) mencionan que la geoestadística trata con fenómenos espaciales y su interés radica en la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos (Myers, 1987). La característica básica de esta teoría es la facilidad de utilizar la estructura de la varianza en el espacio o en el tiempo para evaluar el dominio representado por una muestra. Hay necesidad de conocer la localización relativa de las muestras espacial o temporalmente, condición que permite calcular la estructura de la varianza, que expresa la dependencia entre medidas a través de semivariogramas (Robertson, 1987).

De esta forma la Geoestadística puede considerarse como una disciplina que se ocupa del análisis estadístico de variables espacialmente distribuidas. Términos como varianza, semivariograma, Kriging son usuales y el significado de los mismos solo es pertinente en el contexto espacial, si se aplican a variables geográficas que se comporten como variables regionalizadas, la cual para serlo, debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. Es continua pero no matematizable
2. Posee variación local aleatoria
3. Posee variación regional conjunta no aleatoria

Lo anterior significa que la variable regionalizada resulta de la combinación de factores deterministas y factores aleatorios y posee una estructura de autocorrelación o autovariación.

Para la variable regionalizada $Z(x)$ se supone estacionalidad, es decir su valor esperado es el mismo en todas las localidades de la región estudiada y esta dada por las ecuaciones:

$$E [Z(x)] = m \quad (1)$$

$$E [Z(x) - Z(x+h)] = 0 \quad (2)$$

Donde:

m= media aritmética clásica y

h = es el vector de separación o distancia entre sitios muestreados.

La suposición de estacionalidad, implica una hipótesis intrínseca, la cual requiere que para todos los vectores h, la varianza del incremento $Z(x) - Z(x+h)$ sea finita e independiente de la posición dentro de la región.

La semivarianza es la varianza de las diferencias de valores de una característica entre pares de observaciones separadas por una distancia (Ovalles, 1994; Rossi, *et al.*, 1992), expresada por la siguiente ecuación

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} N \sum [Z(x) - Z(x+h)]^2$$

Donde:

$\gamma(h)$ = Semivarianza.

N = Número de pares.

Z(x) = Valor del atributo en el lugar x.

Z(x+h) = Valor del atributo a una distancia h del lugar x

El gráfico de la semivarianza contra el intervalo de distancia, es conocido como el semivariograma. Este contiene toda la información referente a la variable regionalizada, como es:

- Zona de Influencia: región en la cual existe dependencia espacial. Está representada por la distancia (rango o amplitud) a la cual se alcanza la máxima variación (umbral) que indica el punto donde desaparece la dependencia espacial.
- Anisotropía: comportamiento de la variación del atributo estudiado en un punto, en diferentes direcciones.
- Continuidad del atributo en el espacio: comportamiento de semivariograma en el origen. Cuando no hay continuidad, hay presencia de un efecto aleatorio (nugget), el cual es función de la escala de observación (Ovalles, 1991).
- Rango: distancia dentro de la cual existe dependencia espacial (Jaramillo, 2002).

La técnica del Kriging permite realizar estimaciones óptimas e insesgadas de variables regionalizadas en sitios no muestreados usando las propiedades estructurales del semivariograma y el conjunto de datos iniciales (Viera *et al.*, 1981).

Acorde a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la variabilidad espacial de las propiedades químicas y físicas del suelo, discriminándolas por el área fertilizada y no fertilizada, cultivada con palma de aceite.

MATERIALES Y METODOS

Localización. La investigación se realizó en la Plantación Alespalma, en un área derivada de bosques terciarios y topografía ondulada a quebrada, región Chocó pacífica del Ecuador, a 60 msnm., en el Cantón de San Lorenzo, ubicado a 396 km en la vía Quito-Salinas-Esmeraldas (1°24'508 Norte y 7°54'636 Este), con precipitación de 3200 mm, temperatura promedio de 28°C y humedad relativa mayor al 85% (Alespalma, 2005).

La Empresa tiene un total de 4.600 hectáreas, divididas en dos fincas San Lorenzo y Ricaurte, donde se han establecido 2565 has de palma africana. La fisiografía de la plantación presenta relieve ondulado a muy ondulado (pendientes de 10-25%), conformado por suelos heterogéneos, ácidos, muy arcillosos y nutricionalmente pobres (Campbell, 1970).

Metodología. En lotes con igual año de siembra y manejo agronómico se presentaron diferencias en cuanto al crecimiento, desarrollo fisiológico y producción en las palmas, sobre todo en las zonas

onduladas de la plantación. En la finca Ricaurte (siembra 2001), se recopiló información de los análisis de suelos y foliares, con el fin de establecer si históricamente se presentan diferencias marcadas en cuanto a contenidos nutricionales de suelos. Las diferencias de crecimiento y desarrollo del cultivo, se relacionaron con la ubicación de las palmas en la topografía del terreno. De la finca Ricaurte, se seleccionó el lote R0102 por presentar las diferencias marcadas en relieve, así como en el desarrollo y crecimiento de la palma de aceite.

Para establecer el número de palmas a evaluar, se aplicó la fórmula clásica para la estimación del número de observaciones para lo cual se tomaron en el lote R0201 muestras de suelos evaluándose el contenido de arcillas, (Mcbratney y Webster, 1983):

- $n = t^2 \cdot s^2$
- $n =$ número de observaciones requeridas para la estimación de la media
- $s^2 =$ Varianza
- $t =$ Valor de t de student a un nivel de confianza dado.

Con los resultados obtenidos se determinó que se requieren 80 puntos de evaluación, de esta forma, se procedió a establecer las distancias de muestreo a través de un diseño grid regular (100 x 50m), ubicando en forma sistemática 79 palmas correspondientes a puntos de muestreo, diferenciando topográficamente estos puntos acorde a la ubicación de la palma en la pendiente así: zona alta, media y baja; cada punto se georreferenció con un GPS ((Magullan Meridian Gold). obteniéndose el gráfico que se registra en la Fig. 1

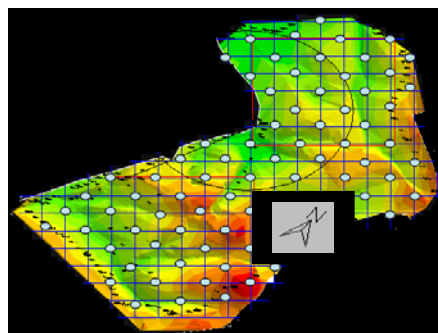


Figura 1. Muestreo sistemático de 79 palmas del Lote R0102 Finca Ricaurte, Alespalma (San Lorenzo – Ecuador).

Sobre estos puntos, se realizó el muestreo de suelos, diferenciando el área fertilizada (1,2 m del estipe) de la no fertilizada (2,5 m del estipe). La toma de muestras de suelo se hizo entre los 0 - 30 cm de profundidad, zona donde se encuentra el mayor número de raíces adventicias, las cuales realizan la toma de nutrientes para la palma africana (Munévar, 2001).

Los análisis de suelos se llevaron a cabo en el departamento Nacional de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Tropical “Pichilingue” del INIAP, en la provincia de Los Ríos, Ecuador y en el Laboratorio de Suelos y Microbiología de la Universidad de Nariño, Colombia. Se determinó los contenidos de, N, P, K, Ca, Mg, MO, CIC, B, pH, densidad aparente, textura. Los resultados se compararon e interpretaron con los niveles nutricionales de suelos propuestos por Munévar (2001).

Los datos de los análisis de suelos se sometieron a la estadística descriptiva, mediante el análisis estadístico univariado. Se aplicó un análisis geoestadístico con base en los valores de las propiedades

y su respectiva localización X, Y (geoposicionamiento) para obtener semivariogramas de cada variable. Se realizó interpolación por “Kriging”; y se estructuraron Figuras de suelos que se presentan posteriormente. El análisis geoestadístico se hizo por medio del programa Arc View 8.0.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis de correlación para el área de estudio. El análisis de correlación mostró relaciones positivas entre la Pendiente y las variables calcio y magnesio; Ca-Mg también y potasio y boro

Tabla 1. Correlaciones altamente significativas para las variables del suelo en el área de estudio

VAR	Ca	Mg	B	MO
Pendiente	0,35**	0,478**		
Ca		0,754**		
K			0,540**	
CIC				0,650**

** Altamente significativos

Pendiente Ca y Mg. En la Tabla 1 se presentan las correlaciones positivas y altamente significativas que predominaron en el área de estudio, determinándose que el calcio y el magnesio se correlacionaron positivamente con la zona de pendiente encontrándose que las mayores concentraciones de calcio y magnesio se localizan en la parte baja de la pendiente (Tabla 1). Teniendo en cuenta la forma del terrero es presumible que debido a los procesos erosivos que se pueden presentar por acción del viento o la lluvia es posible que el calcio y el magnesio sean transportados de la parte alta de la pendiente a la parte baja, condición que se presenta en la zona de estudio, dado que el promedio anual de lluvias es de 3200 mm (Algunos elementos son más propensos a acumularse en el suelo, entre ellos el fósforo; otros, como el nitrógeno, el calcio y el magnesio, se pierden fácilmente por diferentes vías. La pérdida o la inmovilización de elementos nutritivos están asociadas con algunas características del suelo y el clima. Entre ellas, deben mencionarse la pendiente del terreno.(DUNJA, Marta Beg 2000. Fertilización del cultivo maíz. FONIAP divulga N° 65: enero-marzo. 2p)

Ca-mg. El calcio al igual que el magnesio existe como catión y esta gobernado por el fenómeno del CIC, a diferencia del magnesio es un nutriente más dominante en el suelo aun en pH bajos, en general, estos suelos contienen menos magnesio que calcio debido a que el magnesio es más soluble y por lo tanto es más lixiviable (Tabla 1 y 2). Al respecto, Jaramillo (2002) establece que la capacidad de absorción del magnesio es muy bajo en parte porque posiblemente le hace falta un mecanismo de transporte del magnesio a través de la membrana plasmática de esta forma la absorción y translocación del magnesio de las raíces a las partes superiores de las plantas puede restringirse por el potasio y el calcio).

CIC-MO. En la tabla 1 y 2 se presentan los contenidos de MO y CIC sobre el área de estudio. Los resultados de correlación (Tabla 2), llevan a establecer que los coloides orgánicos contribuyen a la CIC, de forma que estas cargas negativas permiten retener los nutrientes añadidos bajo diferentes formas sea a través de la fertilización química o de la meteorización o mineralización de la materia orgánica. A medida que la proporción de coloides orgánicos en el suelo aumenta, el sistema del suelo se vuelve más disperso. Aumentando el área superficial de las partículas de suelo; esto significa que un suelo rico en coloides orgánicos es capaz de adsorber más agua y cationes que un suelo pobre en materia orgánica (Mengel y Kirkby, 2000).

K-B. En la tabla 1 se presentan los resultados de los análisis de suelo en el área de estudio, demostrando que tanto el potasio como el boro, participan del crecimiento y desarrollo de ápices. Las funciones importantes que tienen estos dos nutrientes sobre el desarrollo de los meristemos en las plantas es común (Harris, 1978). El potasio en exceso puede inducir deficiencia de boro, sin embargo, para el caso del presente estudio se observa que los contenidos de los elementos nutricionales se encuentran deficientes, por lo tanto no existe el efecto negativo del potasio sobre el boro; al respecto, Garcés (1988) afirma que un alto contenido de potasio en las plantas, acentúa el efecto negativo de bajos niveles foliares de boro.

Propiedades químicas. En la Tabla 2, se presenta un comparativo de las propiedades químicas (pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, CIC y B) de las muestras evaluadas en suelo fertilizado y no fertilizado, que ayudan a comprender mejor las correlaciones observadas.

Los suelos fertilizados a nivel general, presentaron pHs más ácidos que aquellos no fertilizados, 4.61 y 5.03 en promedio respectivamente, resultado que obedece a la presencia de residuos ácidos originados en la aplicación de los fertilizantes, al menos durante el periodo que el fertilizante se encuentre activo en el suelo. Los contenidos de MO, N, Ca y Mg, fueron menores en las muestras de suelo ubicadas en la zona fertilizada respecto a las no fertilizadas (Tabla 2). Los contenidos orgánicos posibilitan la formación de quelatos con magnesio y calcio dando lugar a que estos nutrientes se acumulen en el suelo (Owen, 1995). Es posible que la palma concentre su mayor población de raíces secundarias y terciarias sobre el área donde se fertiliza por lo tanto es el área donde la planta toma los nutrientes.

El P, K, CIC y B fueron menores en el área no fertilizada (Tabla 2), lo cual puede evidenciar que estos suelos por ser ácidos, presentan alta retención de fósforo muy posiblemente por la acción de los sesquióxidos de hierro y aluminio presentes. Además, las bajas concentraciones de K con respecto a la CIC podrían estar generando un desbalance de bases. Por lo tanto, si se quiere que la palma tenga disponibilidad de los nutrientes que posibiliten un desarrollo óptimo, será necesario hacer la inclusión de fertilizantes de síntesis.

Tabla 2. Comparación de contenidos nutricionales en porcentaje en suelo fertilizado y no fertilizado y por ubicación en la pendiente Lote R0102 Alespalma (Ecuador).

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS			% EN EL ENSAYO		% POR UBICACIÓN EN LA PENDIENTE					
VARIABLE	NIVELES	GRADO	NO FERT	FERT	ALTA 35%		MEDIA 25%		BAJA 15%	
					NO FERT	FERT	NO FERT	FERT	NO FERT	FERT
pH	Promedio				5,03	4,61	5,06	4,71	5,35	4,64
pH	pH > 5,5	ÁCIDO	11,39	1,27	12,90	3,23	8,57	0,00	15,38	0,00
	pH 4,5-5,5	MEDIANA/ ÁCIDO	82,28	72,15	80,65	58,06	85,71	80,00	76,92	84,62
	pH <4,5	MUY ÁCIDO	6,33	26,58	8,00	38,71	5,71	20,00	7,69	15,38
MO %	Promedio				6,49	4,65	5,23	3,05	4,69	3,68
MO	> 4%	ALTO	74,68	34,18	80,65	48,39	74,29	22,86	61,54	30,77
	2-4%	MEDIO	25,32	43,04	19,35	38,71	25,71	42,86	38,46	53,85
	<2%	BAJO	0,00	22,78	0,00	12,90	0,00	34,29	0,00	15,38
P mg kg ⁻¹	Promedio				2,93	20,26	2,63	17,83	5,46	55,46
P	> 20	ALTO	1,27	29,11	0,00	32,26	0,00	22,86	7,69	38,46
	15-20	MEDIO		16,46	0,00	12,90	0,00	22,86	0,00	7,69
	<15	BAJO	98,73	54,43	100,00	54,84	100,00	54,29	92,31	53,85
Ca cmol kg ⁻¹	Promedio				3,94	2,34	4,22	3,01	7,78	4,69

Ca	>6	ALTO	18,99	5,06	12,90	0,00	17,14	2,86	38,46	23,08
	3 a 6	MEDIO	48,10	49,37	41,94	58,06	54,29	45,71	46,15	38,46
	<3	BAJO	32,91	45,57	45,16	41,94	28,57	51,43	15,38	38,46
Mg cmol kg ⁻¹	Promedio				0,68	<i>0,44</i>	0,83	<i>0,77</i>	1,88	<i>1,21</i>
Mg	>0,3	ALTO	89,87	77,22	80,65	61,29	94,29	88,57	100,00	84,62
	0,2-0,3	MEDIO	10,13	16,46	19,35	29,03	5,71	8,57		7,69
	<0,2	BAJO		6,33		9,68	0,00	2,86		7,69
K cmol kg ⁻¹	Promedio				<i>0,35</i>	1,06	<i>0,41</i>	1,03	<i>0,40</i>	0,88
K	>0,45	ALTO	36,71	68,35	35,48	74,19	34,29	68,57	46,15	53,85
	0,2-0,45	MEDIO	40,51	24,05	32,26	19,35	54,29	25,71	23,08	30,77
	<0,2	BAJO	22,78	7,59	32,26	6,45	11,43	5,71	30,77	15,38
CIC	Promedio				<i>21,21</i>	36,67	<i>16,71</i>	35,16	<i>16,71</i>	29,85
CIC cmol kg ⁻¹	>20	ALTO	25,32	97,47	38,71	96,77	14,29	100,00	23,08	92,31
	10 a 20	MEDIO	74,68	2,53	61,29	3,23	85,71	0,00	76,92	7,69
	<10	BAJO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B mg kg ⁻¹	Promedio				<i>0,13</i>	0,52	<i>0,19</i>	0,45	<i>0,17</i>	0,48
B	>0,50	ALTO	1,27	29,11	0,00	32,26	2,86	28,57	0,00	23,08
	0,25-0,50	MEDIO	21,52	50,63	9,68	51,61	8,57	42,86	15,38	69,23
	<0,25	BAJO	77,22	20,25	90,32	16,13	88,57	28,57	84,62	7,69

Los suelos del área de estudio se caracterizan por presentar textura arcillosa, condición que se deben tener en cuenta en las labores de campo y en los procesos del paso de maquinaria que, de no ser bien manejados, pueden contribuir al deterioro físico de los suelos por adensamiento y compactación. Por ello, se considera necesaria la incorporación de residuos orgánicos que mantengan las condiciones físicas actuales y permitan el movimiento adecuado de agua y aire (Amezquita, 2001) para el desarrollo de la palma.

Parámetros geoestadísticos de las características del suelo en área fertilizada. Los resultados del análisis geoestadístico (Tabla 3), mostraron dependencia espacial fuerte para K y B en área no fertilizada; P y B en fertilizada, puesto que hay un aumento de la semivarianza en relación con la distancia hasta alcanzar un punto máximo donde se estabilizaron; K, arenas, arcillas dependencia espacial moderada; las demás variables en el área fertilizada, presentaron dependencia espacial débil, en razón a que el efecto nugget (%CO) fue mayor al 75%.

Tabla 3. Geoestadístico en área no fertilizada y fertilizada lote R0102 ALESPALMA

VAR	Nugget		VARIABILIDAD ESTRUCTURAL		MESETA		RANGO		MODELO		% CO	
	No fer	Fer	No fer	Fer	No fer	Fer	No fer	Fer	No fer	Fer	No fer	Fer
P	6,72	13,54	-6,2	1758,1	0,6	1771,6	574,0	44,1	Tetraesf	Esferico	1187,1	0,76
K	0,05	0,36	0,4	0,1	0,4	0,5	69,1	154,6	Tetraesf	Exponencial	12,26	71,28
B	0,00	0,03	0,04	0,3	0,0	0,3	72,8	26,8	Gausiano	Pentaesf	0,1	8,29
Arenas	6,18	27,96	-4,02	28,7	2,2	56,7	996,7	996,7	Pentaesf	Exponencial	286,07	49,33
Arcillas	9,91	115,03	-5,8	85,1	4,1	200,1	996,7	996,7	Pentaesf	Pentaesf	240,08	57,49
Limos	0,04	3,09	-0,04	0,3	0,01	3,4	289,4	996,7	Pentaesf	Pentaesf	636,15	92,24

P fósforo; K potasio, B boro, A Arenas, Ar Arcillas, L limos; Fer Fertilizado, No Fer No fertilizado

Cambardella (1994) estableció tres categorías para agrupar la importancia de la variabilidad espacial de las variables, de acuerdo con el porcentaje que representa el nugget en el sill, así: fuerte dependencia espacial o de rango corto: nugget < 25%; moderada dependencia espacial o de rango medio: nugget entre 25 y 75%; débil dependencia espacial o de rango alto: nugget > 75%.

Producción de Figuras de isolíneas. La Figura 2 muestra la distribución de pH desde las áreas más ácidas (verdes) a las menos ácidas (naranjas); en las áreas donde los suelos son más ácidos, se presentan problemas de disponibilidad de bases intercambiables y de algunos micronutrientes (tabla 2).

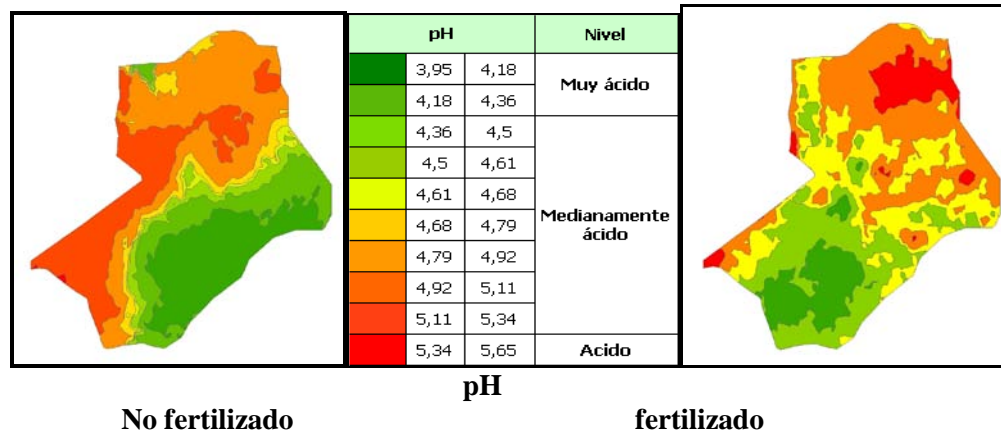
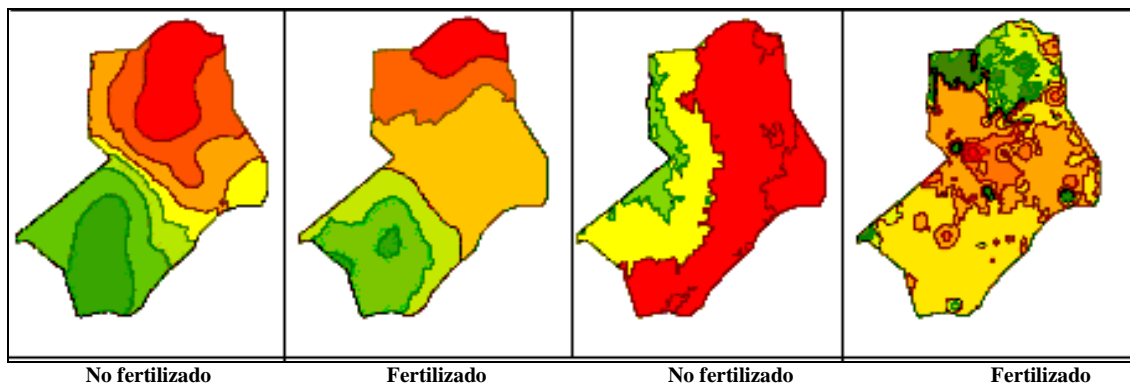


Figura 2. Distribución espacial para pH en suelo no fertilizado y fertilizado

Guerrero (2000), afirma que las condiciones de acidez ocasionan problemas en la fertilidad y manejo del suelo, en relación con presencia y porcentaje de saturación de bases, nitrificación, toxicidad del aluminio y el hierro, fijación de fósforo y necesidad de encalado.

Aunque más del 90% del área tiene deficiencia de P, los mayores contenidos se encuentran hacia el extremo nororiental del lote. En las Figura 2 y 3, se observa que los mayores contenidos de fósforo se encuentran donde el pH tiende a disminuir; aspecto que está siendo influido por los altos contenidos de materia orgánica y los programas de fertilización aplicados a la plantación a través del tiempo para incrementar los contenidos de P en el suelo, en razón a las deficiencias observadas. (Tabla 2).



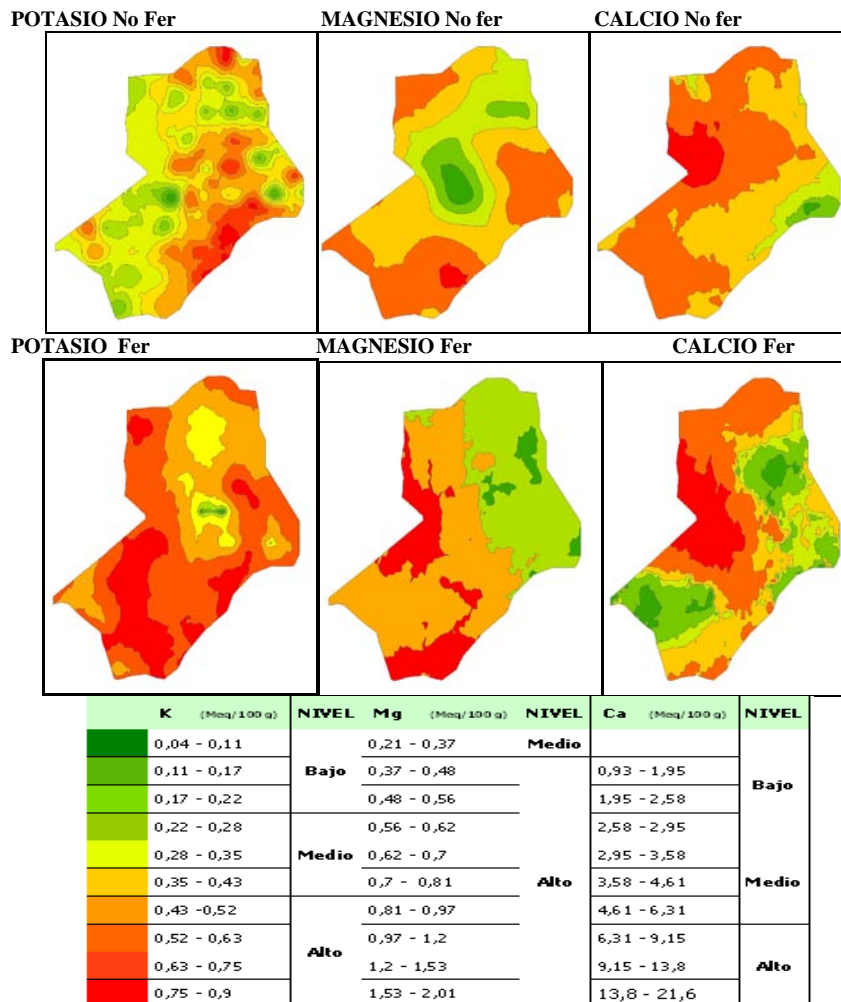


Figura 5. Distribución espacial para potasio, magnesio y calcio en suelo no fertilizado.

El potasio, se encontró en rangos o valores altos en el área fertilizada del lote. Los contenidos de magnesio tienden a ser menores, y muy probablemente se presentarán deficiencias localizadas del nutriente (Fig 5; Tabla 2). Lo anterior se explica, si se tiene en cuenta que no se realizan fertilizaciones magnésicas, afectando la relación entre bases intercambiables y propiciando deficiencias.

Si tenemos en cuenta la relación Ca/Mg, la proporción está en un 80% por encima de 3, condición que puede generar deficiencia de magnesio, y afectar la formación de azúcares y la asimilación de otros nutrientes (Marín, 1986).

Los contenidos de potasio en el área no fertilizada son los menores. De aquí que hay que manejar bien la fertilización de las bases en conjunto, para no generar desbalances entre éstas, en razón de la presencia de calcio y magnesio en el suelo y de los niveles de aplicación de potasio.

El boro está disponible en rangos de pH medianamente ácidos, 5.0 a 7.0; por ello, en el área de estudio se presentan deficiencias de este elemento, destacándose la influencia de la fertilización sobre el comportamiento del nutriente en el suelo. Gracias a la aplicación de fertilizantes ricos en boro, se

BIBLIOGRAFIA

- ALESPALMA. 2005. Información datos de la estación meteorológica, Empresa Alespalma. San Lorenzo, Ecuador.
- AMÉZQUITA, E. 2001. Aplicabilidad de la agricultura de precisión en el trópico. En: Manejo productivo de suelos para cultivos de alto rendimiento p.77 – 93.
- ANCUPA. 2005. Balance socioeconómico de la palma de aceite en Ecuador. In. El Palmero, Vol 1(3): 25-28, Quito.
- ARCINIEGAS F, L Y GINER, J. F. 2006. El calcio y el boro en la nutrición de las plantas Agrícola Vergel: Fruticultura, horticultura, Floricultura, Año 25(295): 348-354.
- CAMBARDELLA, C. A. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1501-1511.
- CAMPBELL, J. 1970. Catálogo de las Plantas basculares del Ecuador, Geología. Extraído el 3 de Abril de 2006 de www.mobot.org
- DUNJA, Marta Beg 2000. Fertilización del cultivo maíz. FONIAP divulga N° 65: enero-marzo. 2p Extraído el 28 de agosto de 2010 de www.sian.inab.gov.ve
- GARCÍA, O. A. 2001. Conceptos sobre el uso del análisis de suelos como herramienta para el diagnóstico de la fertilidad de suelo. En: Memorias del Manejo Productivo del Suelo. p. 63 – 75.
- GUERRERO, R. 1983. La fertilidad de los suelos. Prpiedades y comportamiento. Folleto 5, colección punto verde, Monomeros Colombo Venezolanos, Bogota. 38 p.
- GUERRERO, R. 2000. La acidez del suelo, su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. IN. Fundamentos para la interpretación de Análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Tercera edición. S.C.C.S Bogota, 2000. pp 141-163.
- JARAMILLO, D. F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional Antioquia. Facultad de Ciencias, Medellín. 864p.
- JOURNEL, A and HUIJBREGTS, J. 1978. Mining geostatistics. London: Academic Press. p. 598.
- MARIN, G. 1986. Fertilidad de suelos. Manual de asistencia técnica N° 39, programa de suelos, ICA, Tibaitatá. Sp.
- MUNEVAR, F. 2000. Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. En: Manejo productivo de suelos para cultivos de alto rendimiento. p. 201 – 213.
- _____. 2001. Factores edáficos asociados a la pudrición de cogollo de la palma de aceite en Colombia. En. Revista Palmas. Vol. 22. No. 2. p.23– 35.
- OTERO, L; ORTEGA, F y MORALES, M. 1998. Participación de la arcilla y la materia orgánica en la Capacidad de Intercambio Catiónico en Vertisoles de la Provincia Granma. En: TERRA

(Cuba), VOL 16 (3): 89-194.

OVALLES, F, A. 1994. Métodos estadísticos para evaluar la variabilidad de suelos dentro de unidades de capacidad de uso de la depresión del lago de Valencia. En: *Agronomía Tropical* Vol. 44. No. 1. p. 23 – 40.

OWEN, E. 1995. Fertilización de la palma de aceite. En: *Revista Palmas*. Vol 13. No. 2 p. 39 – 63.

ROBERTS, T. 2000. El muestreo de suelos. Los beneficios de un buen trabajo. En: *Memorias Séptimo Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. pp. 34 – 54.

ROBERTSON, G.P. 1987. Geostatistics in ecology: interpolating with known variance. *Ecology* 68: 744-748.

ROSSI R.E., MULLA, D.J., JOURNEL, A.G. Y FRANZ, E.H. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs* 62: 277-314

VIEIRA, S. R., HATELD J, L. NIELSEN, D.R BIEGGAR J.W. 1981. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. En: *hilgarda*. Vol. 51. No. 53 49p.

VIEIRA, S. R., HATELD J, L. NIELSEN, D.R BIEGGAR J.W 1983. Geostatistic theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia* 51 (3): 1-75.

WEBSTER, R and BIRGESS, T.M., 1971. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. Part 3 Changing drift and universal Kriging. En: *The Journal of soil Science*. Vol. 31. No. 3. 505 – 524.