

- Sikora R.A. & S. Reimann. 2004. Suppressive soils, the edge of chaos and multitrophic strategies for biocontrol of pests and diseases in soil ecosystems. *Bulletin OILB/SROP* 27(1):251-258.
- Speijer P.R. & C.S. Gold. 1996. *Musa* root health assessment: a technique for the evaluation of *Musa* germplasm for nematode resistance. Pp. 62-78 in *New Frontiers in Resistance Breeding for Nematodes, Fusarium and Sigatoka*. (E.A. Frison, J. P. Horry & D. De Waele, eds). INIBAP, Montpellier, Francia.
- Speijer P. R. & D. De Waele. 1997. Screening of *Musa* Germplasm for Resistance and Tolerance to Nematodes. Technical Guideline No. 1. INIBAP, Montpellier, Francia.
- Viaene N.M. & G.S. Abanoi. 2000. *Hirsutella rhossiliensis* and *Verticillium chlamydosporium* as biocontrol agents of the root-knot nematode *Meloidogyne hapla* on lettuce. *Journal of Nematology* 32:85-100.
- Vu T.T., R.A. Sikora & R. Hauschild. 2004. Effects of endophytic *Fusarium oxysporum* towards *Radopholus similis* activity in absence of banana. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* 69(3): 381-385.
- Wicklow D.T., S. Roth, S.T. Deyrup & J. B. Gloer. 2005. A protective endophyte of maize: *Acremonium zeae* antibiotics inhibitory to *Aspergillus flavus* and *Fusarium verticillioides*. *Mycological Research* 109(5):610-618.
- Zaki M.J. & M.A. Maqbool. 1991. Combined efficacy of *Pasteuria penetrans* and other biocontrol agents on the control of root-knot nematode on okra. *Pakistani Journal of Nematology* 9:49-52.
- zum Felde A. 2002. Screening of Endophytic Fungi from Banana (*Musa*) for Antagonistic Effects towards the Burrowing Nematode, *Radopholus similis* (Cobb) Thorne. MSc Thesis, University of Bonn, Germany.
- zum Felde A., L. Pocasangre & R. A. Sikora. 2005. The potential use of microbial communities inside suppressive banana plants for banana root protection. Pp. 169-177 in *Banana Root System: towards a better understanding for its productive management*. Proceedings of an international symposium held in San José, Costa Rica, 3-5 November 2003. (D.W. Turner & F.E. Rosales, eds). INIBAP, Montpellier, Francia.

## Sistema radical y crecimiento de brotes de banano (*Musa* spp.) en dos zonas agroecológicas de Nigeria

G. Blomme, R. Swennen, R. Ortiz y A. Tenkouano

El concepto de plasticidad fenotípica de las raíces se refiere a la habilidad de los cultivares para adaptar su estructura radical a los cambios en el ambiente (O'Toole y Bland 1987, Draye 2002). El parámetro más significativo que influye sobre el crecimiento y desarrollo de las raíces es, sin duda, el ambiente edáfico, el cual incluye, por ejemplo, la temperatura del suelo, su nivel de humedad, presión parcial del dióxido de carbono y oxígeno, y la disponibilidad de nutrientes. Los factores ambientales como la temperatura del aire, la duración del día, la intensidad de la luz y la presión parcial del dióxido de carbono, afectan la provisión de nutrientes y los reguladores del crecimiento, desde el brote hasta el sistema radical. Los factores ambientales también influyen sobre la proporción retoño/raíz de una planta (Wright 1976, Jung 1978, Smucker 1984, Bastow Wilson 1988, Kasperbauer 1990, Squire 1993, Martínez Garnica (1997), McMichael y Burke 1998). La investigación del desarrollo del sistema radical del algodón (*Gossypium hirsutum* L.) ha mostrado, que cambios considerables pueden ocurrir bajo diversas condiciones del suelo (Pearson 1965, Adams *et al.* 1967, Halevy 1976), mientras que Bennie y du T. Burger (1981), reportaron que el aumento de la impedancia mecánica (es decir, el aumento de la densidad aparente del suelo) redujo la elongación de las raíces en el maíz

(*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) y cacahuate (*Arachis hypogaea* L.).

El efecto positivo de la porosidad aumentada del suelo sobre el crecimiento y desarrollo de las raíces fue demostrado para los bananos de postre (AAA) (Sioussaram 1968, Champion y Sioussaram 1970, Delvaux y Guyot 1989). En adición, existe un efecto significativo de las condiciones climáticas sobre el crecimiento de las raíces y retoños de los bananos de postre (Robin y Champion 1962, Turner 1970, Turner y Lahav 1983). Robinson y Alberts (1989) reportaron que el crecimiento de las raíces es más lento a bajas temperaturas. Por ejemplo, en la variedad 'Williams' (AAA) del Cavendish la extensión del eje fue casi de 3 cm por día a 25°C, menos de 0.5 cm por día a 15°C y cesó a 11.5°C.

Beugnon y Champion (1966) reportaron el efecto de la fecha de siembra sobre el crecimiento de las raíces y retoños para el banano de postre 'Poyo' (AAA). En los plátanos (AAB), Irizarry *et al.* (1981) reportaron una influencia sustancial del tipo de suelo sobre el crecimiento de la planta, desarrollo y distribución del sistema radical. Ellos demostraron que un mejor conocimiento de la distribución del sistema radical podría conducir a una mayor eficacia en las prácticas culturales como el riego y la fertilización. Sin embargo, su estudio fue realizado solo para un cultivar de plátano ('Maricongo'). La información sobre

el crecimiento y desarrollo del sistema radical en diferentes localidades es escasa para un amplio rango de genotipos. Por lo tanto, este estudio fue diseñado para determinar los efectos agroecológicos sobre el desarrollo del sistema radical, las características de crecimiento del cormo y las partes aéreas de un amplio rango de genotipos de *Musa* spp..

## Materiales y métodos

Diecisiete genotipos de *Musa* spp. (Tabla 1) fueron evaluados en dos zonas agroecológicas de Nigeria: el bosque húmedo y la sabana húmeda. El bosque húmedo se localizaba en la estación High Rainfall del Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), en Onne al sudeste de Nigeria (4°42' N, 7°10' E, 10 m sobre el nivel del mar). El suelo es derivado de sedimentos costeros y es un Paleudult Típico/ Haplic Acrisol (FAO/ISRIC/ISSS 1998) profundo y bien drenado. Este suelo pertenece a la familia de suelos isohipertérmicos silíceos francos gruesos. La precipitación promedio anual es de 2400 Mm. distribuidos de manera monomodal de febrero a noviembre. La

1998). Las plántulas fueron aclimatadas por seis semanas en un vivero del invernadero (Vuylsteke y Talengera 1998, Vuylsteke 1998) en Onne, previo a su trasplante al campo en Onne en mayo y en Abuja en agosto.

Cada genotipo fue representado por cuatro y tres plantas en Onne y Abuja, respectivamente. El diseño del campo en Onne fue de bloques completamente al azar con dos réplicas de dos plantas por genotipo, mientras que en Abuja se utilizó un diseño completamente al azar. El espaciamiento fue de 4 m x 4 m en ambas localidades. El área experimental fue tratada con el nematicida Nematicur (i.a. fenamifos) a una tasa de 15 g/planta (3 tratamientos) para reducir la cantidad de nematodos. El campo fue fertilizado con muriato de potasio (i.a. K<sub>2</sub>O, 60% K) a una tasa de 600 g planta<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y urea (47% N) a una tasa de 300 g planta<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, divididos en seis aplicaciones iguales durante la estación lluviosa. No se aplicó enmiendas. El fungicida Bayfidan (i.a. triadimenol) fue aplicado tres veces al año a una tasa de 3.6 ml/planta para controlar la

**Tabla 1. Genotipos evaluados.**

Nombre	Grupo genómico	Ploidia	Tipo
Yangambi km 5	AAA	3	Banano de postre
Valery	AAA	3	Banano de postre
Pisang Ceylan	AAB	3	Banano de postre (Mysore)
Obino l'ewai	AAB	3	Plátano
Pelipita	ABB	3	Banano de cocción
Cardaba	ABB	3	Banano de cocción
Fougamou	ABB	3	Banano de cocción
TMP 3x 15108-6	AAAB x AA	3	Triploide secundario (Bobby tannap x Calcutta 4) x SH-3362
TMP 4x 2796-5	AAB x AA	4	Híbrido de plátano (Bobby tannap x Pisang lilin)
TMP 4x 7152-2	AAB x AA	4	Híbrido de plátano (Mbi egome 1 x Calcutta 4)
TMP 4x 548-9	AAB x AA	4	Híbrido de plátano (Obino l'ewai x Calcutta 4)
FHIA-3	ABB x AA	4	Híbrido de banano de cocción (SH-3386 x SH-3320)
FHIA-22	AAB X AA	4	AVP-67 x SH-3142
SH-3640	AAB X AA	4	Prata anã x SH-3393
SH-3436-9	AAA X AA	4	Variante somaclonal de SH-3436 (Highgate (Gros Michel) x SH-3142)
EMB 402	AAB X AA	4	Pacovan x Calcutta 4
EMB 403	AAB X AA	4	Prata anã x Calcutta 4

radiación solar diaria promedio es de 12.6 MJ/m<sup>2</sup>. Los detalles del sitio se describen en Ortiz *et al.* (1997). La sabana húmeda se encuentra en la estación Abuja del IITA en Nigeria central (9°16' N, 7°20' E, 300 m snm). El suelo es un Luvisol/Lixisol alto en nutrientes pero con un drenaje pobre, con un pH de 6. La precipitación anual promedio es de 1300 mm distribuidos de manera unimodal de abril a octubre. La radiación solar diaria promedio es de 16.02 MJ/m<sup>2</sup>. El análisis químico del suelo fue realizado en ambas localidades (Tabla 2).

El material de plantación fue producido mediante el cultivo de tejidos (Vuylsteke 1989,

**Tabla 2. Análisis químico de la capa arable en Onne y Abuja.**

	Onne		Abuja	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
pH H <sub>2</sub> O (1:1)	4.2	4.3	6.2	5.7
Org C (%)	1.20	0.78	2.03	1.31
Kjel N (%)	0.11	0.06	0.16	0.11
Bray-I P (mg/kg)	44.05	62.55	16.10	1.00
Arena (%)	79	73	45	27
Limo (%)	7	5	32	40
Arcilla (%)	14	22	23	33
Intercambio Ca (cmol/kg)	0.4	0.3	8.7	13.6
Intercambio Mg (cmol/kg)	0.2	0.1	1.7	1.8
Intercambio K (cmol/kg)	0.1	0.1	0.3	0.3
Intercambio Na (cmol/kg)	0.4	0.4	0.5	0.3
ECEC (cmol/kg)	2.5	2.2	11.9	16.3

**Tabla 3. Promedios cuadrados esperados para varias características evaluadas durante la emergencia floral en Onne y Abuja.**

Fuente de variación	Cuadrado promedio esperado de tipo III	gl	AF (cm <sup>2</sup> )	NH	AP (cm)	CP (cm)	PC (g)	AC (cm)
Localidad	Var(error) + 72.25 Var(LOC) + Q(LOC*GEN)	1	36612513003***	12	83971***	6625***	411995870***	785***
Genotipo	Var(error) + Q(GEN,LOC*GEN)	16	3957624450***	57***	10152***	564***	27024642***	69***
Genotipo x localidad	Var(error) + Q(LOC*GEN)	16	2665443023***	15**	1787**	180***	13426037***	26**
Residual		76	623876137	6	686	41	1539972	10
Fuente de variación	Cuadrado promedio esperado de tipo III	gl	AMC (cm)	PR (g)	NRa	LR (cm)	DP (mm)	LT (cm)
Localidad	Var(error) + 72.25 Var(LOC) + Q(LOC*GEN)	1	479***	212904***	52325***	1526691	0.13	787341
Genotipo	Var(error) + Q(GEN,LOC*GEN)	16	51***	39992***	8645***	13813739***	1.38***	53000480***
Genotipo x localidad	Var(error) + Q(LOC*GEN)	16	14***	16464***	5947***	9830888***	0.33**	25821423*
Residual		76	2	4035	1783	2828558	0.15	12119895
Fuente de variación	Cuadrado promedio esperado de tipo III	gl	PM (g)	NRe	HR (cm)	DEF		
Localidad	Var(error) + 72.25 Var(LOC) + Q(LOC*GEN)	1	351079***	732***	144251***	689877***		
Genotipo	Var(error) + Q(GEN,LOC*GEN)	16	115615***	93***	23799***	33782***		
Genotipo x localidad	Var(error) + Q(LOC*GEN)	16	40021***	22***	6639***	10932***		
Residual		76	9061	4	1114	3097		

AF: área foliar, NH: número de hojas, AP: altura de la planta, CP: circunferencia del pseudotallo a nivel del suelo, PC: peso fresco del corno, AC: altura del corno, AMC: ancho mayor del corno, PR: peso seco de las raíces, NRa: número de raíces adventicias, LR: largo total de las raíces adventicias de la planta madre, DP: diámetro promedio en la base de las raíces adventicias, LT: largo total de las raíces adventicias de la mata, PM: peso seco de las raíces de la mata, NRe: número de retoños, HR: altura del retoño más alto, DEF: días hasta la emergencia floral

\*, \*\*, \*\*\* Significativos a P<0.05, 0.01 y 0.001, respectivamente.

gl: grados de libertad

Sigatoka negra, causada por *Mycosphaerella fijiensis* Morelet.

En la zona de la sabana húmeda, las plántulas de *Musa* pueden ser cultivadas solo a lo largo de los cauces de los ríos para que sobrevivan durante la estación seca. Por lo tanto, las plantas en Abuja fueron regadas durante la estación seca de seis meses a una tasa de 100 mm/mes. En Onne, las plantas fueron regadas a la misma tasa durante la corta estación seca de tres meses.

Las plantas fueron excavadas durante la emergencia floral y las características, medidas en la planta madre, fueron el área foliar, número de hojas, altura de la planta (desde el nivel del suelo hasta el punto donde se encuentran los pecíolos más altos) y la circunferencia del pseudotallo al nivel del suelo. El área foliar fue calculada de acuerdo a Obiefuna y Ndubizu (1979). Las características medidas en el corno de la planta madre fueron el peso fresco, la altura y el ancho mayor. Las características medidas en las raíces de la planta madre incluyeron el peso seco de las raíces, el número de raíces adventicias, su largo total utilizando el método de intersección lineal (Newman 1966, Tennant 1975) y su diámetro basal promedio medido con un calibrador Vernier. Otras características fueron el peso seco total de las raíces de la mata (es decir, de la planta madre y de los retoños) y el largo total de las raíces adventicias de la mata. Se permitió que todos los retoños se desarrollaran. También se registraron el número de retoños en el corno y la altura del retoño más alto, igual que la cantidad de

días desde la siembra en el campo hasta la emergencia floral.

El análisis estadístico se efectuó utilizando el paquete SAS (SAS 1989). Una técnica ANOVA de 3 vías fue realizada para determinar el efecto sobre las diferentes características de localidad, genotipo e interacción genotipo x localidad. La localidad fue considerada como aleatoria y el genotipo, como fijo. Los promedios fueron separados por la prueba de la t de comparación pareada de mínimos cuadrados promedio. La correlación lineal fue realizada entre las mismas características de las plantas en ambas localidades.

## Resultados

El efecto de la localidad fue significativo en la mayoría de las características del crecimiento aéreo, del corno y del sistema radical, con excepción de la cantidad de hojas, largo total de las raíces adventicias de la planta madre y de la mata, y del diámetro promedio de las raíces adventicias de la planta madre (Tabla 3). La interacción genotipo x localidad fue significativa para todas las características medidas.

Las plantas en Abuja tuvieron un área foliar significativamente mayor, un pseudotallo significativamente más alto y más grande y un corno mayor (Tabla 4). Los cormos de mayor tamaño en las plantas de Abuja fueron asociados con un número de raíces adventicias significativamente más alto. Sin embargo, el largo total de raíces adventicias fue similar en ambas localidades (Tabla 4). En promedio, las raíces adventicias fueron

más cortas en Abuja. Realmente, durante la excavación, se observó que las raíces adventicias más largas en Abuja nunca se extendieron a más de 1.5 m desde el cormo, mientras que en Onne las raíces adventicias podían extenderse hasta 3 m desde el cormo. Un mayor número de raíces laterales de primer y segundo orden fue observado en las plantas en Onne (sin embargo, no se realizó una evaluación detallada de estas raíces laterales). La proporción área foliar /largo de raíces adventicias y la proporción área foliar /peso seco de las raíces fueron significativamente más altos en Abuja que en Onne, indicando que las plantas en Onne tenían un sistema radical relativamente mejor desarrollado (Tabla 4).

Más retoños por mata se observaron en Abuja (Tabla 4), lo más probable, debido a los cormos de mayor tamaño, lo que también podría explicar la mayor cantidad de raíces observadas en Abuja. A pesar de este aumento de competencia entre los retoños, la altura promedio del retoño más alto durante la emergencia floral fue significativamente mayor en Abuja (Tabla 4). Los retoños más altos en Abuja alcanzaron el 64% de la altura de la planta madre en floración, en comparación con el 48% en Onne. La cantidad de días hasta la floración fue significativamente más alta en Abuja (Tabla 4).

Se encontraron correlaciones significativas entre las localidades con respecto al número de hojas, altura de la planta, circunferencia de la planta, características de cormo, diámetro promedio de las raíces adventicias, número de retoños, altura del retoño más alto y días hasta la floración (Tabla 5). No se encontraron correlaciones entre el área foliar y otras características del sistema radical, lo que podría sugerir modificaciones en los patrones de distribución o diferentes tasas de mortalidad de acuerdo a la localidad.

## Discusión

El efecto significativo de la localidad sobre la mayoría de las características de crecimiento está en concordancia con los informes anteriores de Wright (1976), Jung (1978) y Kasperbauer (1990) quienes establecieron, para otros cultivos, que las condiciones ambientales pueden interactuar con el carácter genético de las plantas.

Las raíces adventicias más cortas sugeridas por un mayor número de raíces observadas en las plantas cultivadas en Abuja, para el mismo largo total de las raíces en ambas localidades, podría reflejar un crecimiento reducido como resultado de un mayor porcentaje de arcilla (28 % en Abuja en comparación con 18 % en Onne) y limo (36 % en Abuja en comparación

**Tabla 4. Valores promedio y el error estándar de varias características de crecimiento medidas en las plantas cultivadas en Onne y Abuja.**

Característica	Onne ±SE	Abuja ±SE	
AF (cm <sup>2</sup> )	89 068.7 ±3 438.9	126 231.3 ±6 730.8	**
NH	12.0 ±0.5	12.7 ±0.6	ns
AP (cm)	241.3 ±4.4	298.7 ±8.6	***
CP (cm)	63.2 ±0.9	79.1 ±2.2	***
PC (g)	5 064.2 ±159.6	9 005.5 ±508.8	***
AC (cm)	20.4 ±0.4	26.0 ±0.8	***
AMC (cm)	19.7 ±0.3	23.9 ±0.6	***
PR (g)	321.0 ±14.6	230.0 ±14.1	**
NRa	151.7 ±5.4	198.1 ±10.5	*
LR (cm)	6 353.7 ±315.3	6 206.7 ±328.8	ns
DP (mm)	5.7 ±0.1	5.7 ±0.1	ns
LT (cm)	11 120.4 ±621.3	11 161.6 ±602.5	ns
PM (g)	511.0 ±23.6	399.2 ±23.7	*
NRe	10.4 ±0.5	16.0 ±0.7	**
HR (cm)	115.0 ±8.2	191.3 ±11.9	**
DEF	328.7 ±7.3	495.3 ±17.8	***
AF/LR	16.2 ±1.1	22.2 ±1.6	*
LA/PR	312.8 ±17.8	607.4 ±39.4	***

Leyenda: ver tabla 3.

**Tabla 5. Coeficientes de correlación entre las estaciones de Onne y Abuja con respecto a los parámetros de crecimiento y días hasta la emergencia floral (17 genotipos).**

Característica	Coefficiente de correlación
AF (cm <sup>2</sup> )	0.27
NH	0.54*
AP (cm)	0.79***
CP (cm)	0.71**
PC (g)	0.60*
AC (cm)	0.55*
AMC (cm)	0.66**
PR (g)	0.35
NRa	0.21
LR (cm)	0.16
DP (mm)	0.57*
LT (cm)	0.37
PM (g)	0.44
NRe	0.59*
HR (cm)	0.55*
DEF	0.62**

Leyenda: ver tabla 3.

con 6 % en Onne). Irizarry *et al.* (1981) reportaron, para un cultivar de plátano, una significativa reducción en el largo de las raíces adventicias en suelos más pesados.

Pero, si la impedancia mecánica tuvo efecto sobre el largo promedio de las raíces adventicias, no tuvo efecto sobre su diámetro promedio, contrario a los informes que han mostrado una correlación entre una alta impedancia y las raíces más gruesas del maíz (Bennie 1979, Boone y Veen 1982, Shierlaw y Alston 1984), trigo (Bennie 1979, Collis-George y Yoganathan 1985), algodón (Bennie 1979) y patatas (*Solanum tuberosum* L.) (Boone *et al.* 1985). No hemos observado efecto alguno del tipo de suelo sobre el diámetro promedio de las raíces adventicias, pero no podemos excluir la posibilidad de que las diferencias en

el largo de las raíces pudieran ser atribuidas a diferentes patrones de distribución o tasas de mortalidad en cada localidad.

El hecho de que el sistema radical de las plantas cultivadas en Onne estaba más ramificado puede estar relacionado con una menor disponibilidad de nutrientes. Realmente, las raíces necesitan explorar un mayor volumen de suelo para acceder a los nutrientes necesarios. De acuerdo con nuestros resultados, Daw *et al.* (1999) reportaron un aumento en el largo específico de las raíces (es decir, largo de las raíces por gramo de peso seco) en los árboles jóvenes de melocotón con una aplicación reducida de fertilizantes.

Ya que las plantas de Abuja son más altas y grandes, la actividad fisiológica del sistema radical, más que su tamaño, parece ser el factor más importante que contribuye al crecimiento más vigoroso de la planta y sus retoños. Los altos niveles de nutrientes en el suelo de Abuja (Tabla 2), una mayor radiación solar en combinación con un suministro constante de agua a través del año podrían haber compensado el sistema radical relativamente pequeño, resultando en un crecimiento vigoroso de la parte aérea. El menor crecimiento de las raíces impuesto por un suelo más pesado fue más que una compensación por un mayor suministro de energía solar, agua y nutrientes en la zona poco profunda de las raíces. Lo último confirma las observaciones hechas por Gousseland (1983), quien reportó que las plantas con un sistema radical sano pero pequeño aún podían producir racimos pesados cuando se cultivan en un suelo fértil.

Consecuentemente, los efectos nocivos de un factor desfavorable pueden ser compensados modificando otro factor, por ejemplo, aumentando la aplicación de fertilizantes bajo condiciones de suelos compactos (Wild 1988). Si el medio de enraizamiento está bien aireado y se le proporciona constantemente agua y nutrientes, otras condiciones favorables, un sistema radical reducido puede soportar un crecimiento de retoños considerable (Russell 1977).

La mayor fertilidad del suelo en Abuja combinada con una radiación solar superior en un 27% podría dar como resultado un ciclo de producción más corto. Sin embargo, las plantas en Abuja fueron sembradas tres meses más tarde que las plantas en Onne. Esto significa que las plantas de Abuja entraron a la estación seca en una etapa de desarrollo más temprana que las plantas de Onne. La combinación de esta etapa de crecimiento más joven con temperaturas nocturnas más bajas colocó a las plantas de Abuja bajo un mayor estrés que

el que experimentaron las plantas de Onne, dando como resultado un ciclo de producción más largo.

El análisis de correlación indicó que diferentes genotipos responden de manera similar a diferentes ambientes con respecto al número de hojas, características del pseudotallo y cormo, desarrollo de retoños y días hasta la emergencia floral. Por lo tanto, al evaluar las variedades con respecto a los estudios agronómicos o taxonómicos se aconseja incluir los cultivares de referencia sobre los cuales se han recopilado datos en diferentes condiciones agroecológicas. Esto facilitaría el trabajo con valores relativos (comparados con el cultivar de referencia) para que la comparación de las variedades a través de ambientes fuese más fácil.

## Conclusión

Este estudio muestra que, tanto las características de los retoños, como las de las raíces de los genotipos de *Musa* están influenciadas por el ambiente agroecológico. El desempeño mejorado de las plantas en Abuja apoya los estudios en otros cultivos e indica que el potencial agrícola de los campos en los trópicos húmedos es menor que en los trópicos semihúmedos debido a los suelos más pobres y una radiación solar más baja.

Este estudio también ha mostrado que, bajo condiciones óptimas de cultivo, el tamaño del sistema radical no es un factor determinante, ya que un sistema radical relativamente menos desarrollado aún puede soportar el crecimiento vigoroso de la planta cuando existe un amplio suministro de agua, nutrientes y energía solar. Los datos sugieren que una distribución de las raíces cerca de la mata es suficiente, con tal que se le suministren los nutrientes. Los productores bananeros, quienes están restringidos a sus tipos de suelo y área de cultivo, pueden mejorar el crecimiento de las plantas mejorando las funciones de las raíces a través de los insumos externos como nutrientes y agua, siempre que los nematodos y el viento no presentan problemas.

## Agradecimiento

Se agradece el apoyo financiero por parte de la Asociación Flamenca para la Cooperación en el Desarrollo y Asistencia Técnica (VVOB: *Vlaamse Vereniging voor Ontwikkelingssamenwerking en Technische Bijstand*) y el Directorio General Belga para la Cooperación en el Desarrollo. Los autores quieren recalcar la contribución del finado Dirk Vuylsteke en el diseño experimental, Srta Lynda Onyeukwu (IITA, Onne, Nigeria) por ayudar con la recopilación de los datos y al Sr Philip Ragama (KARI-NARO, Kampala, Uganda) por ayudar con el análisis estadístico.

## Referencias

- Adams F., R.W. Pearson & B.D. Doss. 1967. Relative effects of acid sub-soils on cotton yields in field experiments and on cotton roots in growth chamber experiments. *Agronomy Journal* 59:453-456.
- Bastow Wilson J. 1988. A review of evidence on the control of shoot:root ratio, in relation to models. *Annals of Botany* 61: 433-449.
- Bennie A.T.P. 1979. Die invloed van grondverdichting op die grond-plant sisteem (The influence of soil compaction on the soil-plant system). PhD dissertation, University of the Orange Free State, Bloemfontein, South Africa.
- Bennie A.T.P. & du T. Burger, R. 1981. Root characteristics of different crops as affected by mechanical resistance in fine sandy soils. Proceedings of the 10<sup>th</sup> Congress of the Soil Science Society of South Africa, Technical Communication No. 180. Department of Agriculture, Pretoria, South Africa.
- Beugnon M. & J. Champion. 1966. Etude sur les racines du bananier. *Fruits* 21:309-327
- Boone F.R. & B.W. Veen. 1982. The influence of mechanical resistance and phosphate supply on morphology and function of maize roots. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 30:179-192.
- Boone F.R., L.A.H. De Smet & C.D. Van Loon. 1985. The effect of soil compaction on potato growth in a loamy sand soil. I. Physical measurements and rooting patterns. *Potato Research* 28:295-314.
- Champion J. & D. Sioussaram. 1970. L'enracinement du bananier dans les conditions de la station de Neufchâteau (Guadeloupe). *Fruits* 25:847-859.
- Collis-George N. and P. Yoganathan. 1985. The effect of soil strength on germination and emergence of wheat. I. Low shear strength conditions. *Australian Journal of Soil Research* 23:577-588.
- Daw T., T.J. Tworkoski & D.M. Glenn. 1999. Root restriction and fertilizer effects on young peach trees (abstract). *HortScience* 34(3):494.
- Delvaux B. & P. Guyot. 1989. Caractérisation de l'enracinement du bananier au champ. Incidences sur les relations sol-plante dans les bananeraies intensives de la Martinique. *Fruits* 44(12):633-647.
- Draye X. 2002. Banana roots: architecture and genetics. Pp. 261-277 in *Plant Roots: The Hidden Half*. 3<sup>rd</sup> edition (Y. Waisel, A. Eshel & U. Kafkafi, eds). Marcel Dekker, New York.
- FAO/ISRIC/ISSS, 1998. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports No. 84, FAO, Rome, Italy. 88pp.
- Gousseland J. 1983. Etude de l'enracinement et de l'émission racinaire du bananier 'Giant Cavendish' (*Musa acuminata* AAA, sous-groupe Cavendish) dans les andosols de la Guadeloupe. *Fruits* 38:611-623.
- Halevy J. 1976. Growth rate and nutrient uptake of two cotton cultivars grown under irrigation. *Agronomy Journal* 68: 701-705.
- Irizarry H., J. Vicente-Chandler & S. Silva. 1981. Root distribution of plantains growing on five soil types. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 65(1):29-34.
- Jung G.A. 1978. Crop Tolerance to Suboptimal Land Conditions. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Madison, USA. 343pp.
- Kasperbauer M.J. 1990. Shoot/root relationships and bioregulation. Pp. 217-231 in *Rhizosphere Dynamics* (J.E. Box Jr., and L.H. Hamond, eds.). Westview Press, Boulder CO., USA.
- Martinez Garnica A. 1997. Mineral nutrient deficiency in plantain: Symptoms and disorders under experimental and field conditions. *Hohenheim Tropical Agricultural Series: 4*. Margraf Verlag.
- McMichael B.L. & J.J. Burke. 1998. Soil temperature and root growth. *HortScience* 33(6):947-950.
- Newman E.I. 1966. A method for estimating the total length of root in a sample. *Journal of Applied Ecology* 3:139-145.
- Obiefuna J.C. & T.O.C. Ndubizu. 1979. Estimating leaf area of plantain. *Scientia Horticulturae* 11:31-36.
- Ortiz R., P.D. Austin & D. Vuylsteke. 1997. IITA high rainfall station: Twenty years of research for sustainable agriculture in the West African Humid Forest. *HortScience* 32(6):969-972.
- O'Toole J.C. & W.L. Bland. 1987. Genotypic variation in crop plant root systems. *Advances in Agronomy* 41:91-145.
- Pearson R.W. 1965. Soil environment and root development. Pp. 95-126 in *Plant environment and efficient water use* (W.H. Pierre, D. Kirkham, J. Pesek & R. Shaw, eds). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, USA.
- Robin J. & J. Champion. 1962. Etudes des émissions des racines de la variété du bananier Poyo. *Fruits* 17:93-94.
- Robinson J.C. & A.J. Alberts. 1989. Seasonal variation in the crop water-use coefficient of banana (cultivar 'Williams') in the subtropics. *Scientia Horticulturae* 40:215-225.
- Russell R.S. 1977. *Plant root systems: Their function and interaction with the soil*. McGraw-Hill, UK. 298pp.
- SAS Institute Inc. 1989. SAS/STAT user's guide, version 6, 4<sup>th</sup> edition, Vol. 1. Cary, N.C.: SAS Institute Inc.
- Shierlaw J. & A.M. Alston. 1984. Effect of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. *Plant and Soil* 77: 15-28.
- Sioussaram D. 1968. Observations préliminaires sur l'enracinement des bananiers dans les sols de la station de Neufchâteau, Guadeloupe. *Fruits* 23(9):473-479.
- Smucker A.J.M. 1984. Carbon utilization and losses by plant root systems. Pp. 27-46 in *Roots, Nutrient and Water Influx, and Plant Growth*. (S.A. Barber & D.R. Bouldin, eds). Spec. Publ. 49. American Society of Agronomy, Madison, USA.
- Squire G.R. 1993. The leaf canopy and root system. Pp. 33-70 in *The Physiology of Tropical Crop Production*. CAB International, UK.
- Tennant D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology* 63:995-1001.
- Turner D.W. 1970. Banana roots. *Agricultural Gazette N.S.W.* 81:472-473.
- Turner D.W. & E. Lahav. 1983. The growth of banana plants in relation to temperature. *Australian Journal of Plant Physiology* 10:43-53.
- Vuylsteke D. 1989. Shoot-tip culture for the propagation, conservation, and exchange of *Musa* germplasm. Practical manuals for handling crop germplasm *in Vitro*. International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy. 56pp.
- Vuylsteke D. 1998. Shoot-tip culture for the propagation, conservation, and distribution of *Musa* germplasm. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 82pp.
- Vuylsteke D. & D. Talengera. 1998. Postflask Management of Micropropagated Bananas and Plantains. A manual on how to handle tissue-cultured banana and plantain plants. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 15pp.
- Wild A. 1988. Russell's soil conditions and plant growth. Eleventh Edition, Longman Scientific and Technical. 991pp.
- Wright M.J. 1976. Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University Agricultural Experiment Station, Ithaca, NY, USA. 420pp.
- G. Blomme** trabaja en la Oficina regional de INIBAP para África Oriental y del Sur, P.O. Box 24384, Kampala, Uganda, correo electrónico: [G.Blomme@CGIAR.org](mailto:G.Blomme@CGIAR.org),  
**R. Swennen** trabaja en el Laboratorio de Mejoramiento de Cultivos Tropicales, Katholieke Universiteit Leuven (K.U.Leuven), Kasteelpark Arenberg 13, 3001 Heverlee, Belgium, correo electrónico: [rony.swennen@biw.kuleuven.be](mailto:rony.swennen@biw.kuleuven.be)  
**R. Ortiz** trabajaba en el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) en Nigeria al momento de este estudio (dirección actual: Centro internacional de la Papa, Apartado 1558, Lima 12, Peru) y **A. Tenkouano** trabaja en el Centro Ecoregional de Bosques Húmedos, IITA, BP 2008 Messa, Yaoundé, Camerún, correo electrónico: [A.Tenkouano@cgiar.org](mailto:A.Tenkouano@cgiar.org)