

## Notas del Director

El estudio de la fisiología de la palma de aceite ha sido realizado especialmente sobre las estructuras aéreas de la planta, la investigación fisiológica en el cultivo de la palma debe ser integral, razón por la cual se inician trabajos en investigación enfocados a estudiar la dinámica de distribución, arquitectura y tasas de crecimiento en raíces. El conocimiento de éstos parámetros en el suelo juega un papel importante en la adquisición de agua y nutrientes, competición entre plantas, composición, distribución y desarrollo de la biota en el suelo. El conjunto e interacción de éstos provee información básica para la orientación en los programas de manejo de suelos y riego, fitomejoramiento, manejo integrado de plagas y microbiología del suelo. Trabajos previos en campo muestran que las raíces de la palma tienden a proliferar en suelos ricos en nutrientes y la palma no es la excepción, además que presenta diferencias en las tasas de crecimiento que pueden oscilar entre 0,3 a 4,4 mm/día y distribución y ubicación en el suelo, de acuerdo con el tipo de raíz.

Existen técnicas de muestreo para la cuantificación de raíces que a menudo no son precisas, ni continuas, son costosas y requieren de mucho tiempo en la toma de datos. En este trabajo se muestra una técnica que permite estudiar un perfil de suelo y su distribución radical, mediante la utilización de elementos comunes como láminas plásticas de calcado, un escáner, un computador con un software adecuado. Así se puede observar la raíz en un menor tiempo, con bajo costo y con una alta precisión a lo largo de un tiempo relativamente corto determinado. Esta metodología puede llegar a ser útil para evaluar el impacto de agentes bióticos que afectan el sistema radical y así diseñar estrategias de manejo localizadas que reduzcan costos y que sean eficientes.

## Utilización de rizotrones para el estudio de la dinámica del crecimiento de raíces de palma de aceite\*



### Introducción

**E**l sistema radical es el órgano de las plantas terrestres para la toma de nutrientes y agua y para el anclaje. Adicionalmente, cumple con otras funciones menos conocidas, pero igualmente importantes, tales como participar en la síntesis de aminoácidos, excretar minerales y sustancias o metabolitos que pueden ser desechos, y otras funciones más que no solo contribuyen al normal funcionamiento de la planta, sino que además sirven de sustento a la microvida de la rizosfera.

El desarrollo de las raíces depende del origen genético, de la edad, del tipo de suelo, la profundidad, el manto freático y el tipo de cobertura. En general, las raíces tienden a desarrollarse hacia donde hay agua y nutrientes. De esta manera, existen muchos

factores que pueden influir en el crecimiento y desarrollo del sistema radical; algunos de ellos son: agua, temperatura y nivel de compactación del suelo, cantidad y disponibilidad de sustancias minerales, y el ataque de plagas o enfermedades que afectan directamente a la raíz (Fitter, 1996). Los desbalances en algunos de estos factores pueden conllevar a un estrés abiótico o biótico, con un impacto negativo muy fuerte en el comportamiento fisiológico y agronómico no solo de la raíz, sino de toda la planta en general.

En la palma de aceite, el sistema radical de la palma se inicia como una radícula (en la plántula) que crece a razón de casi medio centímetro por día, alcanzando hasta 50 cm de longitud (Jourdan y Rey, 1997). Las primeras raíces adventicias aparecen hacia el mes de germinación en la parte basal del hipocótilo. Más adelante, la producción de raíces tiene lugar en la base del bulbo, de donde continúan formándose las raíces en la palma adulta.

En el sistema radical de la palma, que tiene una estructura jerárquica ramificada, es fácil distinguir raíces primarias (las que brotan directamente del bulbo), de raíces secundarias (las que salen de las primarias) y terciarias y cuaternarias (que salen de secundarias y terciarias, respectivamente). Las raíces primarias tienen un diámetro de 4 a 10 mm, las

\* Paola Hormaza. Programa de Fisiología, División de Agronomía, Cenipalma  
Hernán Mauricio Romero. Programa de Fisiología, División de Agronomía, Cenipalma. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. Autor para correspondencia: hromero@cenipalma.org

Este Ceniavances describe la metodología utilizada en los trabajos de investigación del programa de fisiología de la palma de aceite para la evaluación de la velocidad de crecimiento de las raíces primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias, mediante la observación de estas en un mini rizotron,

las cuales serán cuantificadas utilizando el programa Delta T scan, y así establecer parámetros de crecimiento de esta estructura en vivero.

José Ignacio Sanz Scovino, Ph.D.  
Director Ejecutivo de Cenipalma

secundarias de 1 a 4 mm, las terciarias de 0,5 a 1 mm y las cuaternarias de 0,2 a 0,5 mm. La zona de mayor absorción de las raíces se encuentra de 1 a 2 mm atrás del ápice de la raíz, zona que generalmente se encuentra cubierta de una capa protectora suberizada, denominada la caliptra.

Se ha observado que las raíces primarias en la palma están distribuidas en dos grupos. Un primer grupo (constituido por la inmensa mayoría), se desarrolla horizontalmente, mientras que el segundo grupo se desarrolla verticalmente (Ruer, 1967). Experimentos realizados por Ruer (1969), mostraron que las que crecen verticalmente hacia abajo tienen como función primaria el anclaje, aunque también participan en la absorción de agua y nutrientes. Por su parte, las raíces horizontales son exclusivas para la absorción y juegan un papel muy importante en la señalización para el cierre de estomas bajo condiciones de déficit hídrico. Sin embargo, el grueso de la absorción de agua y nutrientes, como en la mayoría de las especies, se lleva a cabo por raíces finas principalmente (terciarias y cuaternarias) a través de pelos radicales (Hofer, 1996).

Tradicionalmente, el estudio del sistema radical se ha hecho de manera estática y puntual mediante muestreos destructivos; sin embargo, es deseable poder analizar el comportamiento de las raíces de manera dinámica en el tiempo, mediante observaciones *in vivo*, que no sean destructivas y que permitan el análisis temporal de la arquitectura, es decir, la naturaleza, la estructura y el arreglo relativo de cada parte de la raíz en un período dado (Jourdan *et al.*, 1995).

Una metodología probada con éxito en diferentes especies vegetales para el estudio de la dinámica del crecimiento de raíces utiliza rizotrones, los cuales son recipientes con una o varias paredes de un material transparente, a través del cual se pueden observar y medir las raíces (Box, 1996). Las imágenes de raíces son obtenidas de diversas formas (por ejemplo calcadas en lámina transparente para su posterior digitalización o escaneadas directamente). Las digitalizadas son cuantificadas con software especializado que permite medir parámetros tales como longitud, diámetro y densidad, y discriminar entre raíces primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias (Box, 1996).

Este Ceniavances muestra los avances en la utilización de la metodología del rizotróon como herramienta para determinar la dinámica del crecimiento de las raíces de la palma de aceite. Esta metodología permitirá estudiar el efecto de diferentes tipos de estrés biótico y abiótico sobre la fisiología de la palma de aceite *in vivo*. Así mismo, este método de estudio de raíces permitirá evaluar en tiempo real la plasticidad del sistema radical y el efecto de diferentes prácticas agronómicas sobre este órgano de la planta.

## Metodología

### Ubicación y material vegetal

En ensayo se estableció en las instalaciones de Cenipalma en el Centro de Investigación Corpoica El Mira, en el municipio de Tuma-

co. El material vegetal sobre el cual se está realizando el ensayo es ASD Costa Rica, Deli X Avros.

Para poder observar la dinámica del crecimiento de raíces, se utilizan rizotrones que tienen un tamaño interno de 40 cm X 40 cm X 45 cm. Cada rizotróon está hecho de acrílico transparente de 5,0 mm de espesor; las paredes están recubiertas con plástico negro de calibre N° 6 para evitar la entrada de luz que pudiera afectar el crecimiento de las raíces. Los rizotrones se apoyan sobre dos tacos de madera cuya función es inclinarlos en un ángulo de 30° con respecto a la vertical y así promover el crecimiento de la raíz en una de las caras del rizotróon para facilitar su calcado (Figura 1). En la parte inferior del rizotróon se hacen tres orificios de drenaje. El calcado de raíces se hace a través de la cara en donde se encuentra el drenaje.



Figura 1. Estructura básica del rizotróon. El rizotróon es rodeado por bolsas oscuras para evitar la penetración de la luz que pudiera interferir con el crecimiento de las raíces. Para asegurar el crecimiento de las raíces hacia la cara de calcado, el rizotróon es inclinado 30° hacia esta cara.

Una vez el sistema radical es visible en la cara de calcado, se procede a realizar el respectivo dibujo de las raíces, cada 30 días, sobre rectángulos de plástico transparente clavados con chinchas y colocados sobre un marco de madera de 20 x 30 cm (Figura 2).



Figura 2. Marco y procedimiento utilizado para el calcado de raíces en rizotróon: A. El sistema radical previo calcado se observa a través de la ventana transparente del rizotróon. B. El proceso de calcado de la raíz se realiza manualmente, utilizando marcadores de diferentes colores y diámetros. C. Marco y lámina para el proceso de calcado y sistema radical dibujado.

Las raíces que se ven a través del plástico son dibujadas sobre él, tratando de reproducir tanto la longitud como el diámetro. Las raíces primarias son dibujadas con marcadores de tinta indeleble; el color y grosor del trazo dependen del tipo de raíz. Así, para las raíces primarias se utiliza un marcador grueso color negro, para las secundarias un marcador mediano de color azul y para las terciarias y cuaternarias un marcador punta fina de color rojo.

Las láminas con las raíces calcadas son digitalizadas a escala 1:1 con un brillo de 118, un contraste de 125 bajo la modalidad "Black white drawing", una vía de 100 X 100, tamaño fijo de la imagen LENA (20 cm X 29 cm), utilizando un escáner de alta resolución Hewlett-Packard 4C. Las imágenes son almacenadas en archivos digitales de imagen tipo TIF, cuantificadas con el software Delta T SCAN (Delta-T Devices, UK), que hace barridos sobre la imagen digital y cuantifica la cantidad de interceptos que hay en una reglilla cuadrículada. Con la cantidad de interceptos, el sistema aplica automáticamente las ecuaciones nombradas y guarda los resultados en un archivo de salida. El software clasifica por diámetro las muestras de raíz y cuantifica dentro de cada grupo la longitud y la superficie. Para el trabajo se clasifican las raíces en cuatro categorías: primarias, con un diámetro de entre 5 y 10 mm; secundarias con un diámetro de 1 a 5 mm; terciarias con un diámetro de 0,4 a 1 mm y cuaternarias con un diámetro menor a 0,4 mm.

### Resultados y discusión

La Figura 3 muestra las imágenes digitalizadas correspondientes al crecimiento de la raíz de palma a intervalos de ocho semanas. Se puede observar cómo al comienzo de las mediciones están presentes raíces primarias y secundarias, y solo algunas terciarias muy pequeñas (Figura 3A). A medida que pasa el tiempo, no solo se incrementa la longitud y el diámetro de las raíces primarias y secundarias, sino que las raíces terciarias (en rojo) aumentan su densidad (Figura 3B). Cuatro meses después de iniciadas las mediciones se puede observar cómo el sistema radical va llenando todo el espacio en el rizotrón,

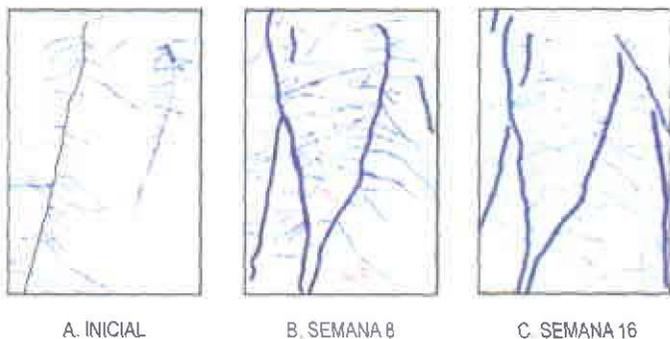


Figura 3. Imágenes digitalizadas correspondientes a calcos del sistema radical de palma de aceite crecida en un rizotrón. Se observa el incremento en el tamaño y densidad del sistema radical de la planta en el tiempo. Las imágenes corresponden a calcos tomados a intervalos de ocho semanas. El sistema DeltaScan de medición de raíces discrimina por diámetro de raíz, sin embargo, para mejor visualización de las raíces se utilizan marcadores de diferentes colores.

con mayor abundancia de raíces secundarias, las cuales han incrementado sensiblemente su longitud. Las raíces terciarias y cuaternarias se hacen más abundantes, aun cuando la longitud promedio no cambia (Figura 3C).

La utilización del sistema de rizotrón permite medir la dinámica del crecimiento del sistema radical de la palma de aceite, sin destruir las plantas. Utilizando el sistema Delta-T SCAN, se puede cuantificar el crecimiento de las raíces en diferentes momentos del desarrollo de la planta. Por ejemplo, la Figura 4 muestra la longitud total de cada tipo de raíces, definido a un intervalo de cuatro semanas entre cada muestreo.

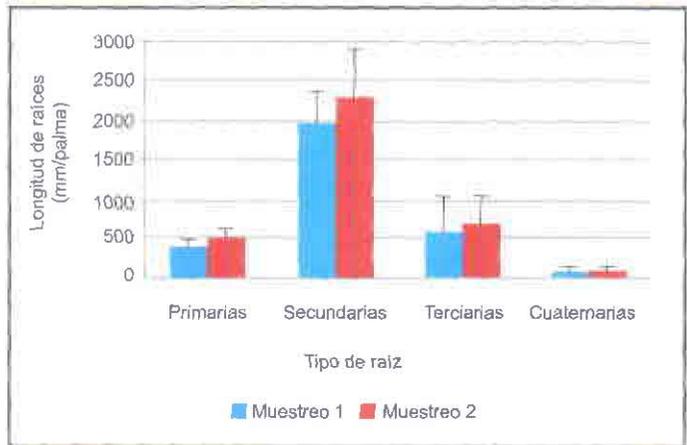


Figura 4. Longitud total de los diferentes tipos de raíces en el rizotrón, desde primarias hasta cuaternarias. Las barras corresponden al promedio  $\pm$  desviación estándar ( $n=6$ ) de la longitud de la raíz por planta, medida en milímetros.

Los resultados muestran cómo el crecimiento inicial del sistema radical está dado por el incremento en tamaño de las raíces primarias, las cuales ayudan en el anclaje; pero especialmente por el crecimiento de las raíces secundarias, las cuales en este estado de desarrollo son activas en la absorción de agua y nutrientes (Corley y Tinker, 2003). Así, en el primer muestreo, la longitud de las raíces primarias fue de 480 mm, secundarias de 2.279 mm, terciarias de 684 mm y cuaternarias de 85 mm.

Utilizando el sistema de rizotrones se puede establecer la tasa de crecimiento del sistema radical, por cada tipo de raíz (Figura 5), con lo cual se puede evidenciar en el tiempo cuáles son las raíces con mayor crecimiento y recambio. Así, para el primer intervalo de cuatro semanas, se establece que las raíces con la tasa diaria de crecimiento más alta son las secundarias, seguidas por las terciarias y las primarias. Estos resultados, unidos a las determinaciones de metabolismo de las raíces, como respiración o absorción de nutrientes, permitirán establecer el efecto de diferentes tipos de estrés en el sistema radical. Así mismo, van a permitir establecer la plasticidad de las raíces de palma para responder a diferentes condiciones edafoclimáticas y extremas.

La utilización de los rizotrones también permite determinar el porcentaje de raíces de cada uno de los tipos (según diámetro), en el total del sistema radical (Figura 6). Así, para este experimento se ha observado un porcentaje muy bueno de raíces secundarias, lo cual puede ser causado por la forma del rizotrón, ya que este permite una mayor área de exploración de las raíces de forma horizontal y vertical.



Figura 5. Tasa de crecimiento de los diferentes tipos de raíces en los rizotrones. Los valores corresponden al crecimiento diario en milímetros de cada tipo de raíz, desde primarias hasta cuaternarias.

En conclusión, se puede ver que la utilización de rizotrones constituye una buena alternativa para el estudio de la dinámica del crecimiento de raíces. La cuantificación del crecimiento no es destructiva y se hace en tiempo real sobre los mismos individuos. De esta manera, se puede hacer el seguimiento a sistemas individuales de raíces, o incluso a raíces específicas. Quizás una de las mayores limitaciones es el tamaño del sistema radical, de tal manera que el sistema que se muestra en este Ceniavances es aplicable solo para plantas de vivero. Sin embargo, siempre existe la posibilidad de utilizar rizotrones más grandes, incluso de un tamaño tal que permitan hacer el seguimiento a raíces de palmas adultas.

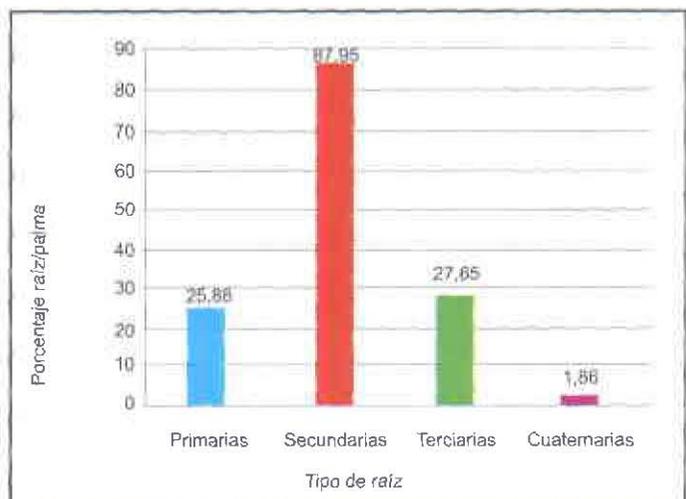


Figura 6. Discriminación de los tipos de raíz en los rizotrones. Los valores se presentan como porcentajes de los diferentes tipos de raíces, desde primarias hasta cuaternarias.

### Agradecimientos

Este trabajo está enmarcado dentro del Convenio de Cooperación Institucional entre Cenipalma y la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional, y es financiado parcialmente por la División de Investigaciones de Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia (DIB), Código Hermes 5379 y por el Fondo de Fomento Palmero (FFP) administrado por Fedepalma.

### Bibliografía

Box, J. 1996. Modern methods for root investigations. En: Waisel, Y.; Eshel, A. y Kafkafi, U (eds.). *Plant Roots: The Hidden Half*. Marcel Dekker Inc.

Corley, R.H.V.; Tinker, P.B. 2003. *The Oil Palm*. Fourth Edition. Blackwell Science Ltd. 562 p.

Fitter, A. 1996. Characteristics and functions of root systems. En: Waisel, Y.; Eshel, A. y Kafkafi, U (eds.). *Plant Roots: The Hidden Half*. Marcel Dekker Inc.

Jourdan, C.; Rey, H.; Guedon, Y. 1995. Architectural analysis and modelling of the branching process of the young oil-palm root system. *Plant and Soil* 177: 63-72

**cenipalma**

Director: José Ignacio Sanz Scovino, Ph.D.  
 Revisión de textos: Comité de Publicaciones de Cenipalma  
 Coordinación editorial: Patricia Bozzi Angel  
 Diseño y diagramación: Area 51 Publicidad y Comunicaciones S.A.S  
 Impresión: Molter Ltda. Impresores

Esta publicación contó con el apoyo del Fondo de Fomento Palmero