

ESTUDIO DEL SISTEMA RADICAL DE GENOTIPOS DE CAÑA DE AZÚCAR SOBRE DIFERENTES TIPOS DE SUELO

Reynaldo Rodríguez Gross, Yaquelin Puchades Isaguirre, Norge Bernal Liranza, Héctor Jorge Suárez y Héctor García Pérez

Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Oriente Sur

reynaldo@etica.ciges.inf.cu

RESUMEN

Se estudió la densidad y distribución del sistema radical de la caña de azúcar bajo condiciones de sequía en diferentes tipos de suelo. Los estudios se establecieron en tres localidades de la región sur oriental de Cuba, con 11 cultivares. Se cuantificó la densidad (no. raíces/dm³) de las raíces activas finas (DF), gruesas (DG) y total (DT) y su diámetro relativo (mm). Se utilizó el método del perfil de suelo dividiéndose en cuadrículas de 0.2 x 0.2 m en cuatro profundidades (0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm). Se determinó el rendimiento agrícola del cultivo (t caña/ha) y su relación con las variables analizadas, así como, análisis de interacción genotipo-ambiente (IGE) por el modelo AMMI. Para las variables de densidad de raíces, los resultados obtenidos indicaron una respuesta diferenciada y significativa ($p < 0.01$) de los genotipos, tipo de suelos, y profundidades, así como de sus interacciones. Con relación al diámetro relativo de las raíces, la mayor variación fue debida a la profundidad, seguida de genotipo x suelo y suelo. Los porcentajes de la densidad total de raíces por profundidad y tipo de suelo variaron de 42.6 a 55.5 % para la profundidad de 0 a 20 cm hasta 5.6 a 11.7 % para los 60 a 80 cm. Los genotipos C86-12, C86-156, B7274 y C88-380 presentaron similar patrón de IGE para las t caña/ha y la DT. Se obtuvieron correlaciones moderadas y significativas respecto a las t caña/ha para la DF, DG y DT.

Palabras claves: sequía, interacción genotipo-ambiente, caña de azúcar, raíces.

STUDY OF ROOT SYSTEMS OF SUGARCANE GENOTYPES ON DIFFERENTS SOILS

ABSTRACT

The objective of the present work was to study the density and distribution of sugarcane root systems in a multi-environment trial. Experiments were conducted at three soils in the South-Eastern region of Cuba, with 11 sugarcane cultivars. Measurements of root diameter and root density (root numbers/cm³) for fine (FD), thick (ThD) and total (TD) roots were taken using the profile wall method. The root system was evaluated in squares of 20 x 100 cm up to 80 cm depth below the ground surface. Cane yield data (t/ha) and its relations with root system measurements were analysed.

Genotype by environment interaction was identified using the AMMI model. Results showed significant ($p < 0.05$) response for root density across genotypes, soils, depths and all interactions. Root depth was the major source of variation. Percentage of total root density was variable from 42.6-55.5% for 0-20 cm depth, dropping to 5.6-11.7% for 60-80 cm depth. Genotypes C86-12, C86-156, B7274 and C88-380 showed similar patterns for t/ha and TD. Moderate but significant ($p < 0.01$) correlations were found between t/ha and FD, ThD and TD.

KEYWORDS: drought, genotype by environment, sugarcane, root system

INTRODUCCIÓN

Un importante factor en el ritmo de crecimiento de las plantas, es la habilidad de las raíces para crecer y explorar el suelo en su afán por obtener el agua y nutrientes (Clark et al. 2003). El estudio de la masa radical es poco frecuente debido a múltiples causas, entre las cuales se encuentran el técnicas de muestreo engorrosas, variabilidad en las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, así como, el contenido de humedad. (Vasconcelos et al. 2003).

Las características genéticas de los cultivares de caña de azúcar determinan diferencias en cuanto a desarrollo y distribución del sistema radical. Existen genotipos con mayor concentración de raíces en la superficie, mientras otras presentan una arquitectura más uniforme. Algunos cultivares presentan mayor proporción de raíces finas y delicadas, mientras que en otras predominan raíces gruesas y resistentes (Landell et al. 2005).

Un sistema radical profundo debe ser una característica deseable para los cultivares de caña de azúcar plantados en regiones que sufren estrés hídrico, debido a que aseguraría su habilidad para tolerar estas condiciones (Smith et al. 2005). Por lo tanto, la expresión del potencial de productividad agrícola de un genotipo de caña de azúcar en determinado ambiente de producción depende del complejo vivo que se desarrolla debajo de la superficie. (Landell et al. 2005).

Sin embargo, el volumen de información sobre la distribución del sistema radical en caña de azúcar es limitada (Sakaigaichi y col, 2007). El objetivo del presente trabajo fue el estudio de la densidad y distribución del sistema radical en 11 genotipos de caña de azúcar bajo condiciones de sequía y diferentes tipos de suelos, así como su relación con el rendimiento agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el estudio en el año 2006 fueron establecidos tres experimentos de campo en la región sur oriental de Cuba (tabla 1), donde se incluyeron 11 cultivares de caña de azúcar liberados por el

Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Los genotipos fueron: C86-12, B7274, C323-68, C90-317, C86-156, C86-503, C86-531, C88-380 C90-530, C90-647 y C89-250.

El diseño estadístico empleado fue de bloques completamente aleatorizados en parcelas de 48 m²; con tres repeticiones. Su evaluación fue conducida según las Normas Metodológicas del Departamento de Fitomejoramiento del INICA (Jorge et al. 2002). Se evaluó el rendimiento agrícola expresado en t caña/ha, en la cepa primer retoño, con 12 meses de edad.

Tabla 1. Localidades y tipo de suelos de los experimentos

Provincia	Nombre	Tipo de suelo*	Precipitaciones (mm)
Santiago de Cuba	Paquito Rosales	Pardo Sialítico (PS)	1156,7
Santiago de Cuba	Julio A. Mella	Ferralítico Amarillento Típico (FAT)	1031,1
Granma	Enidio Días	Húmico Rendzina Roja (HRR)	1130,4

* Hernández et al. (1999)

Se determinó la densidad (Número de raíces/dm³ de suelo) y el diámetro relativo de las raíces (mm). Para el mismo, se excavó una calicata de 100 cm de ancho, lo más próximo a la cepa (aproximadamente a 20 cm del centro de la cepa) por 80 cm de profundidad. Se procedió a dividir el perfil del suelo en cuatro cuadrículas (100 x 20 cm) para obtener la información de cuatro profundidades (0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm).

Mediante una espátula de madera, se separó el suelo de las raíces con una profundidad de 2 cm el perfil del suelo en dirección a la planta. En cada profundidad, para un volumen de suelo de 4000 cm³, se determinaron las raíces activas clasificándolas en finas (0.5 a 1 mm), gruesas (>1 mm) y totales, independientemente de su longitud. Para facilitar los cálculos y comprensión, las unidades de volumen fueron expresadas en dm³.

Los datos originales fueron comprobados de acuerdo a su normalidad y homogeneidad de varianza, mediante pruebas de Chi cuadrado y Bartlett-Box F, en ningún caso se hizo necesaria su transformación. Se realizó un análisis de varianza de clasificación triple, se tomó como factores los cultivares, los tipos de suelos y las profundidades, para conocer su influencia en la varianza genética, la de los factores ambientales, profundidad y sus interacciones. Con el rendimiento agrícola de los

cultivares y la densidad de sus raíces, se realizó un análisis de interacción genotipo-ambiente (IGA) aplicando el modelo AMMI (Gauch, 2008), así como un análisis de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al efectuar el análisis de varianza (tabla 2), se detectaron diferencias muy significativas en todos los factores analizados (genotipo, suelo y profundidad), así como en sus interacciones de primer y segundo orden para las cuatro variables observadas. En el caso de las variables de densidad de raíces (finas, gruesas y total), la principal fuente de variación le corresponde a la profundidad con 42.5, 63.1 y 58 % respectivamente. En segundo lugar, excepto para la densidad de raíces gruesas, las interacciones de primer orden suelo por profundidad (SxP) y genotipo por suelo (GxS).

Tabla 2. Análisis de varianza y porcentaje extraído en la suma de cuadrados

F.V.	GL	Raíces finas		Raíces gruesas		Raíces totales		Diámetro	
		C.M.	PSC	C.M.	PSC	C.M.	PSC	C.M.	PSC
Genotipo (G)	10	408 **	10,6	111,5 **	3,1	769,6 **	5,8	0,92 **	16,6
Suelo (S)	2	772 **	4,0	892,7 **	5,0	3062,9 **	4,6	1,66 **	6,0
Profundidad (P)	3	5387,5 **	42,0	7574,1 **	63,1	25723,9 **	58,0	4,17 **	22,7
GxS	20	110,8 **	5,8	52,8 **	2,9	223,1 **	3,4	0,63 **	22,7
SxP	30	172,2 **	13,4	88,1 **	7,3	414,6 **	9,3	0,14 **	7,7
GxP	6	515,5 **	8,1	467,7 **	7,8	1768,5 **	8,0	0,32 **	3,5
GxSxP	60	55,7 **	8,7	37,8 **	6,3	135 **	6,1	0,11 **	11,7
Error	132	21,5	7,4	12,2	4,5	49,8	4,9	0,04	9,1

** Indica significación a $p < 0.01$ PSC- Porcentaje de la suma de cuadrados total.

Estos resultados evidencian que la densidad de raíces finas, gruesas y total presentan un comportamiento diferencial de los genotipos por profundidad y tipo de suelo. En tal sentido, Leyva et al. (2000), en un estudio de tres variantes de preparación de suelos, encontraron diferencias altamente significativas, respecto al número de raíces, tanto de este factor como de los cinco niveles de profundidad estudiado, así como, de su interacción. Asimismo, Álvarez et al. (2000), encontraron significación entre sistemas de cosecha (verde y quemada), cepa y profundidad, reportando la mayor concentración raíces en las capas superficiales del suelo. Vasconcelos et al. (2003), también señalan diferencias entre cultivares, profundidades y sistema de cosecha (mecanizada-verde y manual-quemada).

Por otra parte, el diámetro de las raíces presentó diferencias muy significativas en todos los factores evaluados y sus interacciones, difiriendo respecto a la densidad de raíces, en cuanto a la magnitud

de la varianzas de los factores, correspondiendo igual valor al factor profundidad y GxS, seguido de los genotipos. Estos resultados indican que este carácter es menos influenciada por el ambiente.

En la figura 1, se puede profundizar las diferencias significativas encontradas en el análisis de varianza. Obsérvese que la mayor concentración de raíces se encontró en la localidad Enidio Díaz, con diferencias significativas del resto de las localidades. Asimismo, la distribución y los porcentajes de densidad total de raíces por profundidades, difirieron también por localidades y profundidad. La localidad Enidio Díaz presenta la mayor concentración de sus raíces en los primeros 20 cm (55.5 %), disminuyendo progresivamente con la profundidad hasta alcanzar un 5.6 % a los 80 cm. Estos resultados variaron en el resto de las localidades, correspondiendo a la localidad Paquito Rosales la de mayor uniformidad en la distribución de las raíces, oscilando sus valores entre 42.5 % de 0 a 20 cm y 11.7 % entre 60 y 80 cm de profundidad del suelo.

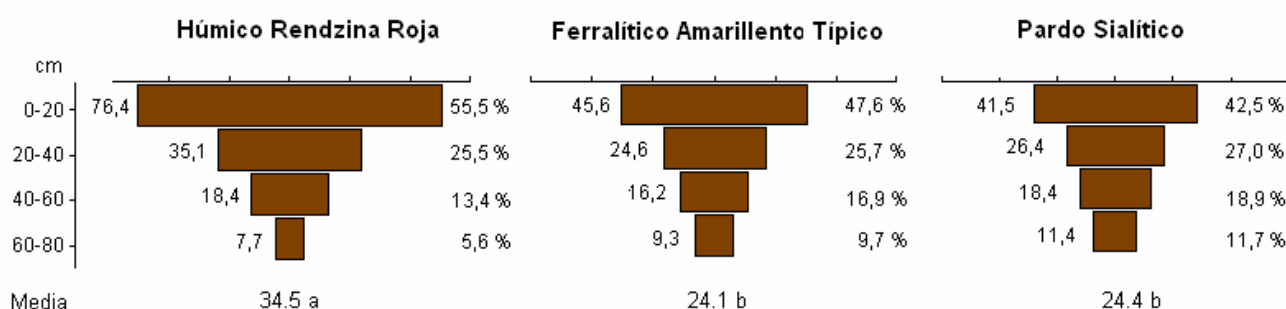


Figura 1. Densidad total de raíces por tipo de suelo y porcentajes alcanzados por profundidad (No. raíces/dm³).

Leyva et al. (2000), encontraron una relación inversa entre la profundidad y el número de raíces, lo que corrobora los criterios de Martín et al. (1987). Por su parte, Vasconcelos et al. (2003), reportaron el 72 % del total de raíces encontradas en los primeros 40 cm de profundidad. Sampaio et al. (1987), señalaron el 75 % de las raíces a 20 cm; Ball-Coelho et al. (1992), observaron que el 69.7 % del sistema radical se distribuía a 50 cm.

Al analizar las características físicas-químicas de los suelos en las tres localidades estudiadas (tabla 3), observe que la localidad Enidio Díaz posee un suelo con el menor valor de densidad aparente (DA) y mayor contenido de materia orgánica (MO), lo que facilita el desarrollo del sistema radical. Sin embargo, la localidad J.A. Mella, por el origen arenoso de su suelo, es la que presenta mayor DA y menor contenido de MO, coincidiendo con la localidad de menor desarrollo de las raíces.

Al respecto, Roldós (1986) en un estudio en macetas sobre suelo Ferralítico Rojo y tres variantes de DA, señala, que la mayor cantidad de raíces se registró en la variante más friable con un 37.2 % de incremento en relación a la variante con alta compactación (1.32 g/cm^3). Asimismo, destaca que las raíces de la caña pueden penetrar suelos de consistencia considerable, pero con valores altos de $1.60\text{-}1.70 \text{ g/cm}^3$ se limitan su desarrollo y penetración de manera muy considerada. Asimismo, Vasconcelos et al. (2003), reportaron una reducción de la densidad de raíces entre 20-40 cm de la variedad IAC87-3396 causada por la mayor DA en esta capa del suelo.

Tabla 3. Características físicas y químicas de los suelos

Tipo de Suelo	Físicas			Químicas									
	Da (g/cm^3)	H (%)	P (%)	MO (%)	P ₂ O ₅ mg/100g	K ₂ O	pH (KCL)	CaCO ₃ %	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CC
HRR	0,95	31.2	61,4	5,51	0,89	8,36	6,60	10,28	61,29	5,79	1,39	2,67	70,9
FAT	1,35	26.5	49,6	1,02	5,06	9,25	5,10	0,00	28,00	8,40	0,21	9,46	46,8
PS	1,12	45.0	54,5	3,8	0,70	15,75	6,80	0,32	64,00	12,60	0,32	0,35	77,6

Da – Densidad aparente H – Humedad del suelo P – Porosidad total MO – Materia orgánica
CC – Cationes cambiables

Al relacionar el rendimiento agrícola y la densidad de raíces finas, gruesas y total (no se muestra), se obtuvieron una correlaciones moderada en el orden de 0.17, 0.39 y 0.33 respectivamente, pero significativa, siendo la densidad de raíces gruesas la de mayor valor. Estos resultados evidencian que el sistema radical de la caña de azúcar esta muy influenciado por las características físicas y químicas del suelo y su relación con el rendimiento no es completamente proporcional, lo que podría indicar diferencia genéticas en la eficiencia del sistema radical de los genotipos al ambiente. Van Dillewinjn (1952), señala que la naturaleza y magnitud del sistema de raíces, de por sí, guarda muy poca relación con la capacidad de rendimiento de una variedad; de ello resulta que las variedades de más alto rendimiento no tienen necesariamente que ser aquellas con más amplio sistema de raíces.

Para profundizar en este aspecto, en la figura 2, se realiza un análisis del patrón de interacción genotipo-ambiente (IGA) del rendimiento agrícola y la densidad total de raíces, a través de un modelo AMMI. Observese, que para las t caña/ha (figura 2a) las localidades se diferenciaron completamente. En la localidad J.A. Mella, el cultivar C89-250 fue el de mejor adaptación, interactuando positivamente con esta localidad. En el caso de la localidad Enidio Díaz, los cultivares de mejor respuesta fueron los C90-530 y C88-380. En el caso de la localidad Paquito Rosales fue la C323-68.

En la propia figura, se puede apreciar los cultivares que presentaron estabilidad a través de los diferentes ambientes como son: B7274, C86-12, C90-647, C86-503 y C86-156. Al comprar este patrón de IGA con el de densidad total de raíces (figura 2b), nótese que las localidades quedaron nuevamente diferenciadas, aunque los genotipos no presentaron el mismo patrón interacción con las localidades. No obstante, los genotipos C86-12, C86-156, B7274 y C88-380 si presentaron similar patrón de IGA para las t caña/ha y la DT. Estos resultados indican una respuesta diferenciada del sistema radical de los genotipos a cada ambiente.

Landell et al. (2003), encontraron diferencias en seis genotipos de caña de azúcar en cuanto a la cantidad total de raíces presentes en suelo y el diámetro relativos de sus raíces, acotando que la rusticidad del cultivar IACSP93-3046 puede ser debido a la mayor densidad de raíces que presenta respecto al resto de los genotipos, así como de su mayor diámetro.

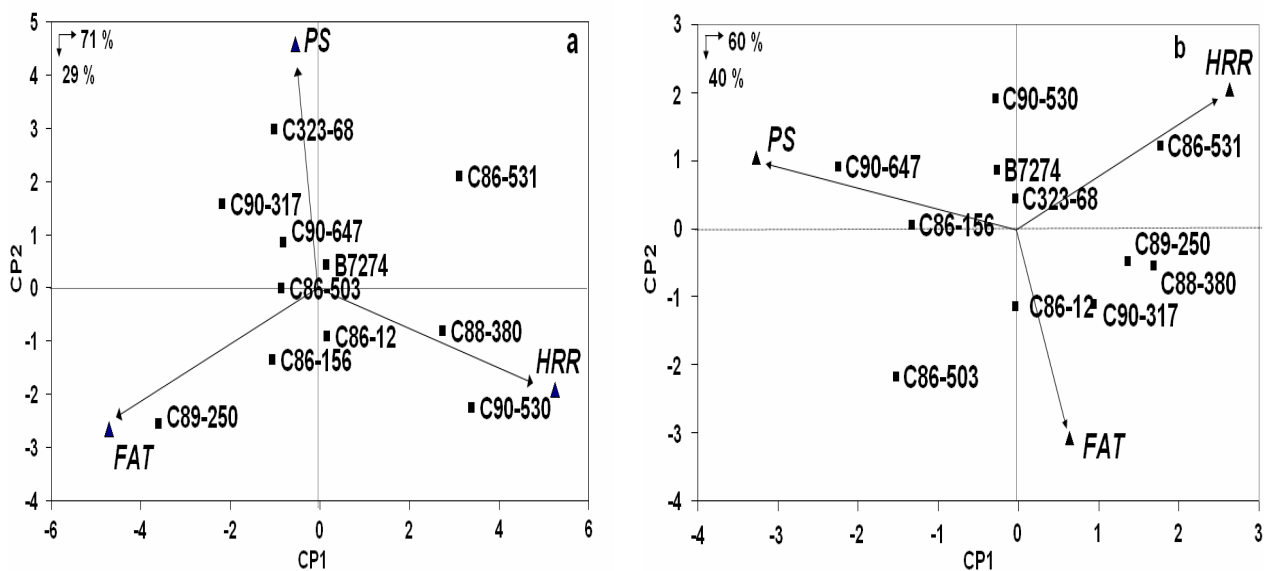


Figura 2. Análisis del patrón de interacción genotipo-ambiente, a través del modelo AMMI en sus dos primeros componentes, para las t caña/ha (a) y el número total de raíces (b).

Respecto al diámetro de las raíces (figura 3), obsérvese diferencias a través de las localidades, profundidades y genotipos. La localidad Enidio Díaz presentó los menores valores de diámetro con diferencias muy significativas al resto de las localidades. También, se puede apreciar diferencias en cuanto al diámetro relativo de las raíces entre los cultivares y las profundidades. Los mayores valores se encuentran en la primera capa de suelo, disminuyendo hacia las mayores profundidades del perfil del suelo. Al respecto, Van Dillewinjn (1952), señala que la fertilidad del suelo hace que las raíces se ramifiquen profusamente, tal como ocurre en la localidad Enidio Díaz con los mayores valores de

materia orgánica. También, Roldós (1986), destaca las limitaciones que encuentra el sistema radical debido a la resistencia que ofrece la compactación a la penetración, además se obtienen menos raíces y más delgadas que cuando son menores los valores de la DA.

En cuanto a los cultivares y las localidades, se aprecian pocos cambios en el orden que ocupan los valores de los diámetros alcanzados. En la localidad Enidio Díaz, los genotipos C86-503 y C86-156 presentaron los mayores diámetros, sin embargo en la localidad J.A. Mella fueron la C89-250, C90-317 y C323-68. En la localidad Paquito Rosales C86-12, C323-68, C86-503 y C89-250. Por su parte, los cultivares B7274, C90-647 y C90-530 y C88-380 presentaron los menores valores de diámetro en todas las localidades.

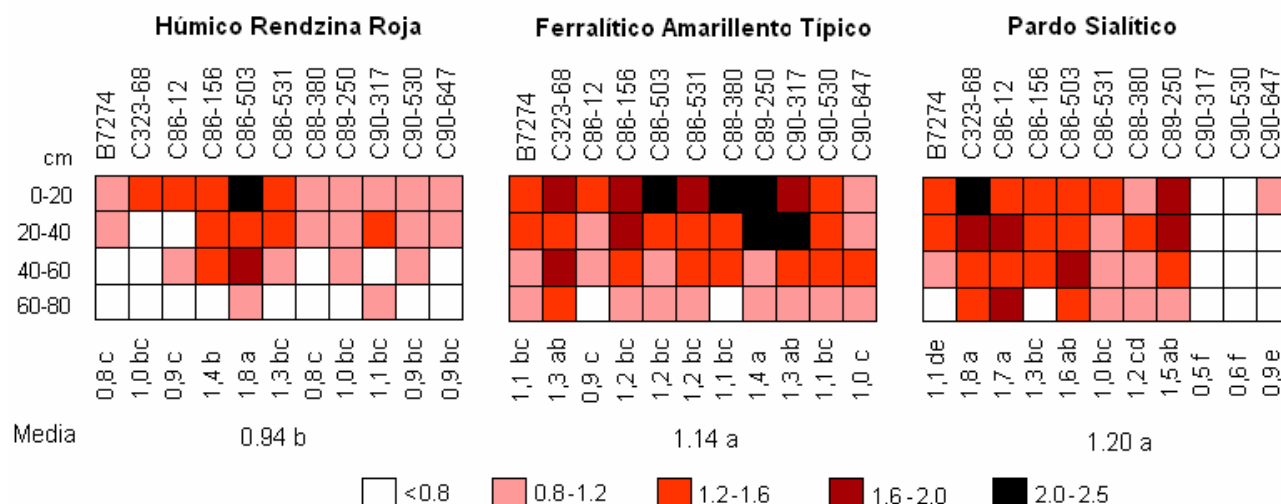


Figura 3. Diámetro relativo de las raíces y su distribución en el perfil del suelo (mm).

CONCLUSIONES

1. Se encontró que para todas las variables de densidad de raíces, una respuesta diferenciada y significativa de los genotipos, localidades, y profundidades, así como de sus interacciones, correspondiendo el mayor valor de la suma de cuadrados total a la profundidad e interacción genotipo por profundidad y para el diámetro relativo de las raíces, la mayor variación fue debida a la profundidad, seguida de genotipo x suelo y suelo.
2. Los porcentajes de densidad total de raíces por profundidad y tipo de suelo oscilaron de 42.6 a 55.5 % para la profundidad de 0 a 20 cm hasta 5.6 a 11.7 % para los 60 a 80 cm.
3. Se encontró una marcada influencia del tipo de suelo y sus características físicas y químicas sobre el desarrollo del sistema radical, disminuyendo la densidad de raíces con el incremento de la densidad aparente del suelo.

4. Se obtuvieron correlaciones moderadas y significativas del rendimiento agrícolas de los cultivares con las variables de densidad correspondiendo la mayor correlación con las raíces gruesas, seguido de la densidad total de raíces.
5. Los genotipos C86-12, C86-156, B7274 y C88-380 presentaron similar patrón de IGE para las t caña/ha y la DT, no siendo así para los cultivares C323-68 y C86-503.

BIBLIOGRAFÍAS

- Alvarez, I.A.; Camargo, P.R.; Stolf Nogueira, M.C. (2000): Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. *Scientia Agricola*, v.57, n.4, p.653-659.
- Ball-Coelho, B.; Sampaio, E.V.S.B.; Tiessen, H.; Stewart, J.W.B. (1992): Root dynamic in plant ratoon crops of sugar cane. *Plant and Soil*, 142: 97-305.
- Clark, L.J.; Whalley, W.R.; and Barraclough, P.B. (2003): How do roots penetrate strong soil?. *Plant and Soil* 255: 93–104.
- Dillewijn, C. Van. (1952): Botany of Sugarcane, Chronica Botanica Co., Waltham, Mass
- Hernández, A; Pérez, J.M; Bosch, D. y Rivero, L. (1999): Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. *AGRINFOR*, 64 pp.
- Landell, M.G.A.; Campana, M.P.; Figueiredo, P.; Vasconcelos, A.C.M.; Xavier, M.A.; Bidoia, M.A. ; Prado, H.; Silva, M.A.; Dinardo-Miranda, L.L.; Santos A.S.; Perecin D.; Rossetto, R.; Martin, A.L.; Gallo, P.B. y Souza, S.C. (2005): Variedades de cana-de-açúcar para o centro-sur do Brasil. 15ª Liberação do programa cana IAC (1995-2005). Campinas: Instituto Agrônômico. 17p (Boletim Técnico; 197).
- Leyva, O. S.; Figueredo A. A.; Parra L.S. y Arcia T.B. (2000): Laboreo mínimo y desarrollo del sistema radical en caña de azúcar. *Rev. ATAC* No. 1. pp 44-47.
- Gauch H. G., Hans-Peter P., y Annicchiarico P. (2008): Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE: Further Considerations. *Crop Sci.* 48:866–889.
- Jorge, H.; R. González, M. Casas e Ibis Jorge. (2002): Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. Boletín No. 1 Cuba&Caña. INICA. 308p.
- Martin O. J. R. (1987): La caña de azúcar en Cuba. D. Científico-Técnica. La Habana. 16-32 pp.
- Roldós J. O. (1986): Evaluación de algunos factores edáficos limitantes de la producción de la caña de azúcar. Tesis presentada en opción al grado de científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. La Habana. 50-70 pp.
- Sakaigaichi T., Y. Terajima, A. Sugimoto, S. Irei, S. Fukuhara, M. Matsuoka, K. Ujihara, J. Abe and R. Tarima. (2007): Comparison of root distribution and root growth direction in two sugarcane hybrids with contrasting tolerance to water stress. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, Vol. 26. 754-757 pp.

- Sampaio, E.V.S.B.; Salcedo, J.H. y Cavalcanti, F.J.A. (1987): Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar: III. Conteúdo de nutrientes e distribuição do sistema radicular no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.22, p.425-431
- Smith, D.M.; Inman-Bamber, N.G. and Thorburn, P. J. (2005): Growth and function of the sugarcane root system. Field Crops Res., 92: 169–183.
- Vasconcelos, A.C.M. (2002): Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual. Jaboticabal: UNESP/FCAV, 140p.(Tese - Doutorado).
- Vasconcelos, A.C.M.; Casagrande, A.A.; Perecin, D.; Jorge, L.A.C.; Landell, M.G.A. (2003): Avaliação do sistema radicular de cana-de-açúcar por diferentes métodos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.849-858.