

# Estudio radicular de *Vochysia ferruginea* (botarrama) en plantaciones y condiciones naturales en Costa Rica

Fecha de recepción: 13/04/2009

Fecha de aceptación: 20/06/2009

Elizabeth Arnáez Serrano<sup>1</sup>

Rodolfo Ortiz Vargas<sup>2</sup>

## Palabras clave

Raíces, raíces de especies forestales, especies forestales nativas, botarrama, *Vochysia ferruginea*, plantaciones forestales.

## Key words

Roots, native forest species, botarrama, *Vochysia ferruginea*, forest plantations.

## Resumen

El estudio de las raíces es un proceso muy complicado pues cada método empleado tiene sus inconvenientes, a pesar de los avances tecnológicos. Sin embargo, este tipo de trabajo es necesario para relacionar su comportamiento con factores genéticos y ambientales, entre otros.

Se recopiló información meteorológica con respecto a la luz, la temperatura y la precipitación. Se realizaron análisis químicos del suelo en cada sitio y mensualmente se recolectaron muestras

de suelos y hojas para determinar el porcentaje de humedad.

En cada uno de los sitios se seleccionó un árbol y se sacaron muestras de raíces antes de la copa, debajo de la copa y después de la copa, en dos orientaciones (este-oeste), en cada uno de los puntos se muestrearon raíces a 15, 30 y 50 cm de profundidad del suelo.

La zona de la copa del árbol al lado este y a 15 cm de profundidad, presentó la mayor densidad radicular. No se encontraron diferencias significativas entre los puntos muestreados (copa, antes de la copa y después de la copa del árbol), las orientaciones (este-oeste), ni las profundidades (15, 30 y 50 cm), solamente entre los diferentes sitios y meses.

## Abstract

The root's study is a complex process, although the technology has improved, each method of study has its weaknesses. However, this kind of studies are necessary

1. Escuela de Biología, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: [earnaez@itcr.ac.cr](mailto:earnaez@itcr.ac.cr).
2. Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: [rtortiz23v@hotmail.com](mailto:rtortiz23v@hotmail.com).

in order to correlate the root growth with the genetic and environmental factors.

Weather data: light, temperature and rain were collected. Add to this were made soil's analysis and soils and leaves samples of were collected for determine the humidity's percentage.

On each plot a tree was selected in order to obtain root samples that were taken at different distances from the trunk in east and west direction. Samples were obtained at different depth: 15, 30 and 50 centimeters.

The highest roots's density was found on the east side at 15 centimeters deep although the difference was not significant. In other words no stadistical differences were found between directions (west,east), distances from the trunk, nor depth (15,30,50 cms) the only differences found were related to plots and time of sampling.

## Introducción

El estudio de las raíces en plantaciones y bosques naturales facilita la toma de decisiones para definir distanciamientos idóneos para la plantación de especies forestales tropicales, tanto en los sistemas de monocultivo como en los mixtos, de manera que se reduzcan los efectos de la competencia intra e interespecífica; también sirve para elaborar sistemas de manejo integral de las plantaciones (Morales, s.f.).

El sistema radicular varía enormemente en forma, tipo y función. Un diagrama *in situ*, revela la amplia variación que se da en la distribución longitudinal de las raíces en el espacio, por lo tanto, los patrones radicales varían a través del tiempo. Esto también se ve influenciado por factores genéticos y ambientales (Fitter, s.f.; Singh & Sainju, 1998). Algunos de los componentes de la arquitectura radicular son: tamaño o magnitud del sistema, topología o distribución de sus

ramificaciones, longitud, ángulos que caracterizan su arquitectura y radios. El sistema radical tiene un alto grado de plasticidad morfológica (Fitter, s.f.).

Existen dos tipos de limitaciones en el estudio de los sistemas radicales. Una está asociada a la variabilidad fenotípica que caracteriza a la distribución espacial de las raíces de individuos con genotipos similares o cercanos. La otra se refiere a que el medio en que crecen impide realizar mediciones directas. Los principales problemas asociados con estas limitaciones consisten en la dificultad de extraer sistemas radicales completos de su hábitat natural, la gran cantidad de tiempo requerido para los estudios y la escasa significancia estadística derivada de pequeñas muestras en poblaciones altamente variables (Morales, 1997).

Generalmente, las investigaciones sobre sistemas radicales se han efectuado mediante muestreos de raíces finas, debido a que el método aplicado no es destructivo y a que se cuenta con tejidos vivos, epidermis, corteza y una estela (Mc Cully, 1999).

El objetivo de la investigación fue determinar la biomasa de raíces de *Vochysia ferruginea* en estado natural y en condiciones de plantación, y su correlación con variables climáticas y edáficas.

## Material y métodos

El estudio se llevó a cabo en la Región Huetar Norte de Costa Rica, Sector Atlántico, de enero del 2000 a diciembre del 2001. El clima es cálido-húmedo, con una precipitación promedio anual de aproximadamente 3200 mm, la humedad relativa oscila entre 80% y 90%. La estación climatológica de Finca La Selva registra una temperatura promedio de 26°C a 30°C. Las variaciones de temperatura a lo largo del año son insignificantes (2,5°C) (Müller, 1997).

Los suelos donde se realizó este estudio, en su mayoría, se clasifican como ultisoles (Bertsch, 1995). Según el Sistema de clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (1987), la vegetación que cubre esta región está clasificada como Bosque Tropical Muy Húmedo.

Los sitios muestreados fueron (Figura 1):

1. Plantación ubicada en Finca La Guaria de la Organización para Estudios Tropicales (OET), no manejada silviculturalmente, establecida por el proyecto MELLOW de la OET en 1989, en Puerto Viejo de Sarapiquí.
2. Plantación perteneciente al Sr. Donald Baldí, manejada silviculturalmente, establecida por el proyecto MELLOW de la OET en 1989, en en Búfalo de Chilamate de la Virgen de Sarapiquí.

3. Zonas de protección o bosques en La Tirimbina, San Miguel de Sarapiquí.

## Determinación del sistema radicular

Para determinar la biomasa del sistema radicular de *Vochysia ferruginea*, se trazaron dos líneas horizontales según los puntos cardinales este y oeste, a partir de un árbol seleccionado en cada parcela. En cada una de estas orientaciones, cada tres meses durante dos años, se extrajo suelo con un barreno (AMS 77454 Slice Hammer) para obtener un cilindro de suelo de aproximadamente 295 cm<sup>3</sup>. Se obtuvo muestras a tres profundidades (15 cm, 30 cm y 50 cm) y a tres distancias (antes de la copa, debajo de la copa y después de la copa) de cada individuo (Figura 2).

El suelo extraído se puso en una superficie plana y se revisó para sacar las raíces

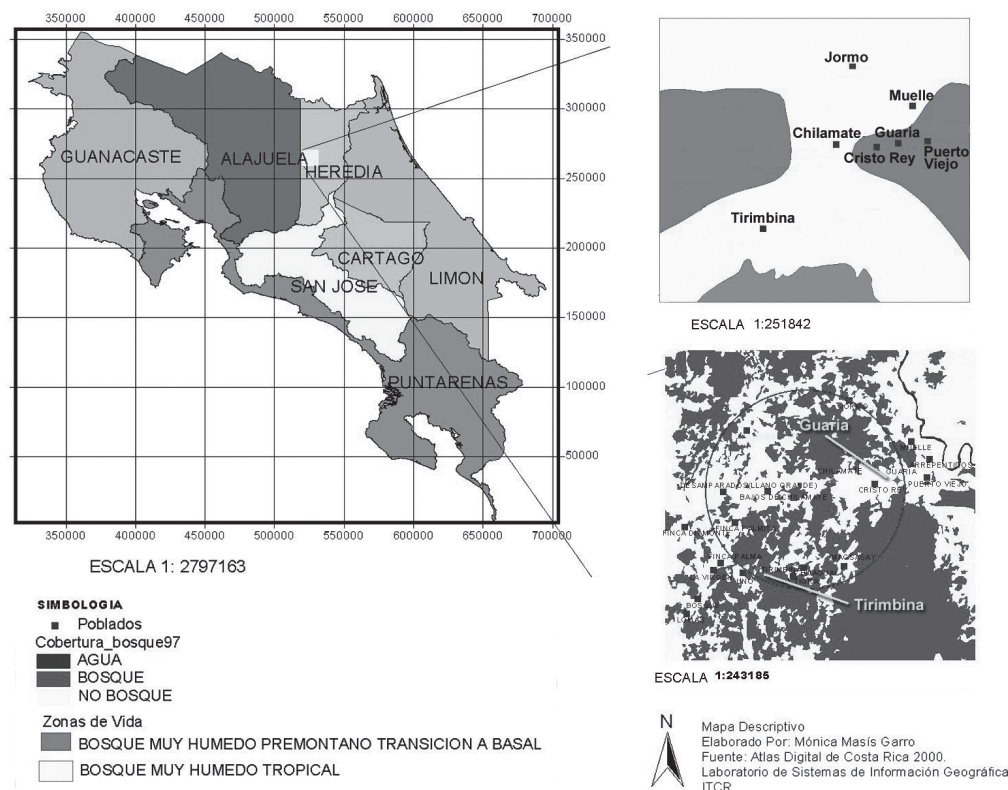


Figura 1. Mapa de Costa Rica donde se detallan los sitios de trabajo en Sarapiquí.

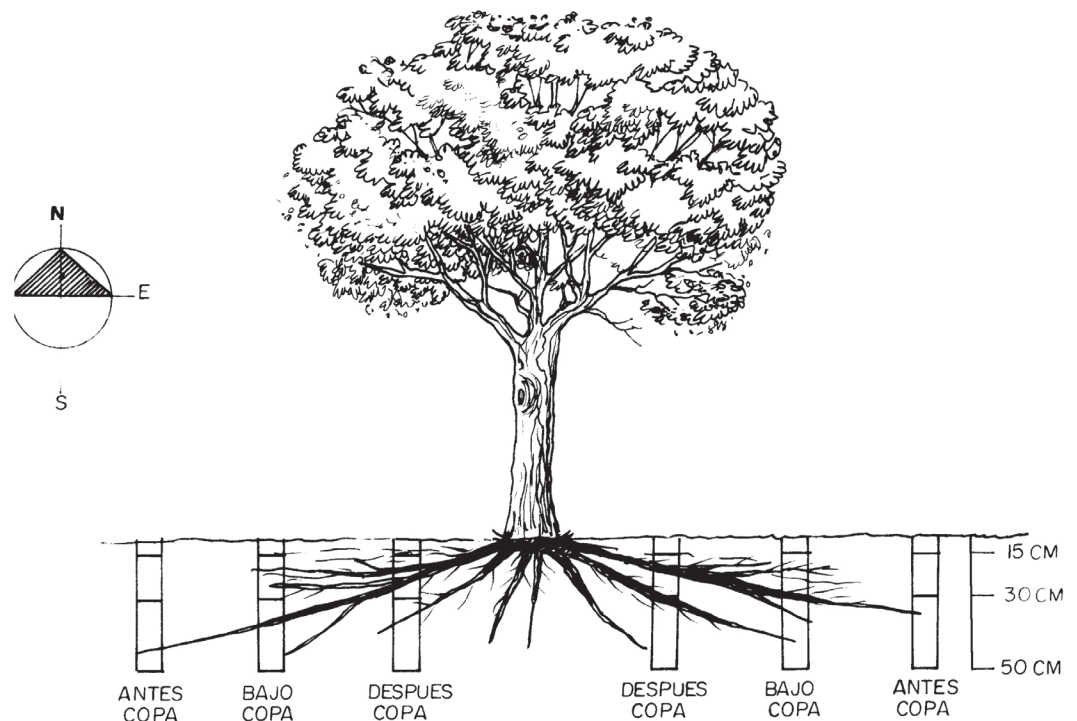


Figura 2. Esquema de los sitios de muestreos radicales en árboles de *Vochysia ferruginea* (botarrama). Costa Rica. Elaborado por Hipólito F. Latino.

finas del árbol, las cuales fueron catalogadas desde un inicio para diferenciarlas de las otras especies. Estas se identificaron por la apariencia y el color rojizo típico de la especie. Las raíces se separaron del suelo y fueron llevadas al laboratorio químico de la Organización para Estudios Tropicales, ubicada en la Estación Biológica La Selva en Puerto Viejo de Sarapiquí, Costa Rica, para determinar el porcentaje de humedad y el peso seco. Se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA, para estadística no paramétrica) utilizando el programa estadístico SAS-Release 6-10 (1994), para establecer las diferencias en peso fresco y luego en peso seco de raíces, entre: sitios (Finca La Guaria, Finca Baldí y Zonas de protección o boscosas), individuos, flechas, lugares de colecta (bajo la copa –copa–, antes de la copa –media copa– y después de la copa –copa y media– de cada árbol muestreado), orientaciones (este y oeste) y profundidades (15, 30 y 50 cm). Además, se estableció correlaciones (Coeficiente de

Correlación de Pearson) con las variables fenológicas y físicas del medio.

El análisis del suelo se realizó en el laboratorio de suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. Se recopiló información meteorológica en la Estación Biológica Finca La Selva, ubicada en Puerto Viejo de Sarapiquí, Costa Rica.

## Resultados

### Porcentaje de humedad del suelo y del sistema radicular

El porcentaje de humedad del suelo estuvo entre un 40% y 50% en la Finca Baldí y Finca La Guaria, y de un 20% a 70% en el bosque o zonas de protección. No se encontró correlaciones significativas entre el porcentaje de humedad del suelo y la precipitación.

El tipo de suelo que predomina en las zonas de estudio es el franco-arcilloso-arenoso. Los suelos en las zonas de

*Las raíces evaluadas de los árboles ubicados en Finca La Guaria mostraron el mayor porcentaje de humedad (hasta un 60%), mientras que en Finca Baldí se encontraron, en promedio, los porcentajes más bajos (25%) de los tres sitios estudiados*

estudio son muy ácidos. Se observa que los árboles presentes en el bosque o zonas de protección tenían mayores valores de Ca, Mg y K y menores de P, Cu, Fe, Mn y Zn, mientras que los de Finca Baldí mostraron cantidades más bajas en todos los elementos, comparados con Finca La Guaria.

En la zona de la copa este del árbol de *V. Ferruginea*, a una profundidad de 15 cm, en Finca La Guaria, se obtuvo una mayor densidad de raíces. Los otros sitios muestreados que obtuvieron valores altos de porcentaje de humedad de raíces fueron, después de la copa del árbol al este y al oeste a 50 cm de profundidad, también en Finca La Guaria. En el bosque se obtuvieron los mayores valores al este y oeste de la copa a los 15 cm y en Finca Baldí a la mitad de la copa a 50 cm (Figura 3).

Las raíces evaluadas de los árboles ubicados en Finca La Guaria mostraron el mayor porcentaje de humedad (hasta un 60%), mientras que en Finca Baldí se encontraron, en promedio, los porcentajes más bajos (25%) de los tres sitios estudiados (Figuras 3 y 4).

El análisis de varianza realizado demostró que hay diferencias significativas en el porcentaje de humedad de las raíces entre sitios ( $p = 0.0001$ ,  $F = 36.02$ ) y meses ( $p = 0.0001$ ,  $F = 14.14$ ), pero no hubo diferencias entre los puntos muestreados –copa, debajo de la copa y después de la copa– ( $p = 0.7685$ ,  $F = 0.26$ ), ni entre las diferentes orientaciones –este-oeste– ( $p = 0.759$ ,  $F = 0.09$ ), ni profundidades –15, 30 y 50 cm– ( $p = 0.08$ ,  $F = 2.48$ ).

Con respecto al porcentaje de humedad de las raíces por fechas, el resultado fue parecido. En Finca La Guaria se encontró el mayor porcentaje de humedad en diciembre del 2000, mientras que en Finca Baldí el menor valor se observó en diciembre del 2001 (Figura 4). Los datos no muestran una correlación entre los datos climáticos y el peso fresco de la raíz (Cuadro 1).

## Densidad radicular por peso seco

En la mayoría de los sitios analizados en este estudio, se notó que en el caso de la zona boscosa, los árboles mostraban mayor

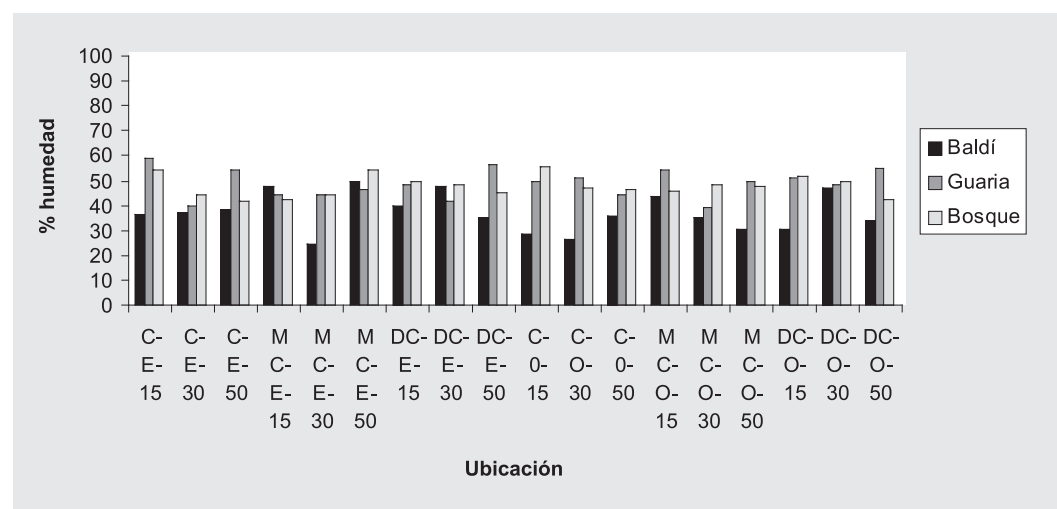


Figura 3. Porcentaje de humedad de raíces de *Vochysia ferruginea* (botarrama), en tres sitios ubicados en Sarapiquí de Heredia, Costa Rica (2000-2001): (A) Finca La Guaria (plantación sin manejo forestal), (B) bosque y (C) Finca Baldí (plantación con manejo forestal (c: copa, mc: media copa, dc: después de la copa, e:este, o:oeste)).



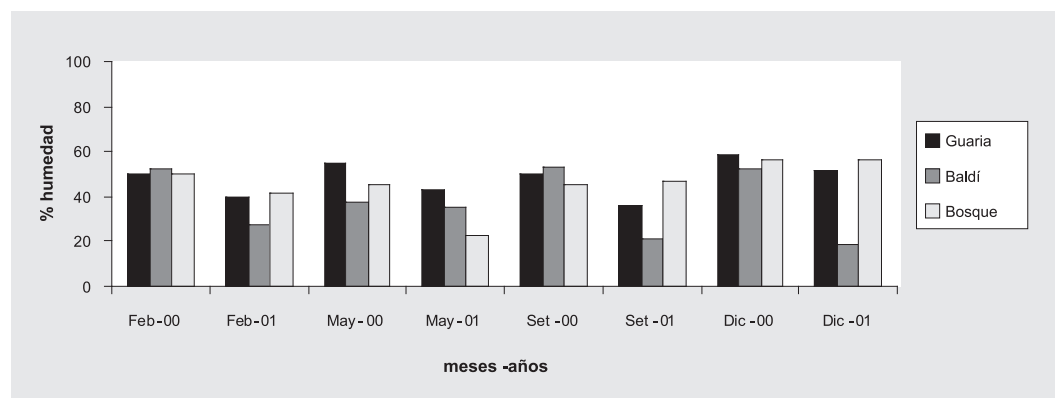


Figura 4. Porcentaje de humedad en raíces medida cada 3 meses, de *Vochysia ferruginea* (botarrama), en tres sitios localizados en Sarapiquí de Heredia, Costa Rica (2000-2001): (A) Finca La Guaria (plantación sin manejo forestal), (B) bosque y (C) Finca Baldí (plantación con manejo forestal).

Tanto los árboles de Finca La Guaria como los de Finca Baldí fueron los que presentaron menor peso seco de raíces, entre todos los árboles muestreados

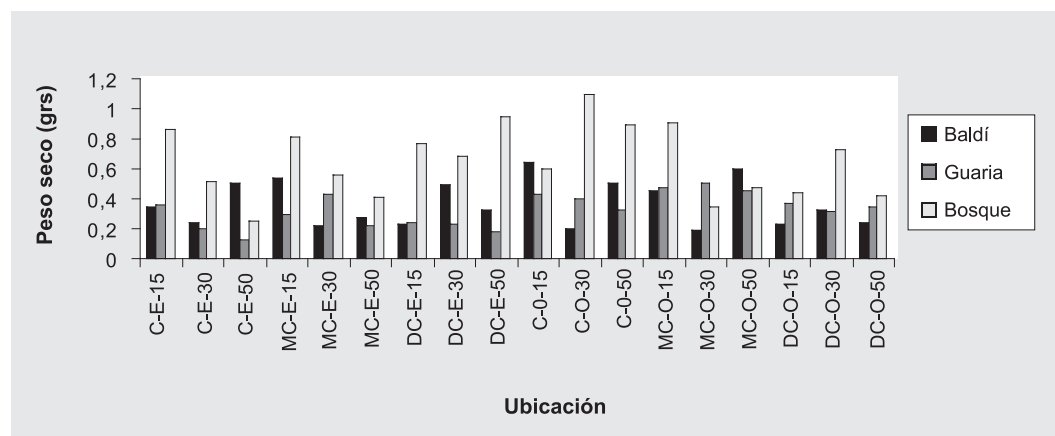


Figura 5. Peso seco de raíces de *Vochysia ferruginea* (botarrama), en tres sitios localizados en Sarapiquí de Heredia, Costa Rica (2000-2001): (A) Finca La Guaria (plantación sin manejo forestal), (B) bosque y (C) Finca Baldí (plantación con manejo forestal) (c: copa, mc: media de la copa, dc: después de la copa, e:este, o:oeste).

peso seco de las raíces en todos los puntos muestreados y en las diferentes profundidades de los árboles. El porcentaje más bajo fue el de Finca La Guaria (Figura 5).

Tanto los árboles de Finca La Guaria como los de Finca Baldí fueron los que presentaron menor peso seco de raíces, entre todos los árboles muestreados (Figura 5).

En febrero y mayo del 2000, los árboles ubicados en el bosque fueron los que obtuvieron mayor peso seco de raíces totales, mientras que en el segundo año fueron menores (Figura 6).

En los meses de setiembre y de diciembre se presentaron valores muy similares durante los años de estudio, principalmente en el bosque (Figura 6). Se encontró correlaciones negativas entre el peso seco de raíces con el año y la floración (Cuadro 1). Como se observa en estos resultados no se obtuvo altas correlaciones con las variables climáticas (Cuadro 1).

## Discusión

La profundidad, temperatura y tipo de suelo, así como la variabilidad genética,

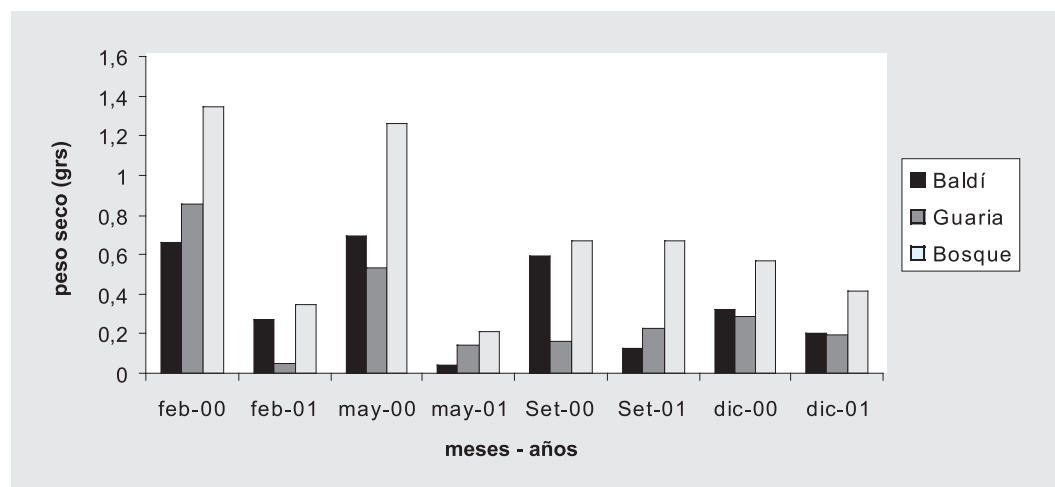


Figura 6. Peso seco de raíces cada 3 meses de *Vochysia ferruginea* (botarrama), en tres sitios ubicados en Sarapiquí de Heredia, Costa Rica (2000-2001) (A) Finca La Guaria (plantación sin manejo forestal), (B) bosque y (C) Finca Baldí (plantación con manejo forestal).

Cuadro 1. Correlaciones entre raíces de botarrama (*Vochysia ferruginea*) y los factores climáticos en Sarapiquí, Costa Rica (2000-2001).

	Año	Mes	Localidad	Peso seco raíz	Luz	Precipitación	Temperatura
Peso seco raíz	-0.60	-0.103	0.013	-	-0.27	-0.08	-
Peso fresco raíz	-0.22	-0.31	0.018	0.32	-0.18	0.13	0.007

afectan el metabolismo y el crecimiento de las raíces. *V. ferruginea* se cita como una especie acumuladora de aluminio en el tejido foliar, esta característica ha sido encontrada en otras especies de la misma familia y se asocia con un mejor crecimiento en suelos ácidos y con problemas de toxicidad de aluminio en los trópicos, en comparación con otras especies. Por lo tanto, se le considera como una especie que mejora el suelo y que es apta para reforestar zonas degradadas, ya que algunas propiedades químicas de suelos ácidos e infértiles pueden variar favorablemente con el establecimiento de árboles de botarrama (Baligar, Fageria y Elrashidi, 1998; Montagnini y Sancho, 1990; Mora, 1978; Sivegh, 1998).

Aparentemente, el principal factor que estimula la producción de raíces finas es el aumento en el contenido de humedad del suelo (Kavanagh y Kellman, 1992; Black, 1998; Rojas, 2000), aunque también algunos procesos que se presentan en la copa pueden influenciar la fenología del sistema radicular (Black, Harbron, Franklin, Atkinson y Hooker 1998; Rojas, 2000).

En la zona de la copa este del árbol de *V. ferruginea*, a una profundidad de 15 cm, localizado en Finca La Guaria, se obtuvo la densidad de raíces más alta (Figura 3). De acuerdo con Ordóñez (2003), el desarrollo de raíces finas en esta capa del suelo es favorecido por la constante mineralización de la materia orgánica, la canalización de las lluvias en el tronco que favorece la

*Las raíces evaluadas de los árboles ubicados en Finca La Guaria mostraron el mayor porcentaje de humedad, mientras que en Finca Baldí se encontraron, en promedio, los porcentajes más bajos de los tres sitios estudiados.*

absorción del agua dentro del área de la copa, la producción de materia orgánica por la caída del follaje y la actividad microbiana durante la estación lluviosa principalmente. Esta intensa actividad hace que esta capa superficial juegue un papel importante en el ciclo de nutrientes del ecosistema.

Los otros sitios muestreados que obtuvieron valores altos de porcentaje de humedad de raíces se encontraron, después de la copa del árbol al este y al oeste a 50 cm de profundidad, también en Finca La Guaria. En algunos estudios con especies arbóreas (Cavalier y Estevez, 1996; Rojas, 2000), se encontró que en los primeros 10 cm hay más densidad de raíces, lo cual disminuye conforme aumenta la profundidad del suelo, posiblemente debido al mayor contenido de materia orgánica y minerales. La mejor absorción mineral tiene lugar en los primeros 20 a 30 cm. De igual forma, gran cantidad de raíces absorbentes se presentan hasta los primeros 30 cm. La extensión de la masa radical depende del tipo de suelo, la profundidad del nivel freático y el origen genético (Alvarado y Sterling, 1993).

En un estudio realizado por Ordóñez (2003), se encontró que la mayor abundancia de raíces finas de *Simarouba glauca* y *Dalbergia retusa*, se concentró en los primeros 15 cm de profundidad. En el caso de *Simarouba glauca* la mayor producción de raíces coincidió con el inicio de la época lluviosa. Jiménez y Arias (2004) encontraron que la biomasa radicular disminuye conforme aumenta la profundidad en el perfil del suelo, así como con los cambios en las propiedades físicas del mismo, aspectos muy relacionados con la alta tasa de actividad microbiana y la acumulación de nutrientes en las capas superficiales del suelo.

Las raíces evaluadas de los árboles ubicados en Finca La Guaria mostraron el mayor porcentaje de humedad, mientras que en Finca Baldí se encontraron, en

promedio, los porcentajes más bajos de los tres sitios estudiados. Esto coincide con el resto de los análisis, que podría tener relación con el hecho de que la plantación ubicada en Finca La Guaria presentaba un ecosistema que no había sido manejado silviculturalmente y que estaba ubicada dentro de una densa vegetación. Jiménez y Arias (2004) encontraron que las áreas boscosas presentan mayor biomasa radicular.

En un estudio realizado por Rojas (2000), se encontró que la distribución de raíces finas varió de forma significativa entre las diferentes profundidades, sin embargo, no fue así a diferentes distancias del árbol. La cantidad, la dinámica de crecimiento y los patrones de distribución de las raíces finas están fuertemente influenciados por las condiciones ambientales locales (Ordóñez, 2003), las condiciones nutricionales (especialmente por los niveles de N y P), la composición de las especies, el clima, los factores geológicos y la actividad de animales y del hombre (Chester, Sholovoigt, Klass, Vlek y Murach 2001; Ostertag, 2001; Stijhorn, 1989; Sundarapandian Chandrasekaran y Swamy 1996).

En árboles frutales, los factores que alteran la distribución de raíces son los edáficos, debido a los efectos negativos que ejercen sobre el crecimiento de las mismas. Entre los más sobresalientes son: la compactación del suelo, la proporción de difusión de oxígeno en el suelo, la densidad aparente, y el diámetro de los poros del suelo. En cambio, la composición química del suelo tiene menor efecto en la distribución de raíces en forma natural (Covarrubias y Mata, 1979).

Bajo condiciones de clima subtropical, se ha visto que la distribución de raíces más pequeñas varían según el tipo de suelo, por ejemplo, la mayor densidad de raíces se encuentra en las capas más profundas en suelo arenoso, mientras que en suelo areno-limoso, estas raicillas se encuentran



en los primeros 25 cm de profundidad (Covarrubias y Mata, 1979).

## Conclusiones

La zona de la copa este a 15 cm de profundidad fue la que obtuvo los datos más altos en porcentaje de humedad radicular.

El mayor porcentaje de humedad radicular se encontró en Finca La Guaria, seguido por los árboles ubicados en el bosque y después los muestreados en Finca Baldí.

Los árboles ubicados en Finca La Guaria presentaron el mayor porcentaje de humedad radicular y de humedad del suelo, esto se debe, posiblemente, a las condiciones ambientales que prevalecen en la zona, por ser árboles que se encontraban en un sitio más dinámico y diverso, con una mayor cobertura boscosa.

Se encontró diferencias altamente significativas del porcentaje de humedad radicular entre sitios y meses, no así entre los diferentes puntos muestreados, orientaciones y profundidades.

En cuanto a biomasa radicular, los del bosque mostraron el mayor valor a nivel de copa oeste a los 30 cm. Tanto los ubicados en Finca La Guaria como los de Finca Baldí presentaron los valores más bajos de todos los árboles evaluados.

## Recomendaciones

A causa de que muchas de las raíces absorbentes se encuentran muy cerca de la superficie, especialmente en los materiales compactos, es necesario tomar en cuenta aspectos de manejo, tales como evitar prácticas que alteren la capa superior del suelo para no dañar las raíces y favorecer el mantenimiento de humedad a través de un buen manejo de coberturas.

Se deben establecer parcelas de monitoreo de biomasa radicular que consideren el factor edáfico.

## Bibliografía

- Alvarado, A. y Sterling, F. (1993). Evaluación del patrón de distribución del sistema radical de la palma aceitera (*Elais guineensis*). *Revista Agronomía Costarricense* 17(1): 41-48
- Baligar, V., Fageria N. y Elrashidi M. (1998). Toxicity and nutrient constraints on root growth. *Hort Science* 33(6): s.p.
- Black, K., Harbron, C., Franklin, M., Atkinson, D., Hooker, J. (1998). Differences in root longevity of some tree species. *Tree Physiology* 18. 259-264.
- Bertsch, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica, 157.
- Cavalier, J. y Estevez J. (1996). Fine-root biomass in three successional stages of an Andean Cloud Forest in Colombia. *Biotropica* 28(4b), 728-736.
- Chester, P., Schlönvoigt, A., Kass, D., Vlek, P. y Murach, D. (2001). Respuestas de las raíces finas y acumulación de nitrógeno en el follaje de *Erythrina poeppigiana* después de podas parciales o completas. *Agroforestería de las Américas* 8(39): 48-51.
- Covarrubias, R. y Mata, I. (1979). Estudio de la distribución de raíces en árboles de mango. *Fruticultura mexicana* (9), 6.
- Fitter, A. s.f. *The ecological significance of root system architecture: an economic approach*. 229-243.
- Holdridge, L. (1987). Ecología basada en zonas de vida. *Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas*, 216.
- Jiménez, C. y D. Arias. (2004). Distribución de la biomasa y densidad de raíces finas en un gradiente sucesional de bosques en la Zona Norte de Costa Rica. *Revista Forestal Kurú* 1(2), 1-20.
- McCully, M. (1995). How do real roots work?. *Plant physiology* 109, 1-6.
- McCully, M. (1999). Roots in soil. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50: 695-718.
- Montagnini, F. y Sancho F. (1990). Influencia de 6 especies de árboles nativos sobre la fertilidad del suelo en una plantación experimental en la Llanura del Atlántico de Costa Rica. *Yuyrareta* 1(1), 29-49.
- Mora, W. (1978). Estudio sobre la neutralización de la acidez del intercambio en 10 suelos

*A causa de que muchas de las raíces absorbentes se encuentran muy cerca de la superficie, especialmente en los materiales compactos, es necesario tomar en cuenta aspectos de manejo, tales como evitar prácticas que alteren la capa superior del suelo para no dañar las raíces y favorecer el mantenimiento de humedad a través de un buen manejo de coberturas.*

- del Valle de El General. C.R. Tesis para optar al grado de Ing. Agrónomo. Escuela de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 62 p.
- Morales, E. (1997). *Arquitectura y distribución espacial de raíces de Eucalyptus deglupta de un sistema agroforestal simultáneo en Coffea arabica*. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Morales, E. s.f. Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales. *¿Por qué estudiar raíces en plantaciones forestales y bosques naturales?*. En: Simposio Internacional "Posibilidades de manejo forestal sostenible en América Tropical". CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Müller, E. (1997). *Investigaciones en frutos y semillas de árboles individuales de cinco especies forestales de la Región Huetar Norte de Costa Rica, con especial consideración en el almacenamiento*. Documento 51. Proyecto COSEFORMA/GTZ, Costa Rica. 237 p.
- Ordóñez, H. (2003). *Fenología de la copa y de las raíces finas de Simarouba glauca (aceituno) y de Dalbergia retusa (cocobolo) con riego en una plantación mixta en Guanacaste*. Tesis sometida para optar al grado de Magister Scientiae. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica.
- Ostertag, R. (2001). Effects of nitrogen and phosphorus availability on fine-root dynamics in Hawaiian Montane Forests. *Ecology* 82(2), 485-499.
- Rojas, K. (2000). *Fenología de la copa y del sistema de raíces finas y relaciones hídricas de Enterolobium cyclocarpum (Guanacaste) en le bosque tropical seco*. Tesis sometida para optar al grado de Magister Scientiae. Escuela de Biología. Sistema de Estudios de Posgrado Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. San Pedro, Costa Rica.
- Singh, B. y Sainju V. (1998). Soil physical and morphological properties and root growth. *Hort Science* 33(6), 966-970.
- Sivegh, B. (1998). Soil environmental and root growth: Introduction to the Colloquium. *Hort Science* 33 (6), s.p.
- Smith, A., Sprangers, J, Sablik, P. y Groenwold, J. (2000). Automated measurement of root length with a three dimensional high-resolution scanner and image analysis. *Plant and Soil* 158, 145-149.
- Stijhoorn, E. (1989). Root biomass and distribution under plantations of native tree species, grass and secondary forest vegetation in the Atlantic Lowlands of Costa Rica. *Tropical Resources Institute*, 26.
- Sundarapandian, S. Chandrasekaran, S., Swamy, P. (1996). *Current Science* 70(3), 242-246.

## Agradecimientos

A la Organización para Estudios Tropicales (OET) y a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) por el apoyo financiero para llevar a cabo este proyecto.