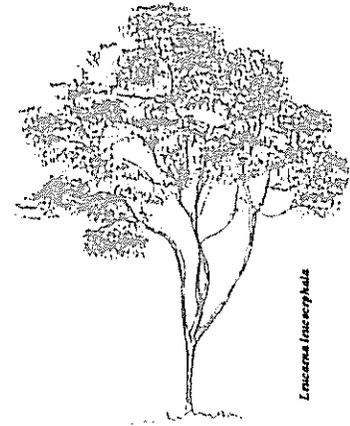


# Cuantificación de raíces poco profundas. La geometría arbórea facilita la investigación sobre raíces <sup>1</sup>

M. Van Noordwijk <sup>2</sup>  
L.Y. Spek <sup>3</sup>  
P. Purnomosidhi <sup>4</sup>



*Las raíces hacen mucho por las plantas. Proporcionan soporte físico, absorben el agua y los nutrientes, almacenan carbohidratos durante las estaciones frías o secas y producen hormonas. Las raíces más gruesas cercanas al tronco del árbol -llamadas raíces proximales- ayudan a fijar la planta y poseen tejidos de transporte; mientras que las raíces finas toman el agua y los nutrientes.*

*Debido a que la investigación agroforestal está enfocada a las interacciones entre cultivos y árboles, la mayoría de nuestra atención debe dirigirse hacia las raíces finas. La competencia por agua y nutrientes depende de la distribución relativa de las raíces finas, tanto de los árboles como de los cultivos.*

*Si el número de raíces finas, especialmente aquellas en la capa superficial del suelo, se puede predecir con bastante exactitud, a partir del diámetro y orientación de las raíces gruesas cercanas al tronco; entonces los estudios sobre raíces requerirán mucho menos mano de obra y serán menos destructivos que los métodos estándares utilizados de zanjeo y excavado profundo.*

Los investigadores han realizado un gran esfuerzo para cuantificar los sistemas radicales finos de los árboles que son utilizados en agroforestería alrededor del mundo.

Existen dos formas estándares para determinar los parámetros radicales. Una es medir todas las raíces de una sola planta; la otra es muestrear raíces en un volumen de suelo conocido y extrapolarlo al volumen de suelo de la planta. Para cultivos anuales sembrados con un patrón de siembra regular, ambas formas son posibles, pero en poblaciones vegetales agroforestales, el primer enfoque es casi imposible debido a que los sistemas radicales son demasiado grandes. Para árboles forestales que estén espaciados en

forma regular, los investigadores normalmente utilizan el segundo método. Sin embargo, se requiere de mano de obra intensiva; ya que los sistemas radicales se pueden extender por grandes áreas -hasta 50 m del tronco- por lo tanto, se debe muestrear un alto volumen. Además, la distribución radical tiende a ser irregular, por lo que existe gran variabilidad entre las muestras y se requiere de un gran número de muestras de repetición. En los sistemas agroforestales, que son más diversos y con un espaciamiento de árboles menos regular que en las plantaciones, el número de posiciones muestrales aumenta rápidamente.

<sup>1</sup> Traducido de Agroforestry Today, Abril-Jun. 1995, v. 8 no. 2, por Ariadne Jiménez, CAIIE.

<sup>2</sup> Meine van Noordwijk es especialista en suelos, trabaja con ICRAF en el Sudeste de Asia, P.O. Box 161, Bogor 16001, Indonesia; FAX: (62 251) 315 567.

<sup>3</sup> Louise Spek trabaja para la Universidad de Utrecht, Holanda

<sup>4</sup> Pratiknyo Purnomosidhi trabaja con ICRAF, en el Sudeste de Asia.

## LAS RAÍCES Y LA PRODUCCIÓN DE RAÍCES SECUNDARIAS

En el siglo XV, Leonardo da Vinci sostuvo que el área de superficie de un corte transversal del tronco principal, es igual a la suma del área de superficie del corte transversal de las ramas del árbol. Esta regla sencilla de geometría, podría indicar una resistencia constante al flujo de agua en el tronco principal, las ramas grandes o pequeñas. Para los troncos de los árboles, los requisitos de estabilidad y fortaleza pueden ser tan relevantes como la capacidad de transporte de agua, a la hora de determinar los diámetros del tronco. Una regla similar podría ser aplicada a los sistemas radicales, pero primero debemos probar esta suposición.

En la medición forestal hay una norma similar, donde la biomasa arbórea sobre el suelo puede ser estimada con razonable exactitud, a partir de mediciones del diámetro del tronco a una altura estandarizada. También se han realizado algunos intentos para relacionar la biomasa radical con el diámetro a la altura del pecho, pero esas relaciones probablemente dependan de la especie arbórea y del sitio. Puede resultar más seguro establecer primero relaciones en una raíz, con raíces secundarias individualmente, entre el diámetro cercano al tronco y el tamaño total, y buscar más adelante relaciones entre el rebrote y la suma de todas las raíces. Groot y Soumaré (1995) encontraron una relación empírica entre el diámetro de la raíz proximal y el largo del eje radical.

Estamos desarrollando y probando un nuevo método que deberá, como lo indicamos en el título de este artículo, simplificar y acelerar la investigación en raíces (van Noordwijk y

Purnomsidhi, en preparación).

Un engrosamiento secundario de las raíces ocurre en respuesta a la necesidad de transportar tejido, dondequiera que se desarrollen raíces finas. Si la disminución del diámetro de una raíz, con raíces secundarias, desde la base del tronco (diámetro mayor) a las puntas de las raíces más finas, sigue la regla que hipotetizó Da Vinci -que si la suma del área en un corte transversal (o su diámetro al cuadrado) permanece constante, podemos utilizar un modelo fractal<sup>6</sup>. Fractal se refiere a la unidad básica de forma o figura, con independencia del tamaño, edad o posición.

Un modelo fractal contiene reglas esenciales de información sobre la producción de raíces secundarias requeridas para reconstruir el patrón completo. Si se pueden definir patrones de producción de raíces secundarias reales de esta manera, la medición del diámetro radical proximal en la base del tronco y las reglas de producción de raíces secundarias, como se observan en cualquier parte del sistema radical, serían suficientes para predecir el largo total de la raíz, la distribución del diámetro de ésta y su largo por unidad de peso seco (largo de raíz específico).

Desarrollamos una ecuación para derivar la relación entre el tamaño total del sistema radical y el diámetro de las raíces proximales, para dos patrones de producción de raíces secundarias: dicótomo y espinapez (Spek y van Noordwijk 1994; van Noordwijk *et al.*, 1994). Para predecir el largo total de la raíz a partir del diámetro de la raíz proximal, la información básica requerida para las ecuaciones son los largos del internudo, como una función del diámetro de la raíz y el factor de proporcionalidad ( $\alpha$ ) entre las superficies de las áreas en un corte transversal, tanto antes como después de la producción de raíces secundarias. Para determinar la longitud de la raíz más larga, se requiere mayor información sobre las reglas de producción de raíces secundarias, especialmente sobre el tamaño relativo del eje principal y de las raíces secundarias.



<sup>6</sup>Fractal = Dícese de figuras geométricas virtuales, formada por un número infinito de elementos infinitamente pequeños, contenidos en una superficie finita. Se pueden representar con la ayuda de ordenadores, siguiendo determinados algoritmos. Así llega a ponerse de manifiesto la regularidad oculta de modelos de fenómenos naturales que aparentemente son desordenados.

## LA TEORÍA EN PRÁCTICA

Desarrollamos un protocolo para la investigación en raíces, basado en los diámetros de la raíz proximal (Caja 1) y para pruebas asumiendo la producción fractal de raíces secundarias como tal (Caja 2).

Sometimos a prueba el método en un estudio preliminar de los sistemas radicales de 18 árboles en Lampung Norte, en Indonesia, en un suelo Ultisol ácido. La mayoría de los árboles se encontraban en un huerto casero y tenían aproximadamente seis años. No encontramos una relación significativa entre el diámetro de la raíz y  $\alpha$  para ninguno de los árboles que fueron estudiados, confirmando que la producción de raíces secundarias es similar para todos los tamaños de raíces.

Encontramos diferencias considerables entre los sistemas radicales de varios árboles, en el valor promedio del factor de proporcionalidad. Hubo mucho menos variación en los patrones tronco-producción de raíces secundarias de los mismos árboles; por lo tanto, los patrones radicales no pueden predecirse a partir de la producción de raíces secundarias del tronco.

El porcentaje de las raíces arbóreas verticales, expresado como la suma del diámetro de las raíces proximales al cuadrado, osciló entre el 11% y el 85% (Cuadro 1). Hubo una clara relación entre la suma de los diámetros radicales al cuadrado y el cuadrado del diámetro del tronco a la altura del pecho. La suma de los diámetros de las raíces proximales al cuadrado fue de 50-200%, del diámetro del tronco a la altura del pecho.

Podemos entonces utilizar el diámetro del tronco para obtener un índice de raíces

poco profundas, dividiendo la suma de los cuadrados entre el diámetro del tronco al cuadrado. Este índice será independiente -o casi independiente- del tamaño del árbol; en nuestra investigación su valor osciló entre 0.14 y 2.13 (Cuadro 1). *Leucaena* fue el árbol con el índice más alto de raíces poco profundas en este suelo ácido; el mango tuvo el índice más bajo.

Si el patrón de raíz-producción de raíces secundarias, está relacionado con la función de las raíces del árbol, el método de raíz fractal proporcionará una prueba simple para la investigación en raíces. Los científicos del ICRAF están utilizando actualmente una combinación de la producción de raíces secundarias fractales y mediciones directas de captación de agua, por medio de un medidor de flujo de sabia metros, en raíces individuales (Ong y Khan, 1993). Existe también la necesidad de determinar la sostenibilidad de la producción de raíces secundarias fractales, de acuerdo al tipo de suelo, precipitación y régimen de poda.



**Cuadro 1.** Patrones radicales de algunos árboles de uso múltiple en un suelo ácido, en Lampung, Indonesia: estudio preliminar de árboles de 5-7 años (en su mayoría en huertos caseros).

ESPECIES	Raíz: $\Sigma$ raíz radio área basal, A	Tronco: $\Sigma$ raíz, radio área basal, B	Índice de raíces poco profundas (1-A)/B
<i>Leucaena leucocephala</i>	0.17	0.39	2.10
<i>Parkia speciosa</i>	0.23	0.46	1.60
<i>Psidium guajava</i>	0.11	0.74	1.20
<i>Gliciridia sepium</i>	0.18	0.94	0.87
<i>Ceiba pentandra</i>	0.45	0.95	0.58
<i>Gnetum gnemon</i>	0.15	1.53	0.56
<i>Calliandra calothyrsus</i>	0.75	0.64	0.39
<i>Peltophorum dasyrachis</i>	0.74	0.69	0.38
<i>Durio zibethinus</i>	0.75	1.14	0.22
<i>Artocarpus integer</i>	0.84	0.86	0.10
<i>Mangifera indica</i>	0.85	1.04	0.14

**Caja 1**

**RAÍCES PROXIMALES E ÍNDICE DE RAÍCES POCO PROFUNDAS**

1. Excave cuidadosamente la primera parte de las raíces proximales en la base del tronco (Figura 1). Para un árbol pequeño, una media esfera de 0.3-m puede ser suficiente, para árboles más grandes se requiere una media esfera de 0.5- a 1-m. Mientras se está excavando, todas las raíces principales deben dejarse intactas; no se puede evitar la destrucción de la mayoría de las raíces finas. Verifique raíces "sinker" (raíces orientadas verticalmente iniciando en raíces horizontales, a menudo cercanas al tronco del árbol, que profundizan).
2. Mida el diámetro de todas las raíces proximales -aquellas raíces originando en la base del tronco o laterales de la parte superior de la raíz pivotante- y clasifíquelas por su orientación (ángulo con un plano horizontal). Las mediciones de los diámetros de las raíces deben hacerse fuera del rango del engrosamiento obvio, cercano al punto donde nacen las raíces secundarias o raíces tablares (éstas normalmente disminuyen rápidamente).
3. Mida el diámetro del tronco (sea como un diámetro "collar de la raíz" -a la base- o el diámetro del tronco a la altura del pecho, dependiendo del tamaño del árbol).
4. Calcule la suma de los cuadrados de los diámetros de las raíces para las raíces con una orientación horizontal (ángulo menor a 45°),  $\sum D_h^2$ , y vertical  $\sum D_v^2$ .
5. Un índice tentativo de raíces poco profundas es entonces calculado como  $D_t^2 / \sum D_h^2$ .

**Caja 2**

**PRUEBA DE LA CARACTERÍSTICA FRACTAL DE LA PRODUCCIÓN DE RAÍCES SECUNDARIAS RADICAL Y MEDICIÓN DE PARÁMETROS MODELO**

Exponga parte del sistema radical rastreando las raíces desde la base del tronco. Para cada punto de nacimiento de raíces secundarias donde ambos internudos, previo y subsecuente, han sido expuestos, mida su diámetro y largo. Un formulario para el registro de datos y el programa Genstat 5 para el análisis de los datos, puede obtenerse de los autores. El programa primero clasifica las raíces pertenecientes a un internudo común previo y calcula el parámetro  $\alpha$ . Luego, se analiza la regresión de  $\alpha$  y el largo de la unión en el diámetro de la raíz. Si ninguna de estas regresiones tiene un sesgo estadísticamente significativo, se corroboran las suposiciones básicas de los modelos fractales de producción de raíces secundarias. El valor promedio  $\alpha$  y el largo del internudo, pueden ahora ser utilizados en las ecuaciones para largo total, área de superficie y volumen, dadas por van Noordwijk *et al.* (1994); si alguna de estas regresiones tiene un sesgo significativo, se tendrán que desarrollar ecuaciones modificadas, por ejemplo el modelo numérico dado por Spek y van Noordwijk (1994). □

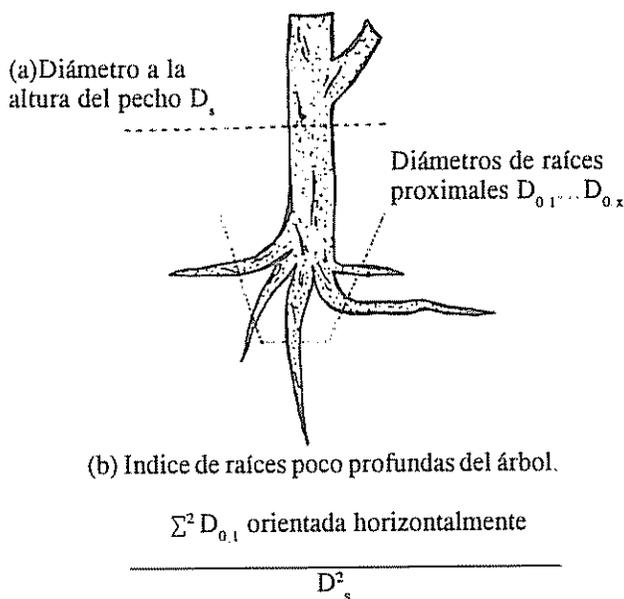


Figura 1. Comparación del diámetro del tronco a la altura del pecho y diámetros de raíces proximales de un árbol: (a) un índice tentativo de la competitividad de las raíces que puede ser derivado a partir de cada punto del nacimiento de las raíces secundarias; (b) cálculo del índice de raíces poco profundas

**REFERENCIAS**

GROOT J., J.R.; SOUMARÉ A. 1995 The roots of the matter: soil quality and tree roots in the Sahel. *Agroforestry Today (Kenia)* 7(1):9-11.

ONG, C.K.; KHAN, A.A.H. 1993 The direct measurement of water supply uptake by individual tree roots. *Agroforestry Today (Kenia)* 5(4) : 2-4.

SPEK, L.Y.; VAN NOORDWIJK, M. 1994. Proximal root diameters as predictors of total root system size for fractal branching models. 2. Numerical model. *Plant and Soil (EE UU)* 164 : 119-127.

NOORDWIJK, M. VAN; PURNOMOSIDHI, P. 1995. Root architecture in relations to tree-soil-crop interactions and shoot pruning in agroforestry. *Agroforestry Systems. (Holanda)* 30(1-2) : 161-173.

NOORDWIJK, M. VAN; SPEK L.Y.; WILLIGEN, P. 1994. Proximal roots diameters as predictors of total root system size for fractal branching models. 1. Theory. *Plant and Soil (EE UU)* 164 : 101-117.