

# Relación de las características edáficas y el desarrollo del sistema de raíces de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq)

## The Relationship between Edaphic Soil Characteristics and the Development of the Root System in Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq)

### AUTORES

**José Álvaro Cristancho R.**

Investigador auxiliar, Cenipalma  
alvaro.cristancho@cenipalma.org

**Fernando Munévar Martínez**

Investigador titular, Cenipalma

**Álvaro Acosta García**

Director de investigación,  
PalmaTica

**Libardo Santacruz**

Subgerente plantación,  
Guaicaramo S.A.

**Marcelo Torres Valderrama**

Ingeniero agrónomo, Pacol

### Palabras CLAVE

Palma de aceite,  
características edáficas,  
sistema de raíces

Oil palm, edaphic  
characteristics, root system.

Recibido: 20 abril 2007

Aprobado: 20 mayo 2007

### Resumen

Se estudiaron los patrones de distribución del sistema radical de la palma de aceite en función de las características físicas y químicas del suelo. El trabajo se realizó en la plantación Guaicaramo S.A., ubicada en el municipio de Barranca de Upía, departamento del Meta (Colombia). El muestreo de densidad radical se efectuó con el método de perfiles lavados en calle de cosecha y en la calle sin tráfico, en cinco palmas sanas seleccionadas en forma aleatoria. Al correlacionar pares de datos de densidad radical y la concentración de cada parámetro físico y químico en los primeros 20 cm del suelo, se establecieron correlaciones positivas entre la densidad radical y las concentraciones de K y P, y correlaciones negativas para el aluminio intercambiable y la densidad aparente del suelo. Los resultados indican un efecto notorio de las condiciones del suelo en el crecimiento de la raíz, lo cual debe tenerse en cuenta en futuras investigaciones y en el manejo agronómico del cultivo.

### Summary

The root distribution patterns of oil palm were studied in relation with the soil physical & chemical characteristics. The work took place at the Guaicaramo S.A. state, municipality of Barranca de Upía, department of Meta, Colombia. Root density sampling was performed with the trench method in the traffic and non-traffic ways in five healthy randomly selected palms. Pair correlations were performed between root density and individual physical-chemical parameters for the top 20 cm of soil. Positive correlations were obtained between root density and K and P concentrations, and negative ones were obtained for exchangeable Al and bulk density. The results indicate that there is a significant effect of soil conditions on root growth which needs to be taken into account for future research and for improving the agronomic management of the crop.



## Introducción

La raíz es una estructura de la planta de vital importancia para el mantenimiento de un sistema productivo, ya que por su intermedio se realizan, entre otras, las funciones de fijación de la planta al suelo, y absorción de agua y nutrientes. La palma de aceite posee un sistema radical fasciculado compuesto por raíces primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias. Estudios con radioisótopos e indicadores de oxidoreducción demostraron que solo las raíces cuaternarias y terciarias son absorbentes, aunque las extremidades de las primarias lo pueden hacer antes de lignificarse (Torres *et al.*, 2002). Las raíces primarias se extienden radialmente desde la base de la palma en dirección horizontal y vertical; las raíces primarias descendentes que proceden directamente desde la base de la palma son menores en número que las radiales y tienen menos raíces secundarias, Ruer (1969) demostró que estas raíces son para sostenimiento y desempeñan poco o ningún papel en la absorción del agua; las restantes raíces primarias que aparecen desde la base del tallo en todos los ángulos con respecto a la superficie del suelo, tienden a inclinarse horizontalmente y pocas se encuentran a más de un metro de profundidad en el perfil del suelo.

De estas raíces primarias, cuyo diámetro oscila entre 4 y 10 mm, suben y bajan raíces secundarias aproximadamente en números iguales, aunque con ligera predominancia de las raíces ascendentes. Estas raíces secundarias tienen de 1 a 4 mm de diámetro y dan origen, a su vez, a raíces terciarias de 0,4 a 1 mm que crecen horizontalmente, hasta 15 cm de largo. De éstas se desarrolla la masa de raíces cuaternarias de hasta 3 cm de largo y solo de 0,2 a 0,4 mm de diámetro. La densidad de todas las clases de raíces en los primeros 40 cm del suelo generalmente disminuye con la distancia a partir de la palma; pero en palmas adultas, la cantidad de raíces absorbentes en círculos sucesivos cada vez es mayor alrededor de la palma y aumenta hasta un radio de 3,50 a 4,50 m. La mayor cantidad de raíces está en los primeros 15 ó 30 cm del perfil de suelo. Las raíces de todas las clases muestran un tropismo positivo hacia las mejores condiciones de abastecimiento de agua y de nutrientes, y hacia donde haya material vegetal en descomposición (Hartley, 1983).

Los contenidos nutricionales de los suelos donde se cultiva palma de aceite en la Zona Oriental colombiana están entre “bajos” y “muy bajos”, especialmente para potasio, magnesio, calcio, fósforo y boro. La extracción en forma continua de nutrientes por la palma de aceite ha minado los contenidos de bases, ya que la reposición de nutrientes con la fertilización durante varios años no se equipara con la extracción de estos en los racimos cosechables. De otro lado, las características físicas de los suelos que se han cultivado previamente con especies semestrales, por lo general, presentan limitaciones para el desarrollo normal de las raíces, limitando la distribución del sistema radical a los estratos más superficiales del perfil. El sistema radical superficial presenta limitaciones en su capacidad de explorar suelo en busca de nutrientes y agua, obligando a la planta a tomar todos los nutrientes y el agua de un volumen de suelo reducido, lo cual determina el rápido agotamiento de las reservas (Torres *et al.*, 2002).

Una de las prácticas agronómicas más utilizadas por las plantaciones es la aplicación de fertilizantes en el área del plato; ello genera desequilibrios entre los nutrientes, y especialmente para las bases, por la acumulación de estos en la superficie, debido a la alta compactación y encostramiento que se presenta en esta área. Schroth *et al.* (2000) también reportan este tipo de gradientes en el estudio de bases realizado en suelos de la Amazonia cultivados con palma de aceite.

En términos generales, las raíces tienden a proliferar en suelos ricos en nutrientes (Hartley, 1983; Moup *et al.*, 1995) y, de acuerdo con los trabajos realizados por Bachy (1964), la palma de aceite no es la excepción, por lo que presenta tropismo positivo hacia suelos con mayor contenido de nutrientes y agua. Según Schroth *et al.* (2000), la concentración de nutrientes en el área del plato, debido a la aplicación sucesiva de fertilizantes, produce una acumulación de raíces en esta zona, limitando un mayor desarrollo del sistema radical en la interlínea. Como se puede deducir, tanto las condiciones físicas de los suelos, como la práctica de aplicar los fertilizantes en el plato, limitan el desarrollo del sistema radical de las palmas haciendo cada vez más frágil el cultivo (Torres *et al.*, 2002). Tomando en cuenta que en palma de aceite se han efectuado muy pocos estudios sobre el



comportamiento de la distribución del sistema de raíces, la presente investigación tuvo como objetivo estudiar la distribución del sistema radical y determinar el grado de asociación con algunas de las características físicas y químicas específicas de los diferentes horizontes en el perfil del suelo.

## Materiales y métodos

### Localización

El trabajo se realizó en la plantación de Guaicaramo S.A. (municipio de Barranca de Úpía, departamento del Meta, Colombia), localizado a una altura de 190 msnm, 4° 29' latitud norte y 70° 57' longitud oeste. En el lugar, la precipitación media es de 2.589 mm/año, con una máxima mensual de 538 mm/mes y una mínima de 0 mm/mes; la humedad relativa promedio es del 81%, con una variación entre 64 y 90%, y la temperatura media anual es de 26,4 °C, máxima de 29 °C y mínima de 24,3 °C; la evapotranspiración máxima es de 200 mm/mes, y la mínima de 71 mm/mes; la luminosidad es de 1.855 horas sol año, con una luminosidad máxima mensual de 232,8 y mínima mensual de 75 horas.

### Caracterización del sistema de raíces de la palma de aceite

El registro de la información se realizó en cinco palmas seleccionadas en forma aleatoria de material Deli x Avros de 16 años de edad, sembrado a una densidad de 143 palmas/hectárea; las escogidas presentaban desarrollo aéreo normal y estaban libres de plagas y enfermedades. El muestreo de raíces se efectuó en cada palma, acorde con el siguiente procedimiento: En cada sitio de muestreo se excavaron dos calicatas junto al estípote de la palma, una de ellas elaborada en dirección a la calle sin tráfico y la otra en dirección a la calle de cosecha; cada una de las calicatas tuvo 4,5 m de longitud, 1,1 m de profundidad y 1,0 m de ancho (Figura 1).

La descripción de la distribución del sistema radical se efectuó con el método de perfiles lavados, que ha sido utilizado con éxito en palma de aceite en Brasil (Schroth *et al.*, 2000). La pared de la calicata frente a la palma se lavó con agua a presión, con el fin de destapar las raíces unos 3 cm. La descripción del



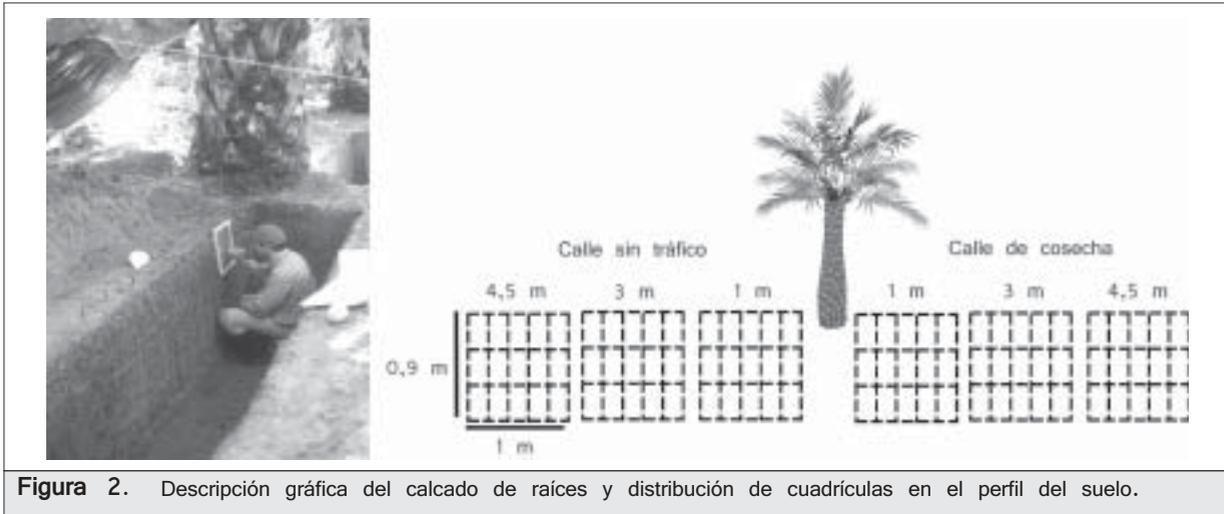
**Figura 1.** Esquema de la construcción y el lavado de las calicatas.

sistema radical se realizó en la pared lavada, dividiéndola en tres rectángulos de 0,9 m de alto por 1 m de ancho y cada uno de ellos dividido en cuadrículas de 0,3 m de alto por 0,2 m de ancho. En cada una de estas cuadrículas se colocó un marco de madera de la misma dimensión, fijado al perfil con clavos en las esquinas. En los marcos se puso un plástico transparente sobre el cual se calcaron las raíces que habían quedado expuestas luego del lavado (Figura 2).

Las imágenes obtenidas mediante el calcado se digitalizaron en un escáner de alta resolución y se midieron y clasificaron con el Software Delta T Scan (1993). El software clasifica las imágenes de acuerdo con rangos específicos de diámetro de los segmentos, de tal manera que es posible cuantificar la longitud, el volumen y la superficie de las raíces primarias, secundarias y terciarias en cada imagen procesada (Torres, 2000)

### Caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo.

La caracterización de los parámetros físicos y químicos, como textura, densidad aparente, conductividad hidráulica saturada, pH, capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico, materia orgánica, bases intercambiables (K, Ca, Mg, Na), aluminio intercambiable, P, S y B y elementos menores (Fe, Cu, Mn y Zn), se efectuó en dos zonas (calle sin tráfico y calle de cosecha) a diferentes profundidades (0 – 10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm y 60-90 cm) y a diferentes distancias de la base del estípote (1 m, 3 m, y 4.5 m) (Figura 3). Para la determinación de la

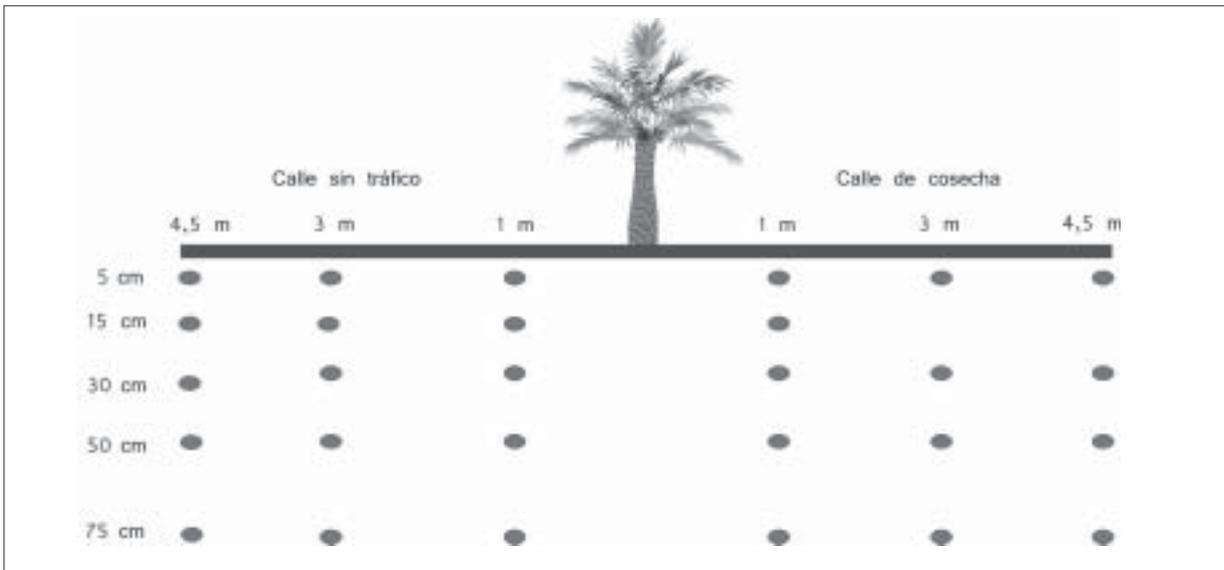


densidad aparente se estableció la relación entre el peso de la muestra seca y el volumen del cilindro; la medición de la conductividad hidráulica saturada se realizó con el método de cabeza hidráulica constante, y las características químicas de los suelos se determinaron con las metodologías empleadas en el laboratorio de análisis de suelos de Cenipalma.

### Análisis estadístico

Para determinar los parámetros físicos y químicos que estuvieron relacionados con la distribución del sistema radical se empleó un análisis de correlación de Pearson y de regresión entre la densidad radical y cada

parámetro físico y químico del suelo. Se correlacionaron 150 pares de datos, resultado de estudiar cinco palmas con dos condiciones (calle sin tráfico y calle de cosecha), tres distancias (1, 3 y 4,5 m) y cinco profundidades (0-10, 10-20, 20-40, 40-60 y 60-90 cm). Para determinar el tipo de regresión más adecuado se utilizó el coeficiente de determinación, seleccionando aquellos que presentaran el mayor valor de  $R^2$ . Para el caso de la densidad aparente, se incluyeron más datos para el análisis de correlación y regresión, debido a que se contaba con información procedente de una palma a la que no se le realizó el análisis químico.



**Figura 3.** Distribución de los sitios de muestreo para la densidad radical y las características físicas y químicas del suelo.



## Resultados y discusión

Los suelos dedicados al cultivo de la palma de aceite presentan características especiales como resultado de las labores del cultivo. En general, se presentan dos condiciones; la primera corresponde a la calle de cosecha, que es el espacio entre dos filas de palmas dedicado al tránsito de maquinaria o búfalos usados para la cosecha y para las demás labores culturales, lo cual hace que el suelo se compacte y que el movimiento del agua sea menor. La segunda de las condiciones es la calle sin tráfico, que es el espacio entre dos filas de palmas por el que no se transita con maquinaria. Éste se ubica en forma paralela a la calle de cosecha; allí se depositan las bases peciolares de las hojas que se podan para facilitar la cosecha de los racimos; esta área presenta un mayor aporte de materia orgánica.

### Variabilidad espacial del sistema de raíces de la palma de aceite

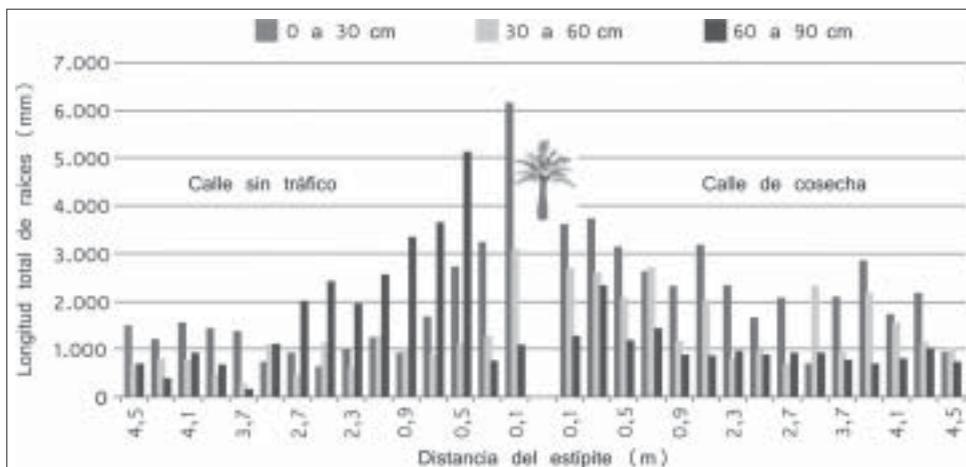
Como se puede apreciar en las figuras 4 y 5, las cuales representan el comportamiento típico de las palmas estudiadas, no se hallaron diferencias significativas entre la longitud total de las raíces en la calle de cosecha y sin tráfico con longitudes totales de 75.868,3 mm y 68.256,2 mm, respectivamente. Con respecto al crecimiento vertical y horizontal del sistema de raíces, se observa que la mayor cantidad de raíces se encuentra en los primeros 30 cm del perfil de suelo y a través de los 4,5 m de distancia

desde el estípote. En general, en las palmas estudiadas se halló un patrón de distribución homogéneo de raíces en diferentes volúmenes de suelo evaluados, lo cual brinda argumentos para cuestionar los sistemas de distribución de fertilizantes en palma adulta que realizan las plantaciones convencionalmente.

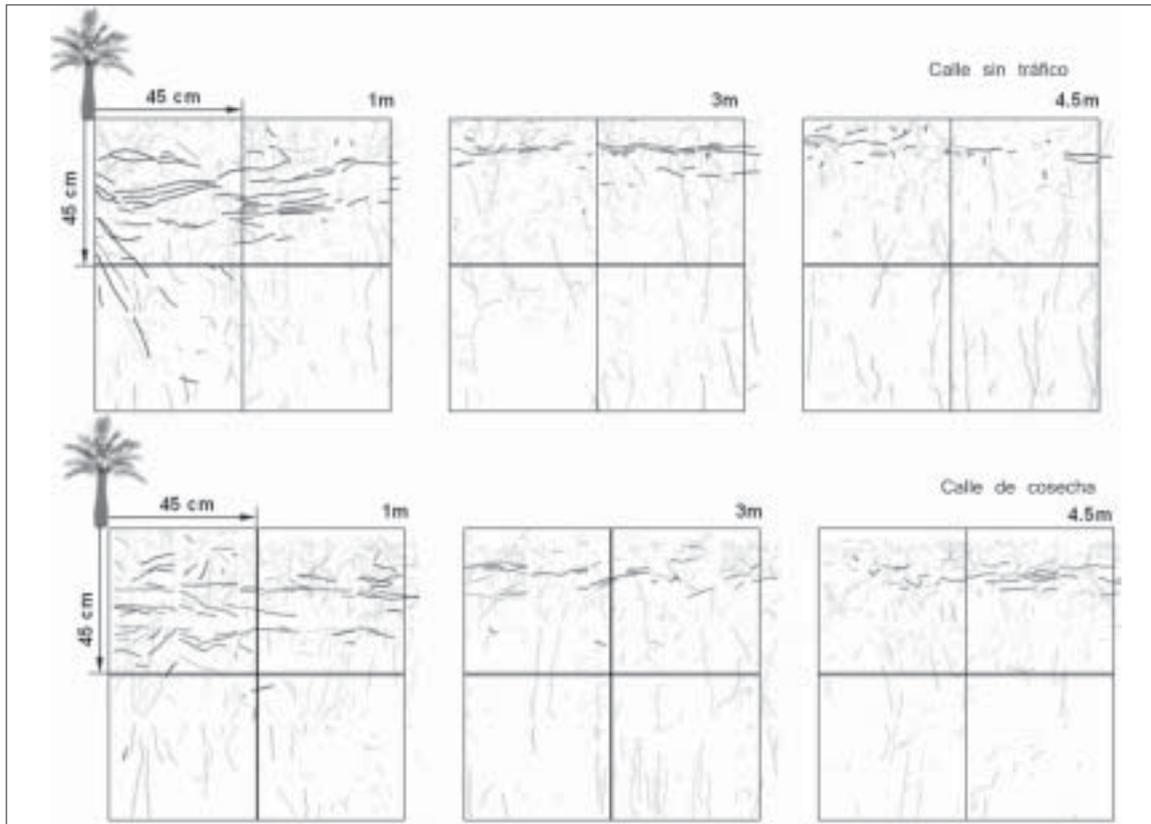
### Variabilidad espacial de algunas características físicas y químicas en el perfil del suelo

Para la presente investigación se elaboraron los mapas de distribución de todos los parámetros físicos y químicos, evaluados a las diferentes profundidades y distancias desde el estípote. Solamente se ilustrarán los parámetros que estuvieron más asociados con el desarrollo del sistema de raíces, los cuales fueron K, P, Al y densidad aparente, a un metro de distancia del estípote en las dos condiciones evaluadas. Se observa un patrón similar de distribución en el perfil del suelo para potasio y fósforo (Figura 6), en donde las mayores concentraciones del nutriente se hallaron en la parte superficial del suelo; en la medida en que aumenta la profundidad, disminuye la concentración de dichos elementos. En el caso del K, en los primeros 20 cm del perfil los valores estuvieron muy cerca de los niveles de referencia. Para el P se tiene que, en general, los valores estuvieron por debajo del nivel de referencia, ilustrando la pobreza de este nutriente en los suelos evaluados. Sin embargo, en el caso del aluminio intercambiable y la densidad aparente del

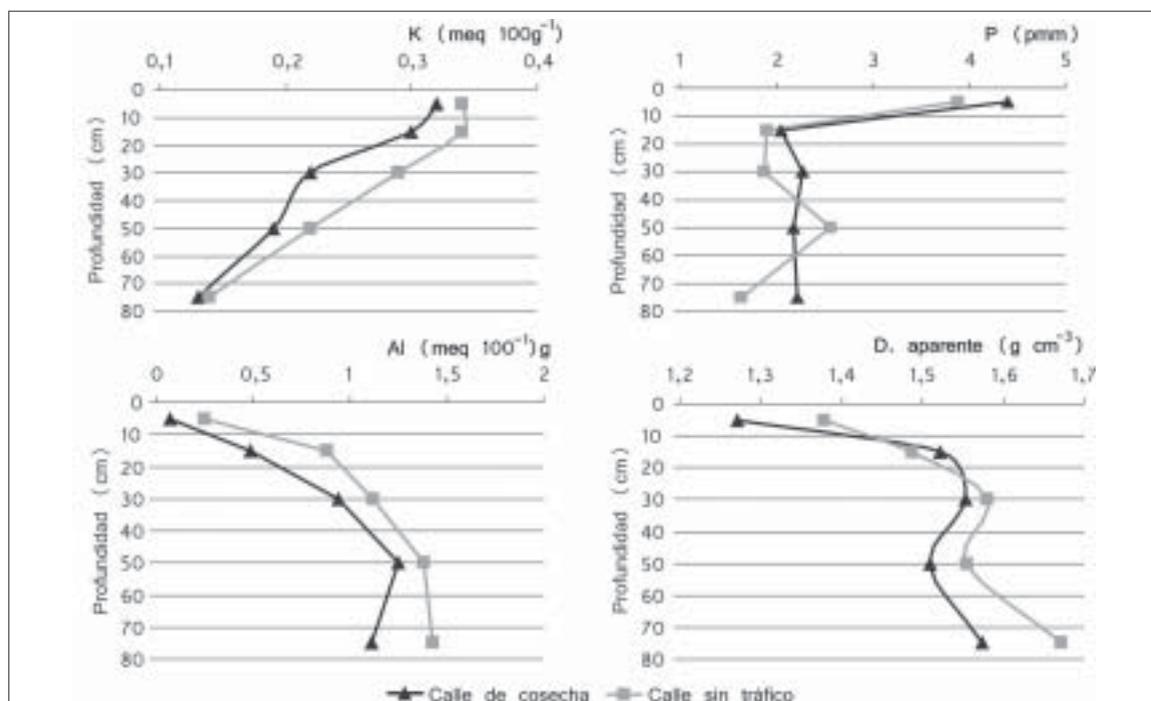
suelo sucedió lo contrario, los menores valores se presentaron en la parte superficial, y en la medida en que aumenta la profundidad los valores incrementan. Para la densidad aparente se tiene que, entre 20 y 30 cm de profundidad, se encuentra una capa compactada que podría estar limitando el desarrollo del sistema



**Figura 4.** Longitud total del sistema radical a diferentes profundidades y distancias del estípote en calle sin tráfico y calle de cosecha de una palma de material Deli X Avros de 16 años de edad.



**Figura 5.** Distribución del sistema radical en calle sin tráfico y calle de cosecha de una palma de material Deli X Avros de 16 años de edad.



**Figura 6.** Distribución de la concentración de potasio, fósforo, aluminio intercambiable, y la densidad aparente en el perfil del suelo en calle de cosecha y calle sin tráfico a 1 m de distancia del estípote para una palma evaluada.



de raíces en sentido vertical. Éste debe ser tomado en cuenta en los procesos de labranza orientados a mejorar las condiciones de los suelos en cultivos de palma establecidos.

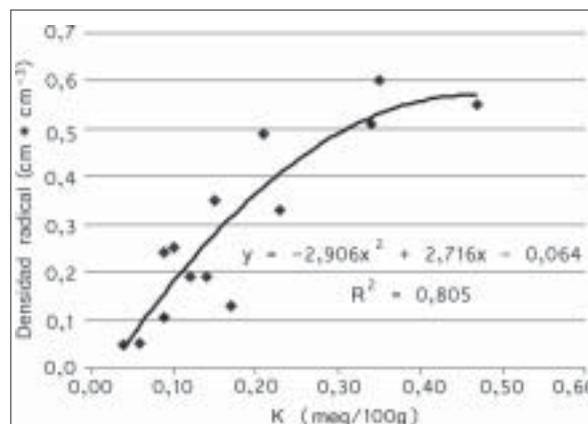
### Relación entre la densidad radical y las propiedades físicas y químicas del suelo

Al correlacionar pares de datos entre la densidad radical y la concentración de cada parámetro físico y químico del suelo de las cinco palmas evaluadas, se establecieron correlaciones positivas entre la densidad radical y las concentraciones de K y P, y correlaciones negativas para el aluminio intercambiable y la densidad aparente del suelo; las tendencias encontradas para estos cuatro parámetros en las diferentes profundidades fue la misma (Tabla 1), situación que no fue encontrada para los demás propiedades evaluadas, motivo por el cual no son presentados. Los resultados indican un efecto notorio de las condiciones del suelo en el crecimiento del sistema de raíces, lo cual debe tenerse en cuenta para incluir en los paquetes de manejo integrado de la nutrición del cultivo.

Una vez efectuados los análisis de correlación para las diferentes profundidades del suelo, se propuso realizar un análisis de regresión para los parámetros anteriormente citados, incluyendo solamente la información de los primeros 40 cm de profundidad y excluyendo algunos valores de las muestras tomadas en el plato, las cuales casi siempre estuvieron alejadas del promedio general, debido al método de aplicación de fertilizantes utilizado por muchos años en la plantación. A continuación se ilustran las regresiones encontradas.

**Potasio:** Se encontró una relación positiva entre la densidad radical y la concentración de potasio; en la

medida en que aumenta la concentración de K aumenta de manera creciente la densidad radical por unidad de volumen. La mayor densidad se alcanzó cuando se estuvo muy cerca del nivel óptimo, 0,4 meq 100g<sup>-1</sup> (Munévar, 2001) (Figura 7). Este efecto fue reportado por Salisbury *et al.* (1994) en otras especies en las que el potasio, al igual que el ácido fosfórico, influye en el desarrollo radical vegetal.



**Figura 7.** Relación entre las concentraciones de K y la densidad radical de 0 - 40 cm de profundidad.

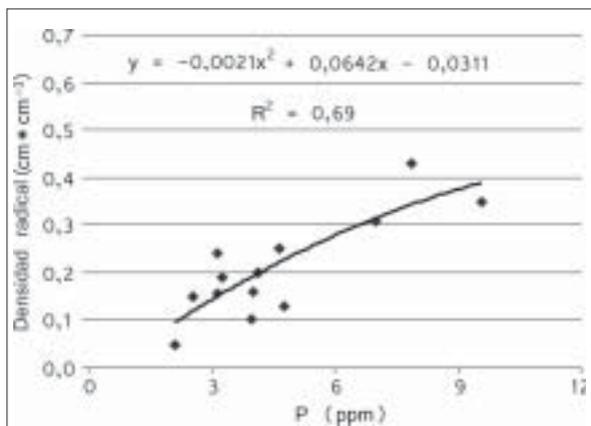
**Fósforo:** Para este parámetro se encontró una correlación positiva, lo cual indica que en la medida en que incrementa la concentración de P, se presenta un aumento significativo de la densidad radical de la palma. Debido a que en los suelos estudiados no se encontraron valores cercanos al nivel óptimo, 15 ppm (Munévar, 2001), no se sabe cuál es la respuesta del sistema de raíces a estos niveles (Figura 8). Salisbury *et al.* (1994) y Kochian *et al.* (2004) reportaron que igual que en el caso del potasio, el fósforo influye significativamente en el desarrollo radical. En efecto, las deficiencias fosfóricas en un

**Tabla 1.** Coeficiente de correlación de Pearson entre la densidad radical y algunos parámetros físicos y químicos del suelo

Prof. (cm)	K meg/100g	P ppm	Al. intercambiable meg/100g	D. aparente g/cm <sup>3</sup>
0 - 10	0,51*	0,81**	-0,73**	-0,66**
10 - 20	0,93**	0,78**	-0,52*	-0,79**
20 - 40	0,86**	0,73**	-0,37	0,67**
40 - 60	0,79**	0,42	-0,77**	-0,46
60 - 90	0,72**	0,43	-0,83**	0,52*

\* Significativo (P < 0.05)

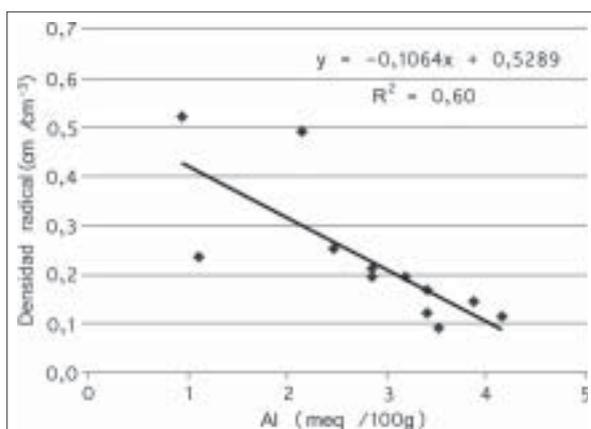
\*\* Altamente significativo (P < 0.01)



**Figura 8.** Relación entre las concentraciones de P y la densidad radical de 0 - 40 cm de profundidad.

gran número de plantas dejan un sistema radical raquíticamente desarrollado.

*Aluminio intercambiable:* Para este parámetro se encontró una correlación negativa con respecto a la densidad radical; es decir, en la medida en que la concentración de aluminio aumenta, disminuye la longitud de las raíces de palma por unidad de volumen de suelo. De acuerdo con los resultados obtenidos, sería poco probable encontrar raíces en suelos con contenidos de aluminio cercanos a 5 meq/100g (Figura 9). La tendencia anteriormente descrita también fue encontrada en el presente estudio para la saturación de Al: valores por arriba del 30% ejercen un efecto negativo en el desarrollo del sistema de raíces. Salisbury *et al.* (1994) y Kochian *et al.* (2004)



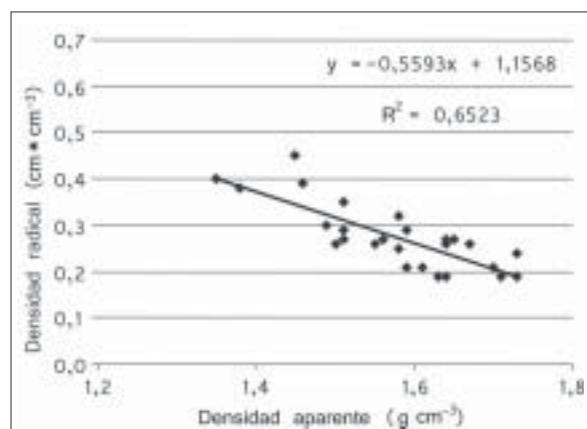
**Figura 9.** Relación entre las concentraciones de aluminio intercambiable y la densidad radical de 0 - 40 cm de profundidad.

reportaron que las concentraciones relativamente elevadas de aluminio que tienen muchos suelos ácidos (aquellos que están por debajo de un pH de aproximadamente 5,5) pueden inhibir la expansión y elongación de las células de la raíz de algunas especies, no solo por los efectos nocivos que afectan la disponibilidad del fosfato, sino también porque inhiben la absorción de hierro y por el efecto tóxico que afecta el metabolismo de la planta.

*Densidad aparente:* Se encontró una relación negativa entre este parámetro y la densidad radical, ya que en la medida en que se incrementa la densidad aparente del suelo, disminuye la densidad radical por unidad de volumen. De acuerdo con los resultados obtenidos, sería poco probable encontrar raíces en suelos con densidades aparentes cercanas a 1,8 gr cm<sup>-3</sup> (figura 10). Primavera (1982) reportó que la densidad aparente ejerce un efecto negativo sobre el desarrollo radical, ya que el crecimiento de la raíz es limitado en suelos compactos y de textura fina.

## Conclusiones

- Se establecieron correlaciones positivas significativas entre la densidad radical de la palma de aceite y las concentraciones de K y P. Ello indica que en la medida en que se mejore el estado nutricional de los suelos, llevándolos hacia los niveles de referencia, se logra una mejor expresión del sistema de raíces y, por tanto, se podría pensar que el cultivo estaría mejor nutrido y expresaría sus mejores potenciales de rendimiento.



**Figura 10.** Relación entre la densidad aparente y la densidad radical de 0-40 cm de profundidad.



- La densidad radical de la palma de aceite presentó correlaciones negativas con el aluminio intercambiable, lo cual refleja la susceptibilidad de la palma a las altas saturaciones de Al, y por tanto se debe pensar en manejos que involucren la aplicación de materiales encalantes en suelos ácidos, para favorecer el desarrollo del sistema de raíces.
- La densidad radical está correlacionada negativamente con la densidad aparente. Se destaca que en suelos con densidades aparentes mayores de  $1,7 \text{ g cm}^{-3}$  no se encontraron raíces.
- No se hallaron diferencias significativas entre la longitud total del sistema de raíces de la calle de cosecha y la de no tráfico; a la vez no se evidencian comportamientos diferentes en la distribución del sistema de raíces en sentido horizontal y vertical, lo cual debe tomarse en cuenta para empezar a modificar los métodos de distribución de fertilizantes en la etapa madura del cultivo.
- La raíz de la palma de aceite es altamente sensible a la interacción de parámetros físicos y químicos; por ende, resulta indispensable realizar una adecuada labranza y corregir con enmiendas el exceso de Al, con lo cual se puede lograr un desarrollo radical adecuado.

## Agradecimientos

Los autores expresan sus sinceros agradecimientos a la plantación Guaicaramo S.A. por permitir el desarrollo de la presente investigación, y al Fondo de Fomento Palmero administrado por Fedepalma.

## Bibliografía

- Bachy, A. 1964. Tropisme racinaire du palmier á huile. *Oléagineux*: 685 - 687
- Corley R, HV; Thinker P, B. 2003. The oil palm. Blackwell, 4<sup>a</sup> ed.
- Delta T, Company. 1993. *Manual de operación, para Delta T Scan*: 1 - 95
- Hartley, C. 1983. La palma de aceite. Editorial Continental, México.
- Kochian, LV; Hoekenga, AO; Piñeros, MA. 2004. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annual reviews, plant biology* 55: 459-493.
- Moup J, RH; Michel, RJ; Zutter, B. 1995. Spatial distribution of roots in seetgum and loblolly pine monoculture and relations with above grown biomass and soil nutrients: 689-699
- Munévar M, F. 2001. Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. *Palmas* (Colombia) 22 (4): 9 -17
- Primavesi, A. 1982. Manejo ecológico del suelo. "El ateneo" Buenos Aires, 5<sup>a</sup> ed.
- Ruer, P. 1969. System racinaire du palmier et alimentation hydrique. *Oléagineux*: 327-329
- Salisbury, F.B; Cleon W.R. 1994. Fisiología vegetal. Iberoamericana, México.
- Scroth, G ; Rodriguez, RL ; Angelo, SA. 2000. Soil Use and Management : 222 - 229.
- Torres V, M. 2000. Caracterización morfofisiológica de palmas de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq), tolerantes y susceptibles a pudrición de cogollo. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, DC. (Tesis).
- Torres V, M; Munévar M, F; Acosta G, A; Cristancho R, JA. 2002. Estudio *in situ* del sistema radical de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) mediante el método de lavado de perfiles *Ceniavances* (Colombia). 90 Cenipalma, 2002: 1-6.

