

El crecimiento de las raíces de vid en la condición de trópico (10° 01' N) de Tarabana, estado Lara, Venezuela

R. Pire¹ y J. Díez²

¹Posgrado de Agronomía. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto, Venezuela.

²Producción Vegetal y Recursos Forestales. Universidad de Valladolid, Palencia, España.

Resumen

La actividad de crecimiento de las raíces de vid durante el ciclo de desarrollo de la planta en el trópico ha sido poco estudiada pese a ser necesario para la planificación de diversos programas de manejo del viñedo. Con el objeto de cuantificar la producción de raíces nuevas, se recolectaron periódicamente muestras de suelo alrededor de plantas del portainjerto 'Criolla Negra' en Tarabana (10°01'N, 510 msnm), estado Lara, Venezuela. Los muestreos fueron realizados hasta 75 cm de profundidad con intervalos de 15 cm y orientados hacia la calle e hilera de plantación. Se utilizó un diseño en bloques divididos con arreglo factorial de cinco tratamientos de profundidad y dos orientaciones cardinales para cada muestreo. La mayor densidad de raíces nuevas se detectó hacia el inicio del ciclo de la planta, en los días previos a la floración, lo que originó un patrón de crecimiento que fue decreciendo con el tiempo hasta alcanzar los mínimos valores luego de la cosecha, en el período de reposo. Sin embargo, dos meses después de la alta actividad inicial, hubo un ligero repunte del crecimiento. Esto indica que el crecimiento de las raíces de vid presenta en el trópico una periodicidad diferente a la de las regiones templadas. La densidad longitudinal de raíces disminuyó con la profundidad pero no se detectaron diferencias entre las dos orientaciones del muestreo. Tampoco se encontró efecto sobre la longitud específica de raíces lo cual indica que no hubo tendencia definida en la distribución espacial de las raicillas de diferente grosor. Se concluye que el crecimiento de las raíces de vid bajo estas condiciones varió en función del estado de desarrollo de la planta, siguiendo un patrón diferente al observado en otras latitudes, mientras que la densidad de raíces varió con la profundidad en el suelo, pero fue independiente de la distancia en la hilera de plantación.

Palabras clave: *Vitis* sp., uva, raíces, crecimiento periódico.

Introducción

Los estudios llevados a cabo sobre la cuantificación de raíces, en su interacción con el suelo, son menos numerosos que aquellos que conciernen a la parte aérea de la planta en su interacción con la atmósfera. Es evidente que la causa principal de ello radica en el mayor tiempo y esfuerzo que representa el muestreo u observación de este órgano subterráneo ubicado normalmente fuera del alcance de la visión del investigador.

En diversos países de clima templado de ambos hemisferios, como Australia, Bulgaria y Sudáfrica, se ha encontrado que las raíces de vid inician su crecimiento considerable tiempo después de comenzar la brotación y crecimiento de las partes aéreas al inicio de la primavera, a la vez que presentan uno o dos picos adicionales de crecimiento hacia el final del ciclo de la planta (8, 13, 24). Estudios de este tipo han sido realizados bajo diversas condiciones, como por ejemplo en laboratorios de raíces (8), plantas en macetas (5), lisímetros (23), cámaras con paredes transparentes (17) y plantas en surcos (25). Así mismo, se han revisado los factores que afectan dicha actividad de crecimiento (7). Sin embargo, en condiciones del trópico los estudios han evaluado la distribución de las raíces de la vid en algún momento de su ciclo fenológico (1, 3, 18) pero en la literatura disponible no aparecen trabajos que cuantifiquen el crecimiento de las raíces durante todo el ciclo de desarrollo de la planta.

La determinación del crecimiento de las raíces involucra la medición

de aquellas de menor diámetro, es decir, las llamadas raicillas. Estas constituyen sólo una pequeña fracción de la masa radical total por lo que el parámetro que mejor representa el proceso del crecimiento es la longitud de las raicillas más que su masa (4). En este sentido, Marsh (16) simplificó el método de intercepción de líneas en un plano, el cual permite estimar la longitud de raíces con bastante precisión. Así mismo existen en la actualidad equipos que permiten cuantificar las raíces mediante la digitalización de su imagen (2), e incluso, recientemente, se han aplicado técnicas que posibilitan estudiar la formación y crecimiento de raíces de vid en función de su capacidad para captar oxígeno en los meristemos apicales (15).

En estudios previos realizados en viñedos de Venezuela, Pire (19) obtuvo resultados cuantitativos de la distribución del sistema de raíces en una etapa del desarrollo de la vid 'Criolla Negra', un híbrido nativo muy utilizado como portainjerto en el país. Sin embargo, aún no se conoce con exactitud la variación del crecimiento de las raíces de la planta a lo largo de todo su ciclo de desarrollo. Información de este tipo puede permitir la elaboración de programas de manejo de los viñedos en forma más eficiente, particularmente en lo relativo a la mecanización del suelo, ubicación de los emisores del sistema de riego y selección de sitios representativos de muestreo, entre otros.

El objetivo del presente trabajo

fue determinar el crecimiento de las raíces del portainjerto de vid 'Criolla Negra' en diferentes distancias y pro-

fundidades del suelo durante diferentes etapas de su ciclo de desarrollo.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en terrenos del Instituto de la Uva, dependencia de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, en la localidad de Tarabana (10°01'N, 510 msnm), estado Lara, Venezuela. La zona se caracteriza por presentar un clima semiárido con evaporación de 2085 mm, precipitación de 812 mm y temperatura media anual de 25,3 °C (19,8 y 30,8°C Min-Max). El suelo es de textura franco-arcillo-arenosa con buen grado de permeabilidad y mediana fertilidad natural (cuadro 1).

El material vegetal constó de 40 plantas de 15 años de edad del portainjerto nativo 'Criolla Negra' conducidas en emparrado a una distancia de 3x3 m. Debido a que diferentes factores asociados al manejo del cultivo pueden afectar la actividad de crecimiento de las raíces de la vid (21), todas las plantas del ensayo recibieron similares prácticas culturales en lo relativo a riego, fertilización y controles fitosanitarios, y fueron seleccionadas dentro de un lote que presentaba un desarrollo vegetativo homogéneo.

El riego se aplicó con frecuencia semanal a través de surcos colocados en un lado de la hilera de plantación. No se regó en las semanas en que la precipitación acumulada superaba valores de aproximadamente 30 mm. La fertilización se realizó mediante la aplicación al suelo de 1 kg de la fór-

mula completa 12-12-17/2 (N-P₂O₅-K₂O/Mg) al inicio del ciclo. El control de malezas en el viñedo se efectuó utilizando una segadora rotativa. El resto de las labores culturales, como control químico de plagas y enfermedades, se realizó sólo cuando fue estrictamente necesario.

De todas las plantas seleccionadas, se extrajeron muestras de suelo a las profundidades de 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 y 60-75 cm, tomando en cuenta que observaciones preliminares indicaron que la mayor parte del sistema de raíces de la vid en estos suelos se encontraba a profundidades menores de 80 cm. Cada muestreo se realizó al final de un ciclo de riego a 60 cm de distancia del eje del tallo en dos orientaciones: en dirección de la hilera vecina y en dirección de la planta contigua dentro de la misma hilera (lados este y sur de la planta). Estos muestreos se efectuaron cada tres o cuatro semanas a partir del momento de brotación total de la planta hasta finalizar la recolección de los frutos. Se efectuó un muestreo adicional en el período de reposo, dos meses después de la cosecha, para completar un total de ocho evaluaciones en el ciclo. En cada caso se utilizaron cinco repeticiones, empleando una planta como unidad experimental. Desde varias semanas antes del inicio de los muestreos y a todo lo largo del ciclo de desarrollo de las plantas, el suelo en el área del

ensayo se mantuvo manualmente libre de malezas, para evitar interferencias con los resultados.

El procedimiento seguido para la obtención y cuantificación de las raíces constó de las siguientes etapas: 1) muestreo; 2) lavado de la muestra y secado de las raíces y 3) determinación de la longitud de las raicillas. Al dividir esta longitud entre el volumen de suelo recolectado se obtuvo la densidad longitudinal de raíces (Lv).

1) Muestreo: Las muestras de suelo se extrajeron utilizando un barrero cilíndrico para obtener porciones de suelo de volumen conocido a partir del cual se obtuvieron las raíces.

2) Lavado de la muestra y secado de las raíces: Cada muestra fue colocada en agua y agitada para lograr la ruptura de los agregados y obtener una adecuada suspensión del suelo. La separación de raíces se hizo mediante pases sucesivos a través de un tamiz de 248 orificios.cm⁻² (aberturas de aproximadamente 0,35 mm). Las raicillas recolectadas, después de ser seleccionadas y separadas manualmente de las raíces de mayor grosor, fueron secadas en estufa a 75°C y pesadas.

3) Determinación de la longitud

de raicillas: Después de eliminar los residuos orgánicos y otras partículas extrañas, las raicillas fueron colocadas en una superficie plana y su imagen digitalizada mediante el programa SkyeRoot de un equipo óptico computarizado Skye Instruments PAL-CCIR que permitió la cuantificación de la longitud total, mediante la sumatoria de todos los segmentos de raíz en la muestra. La precisión y calibración del equipo fue controlada mediante conteos realizados directamente aplicando el método de Marsh (16) en veinte muestras de raicillas seleccionadas al azar.

Adicionalmente, se determinó la longitud específica (LE) de las raíces (es decir, la longitud que posee un determinado segmento de raíz por unidad de masa) la cual se obtuvo al dividir la longitud de raíz evaluada entre su masa seca (6).

El ensayo fue analizado como un diseño completamente al azar con arreglo factorial de cinco tratamientos de profundidad y dos orientaciones cardinales para cada muestreo. Se utilizó el análisis de la varianza y separación de medias según la prueba de Duncan mediante el paquete estadístico CoStat 6.003.

Resultados y discusión

La mayor actividad de crecimiento de las raíces se detectó hacia el inicio del ciclo de la planta, en los días previos a la floración en el mes de febrero. Esto originó un patrón de crecimiento de nuevas raíces que fue disminuyendo con el tiempo hasta alcanzar los menores valores en el período

de reposo, posterior a la cosecha de los frutos. Esta tendencia de descenso cambió ligeramente al final del mes de abril cuando se observó un ligero repunte del crecimiento (figura 1).

El hecho de que en este estudio se encontrase el mayor crecimiento de las raíces al inicio del ciclo de la plan-

ta contrasta con los resultados de estudios realizados en condiciones de clima templado donde la formación de nuevas raíces se produjo considerable tiempo después de que se había iniciado la brotación (21). Freeman y Smart (8) mencionaron que el crecimiento rápido de la raíz de la vid en Griffith, Australia, comenzó diez semanas después de la brotación de las yemas y alcanzó su máximo a mediados del ciclo de la planta. Igualmente, Lilov y Andonova (13), a partir de estimaciones basadas en la producción hormonal de las nuevas raíces de la vid en Sofia, Bulgaria, encontraron similares resultados aunque señalaron que el retraso en el inicio de formación de las nuevas raíces fue de sólo tres semanas con relación al día de brotación de las yemas.

El retraso en el inicio del crecimiento de las nuevas raíces en la zona templada pudiera estar asociado a las bajas temperaturas del suelo que aún

existen al inicio de la primavera (18). Existe también evidencia de que puede ocurrir un crecimiento cíclico de las raíces de las plantas perennes debido, al menos en parte, a las temperaturas del suelo (14). Sin embargo, según el registro climático de la zona donde se desarrolló este ensayo, la temperatura del suelo hasta un metro de profundidad se mantuvo por encima de 24°C durante todo el año (con un promedio ligeramente superior a 30°C en los primeros 30 cm en las horas diurnas), condiciones que fueron apropiadas para el crecimiento de la raíz de la mayoría de las plantas cultivadas (9). Más específicamente, Richards (21) mencionó que la temperatura óptima para el crecimiento de la raíz de vid estuvo cercana a 30°C lo que podría contribuir a explicar por qué el inicio del crecimiento de la raíz habría ocurrido más rápidamente en condiciones tropicales en comparación con zonas templadas.

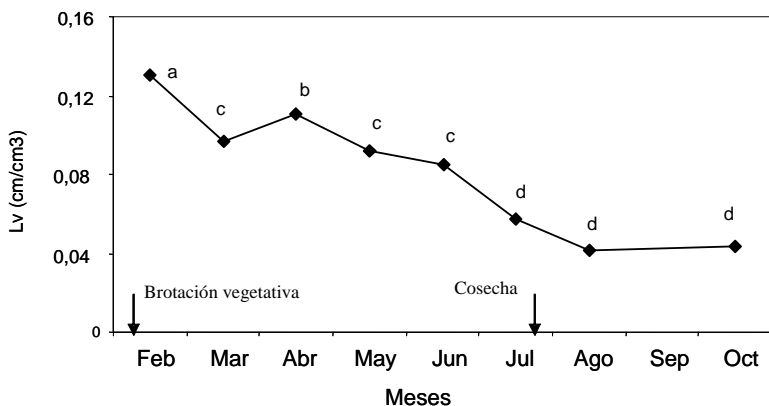


Figura 1. Densidad longitudinal de raíces (Lv) en el perfil 0-75 cm durante el ciclo de crecimiento de la vid ‘Criolla Negra’ en Tarabana, Edo. Lara, Venezuela. Los puntos con letras diferentes son estadísticamente diferentes entre sí según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$).

Independientemente de la causa que habría originado la diferencia entre los momentos de inicio del crecimiento de las nuevas raíces, se deduce que no serían los mismos tipos de raíz los que proveen a la planta de agua y nutrientes (y probablemente hormonas) durante las primeras semanas después de la brotación de las yemas. Es decir, en zonas templadas, la vid dependería en ese período sólo del aporte de las raíces viejas y suberizadas, mientras que en el trópico existiría la contribución adicional de las raíces nuevas. Se desconoce si esto pudiera tener alguna implicación en los aspectos metabólicos durante el desarrollo inicial de la planta, aunque no existe duda que tanto en el trópico como en las regiones de clima templado, cuando las condiciones climáticas y/o humedad son adecuadas, los procesos de floración y cuajado que siguen luego de la brotación ocurren con toda normalidad.

El patrón de crecimiento de las raíces de la vid encontrado en nuestras condiciones pudiera ser comparable al de otros árboles frutales de las zonas templadas. Tal es el caso del crecimiento de las raíces nuevas en árboles de manzana (*Malus domestica*) y melocotón (*Prunus persica*) el cual precedió o coincidió con la brotación de las yemas de la planta, pero que en ningún caso ocurrió con posterioridad a dicho evento (21).

Como ya se mencionó, se observó un ligero repunte o incremento del crecimiento de raíces a finales del mes de abril (figura 1), coincidiendo aproximadamente con el momento en que disminuyó la velocidad de creci-

miento de los frutos previo al inicio del envero. Este es un período en que pudiera ocurrir una disminución en la demanda de fotoasimilados en la parte aérea de la planta debido a que habría finalizado la etapa de crecimiento rápido del fruto, dejando mayor disponibilidad de productos alimenticios para la raíz. Sin embargo, la misma interpretación anterior no podría aplicarse para el crecimiento de raíces al inicio del ciclo, pues para ese momento dicho crecimiento se habría producido en condiciones desventajosas ya que existía una fuerte competencia por fotoasimilados entre las raíces y la parte aérea de la planta donde se estaba produciendo un rápido crecimiento de la masa vegetativa.

Durante el reposo en que permaneció la planta después de la cosecha, no se detectó ningún incremento apreciable en la tasa de crecimiento de la raíz (figura 1). Aparentemente, el estímulo para iniciar su crecimiento se produjo próximo al inicio del ciclo siguiente. Como es sabido, en condiciones tropicales, el nuevo ciclo se inicia después de efectuarse la poda y reiniciarse el riego a la planta (20) a diferencia de las zonas templadas donde la brotación de las yemas ocurre espontáneamente durante la época de primavera.

El crecimiento de estas raíces laterales provee un medio importante para aumentar la posibilidad de absorción y el volumen de suelo explorado por la planta para la absorción de agua y nutrientes. Así mismo, las raíces pueden incrementar su efectividad como fuente de hormonas, especial-

mente citocininas y giberelinas, que regulan los procesos de crecimiento de la parte aérea de la planta (10, 11).

Independientemente de la profundidad y época de muestreo, el diámetro de la gran mayoría de raicillas fluctuó entre 0,1 y 1,5 mm, con predominio del rango 0,2-0,6 mm. Richards (21) encontró que en vid abundan las raíces finas y señala que una planta del cv. Shiraz de 15 años de edad llega a tener cerca de 10.000 raicillas menores de 1 mm de diámetro. Esta abundancia de raíces finas permite una mejor y mayor exploración del volumen de suelo pero su longevidad es menor que la de las raíces más gruesas por lo que deben ser reemplazadas continuamente, imponiendo un mayor consumo de energía por parte de la planta (6).

En concordancia con lo anterior, en este estudio se encontró una notoria disminución del número de raicillas a lo largo del ciclo de crecimiento de la planta lo cual sugiere que una gran cantidad de ellas muere en un corto período de tiempo, a excepción de aquellas que logran formar crecimiento secundario y posteriormente pasarán a constituir parte de la estructura permanente del sistema radical.

Fitter (6) indicó que la condición de presentar abundancia de raíces finas es una característica de las plantas que tienen poca tendencia a asociarse en forma simbiótica con micorrizas del suelo. Sin embargo, Richards (21) señaló que las raíces jóvenes de vid pueden ser invadidas por micorrizas, las cuales han favorecido la capacidad de la planta para absorber nutrientes del suelo.

El ensayo permitió observar un patrón bien definido de la densidad de raíces con relación a la profundidad en el perfil del suelo (figura 2). La mayor densidad de raíces ocurrió en el estrato superior del suelo (0-15 cm), observándose una disminución progresiva a medida que se descendía en el perfil. Para cada estrato existieron diferencias significativas a excepción de los correspondientes a 30-45 y 45-60 cm de profundidad. La presencia de cierto número de raíces (un poco más del 10% del total) a la máxima profundidad de muestreo indicó que las mismas lograron descender más de 75 cm en el perfil. Sin embargo, las pequeñas cantidades encontradas así como el marcado patrón de disminución con la profundidad sugieren que la densidad de raíces debe ser muy pequeña a mayores profundidades. En el perfil del suelo no se observaron cambios texturales importantes o barreras de tipo físico, como capas compactas o lentes de arena que pudieran limitar el crecimiento descendente de las raíces. Sin embargo, Richards (21) señaló que en suelos de diverso origen y estructura la mayor parte de las raíces de vid se encontraban en el primer metro del perfil, aunque algunas raíces aisladas podrían descender incluso hasta varios metros. Por su parte, Stevens y Douglas (22), trabajando con vid 'Colombard', encontraron que independientemente del tipo de riego utilizado la densidad longitudinal de raíces estuvo altamente asociada a la profundidad en el suelo.

La longitud específica de las raíces no presentó diferencias significativas entre las diferentes profundidades

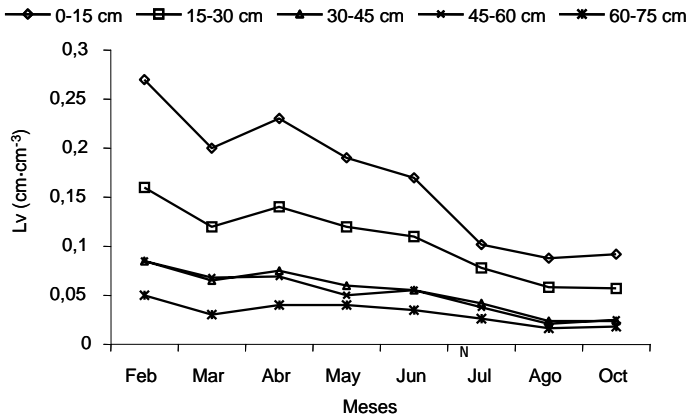


Figura 2. Densidad longitudinal de raíces (L_v) en estratos de 15 cm en el perfil durante el ciclo de crecimiento de la vid ‘Criolla Negra’ en Tarabana, Edo. Lara, Venezuela. Letras diferentes al inicio de cada curva indican que entre los estratos existen diferencias estadísticas según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$).

de muestreo (cuadro 2). Puesto que, por definición, las raíces finas tienen mayor longitud específica que las más gruesas, este resultado indicó que no hubo un patrón definido de distribución del grosor de las raíces con relación a su profundidad o ubicación en el perfil del suelo. Es decir, en todos los puntos de muestreo se encontraron raíces de todos los diámetros antes señalados y no hubo tendencia definida en la distribución espacial de las raicillas de diferente grosor.

No se detectaron diferencias en la densidad de raíces provenientes de la hilera de plantación o de las calles entre hileras (cuadro 2) lo que indicó

un desarrollo uniforme de raíces en ambas direcciones al menos hasta 60 cm desde el tallo de la planta (la máxima distancia del muestreo). Liedgens y Richner (12) detectaron que la profundidad en el suelo afectó más a la densidad de raíces del maíz que la distancia en la hilera. Similarmente, en un estudio previo (19), no se encontraron diferencias en la distribución lateral del sistema de raíces de vid hasta una distancia de 135 cm de la planta, lo cual fue atribuido a que el crecimiento lateral de las raíces, a diferencia del crecimiento en profundidad, pocas veces es afectado por condiciones naturales del terreno.

Cuadro 1. Características texturales y de fertilidad en el perfil del suelo hasta 75 cm de profundidad en el Instituto de la Uva, Tarabana, estado Lara, Venezuela.

	Profundidad (cm)		
	0-25	25-50	50-75
Arena (%)	51	48	47
Limo (%)	27	29	28
Arcilla (%)	22	23	25
MO (mg g ⁻¹)	22,8	17,6	14,3
P (mg kg ⁻¹)	12	18	15
K (mg kg ⁻¹)	190	100	100
Ca (mg kg ⁻¹)	4850	4800	4950
Mg (mg kg ⁻¹)	155	150	115
pH	8,1	8,1	7,9
CE (dS m ⁻¹)	1,4	1,7	1,9

MO: Materia orgánica

CE: Conductividad eléctrica

Fuente: Laboratorio de Suelos. Decanato de Agronomía. Universidad Centrocidental "Lisandro Alvarado"

Cuadro 2. Longitud específica (LE) y densidad longitudinal de raíces (Lv) en vid 'Criolla Negra' en Tarabana, Edo. Lara, Venezuela, en diferentes profundidades y orientaciones en el perfil del suelo. Valores promedio de todo el ciclo de crecimiento.

Profundidad (cm)	LE (cm.g ⁻¹)	Lv (cm.cm ⁻³)	
		Hilera	Calle
0-15	1424 ^a	0,162 ^{Aa}	0,174 ^{Aa}
15-30	1259 ^a	0,111 ^{Ab}	0,099 ^{Ab}
30-45	1310 ^a	0,057 ^{Ac}	0,051 ^{Ac}
45-60	1456 ^a	0,056 ^{Ac}	0,046 ^{Ac}
60-75	1365 ^a	0,029 ^{Ad}	0,035 ^{Ad}
C.V.	14,9	24,1	24,7

Letras mayúsculas y minúsculas para comparaciones entre columnas y filas, respectivamente, según la prueba de Duncan (P≤0,05). Valores transformados mediante función log (x).

C.V. Coeficiente de variación (%).

Conclusiones

Las raíces de vid presentaron una mayor actividad de crecimiento al inicio del ciclo de desarrollo de la planta lo cual contrasta con el patrón de crecimiento que ocurre en latitudes templadas. Esta actividad decreció con el tiempo hasta alcanzar el valor mínimo en el período de reposo, aunque aproximadamente dos meses

después de la alta actividad inicial, hubo un ligero repunte del crecimiento. La densidad longitudinal de las raíces disminuyó con la profundidad pero presentó un desarrollo lateral uniforme, mientras que el grosor de las mismas no estuvo determinado por la profundidad en el perfil del suelo.

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico

ca (CDCHT) de la UCLA por el apoyo al Proyecto 03-AG-0035

Literatura citada

1. Araujo, F., L.E. Williams, D.W. Grimes y M.A. Matthews. 1995. A comparative study of young "Thompson Seedless" grapevines under drip and furrow irrigation. I. Root and soil water distributions. *Scientia Horticulturae* 60(3-4):235-249.
2. Bassoi, L.H., J.A. Moura Silva, C.M. de Alencar, L.A. Jorge de C. y J.W. Hopmans. 2000. Digital image analysis of root distribution toward improved irrigation water and soil management: grapevine and date palm study cases. American Society of Agricultural Engineers. Annual International Meeting. Milwaukee, Wisconsin, USA. 9-12 July. pp. 1-6.
3. Bassoi, L.H., L.C. Grangeiro, J.A. Moura Silva y E. Gomes Da Silva. 2002. Root distribution of irrigated grapevine rootstocks in a coarse texture soil of the São Francisco Valley, Brazil. *Rev. Bras. Frutic.* 24(1):35-38.
4. Box, J. y E. Ramseur. 1993. Minirhizotron wheat root data: Comparisons to soil core root data. *Agron. J.* 85:1058-1060.
5. Conradie, W.J. 1980. Seasonal uptake of nutrients by Cheninc blanc in sand culture: I. Nitrogen. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 1:59-65.
6. Fitter, A. 1996. Characteristics and functions of root systems. pp. 1-20. En: Y. Waisel, A. Eshel y U. Kafkafi (Eds.). *Plant Roots -The Hidden Half.* Marcel Dekker. New York.
7. Forde, B. y H. Lorenzo. 2001. The nutritional control of root development. *Plant and Soil* 232:51-68.
8. Freeman, B.M. y R.E. Smart. 1976. A root observation laboratory for studies with grapevines. *Amer. J. Enol. Vitic.* 27:36-39.
9. Glinski, J. y J. Lipiec. 1990. *Soil Conditions and Plant Roots.* CRC Press. Boca Raton, Florida. 250 p.
10. Itai, C. y H. Birnbaum. 1996. Synthesis of plant growth regulators by roots. p. 273-284. En: Y. Waisel, A. Eshel y U. Kafkafi (Eds.). *Plant Roots -The Hidden Half.* Marcel Dekker. New York.
11. Jackson, M. 1993. Are plant hormones involved in root to shoot

- communication? Adv. Bot. Res. 19:103-187.
12. Liedgens, M. y W. Richner. 2001. Minirhizotron observations of the spatial distribution of the maize root system. *Agronomy Journal* 93:1097-1104.
 13. Lilov, D. y T. Andonova. 1976. Citokinin, growth, flower and fruit formation in *Vitis vinifera*. *Vitis* 15:160-170.
 14. Lyr, H. y G. Hoffman. 1967. Growth rates and growth periodicity of tree roots. *Int. Rev. For. Res.* 2:181-236.
 15. Mancuso, E. y M. Boselli. 2002. Characterization of the oxygen fluxes in the division, elongation and mature zones of *Vitis* roots: influence of oxygen availability. *Planta* 214:767-774.
 16. Marsh, B. 1977. Measurements of length in random arrangements of lines. *J. Appl. Ecol.* 8:265-267.
 17. McLean, M., G. Howell y A. Smucker. 1992. A minirhizotron system for *in situ* root observation studies of Seyval grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 43(1):87-89.
 18. McMichael, B. y J. Burke. 1996. Temperature effects on root growth. p. 383-396. En: Y. Waisel, A. Eshel y U. Kafkafi (Eds.). *Plant Roots. The Hidden Half*. Marcel Dekker, New York.
 19. Pire, R. 1985. Densidad longitudinal de raíces y extracción de humedad en un viñedo de El Tocuyo, Venezuela. *Agronomía Tropical* 35(1-3):5-20.
 20. Pire, R. y E. Tortolero. 1993. Efecto de la humedad del suelo sobre la brotación de la vid en condiciones tropicales. *Agronomía Tropical* 43(1-2):75-86.
 21. Richards, D. 1983. The grape root system. *Horticultural Reviews* 5:127-168.
 22. Stevens, R.M. y T. Douglas. 1994. Distribution of grapevine roots and soil salt under drip and full-cover microjet irrigation systems. *Irrigation Science* 15:147-52.
 23. Van Rooyen, F.C., H.W. Webber y I. Levin. 1980. The response of grapes to a manipulation of the soil-plant-atmosphere continuum. I. Growth, yield and quality responses. *Agrochimophysica* 12:59-68.
 24. Van Zyl, J. 1988. Response of grapevine roots to soil water regimes and irrigation systems. p. 30-43. En: Van Zyl, J. (Ed.). *The Grapevine Root and its Environment*. Dept. Agric. & Water Supply, Pretoria, South Africa.
 25. Zapata, C., C. Magné, E. Deléens, O. Brun, J.C. Audran y S. Chaillou. 2001. Grapevine culture in trenches. I. Root growth and dry matter partitioning. *Aust. J. Grape Wine Res.* 7(3):127-131.