

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

**ESTIMACIÓN DEL DESARROLLO DEL SISTEMA RADICAL
Y SU RELACIÓN CON EL POTENCIAL PRODUCTIVO
EN VID**

EDUARDO ENRIQUE ROJO TORRES

SANTIAGO – CHILE

2007

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

ESTIMACIÓN DEL DESARROLLO DEL SISTEMA RADICAL Y SU RELACIÓN CON EL POTENCIAL PRODUCTIVO EN VID

Memoria para optar al Título Profesional
de Ingeniero Agrónomo
Mención: Fruticultura

EDUARDO ENRIQUE ROJO TORRES

PROFESOR GUÍA

Sr. Rodrigo Callejas R.
Ingeniero Agrónomo, Dr. sc. agr.

Calificaciones

7,0

PROFESORES CONSEJEROS:

Sr. Gabino Reginato M.
Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.

6,7

Sr. Bruno Razeto M.
Ingeniero Agrónomo, M. S.

6,3

COLABORADOR

Sr. Carlos Benavides Z.
Ingeniero Agrónomo

SANTIAGO – CHILE
2007

AGRADECIMIENTOS

Con estas palabras quiero expresar mis más sinceros afectos a todos quienes fueron partícipes de mi formación profesional en mi paso por la Universidad, que culmina con la realización de esta memoria.

- A mis Padres, por su inconmensurable amor.
- A Caterina, por su amor y por la magia que le agregó a mi vida.
- A mi hermana Pilar, por su amor y por ser "un pilar" fundamental en los momentos más duros de nuestra familia.
- A mi profesor guía Rodrigo Callejas, por despertar mi interés en la Viticultura, y por su labor científica que me permitió realizar esta memoria.
- Al destacado productor de uva de mesa, y Director responsable del proyecto FIA (PI-C-2003-1-A-037), Sr. Fernando Prohens, por su cordialidad y por las facilidades prestadas para ésta investigación.
- A mis profesores consejeros, los Sres. Bruno Razeto y Gabino Reginato, por sus invaluable críticas que permitieron mejorar esta memoria.
- A mi profesor colaborador Sr. Carlos Benavides, por sus sabias correcciones y su llana sonrisa.
- A los coordinadores del CEVID, José Tomás "bicho" Wiczoreck y Carolina Kusch, por su profesionalismo.
- Al profesor Alberto Mancilla, por su buena disposición para atender mis consultas.
- A Erika Kania, por sus muy acertados comentarios en el análisis estadístico.
- A mis profesores, muy especialmente a quienes despertaron mi interés en las Ciencias Agronómicas.
- A mis amigos, por la guitarra y el vino.

CONTENIDO

RESUMEN	1
Palabras clave	1
ABSTRACT	2
Key words	2
INTRODUCCIÓN	3
Objetivo	4
MATERIALES Y MÉTODO	5
Ubicación	5
Diseño del estudio	5
Material vegetal y definición de sitio	5
Diseño experimental	5
Descripción del sitio de trabajo	6
Descripción de suelo	6
Muestras nematológicas	6
Condición vegetativa y productiva de las plantas	6
Caracterización de las plantas	6
Peso de poda	6
Determinación de la producción	6
Evaluaciones del sistema radical	7
Método del barreno	7
Mapeo detallado del perfil	8
Método de los monolitos	11
Análisis estadístico	12
RESULTADOS	13
Descripción de suelos	13
Caracterización general de suelo profundo	13
Caracterización general de suelo delgado	13
Análisis nematológico	13
Condición vegetativa y productiva de las plantas	14
Evaluaciones del sistema radical	15
Método del barreno	15
Método de los monolitos	15
Mapeo detallado del perfil	16
Número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm, en calicata frontal	16
Número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm, en calicata lateral	18
Número de raíces de diámetro menor a 2 mm, en calicata frontal	19
Número de raíces de diámetro menor a 2 mm, en calicata lateral	20

Número de raíces totales, en calicata frontal	21
Número de raíces totales, en calicata lateral	22
Índice de enraizamiento, en calicata frontal	23
Índice de enraizamiento, en calicata lateral	24
Cantidad y distribución de raíces	25
DISCUSIÓN	33
CONCLUSIONES	37
LITERATURA CITADA	38
APÉNDICES	42

RESUMEN

Con el propósito de determinar indicadores de desarrollo del sistema radical de plantas de vid, se realizó un estudio en la temporada 2005 – 2006 en un parronal ubicado en la localidad de La Junta, Región de Atacama, Chile.

Se evaluó el número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm, el número de raíces menores a 2 mm, el número de raíces totales y el índice de enraizamiento (Van Zyl, 1988), como indicadores de desarrollo del sistema radical en relación al potencial productivo, en plantas de vid. Para ello se trabajó por separado en dos tipos de suelo característicos de la zona y en cada uno se seleccionaron 8 plantas de veinte años de edad, separadas en 4 plantas de alto potencial productivo y 4 plantas de bajo potencial productivo. En cada planta se excavó una calicata frontal (perpendicular a la hilera) y una calicata lateral (paralela a la hilera) y se realizó un mapeo detallado, basado en la ubicación y categoría de diámetro, de todas las raíces presentes en los perfiles de suelo orientados hacia la planta.

Se probó la utilización de otras dos metodologías (métodos del barreno y monolitos), las cuales no tuvieron éxito debido a las condiciones edáficas (pedregosidad) de la zona.

Con el mapeo detallado de raíces del perfil de calicatas frontales, se logra una buena asociación entre los indicadores de desarrollo del sistema radical y los parámetros de potencial productivo, obteniéndose coeficientes de correlación significativamente diferentes de cero cuando las calicatas se realizan con una profundidad mínima de 1,2 m.

Se determinó que el número de raíces menores a 0,5 mm, es el que entrega la información necesaria y suficiente para ser considerado como un buen indicador de desarrollo del sistema radical de plantas de vid, en relación al potencial productivo.

Adicionalmente, se observó que, en suelo franco, las raíces funcionales de vid se ubican preferentemente alejadas de la zona de saturación del bulbo de mojamamiento, y se determinó que, independientemente de la distribución que pueda tener el sistema radical, las plantas de vid más productivas están asociadas a un mayor número de raíces, especialmente de menor diámetro, en ambos tipos de suelo.

Palabras clave: *Vitis vinifera*, raíces finas, productividad, calicata.

ABSTRACT

In order to determine root system development indicators of grapevine plants, a study was done during season 2005 - 2006 in a vineyard located in La Junta, Region of Atacama, Chile.

The number of roots smaller than 0,5 mm, smaller than 2 mm, total roots and rooting index (Van Zyl, 1988) were evaluated as indicators of root development in relation to productive potential of grapevine plants. Two different soil types were selected and in each of them, 8 twenty years old plants were divided in two groups: 4 high productive potential plants and 4 low productive potential plants. In each plant, a frontal trench (perpendicular to the row) and a lateral trench (parallel to the row) were excavated to carry out detailed root mapping, based on location and diameter, of all roots presents in the soil profiles oriented towards the plant.

Two other methodologies were tested (auger and monolith methods), but they were not successful due to the edafic conditions (gravelly) of the study area.

Results of Detailed root mapping present in soil profile of frontal trenches, showed a good association between root development indicators and parameters of plant productive potential. Obtaining correlation coefficients significantly different from zero when the trenches are made with a minimum depth of 1,2 m.

It was determined that the number of roots smaller than 0,5 mm gives the sufficient information to be considered like a good indicator of root development in relation to the productive potential of grapevine plants.

Additionally, it was noted that, in loam textured soil, the functional roots of the vine are located preferably away from the saturation zone of the soil wet bulb, and it was determined that, independently of root distribution, the most productive plants are related to a greater number of roots, especially to of smaller diameter, in either soil types.

Key words: *Vitis vinifera*, fine roots, productivity, trench.

INTRODUCCIÓN

El potencial productivo de las vides, normalmente se ha tratado de relacionar con el desarrollo de la parte aérea de la planta. Para esto se han realizado numerosos estudios con énfasis en dicha parte del sistema, la parte visible, dejando de lado el estudio del comportamiento de las raíces. No obstante, Richards (1983) menciona que existe una relación estrecha entre el crecimiento de la parte aérea y la actividad del sistema radical de la planta de vid. Los trabajos de Brouwer (1983), Schulze (1983), Weger (1983) y Van Nordwijk y De Willigen (1987), entre otros, han demostrado la existencia de un "equilibrio funcional" coordinado entre el sistema radical y la parte aérea, situación en la cual, tanto raíces como brotes responden a la efectividad con que el órgano complementario de la planta obtiene sus necesidades básicas del medio y la respuesta a factores externos dependerá de la situación interna de la planta, donde intervienen reservas orgánicas, nutrientes y hormonas. En la literatura nacional, los trabajos realizados en vides por Honorato *et al.* (1988) y Honorato *et al.* (1990) avalan dicho concepto.

Freeman y Smart (1976), McKenry (1984) e Ibacache y Lobato (1995) mencionan que en vides el crecimiento de las raíces comienza algunas semanas después de la brotación, registrándose dos periodos en los que se produce un gran desarrollo del sistema radical. El primero se produce al inicio de la temporada, cerca de cuaje, y el segundo periodo de crecimiento de raíces se produce después de cosechada la fruta.

Callejas *et al.* (2006a) indican que, bajo las condiciones particulares de la Región de Atacama, las raíces no detienen en su totalidad el crecimiento invernal. De hecho, señalan que en pleno invierno se han observado notorios indicios de crecimiento de raíces, los cuales se hacen más evidentes al inicio y término de esa estación del año. Respecto de esto último, se observó que la tasa de crecimiento del sistema radical comienza a aumentar en paralelo con el inicio de brotación de los parronales de esa zona del país (mes de agosto).

Richards (1983) señala que en suelos de diferente origen y estructura, la mayor parte de las raíces de vid se concentran en el primer metro, y en la parte superior de esta zona se concentran las raíces laterales finas, comprendiendo la mayor parte del área de superficie absorbente. Por su parte, Nagarajah (1987) y Morlat y Jacquet (1993) indican que la distribución de raíces en vides depende de condiciones edáficas. La literatura señala que en vid, la presencia de elevadas cantidades de raíces en profundidad puede variar, entre otros, alrededor de los primeros 40 cm (Honorato *et al.*, 1990), 100 cm (Araujo *et al.*, 1995), 120 cm (Morano y Kliewer, 1994) o 240 cm (Williams y Smith, 1991). Al respecto Bassoi *et al.* (2003) señalan que pueden influir, entre otros, factores tales como el sistema de riego, edad de la planta, portainjerto y condiciones físico-químicas del suelo.

Dependiendo de la edad de la vid, las raíces estructurales varían en diámetro, pero se encuentran usualmente entre 6 y 100 mm. Desde la estructura principal surgen pequeñas raíces permanentes con un diámetro que oscila entre 2 a 6 mm, las que crecen tanto horizontal como verticalmente. Estas raíces se extienden y ramifican en unas pocas raíces de extensión media, generalmente de 1 a 2 mm de diámetro y de rápido crecimiento. Estas

raíces finas mueren a las pocas semanas de emerger, pero son reemplazadas continuamente (Richards, 1983). Diversos autores coinciden que, desde el punto de vista de la funcionalidad o actividad, las raíces de vid más importantes son aquellas de menor diámetro y de color blanco (Honorato *et al.*, 1990; Silva *et al.*, 1991; Sellés *et al.*, 2003; Ruiz *et al.*, 2007), comúnmente denominadas "activas". Mullins *et al.* (1992) advierten que las raicillas que derivan de raíces menores a 2 mm de diámetro son las de mayor importancia en términos de la absorción de agua y nutrientes. Comas *et al.* (2000) analizando raíces de vid menores a 0,6 mm, señalan que son muy sensibles y que su actividad metabólica decrece a medida que aumenta su pigmentación en el tiempo.

Benavides (1992) y Sellés y Ferreyra (2007) mencionan que el desarrollo del sistema radical de las plantas se ve directamente afectado por las condiciones de humedad, aireación, temperatura y de resistencia mecánica que se producen en los suelos y enfatizan que el contenido de humedad es el que controla el comportamiento de los restantes. De esta forma, los sistemas de riego pueden afectar la distribución de las raíces, localizándose principalmente dentro del volumen húmedo bajo los goteros (Bresler, 1977). Puede esperarse, en mayor medida, que el modelo de distribución de las raíces esté principalmente influenciado por el sistema de riego y menos por la lluvia en zonas de baja precipitación (Van Zyl, 1988). Es así como la capacidad de la vid para desarrollar raíces está ligada a la resistencia mecánica que opone el suelo a su penetración y a la existencia de agua, nutrientes y oxígeno en la zona potencialmente explorable (Callot *et al.*, 1982) citados por Honorato *et al.* (1990). En la mayoría de los casos, las raíces crecen parcialmente a través de la porosidad preexistente y parcialmente deformando plásticamente la matriz de suelo. Si el material de la matriz es deformable, la raíz penetra y puede crecer hasta que otro factor diferente a la resistencia mecánica controle la elongación (tasa de difusión de oxígeno, por ejemplo), aun en el caso de materiales no porosos (Benavides, 1992). La aireación de un suelo depende de la distribución y tamaño de los poros (Richards, 1983) y es un factor crítico para el desarrollo de las raíces de vid (Sellés *et al.*, 2003).

Ruiz (2000) es claro en señalar que la calidad del sistema radical define en gran medida el desarrollo y vigor de las plantas. En general, existe concordancia en afirmar que mayores producciones están relacionadas a un mayor desarrollo del sistema radical (Richards, 1983; Honorato *et al.*, 1988; Honorato *et al.*, 1990; Davies y Zhang, 1991; Silva *et al.*, 1991; Ruiz, 2000; Sellés *et al.*, 2003; Ruiz *et al.*, 2007).

Tener una visión clara de las raíces resulta esencial, ya que son el principal factor en el balance de carbohidratos de la vid; proveen de agua y nutrientes necesarios para crecimiento aéreo y fructificación y recogen señales positivas o negativas desde el suelo que son transmitidas bioquímicamente a la parte aérea, con repercusión en la fruta (Richards, 1983; Davies y Zhang, 1991; Ibacache y Lobato, 1995; Glenn, 2000; Ruiz *et al.*, 2007). Entonces, es fundamental tener la capacidad de cuantificar el volumen de raíces, su calidad y su localización en el suelo, para determinar los puntos críticos que puedan estar afectando la expresión óptima de un parrón determinado.

De acuerdo a los antecedentes presentados, el objetivo de este estudio fue determinar indicadores de desarrollo del sistema radical relacionados con el potencial productivo en vid, en dos tipos de suelo.

MATERIALES Y MÉTODO

Ubicación

El estudio se realizó en la localidad de La Junta, en el Fundo del mismo nombre, ubicado a 100 km al interior del Valle de Copiapó, Región de Atacama, durante los meses de marzo, abril, mayo y diciembre del año 2005. La agrupación climática para la zona estudiada corresponde a la de Desértico de Altura y sus precipitaciones anuales promedio alcanzan los 27 mm (Novoa *et al.*, 1989). El sector se caracteriza por su salinidad, tanto del agua de riego como de sus suelos.

Diseño del estudio

Material vegetal y definición de sitio

Se utilizaron plantas de la variedad Thompson Seedless de 20 años de edad, de igual manejo productivo, conducidas en sistema de parrón español, con una distancia de plantación de 3,5 x 3,5 m y regadas con una línea de goteros de $4 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ puesta a un costado de la hilera de plantación, sobre camellones. El estudio se realizó en dos sitios, según dos tipos de suelo característicos de esta desértica región, seleccionados mediante la observación de calicatas realizadas como parte del manejo habitual del predio:

- a) Sitio 1: Suelo franco profundo. En este suelo se seleccionaron 8 plantas, según apreciación visual de su vigor vegetativo y diámetro de tronco, separadas en 4 plantas de alto potencial productivo y 4 plantas de bajo potencial productivo.
- b) Sitio 2: Suelo franco delgado con sustrato arenoso subyacente. En este suelo se seleccionaron 8 plantas, según apreciación visual de su vigor vegetativo y diámetro de tronco, separadas en 4 plantas de alto potencial productivo y 4 plantas de bajo potencial productivo.

Diseño experimental

El ensayo se realizó bajo un diseño completamente al azar con 4 repeticiones por tratamiento. La unidad experimental correspondió a la planta y se seleccionaron 8 por tipo de suelo, subdivididas en 4 plantas de alto potencial y 4 plantas de bajo potencial productivo.

Descripción del sitio de trabajo

Descripción de suelo

Se efectuó una descripción general de los suelos con la finalidad de caracterizar los sitios del estudio. Dicha descripción fue realizada en paralelo al desarrollo de la metodología del mapeo detallado de raíces, descrita más adelante, utilizando las calicatas realizadas para tal efecto.

Muestras nematológicas

En cada unidad experimental y utilizando un barreno edafológico, se tomó una muestra de suelo adyacente a la planta, sobre la hilera de plantación, al lado opuesto de la línea de goteros y a una profundidad de 30 cm. El procedimiento fue realizado en el mes de junio y las muestras colectadas fueron llevadas de inmediato al Laboratorio de Nematología de la Universidad de Chile, para su evaluación.

Condición vegetativa y productiva de las plantas

Caracterización de las plantas

Con el fin de caracterizar las unidades experimentales de cada tratamiento, posterior a la poda, se contabilizó el número de cargadores por planta, su largo, medido con una cinta plástica graduada en cm, y su diámetro central, medido con un pie de metro manual, así como el número de yemas por cargador. Las mediciones se realizaron el día 31 de mayo de 2005. Además, se midió el perímetro de tronco a una altura de 40 cm, medido con una cinta plástica graduada en cm, con la finalidad de determinar el área de sección transversal de tronco (ASTT). Para su cálculo se utilizó la fórmula del área de la circunferencia ($\pi \cdot r^2$).

Peso de poda

Los días 16 y 17 de mayo de 2005 (época de poda para la zona), se evaluó el peso de poda de todas las plantas utilizadas en el estudio, siguiendo el criterio de poda del predio (30 cargadores con 8 yemas por planta). Para esto se utilizó una balanza digital de colgar (Extech, modelo 160394, EE.UU.).

Determinación de la producción

Para efectos de cuantificar la producción, se pesó el total de kg acumulados en cada floreo, de todos los racimos cosechados desde el mes de diciembre, incluido el descarte de exportación, en cada una de las 8 plantas seleccionadas en cada sitio. Para esta evaluación se utilizó una balanza digital de sobremesa (Mettler-Toledo, modelo PBA330A6, España).

Evaluaciones del sistema radical

Entre los días 14 de marzo y 31 de mayo del año 2005 (época de postcosecha), se realizaron las evaluaciones del sistema radical de cada planta, para lo cual se probaron tres metodologías en el orden y forma que a continuación se señala:

Método del barreno

En base a la metodología descrita por Weller (1967), se realizó un muestreo frontal que consistió en la toma de cinco muestras ($M_{x..n}$) cada 20 cm de profundidad, en cinco puntos ($P_{x..n}$) situados horizontalmente cada 45 cm sobre una línea perpendicular a la hilera de plantación, centrada frente al tronco y a una distancia de 90 cm del mismo (Figura 1) y un muestreo lateral consistente en la toma de cinco muestras ($M_{x..n}$) cada 20 cm de profundidad, en cinco puntos ($P_{x..n}$) situados horizontalmente cada 45 cm sobre una línea paralela a la hilera de plantación, centrada frente al tronco y a 90 cm de este (Figura 1). Para la toma de muestras de suelo se utilizó un barreno de 9,5 cm de diámetro.

Cada una de las muestras de suelo tomadas fueron puestas en bolsas plásticas y llevadas a laboratorio para realizar una separación manual de las raíces. Después de la separación fueron lavadas con agua y divididas en cuatro categorías de diámetro según lo propuesto por Van Zyl (1988), luego de lo cual se llevó a cabo la medición del peso fresco de cada categoría para realizar una estimación del sistema radical presente en el volumen de suelo correspondiente a cada profundidad.

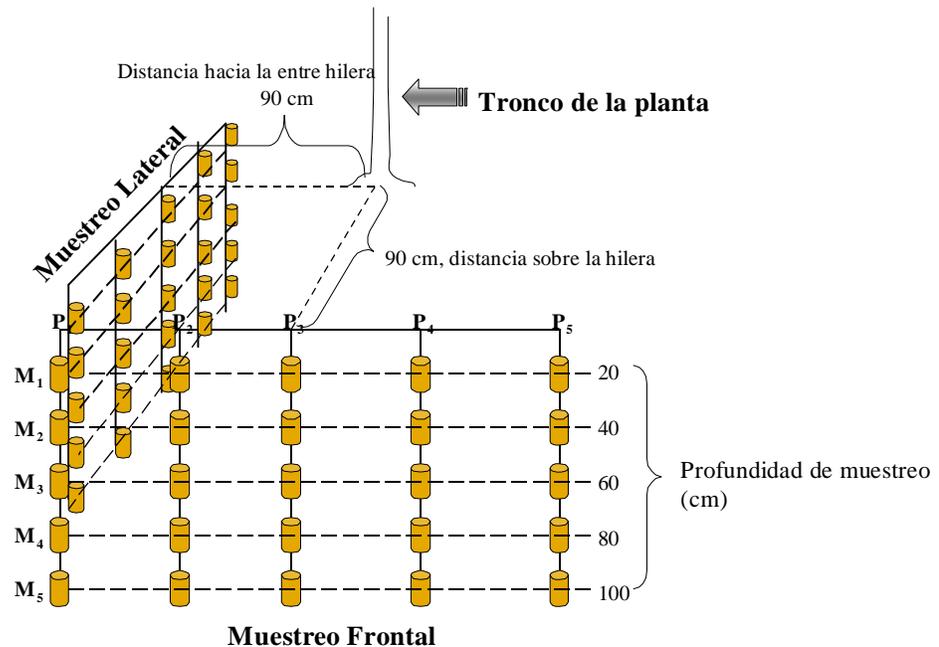


Figura 1. Esquema tridimensional de muestreo del sistema radical mediante el método del barreno.

Mapeo detallado del perfil

Para cada unidad experimental se realizaron dos calicatas en dos posiciones con respecto a la planta, la primera, denominada calicata frontal, situada a una distancia de 60 cm desde el tronco, perpendicular a la hilera de plantación, con una dimensión de excavación de 200 cm de largo (centrada frente al tronco de la planta) por 80 cm de ancho y una profundidad mínima de 180 cm, considerando el camellón de 20 cm de alto (Figura 2). La segunda calicata, denominada calicata lateral, situada a una distancia de 60 cm desde el tronco, paralela a la hilera de plantación y del lado de la línea de goteros, con una dimensión de 160 cm de largo por 80 cm de ancho y una profundidad mínima de 180 cm (Figura 2).

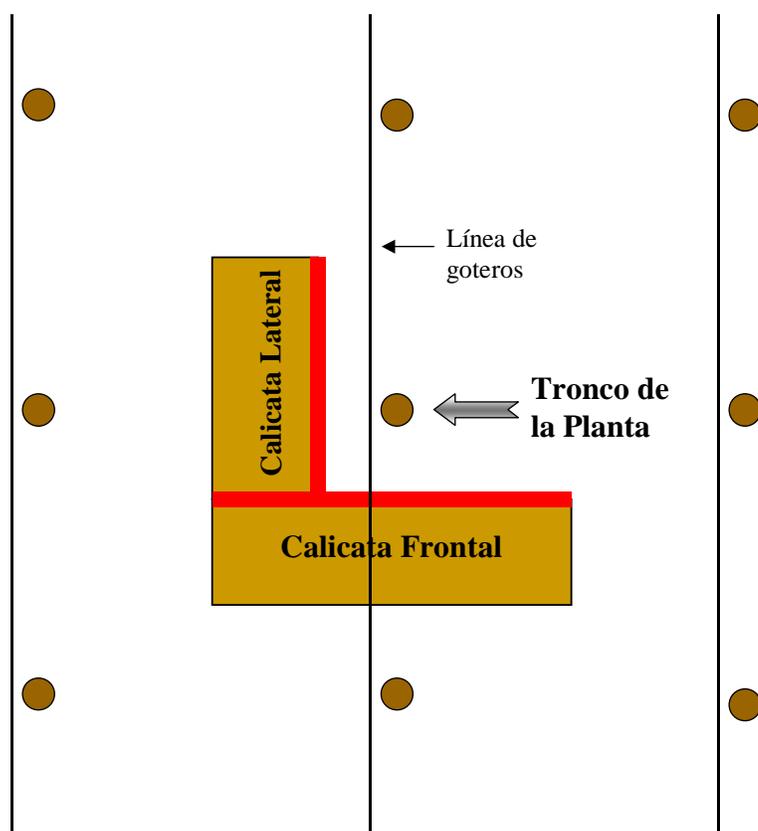


Figura 2. Ubicación de la calicata frontal y lateral en torno a la planta (ver Apéndice 1, Figura 1). La línea de color rojo indica el perfil estudiado.

Las evaluaciones en cada calicata se realizaron de acuerdo al método del perfil (Böhm, 1979), utilizando una malla de cordel de 200 x 200 cm, compuesta de cuadrículas de 20 x 20 cm, puesta sobre el perfil orientado hacia la planta (figuras 3 y 4 y línea roja de Figura 2). A este perfil se le removió una delgada capa de suelo adicional para exponer las raíces y se procedió a detallar en una planilla de campo, y para cada cuadrícula, la ubicación y

número de raíces según su tamaño, de acuerdo a una de las cuatro siguientes categorías de diámetro, propuestas por Van Zyl (1988).

- Menores que 0,5 mm, raíces finas.
- Entre 0,5 y 2 mm, raíces delgadas.
- Entre 2 y 5 mm, raíces medias.
- Mayores que 5 mm, raíces gruesas.

Se calculó para diferentes secciones de área el índice de enraizamiento adaptado para la vid por Van Zyl (1988), de acuerdo a la fórmula:

$$\text{Índice de enraizamiento} = \frac{R(< 0,5\text{mm}) + R(0,5 - 2\text{mm})}{R(2 - 5\text{mm}) + R(> 5\text{mm})}$$

Donde: R = Número de raíces en las diferentes categorías.

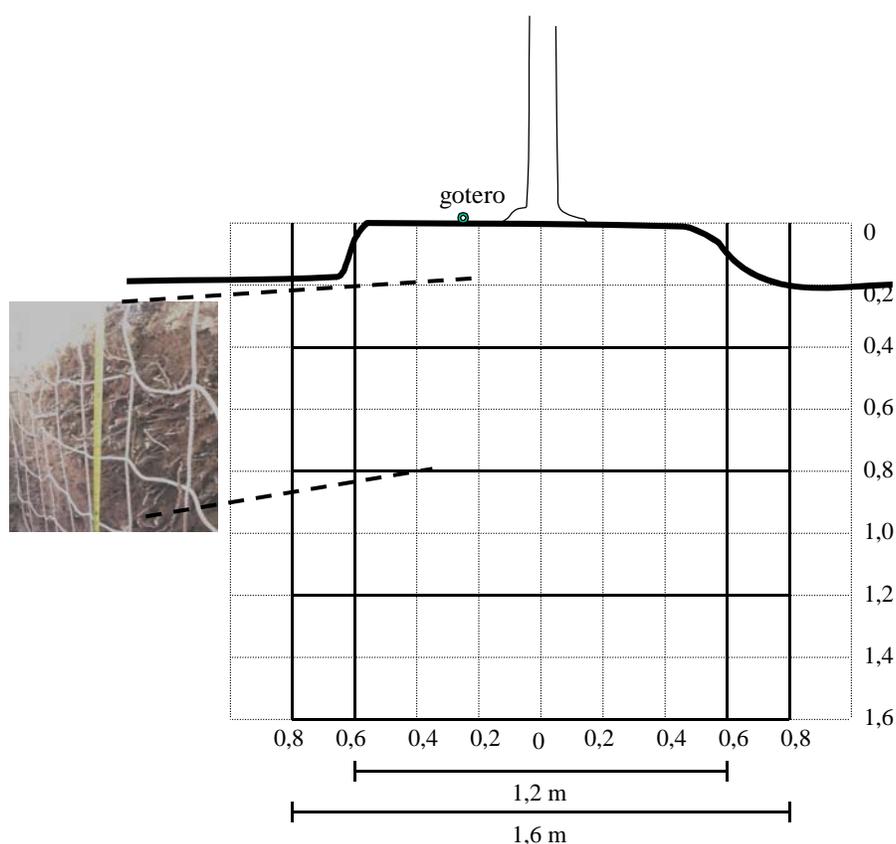


Figura 3. Esquema de disposición de las cuadrículas de la malla cordel para el mapeo detallado de raíces y las secciones de área del perfil en calicatas frontales.

Método de los monolitos

De acuerdo a esta metodología descrita por Böhm (1979), se extrajeron volúmenes de suelo ("monolitos") de 15 x 15 x 15 cm, utilizando un cubo de metal de cinco caras, el cual fue introducido por medio de golpes en cada cuadrícula de la malla ubicada en el perfil de suelo utilizada en la metodología precedente (Figura 5), de cada cubo extraído se separó el suelo de las raíces, clasificándolas según su diámetro de acuerdo a lo explicado en la metodología anterior, para cuantificar el peso fresco de cada categoría presente en cada volumen de suelo.

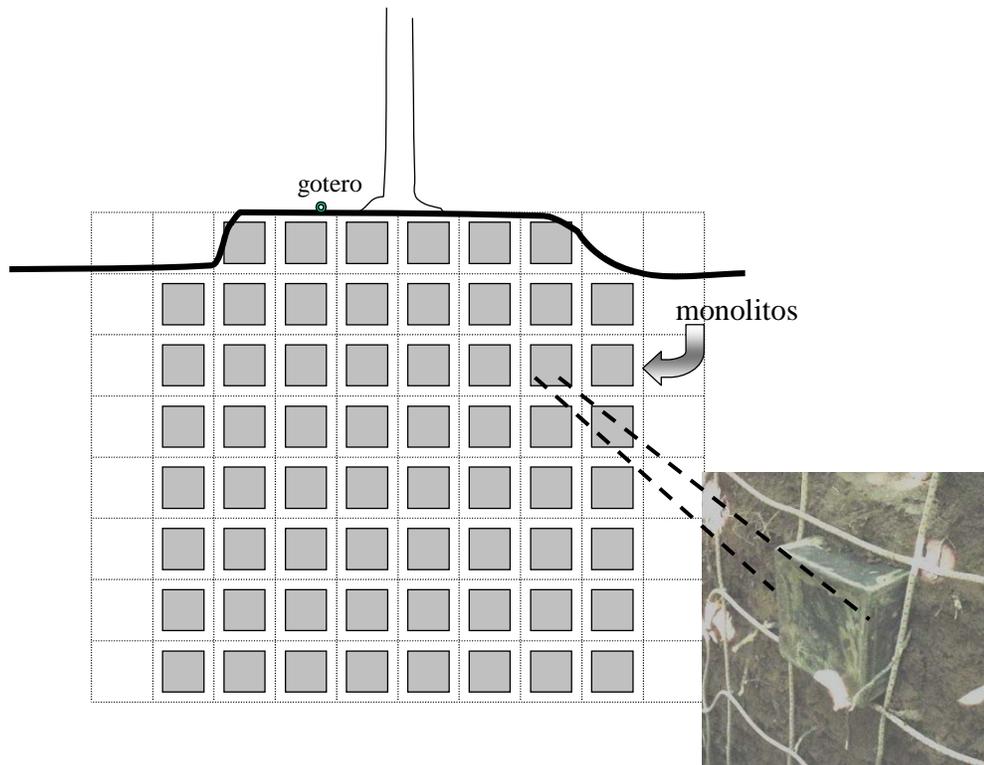


Figura 5. Esquema de muestreo del sistema radical, en una calicata frontal, según el método de los monolitos y detalle de la extracción *in situ* de los monolitos utilizando un cubo de metal de cinco caras.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se sometieron a análisis de varianza (ANDEVA) y en los casos que se presentaron diferencias significativas, se empleó la prueba de comparación múltiple de Duncan. Para comparar medias de dos muestras se utilizó el test "t" de Student ($p < 0,05$).

Se realizó análisis de correlación, con el objetivo de determinar las asociaciones entre los indicadores de desarrollo del sistema radical y los parámetros de potencial productivo. Se compararon diferentes modelos, en términos del grado de ajuste obtenido, mediante regresiones, para explicar la variable potencial productivo en función de la variable indicador de desarrollo del sistema radical.

El registro de los datos y el análisis estadístico fue realizado con Microsoft[®] Excel 2000 (Microsoft Corporation, Washington, EE.UU.) y el programa estadístico computacional STATGRAPHICS[®] Centurion XV Demo (StatPoint, Inc., Northern Virginia, EE.UU.).

RESULTADOS

Descripción de los suelos

Caracterización general de suelo franco profundo

Suelo de origen aluvial, profundo, de textura franca hasta los 95 cm con incorporación de materia orgánica en los primeros 20 cm y contenidos variables de gravas (2-3 mm). Separado por un límite lineal abrupto, descansa sobre un sustrato suelto, de matriz arenosa de grano simple con gravas y guijarros abundantes, presencia de piedras redondeadas (25-40 cm) en un 20 % del volumen de suelo, topografía suavemente inclinada con 2 % de pendiente, bien drenado.

Caracterización general de suelo franco delgado

Suelo de origen aluvial, con una estrata superficial de textura franca hasta los 30 cm con incorporación de materia orgánica en los primeros 20 cm. Separado por un límite lineal abrupto, descansa sobre de sustrato de textura gruesa y pedregoso, conformado por una matriz arenosa de grano simple, suelto, con contenido variable de gravas (2-5 mm), guijarros (10-20 cm) en un 35 % del volumen de suelo, piedras redondeadas (25-40 cm) en profundidad, topografía plana, bien drenado y permeable.

Análisis nematológico

En el Cuadro 1, se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las poblaciones de individuos de *Xiphinema index* presentes en plantas de distinto potencial productivo, en ambos tipos de suelo. De igual forma ocurre para las demás especies de nematodos fitoparásitos presentes en las muestras de suelo.

Cuadro 1. Evaluación de la población de nemátodos fitoparásitos presentes en plantas de distinto potencial productivo, en dos tipos de suelo.

Potencial productivo	Tipo de suelo	<i>Xiphinema Index</i>	<i>Xiphinema americanum</i>	<i>Paratylenchus</i>	<i>Criconemella</i>
-----Individuos por 250 mL de suelo-----					
Alto	Profundo	156	108	526	1
Alto	Delgado	378	417	73	--
Bajo	Profundo	177	93	389	17
Bajo	Delgado	111	127	--	11
		NS	NS	NS	NS

NS, no existen diferencias estadísticamente significativas en cada columna, según análisis de varianza (ANDEVA). Los valores indican el promedio de las mediciones en cuatro plantas para cada potencial productivo, según tipo de suelo.

Condición productiva y vegetativa de las plantas

Como se aprecia en el Cuadro 2, los valores de peso de poda y área de sección transversal de tronco (ASTT) se diferencian estadísticamente entre plantas de distinto potencial productivo, coincidiendo con lo estimado en la apreciación visual de selección previa. Además, el número de racimos y la producción total por planta, medido a final de temporada, presentan diferencias estadísticamente significativas entre plantas de distinto potencial productivo.

Cuadro 2. Evaluación de parámetros asociados a plantas de distinto potencial productivo, en dos tipos de suelo.

Potencial productivo	Tipo de suelo	Producción planta kg/planta	Peso poda kg/planta	Número racimos ----- n°/planta -----	Número yemas	Diámetro cargador mm	Largo cargador cm	ASTT cm ²
Alto	Profundo	22,7a	13,6a	41,5a	198a	7,4a	47,8a	90,9a
Alto	Delgado	25,5a	18,3a	45,0a	216a	7,7a	44,2ab	90,9a
Bajo	Profundo	8,6 b	2,6 b	17,0 b	165 b	6,7 b	41,5 b	22,5 c
Bajo	Delgado	4,1 b	3,8 b	6,8 b	117 c	6,4 b	24,0 c	46,9 b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), según la prueba de comparación múltiple de Duncan. Los valores indican el promedio de las mediciones en cuatro plantas para cada potencial productivo, según tipo de suelo.

Evaluaciones del sistema radical

Dadas las condiciones edáficas de la zona en estudio, dos de los métodos de evaluación del sistema radical (métodos del barreno y de los monolitos) debieron ser descartados por los motivos que a continuación se describen:

Método del barreno

El muestreo del sistema radical mediante el uso de barreno se tornó en extremo dificultoso en las condiciones edáficas donde se realizó el estudio, debido a la presencia de guijarros y piedras que impiden la penetración del mismo en los puntos definidos a diferentes profundidades. Esta condición se presentó en ambos tipos de suelo e implicó que no se pudo realizar completa y satisfactoriamente la metodología de muestreo del sistema radical.

Método de los monolitos

Dadas las condiciones en que se realizó este estudio, la aplicación de la metodología de los monolitos resultó inapropiada para evaluar el sistema radical. Esto debido a que los guijarros y piedras existentes (Figura 6A) impiden en ciertas ocasiones la penetración del cubo de metal al perfil de suelo, además, la vibración generada por los golpes necesarios para introducir el cubo de metal al perfil de suelo, produce el fenómeno de desmoronamiento del sustrato de textura gruesa subyacente de ambos tipos de suelo (Figura 6B).

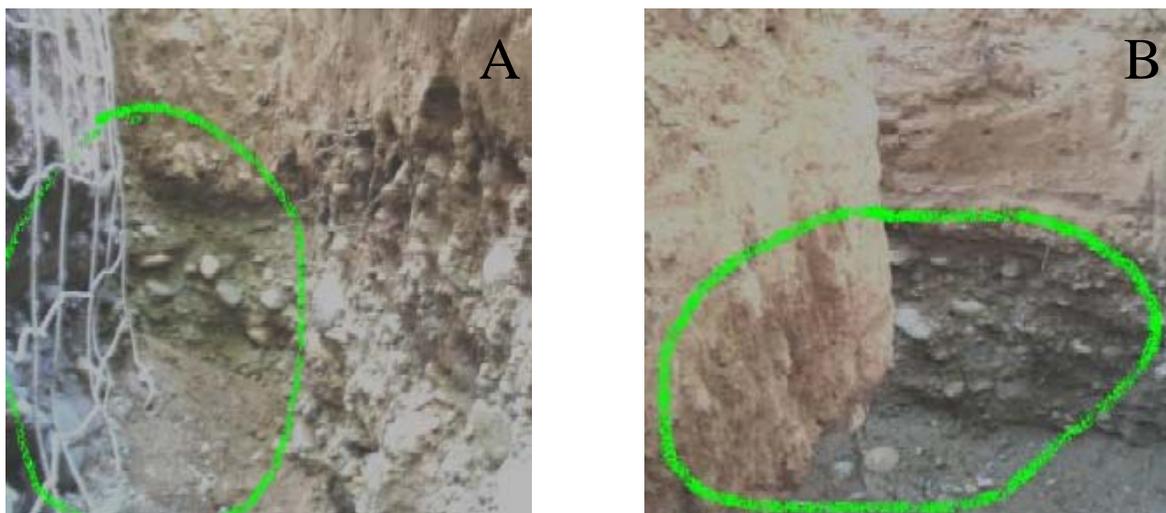


Figura 6. Pedregosidad del perfil (A) e inestabilidad del sustrato arenoso subyacente (B).

Mapeo detallado del perfil

Considerando que en el mapeo detallado del perfil de calicatas frontales y laterales las raíces más abundantes fueron las de diámetro menor a 0,5 mm, éstas se tomaron como referencia para establecer los siguientes indicadores de desarrollo del sistema radical:

- a) Número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm
- b) Número de raíces de diámetro menor a 2 mm (raíces < 0,5 mm + raíces 0,5-2 mm)
- c) Número de raíces totales (raíces < 0,5 mm + raíces 0,5-2 mm + raíces 2-5 mm + raíces > 5 mm)

Estos tres parámetros, además del índice de enraizamiento de Van Zyl (1988), fueron evaluados como indicadores de desarrollo del sistema radical en relación al potencial productivo, en dos tipos de suelo.

Número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm, en calicata frontal. En el Cuadro 3 se presenta el valor de los coeficientes de correlación lineal entre el número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm ($R < 0,5$), calculado en diferentes secciones de área en calicatas frontales, versus peso fresco de poda y producción por planta a cosecha. En él se observa que el número de raíces menores a 0,5 mm se correlaciona significativamente con las variables peso de poda y producción cuando las secciones de área del perfil alcanzan y/o superan los 1,2 m de profundidad, alcanzando un mayor nivel de confianza estadística cuando las secciones de área son de 1,2 x 1,2 m en suelo franco profundo ($r = 0,85$ y $r = 0,88$) y cuando las secciones de área son de 1,2 x 1,6 m en suelo delgado de sustrato arenoso subyacente ($r = 0,87$ y $r = 0,91$). Lo anterior también se ve reflejado en los valores de los coeficientes de determinación R^2 de la figuras 7P y 7D, donde la producción por planta y peso de poda tuvieron un alto grado de asociación estadística con respecto al número de raíces menores a 0,5 mm.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación lineal entre el número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm ($R < 0,5$) para diferentes secciones de área, en calicatas frontales, v/s peso fresco de poda y producción por planta, en 2 tipos de suelo.

Calicata frontal	Coeficiente de correlación lineal ^{1/}			
	Suelo profundo (franco)		Suelo delgado (arenoso)	
	R<0,5 v/s peso poda (raíces/pl) ^{2/} (kg/pl) ^{2/}	R<0,5 v/s producción (raíces/pl) (kg/pl) ^{2/}	R<0,5 v/s peso poda (raíces/pl) (kg/pl)	R<0,5 v/s producción (raíces/pl) (kg/pl)
1,2 x 0,4	NS	NS	NS	0,71*
1,2 x 0,8	NS	NS	NS	NS
1,2 x 1,2	0,85**	0,88**	0,76*	0,86**
1,2 x 1,6	0,81*	0,75*	0,87**	0,91**
1,6 x 0,4	NS	NS	0,71*	0,75*
1,6 x 0,8	NS	NS	0,72*	0,80*
1,6 x 1,2	0,84**	0,89**	NS	0,83*
1,6 x 1,6	0,76*	0,71*	0,83*	0,89**

* Señala p-valor < 0,05. Indica correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95 %

** Señala p-valor < 0,01. Indica correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 99 %

NS, no significativo.

^{1/} El cálculo de cada coeficiente se realizó con 8 pares de datos.

^{2/} pl = planta

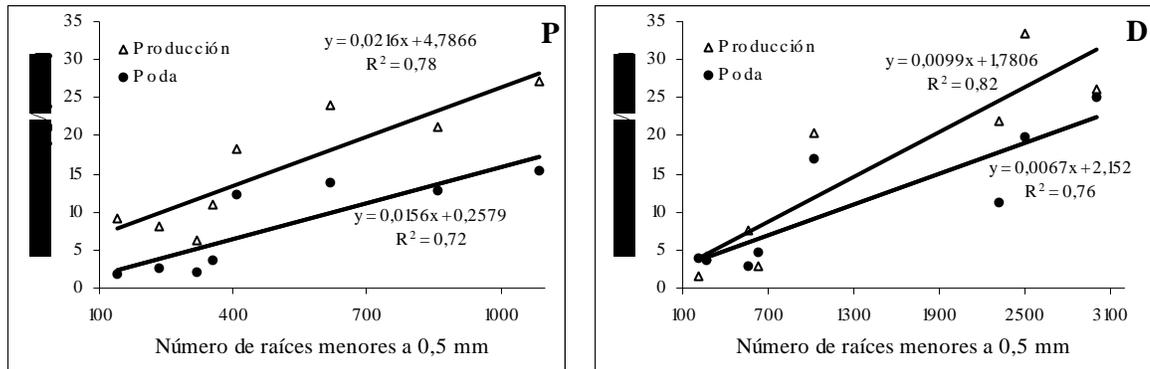


Figura 7. Producción y peso de poda en función del número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm, para calicatas frontales de 1,2 x 1,2 m en suelo profundo (P) y calicatas frontales de 1,2 x 1,6 m suelo delgado (D).

Número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm, en calicata lateral. En el Cuadro 4 se presenta el valor de los coeficientes de correlación lineal entre el número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm, calculado en diferentes secciones de área en calicatas laterales y peso fresco de poda y producción por planta a cosecha. Se observa que en suelo delgado de sustrato arenoso subyacente, se dan correlaciones significativamente diferentes de cero en todo el perfil, exceptuando los primeros 0,4 m, y al hacer las mismas comparaciones para el suelo profundo, las correlaciones son significativas solamente en los primeros 0,8 m del perfil.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación lineal entre número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm ($R < 0,5$) para diferentes secciones de área, en calicatas laterales, v/s peso fresco de poda y producción por planta, en 2 tipos de suelo.

Calicata lateral	Coeficiente de correlación lineal ^{1/}			
	Suelo profundo (franco)		Suelo delgado (arenoso)	
	R<0,5 v/s poda (raíces/pl) ^{2/} (kg/pl) ^{2/}	R<0,5 v/s producción (raíces/pl) (kg/pl) ^{2/}	R<0,5 v/s poda (raíces/pl) (kg/pl)	R<0,5 v/s producción (raíces/pl) (kg/pl)
Sección de área del perfil (ancho x profundidad) (m)				
1,2 x 0,4	0,80*	0,80*	0,80*	NS
1,2 x 0,8	0,77*	0,81*	0,85**	0,71*
1,2 x 1,2	NS	NS	0,82*	0,77*
1,2 x 1,6	NS	NS	0,79*	0,76*

* Señala p-valor < 0,05. Indica correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95 %

** Señala p-valor < 0,01. Indica correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 99 %

NS, no significativo.

^{1/} El cálculo de cada coeficiente se realizó con 8 pares de datos.

^{2/} pl = planta

Número de raíces de diámetro menor a 2 mm, en calicata frontal. En el Cuadro 5 se presenta el valor de los coeficientes de correlación lineal entre el número de raíces de diámetro menor a 2 mm ($R < 2$), calculado en diferentes secciones de área en calicatas frontales, versus peso fresco de poda y producción por planta a cosecha. En él, se observa que en el suelo delgado de sustrato arenoso subyacente, existen correlaciones significativamente diferentes de cero entre las variables cuando las secciones de área muestreadas alcanzan y/o superan 0,8 m de profundidad, alcanzando valores de mayor confianza estadística para la sección de área 1,2 x 1,6 m ($r = 0,89$ y $r = 0,91$) y en el caso de las correlaciones en suelo profundo, éstas son significativamente diferentes de cero, cuando las secciones de área son de 1,2 m de ancho y alcanzan y/o superan 1,2 m de profundidad. Lo anterior también se ve reflejado en los valores R^2 de las figuras 8P y 8D, donde la producción por planta y peso de poda tuvieron un alto grado de asociación estadística con respecto al número de raíces menores a 2 mm.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación lineal entre número de raíces de diámetro menor a 2 mm ($R < 2$) para diferentes secciones de área, en calicatas frontales, v/s peso fresco de poda y producción por planta, en 2 tipos de suelo.

Calicata frontal Sección de área del perfil (ancho x profundidad) (m)	Coeficiente de correlación lineal ^{1/}			
	Suelo profundo (franco)		Suelo delgado (arenoso)	
	R < 2 v/s peso poda (raíces/pl) ^{2/} (kg/pl) ^{2/}	R < 2 v/s producción (raíces/pl) (kg/pl) ^{2/}	R < 2 v/s peso poda (raíces/pl) (kg/pl)	R < 2 v/s producción (raíces/pl) (kg/pl)
1,2 x 0,4	NS	NS	NS	NS
1,2 x 0,8	NS	NS	0,78*	0,82*
1,2 x 1,2	0,86**	0,87**	0,79*	0,88**
1,2 x 1,6	0,81*	0,74*	0,89**	0,91**
1,6 x 0,4	NS	NS	NS	NS
1,6 x 0,8	NS	NS	0,76*	0,82*
1,6 x 1,2	0,85**	0,88**	0,74*	0,86**
1,6 x 1,6	0,76*	NS	0,85**	0,90**

* Señala p-valor < 0,05. Indica correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95 %

** Señala p-valor < 0,01. Indica correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 99 %

NS, no significativo.

^{1/} El cálculo de cada coeficiente se realizó con 8 pares de datos.

^{2/} pl = planta

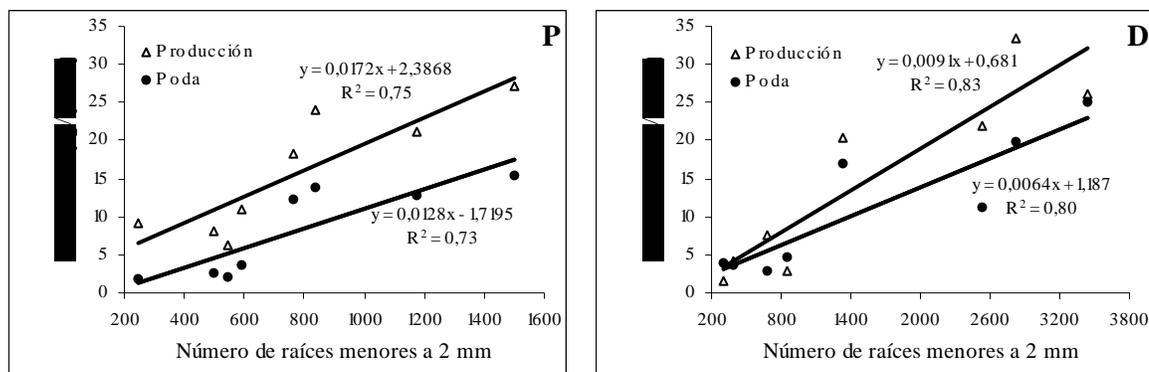


Figura 8. Producción y peso de poda en función del número de raíces de diámetro menor a 2 mm, para calicatas frontales de 1,2 x 1,2 m en suelo profundo (P) y calicatas frontales de 1,2 x 1,6 m suelo delgado (D).

Número de raíces de diámetro menor a 2 mm, en calicata lateral. En el Cuadro 6 se presenta el valor de los coeficientes de correlación lineal entre el número de raíces de diámetro menor a 2 mm, calculado en diferentes secciones de área del perfil de calicatas laterales y peso fresco de poda y producción por planta a cosecha. Se aprecia que en el suelo delgado de sustrato arenoso subyacente, las mediciones del sistema radical que alcanzan y/o superan 1,2 m de profundidad presentan coeficientes de correlación significativamente diferentes de cero, en su asociación con los parámetros de potencial productivo. Por otra parte, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables de potencial productivo y el número de raíces menores a 2 mm, en el suelo profundo.

Cuadro 6. Coeficientes de correlación lineal entre número de raíces de diámetro menor a 2 mm (R<2) para diferentes secciones de área, en calicatas laterales, v/s peso fresco de poda y producción por planta, en 2 tipos de suelo.

Calicata lateral	Coeficiente de correlación lineal ^{1/}			
	Suelo profundo (franco)		Suelo delgado (arenoso)	
	R<2 v/s peso poda (raíces/pl) ^{2/} (kg/pl) ^{2/}	R<2 v/s producción (raíces/pl) (kg/pl) ^{2/}	R<2 v/s peso poda (raíces/pl) (kg/pl)	R<2 v/s producción (raíces/pl) (kg/pl)
1,2 x 0,4	NS	NS	0,77*	NS
1,2 x 0,8	NS	0,71*	0,83*	NS
1,2 x 1,2	NS	NS	0,82*	0,75*
1,2 x 1,6	NS	NS	0,79*	0,73*

* Señala p-valor < 0,05. Indica correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95 %

NS, no significativo.

^{1/} El cálculo de cada coeficiente se realizó con 8 pares de datos.

^{2/} pl = planta

Número de raíces totales, en calicata frontal. En el Cuadro 7 se presenta el valor de los coeficientes de correlación lineal entre el número de raíces totales (RT), calculado en diferentes secciones de área en calicatas frontales y el peso fresco de poda y producción por planta a cosecha. En él se puede observar que en el caso del suelo delgado de sustrato arenoso subyacente, existen correlaciones significativamente diferentes de cero cuando las secciones de área muestreadas alcanzan y/o superan 0,8 m de profundidad, alcanzando un mayor nivel de confianza estadística para la sección de área 1,2 x 1,6 m ($r = 0,90$ y $r = 0,92$) y en el caso de las correlaciones en suelo profundo, éstas son significativamente diferentes de cero, cuando las secciones de área muestreadas alcanzan y/o superan 1,2 m de profundidad. Lo anterior también se ve reflejado en los valores R^2 de las figuras 9P y 9D, donde la producción por planta y peso de poda tuvieron un alto grado de asociación estadística con respecto al número de raíces totales.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación lineal entre número de raíces totales (RT) para diferentes secciones de área, en calicatas frontales, v/s peso fresco de poda y producción por planta, en 2 tipos de suelo.

Calicata frontal	Coeficiente de correlación lineal ^{1/}			
	Suelo profundo (franco)		Suelo delgado (arenoso)	
	RT v/s peso poda (raíces/pl) ^{2/} (kg/pl) ^{2/}	RT v/s producción (raíces/pl) (kg/pl) ^{2/}	RT v/s peso poda (raíces/pl) (kg/pl)	RT v/s producción (raíces/pl) (kg/pl)
1,2 x 0,4	NS	NS	NS	NS
1,2 x 0,8	NS	NS	0,79*	0,83*
1,2 x 1,2	0,87**	0,87**	0,80*	0,89**
1,2 x 1,6	0,79*	0,71*	0,90**	0,92**
1,6 x 0,4	NS	NS	NS	0,71*
1,6 x 0,8	NS	NS	0,77*	0,84**
1,6 x 1,2	0,86**	0,88**	0,75*	0,87**
1,6 x 1,6	0,71*	NS	0,86**	0,91**

* Señala p-valor < 0,05. Indica correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95 %

** Señala p-valor < 0,01. Indica correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 99 %

NS, no significativo.

^{1/} El cálculo de cada coeficiente se realizó con 8 pares de datos.

^{2/} pl = planta

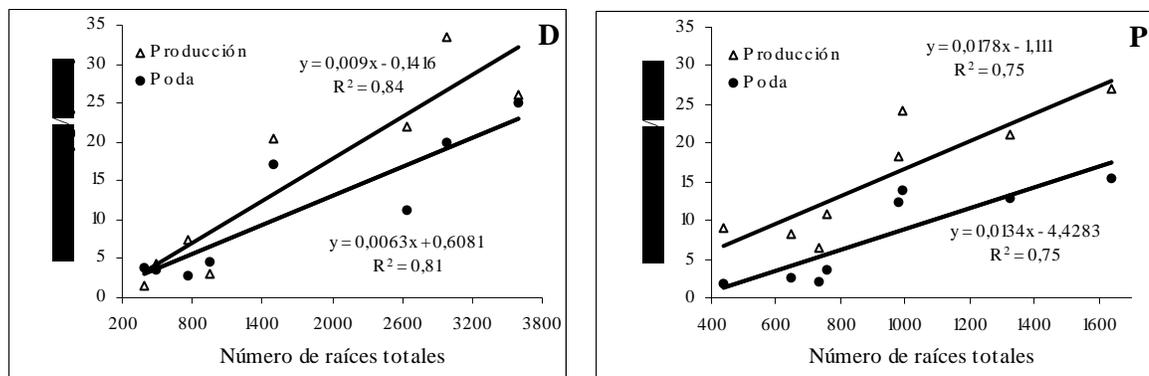


Figura 9. Producción y peso de poda en función del número de raíces totales, para calicatas frontales de 1,2 x 1,2 m en suelo profundo (P) y calicatas frontales de 1,2 x 1,6 m en suelo delgado (D).

Número de raíces totales, en calicata lateral. En el Cuadro 8 se presenta el valor de los coeficientes de correlación lineal entre el número de raíces totales (RT), calculado en diferentes secciones de área del perfil de calicatas laterales y peso fresco de poda y producción por planta a cosecha. Se aprecia que en el suelo delgado de sustrato arenoso subyacente, las mediciones del sistema radical que alcanzan y/o superan 1,2 m de profundidad presentan coeficientes de correlación significativamente diferentes de cero en su asociación con los parámetros de potencial productivo. Por otra parte, en el suelo profundo, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables de potencial productivo y el número de raíces totales, exceptuando la sección superficial hasta los 0,4 m.

Cuadro 8. Coeficientes de correlación lineal entre número de raíces totales (RT) para diferentes secciones de área, en calicatas laterales, v/s peso fresco de poda y producción por planta, en 2 tipos de suelo.

Calicata lateral	Coeficiente de correlación lineal ^{1/}			
	Suelo profundo (franco)		Suelo delgado (arenoso)	
	RT v/s peso poda (raíces/pl) ^{2/} (kg/pl) ^{2/}	RT v/s producción (raíces/pl) (kg/pl) ^{2/}	RT v/s peso poda (raíces/pl) (kg/pl)	RT v/s producción (raíces/pl) (kg/pl)
1,2 x 0,4	0,72*	0,72*	0,72*	NS
1,2 x 0,8	NS	NS	0,79*	NS
1,2 x 1,2	NS	NS	0,81*	0,74*
1,2 x 1,6	NS	NS	0,78*	0,71*

* Señala p-valor < 0,05. Indica correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95 %

NS, no significativo.

^{1/} El cálculo de cada coeficiente se realizó con 8 pares de datos.

^{2/} pl = planta

Índice de enraizamiento, en calicata frontal. En el Cuadro 9 se presenta el valor de los coeficientes de correlación lineal entre el índice de enraizamiento (IE), calculado en diferentes secciones de área de calicatas frontales y el peso fresco de poda y producción por planta a cosecha. En él se observa que el índice de enraizamiento se relaciona estadísticamente con las variables peso de poda y producción cuando las secciones de área alcanzan y/o superan los 1,2 m de profundidad en las evaluaciones realizadas en suelo franco profundo. Por otra parte, en el suelo delgado, de matriz arenosa subyacente, la sección de área de 1,2 x 1,6 m es la única que entrega una relación estadísticamente significativa entre el índice de enraizamiento y los parámetros de potencial productivo. Estas relaciones se ven reflejadas en los valores R^2 de las figuras 10P y 10D, donde la producción por planta y peso de poda tuvieron un moderado grado de asociación estadística con respecto al índice de enraizamiento.

Cuadro 9. Coeficientes de correlación lineal entre índice de enraizamiento (IE) para diferentes secciones de área, en calicatas frontales, v/s peso fresco de poda y producción por planta, en 2 tipos de suelo.

Calicata frontal	Coeficiente de correlación lineal ^{1/}			
	Suelo profundo (franco)		Suelo delgado (arenoso)	
	IE v/s peso poda (IE/pl) ^{2/} (kg/pl) ^{2/}	IE v/s producción (IE/pl) (kg/pl) ^{2/}	IE v/s peso poda (IE/pl) (kg/pl)	IE v/s producción (IE/pl) (kg/pl)
1,2 x 0,4	NS	NS	NS	NS
1,2 x 0,8	NS	NS	NS	NS
1,2 x 1,2	0,80*	0,84**	NS	0,71*
1,2 x 1,6	0,87**	0,87**	0,73*	0,79*
1,6 x 0,4	NS	NS	NS	NS
1,6 x 0,8	NS	NS	NS	NS
1,6 x 1,2	0,81*	0,86**	NS	NS
1,6 x 1,6	0,87**	0,87**	NS	0,79*

* Señala p-valor < 0,05. Indica correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95 %

** Señala p-valor < 0,01. Indica correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 99 %

NS, no significativo.

^{1/} El cálculo de cada coeficiente se realizó con 8 pares de datos.

^{2/} pl = planta

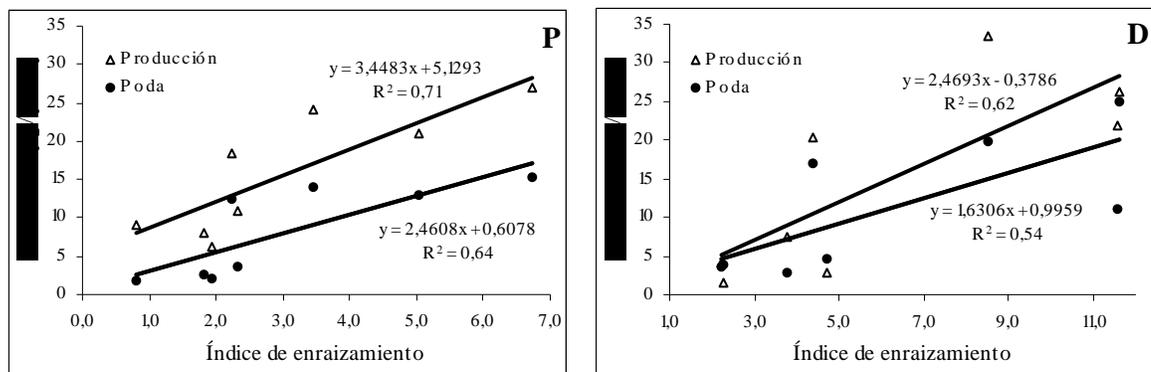


Figura 10. Producción y peso de poda en función de índice de enraizamiento, para calicatas frontales de 1,2 x 1,2 m en suelo profundo (P) y calicatas frontales de 1,2 x 1,6 m en suelo delgado (D).

Índice de enraizamiento, en calicata lateral. En el Cuadro 10 se presentan los coeficientes de correlación lineal entre el índice de enraizamiento (IE), calculado en diferentes secciones de área del perfil de calicatas laterales y peso fresco de poda y producción por planta a cosecha. Se aprecia que en el suelo delgado, de sustrato arenoso subyacente, las mediciones en la sección de área 1,2 x 0,8 m presentan, excepcionalmente, coeficientes de correlación significativos, en su asociación con los parámetros de potencial productivo. Por otra parte, en el suelo profundo, no existen correlaciones significativamente diferentes de cero entre las variables de potencial productivo y el índice de enraizamiento, en todo el perfil.

Cuadro 10. Coeficientes de correlación lineal entre índice de enraizamiento (IE) para diferentes secciones de área, en calicatas laterales, v/s peso fresco de poda y producción por planta, en 2 tipos de suelo.

Calicata lateral	Coeficiente de correlación lineal ^{1/}			
	Suelo profundo (franco)		Suelo delgado (arenoso)	
	IE v/s peso poda (IE/pl) ^{2/} (kg/pl) ^{2/}	IE v/s producción (IE/pl) (kg/pl) ^{2/}	IE v/s peso poda (IE/pl) (kg/pl)	IE v/s producción (IE/pl) (kg/pl)
1,2 x 0,4	NS	NS	NS	NS
1,2 x 0,8	NS	NS	0,81 *	0,71 *
1,2 x 1,2	NS	NS	NS	NS
1,2 x 1,6	NS	NS	NS	0,74*

* Señala p-valor < 0,05. Indica correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95 %

NS, no significativo.

^{1/} El cálculo de cada coeficiente se realizó con 8 pares de datos.

^{2/} pl = planta

Cantidad y distribución de raíces

Como se aprecia en el Cuadro 11, el número total de raíces en plantas de alto potencial productivo, presentó diferencias significativas con el número total de raíces en plantas de bajo potencial productivo, en ambos tipos de suelo, para el muestreo realizado en calicatas frontales. Al realizar las comparaciones en calicatas laterales, se observan diferencias significativas entre grupos de potencial productivo, en el suelo delgado de sustrato arenoso subyacente, no así en el suelo profundo, pudiendo influir la alta desviación de los datos respecto de su media, medido a través del coeficiente de variación, que presentó el muestreo del número total de raíces de plantas de alto potencial productivo, en ese tipo de calicatas. Al comparar el número de raíces de la suma de ambos tipos de calicata, lo que corresponde al total absoluto de muestreo por planta, se observan diferencias estadísticamente significativas entre plantas de alto potencial productivo y plantas de bajo potencial productivo, en ambos tipos de suelo.

Cuadro 11. Número total de raíces según potencial productivo y tipo de suelo, en calicatas frontales, laterales y la suma de ambas.

Potencial productivo	Tipo de suelo	Tipo de calicata					
		Calicata frontal (CF)		Calicata lateral (CL)		CF + CL	
		-- n° raíces --	CV ^{1/} %	-- n° raíces --	CV %	-- n° raíces --	CV %
Alto	Profundo	2009 b	26,9	1177ab	54,5	3186 b	36,2
Alto	Delgado	3445a	21,3	1591a	16,6	5036a	15,7
Bajo	Profundo	1225 c	12,7	685 b	16,9	1910 c	11,4
Bajo	Delgado	788 c	40,3	548 b	89,8	1336 c	53,7

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), según la prueba de comparación múltiple de Duncan.

^{1/} C.V. Coeficiente de variación.

La composición del sistema radical, basada en el diámetro de raíces, se muestra en el Cuadro 12. Para los dos potenciales productivos seleccionados, y en ambos tipos de suelo, la mayor cantidad de raíces está representada por la categoría menor a 0,5 mm. Esta categoría de raíces constituye más del 80% del total de raíces muestreadas en plantas de alto potencial productivo en suelo delgado de sustrato arenoso subyacente, en ambos tipos de calicatas, y más del 66% del total de raíces muestreadas en plantas de alto potencial productivo en suelo profundo. Por otra parte, se puede apreciar que el número total de raíces cuantificadas en calicatas frontales es superior al número total de raíces muestreadas en calicatas laterales, existiendo diferencias estadísticamente significativas entre ambos tipos de calicatas en las plantas de alto potencial productivo en suelo delgado de sustrato arenoso subyacente y en plantas de bajo potencial productivo en suelo profundo.

Cuadro 12. Composición porcentual de raíces en base a su diámetro, en calicatas frontales y laterales, para plantas de distinto potencial productivo, en dos tipos de suelo.

Potencial productivo	Tipo de suelo	Tipo de calicata	Composición de raíces (%)				N° total de raíces
			Raíces < 0,5 mm	Raíces 0,5 - 2 mm	Raíces 2 -5 mm	Raíces > 5 mm	
Alto	Profundo	Frontal	66	23	9	2	2009a (100%)
		Lateral	71	21	6	2	1177a (100%)
Alto	Delgado	Frontal	80	14	4	2	3445a (100%)
		Lateral	84	13	2	1	1591 b(100%)
Bajo	Profundo	Frontal	56	28	10	6	1225a (100%)
		Lateral	60	29	8	3	685 b(100%)
Bajo	Delgado	Frontal	64	22	8	6	788a (100%)
		Lateral	63	26	9	2	548a (100%)

Letras diferentes indican diferencia estadística entre tipos de calicata, según el test "t" de Student ($p < 0,05$). La significancia estadística se aplicó a cada potencial productivo por separado, según tipo de suelo.

En la Figura 11 se compara gráficamente, y para cada categoría de diámetro, la distribución de raíces en profundidad, para los dos grupos de potencial productivo, en el perfil de calicatas frontales en ambos tipos de suelo. En ella se observa que las raíces gruesas, de diámetro mayor a 5 mm, se concentran marcadamente entre los 0,2 y 0,4 m (Figura 11D). En las raíces medianas, de diámetro entre 2-5 mm, existe una tendencia de distribución similar con más extensión de crecimiento en profundidad (Figura 11C). Por su parte, en las raíces delgadas, de diámetro entre 0,5-2 mm, se observa que en suelo profundo, las plantas de alto y bajo potencial productivo siguen la tendencia de la categoría anterior y las plantas de alto potencial productivo en suelo delgado con sustrato arenoso subyacente, exhiben una tendencia de distribución distinta, con un particular foco de crecimiento entre 1,2 y 1,4 m de profundidad (Figura 11B). En la Figura 11A se observa que las raíces finas, de diámetro menor a 0,5 mm, se presentan en escasa cantidad en plantas de bajo potencial productivo, con focos de crecimiento en los primeros 0,2 m y a la profundidad 1,0-1,2 m en el caso del suelo delgado de sustrato arenoso subyacente y 1,2-1,4 m en suelo franco profundo. Por otra parte, las plantas de alto potencial productivo en suelo delgado de sustrato arenoso subyacente, presentan una elevada cantidad de raíces finas, menores a 0,5 mm, en el perfil, contrastando con las plantas de alto potencial en suelo franco profundo, que si bien presentan igualmente elevadas cantidades de raíces menores a 0,5 mm, éstas disminuyen a un mínimo entre los 0,4 y 0,8 m de profundidad, observándose, en este caso, diferencias estadísticamente significativas entre ambos tipos de suelo (Figura 12).

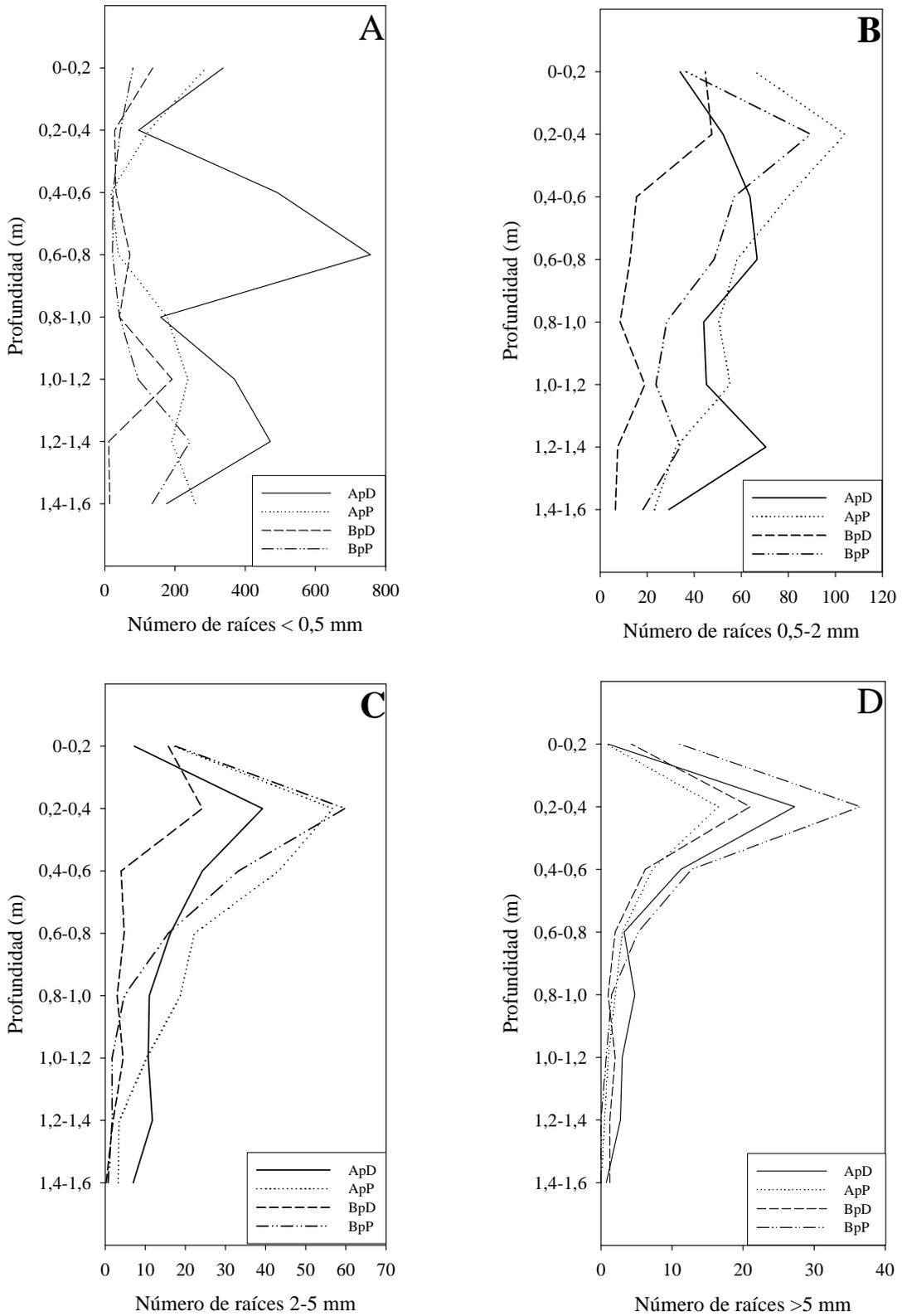


Figura 11. Distribución en profundidad de raíces de diferentes categorías de diámetro, en calicatas frontales de 1,6 x 1,6 m, en plantas de alto potencial en suelo delgado (ApD); alto potencial en suelo profundo (ApP); bajo potencial en suelo delgado (BpD) y bajo potencial en suelo profundo (BpP).

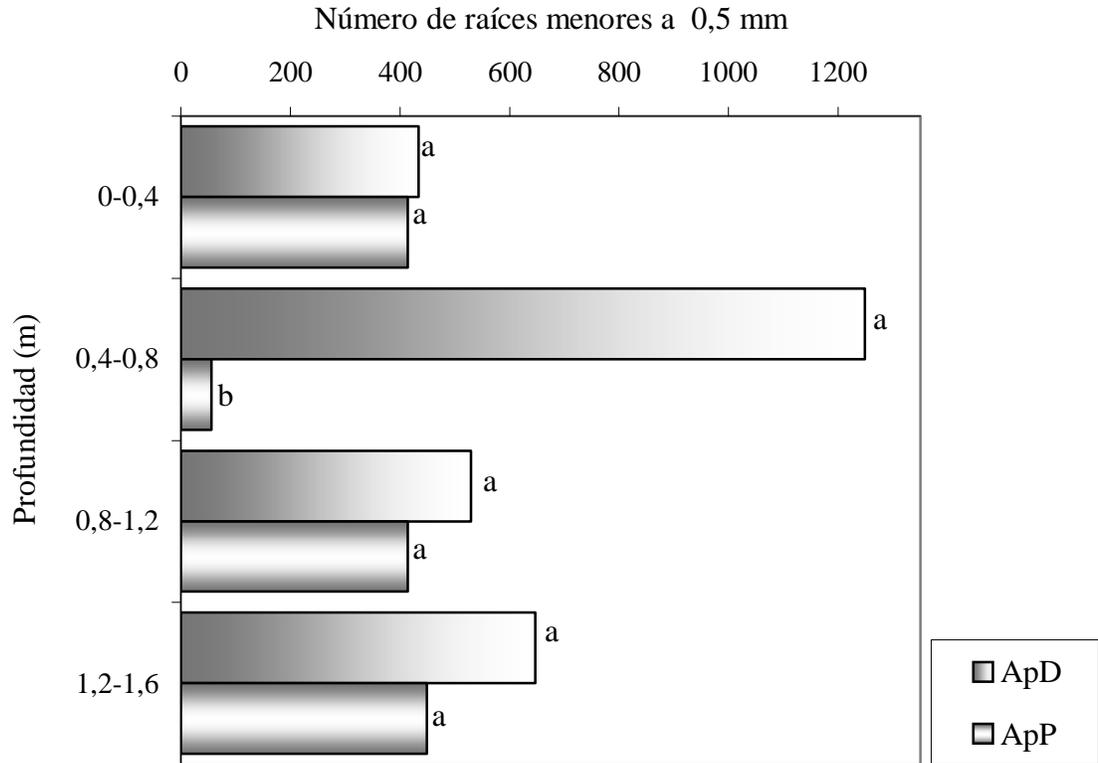


Figura 12. Distribución de raíces menores 0,5 mm en profundidad, en calicatas frontales de 1,6 x 1,6 m, para plantas de alto potencial productivo en suelo delgado (ApD) y plantas de alto potencial productivo en suelo profundo (ApP). Letras distintas indican diferencia significativa entre tipos de suelo, para cada estrata, según la prueba "t" de Student ($P < 0,05$).

En los mapas de densidad de raíces de diámetro menor a 0,5 mm, de las figuras 13, 14, 15 y 16, se puede apreciar la distribución de las mismas tanto en sentido vertical (profundidad), como en sentido horizontal, con notorias diferencias entre plantas de alto potencial productivo (figuras 13 y 14) y plantas de bajo potencial productivo (figuras 15 y 16). Además, en los mapas de densidad de raíces menores a 0,5 mm de plantas de alto potencial productivo, puede observarse que en el suelo franco profundo existe específicamente una zona bajo la posición de los goteros con una baja densidad de raíces (Figura 13F), en contraste con el crecimiento bien distribuido hasta 1,6 m de profundidad que se observa en el suelo delgado de sustrato arenoso subyacente (Figura 14F).

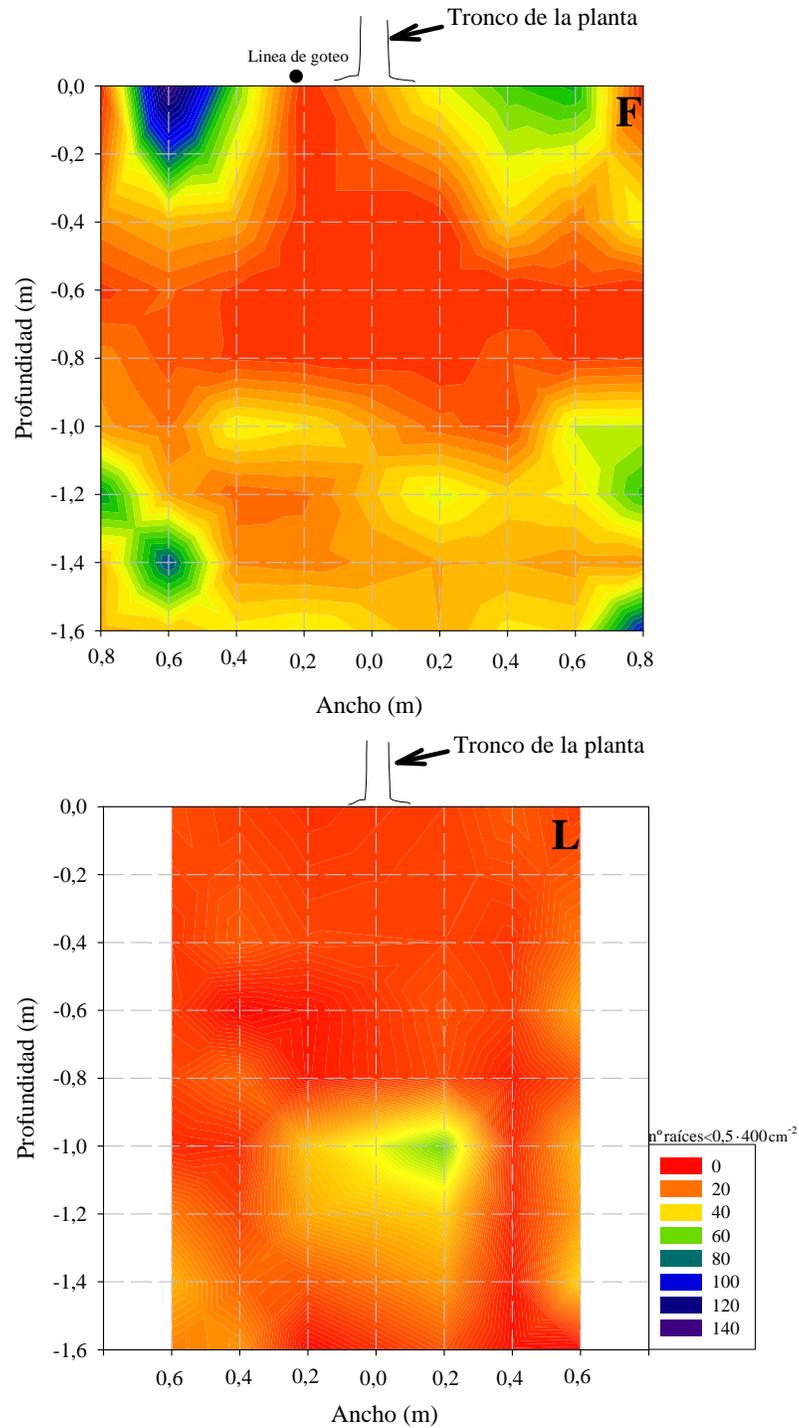


Figura 13. Mapas de densidad de raíces de diámetro menor a 0,5 mm en calicatas frontales^{1/} (F) y laterales^{2/} (L), en plantas de alto potencial productivo en suelo profundo de textura franca.

^{1/} La calicata frontal tiene valores máx., mín. y media de 109, 0 y 21 raíces por cuadrícula de 20 x 20 cm (400 cm²), respectivamente.

^{2/} La calicata lateral tiene valores máx., mín. y media de 60, 0 y 15 raíces por cuadrícula de 20 x 20 cm (400 cm²), respectivamente.

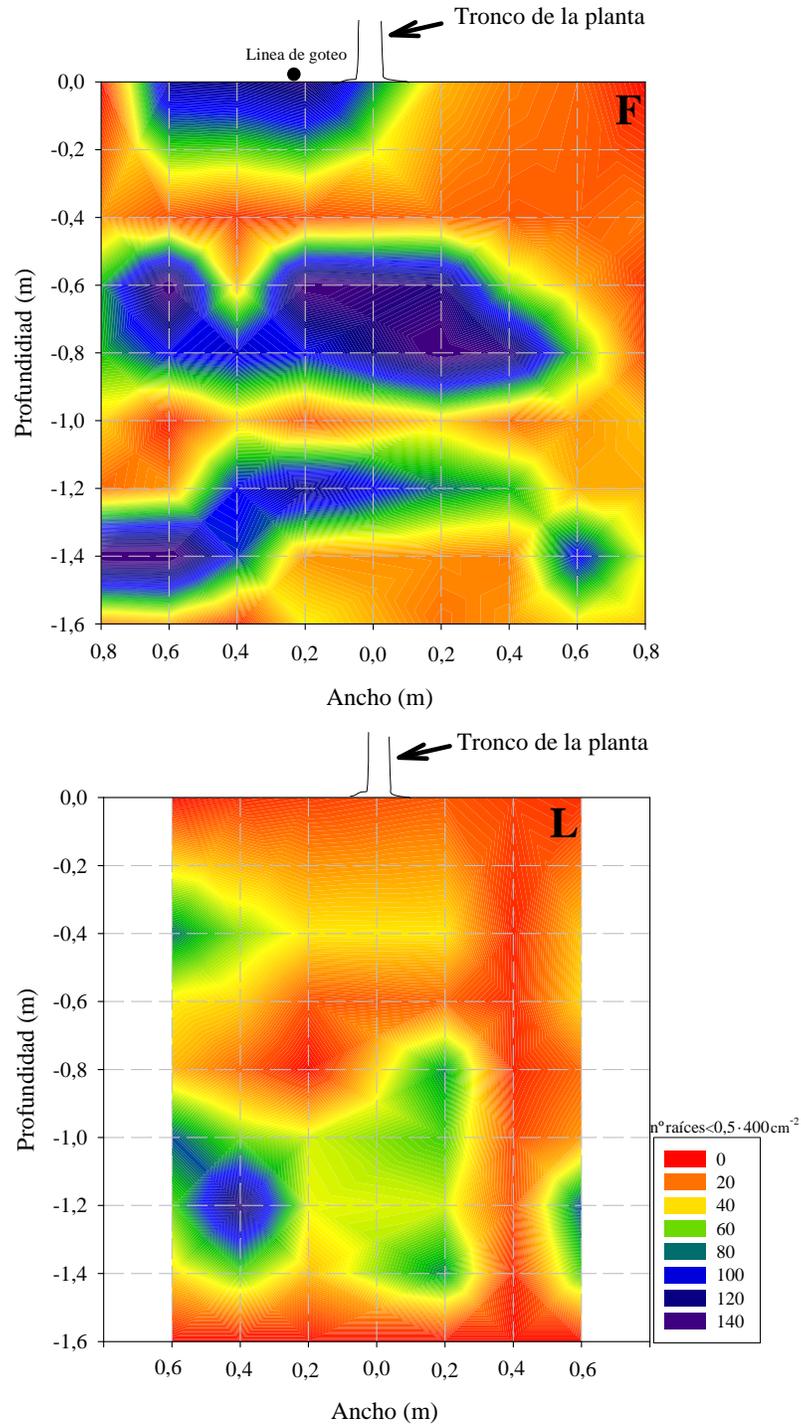


Figura 14. Mapas de densidad de raíces de diámetro menor a 0,5 mm en calicatas frontales^{1/} (F) y laterales^{2/} (L), en plantas de alto potencial productivo en suelo delgado de sustrato arenoso subyacente.

^{1/} La calicata frontal tiene valores máx., mín. y media de 117, 0 y 42 raíces por cuadrícula de 20 x 20 cm (400 cm²), respectivamente.

^{2/} La calicata lateral tiene valores máx., mín. y media de 131, 0 y 33 raíces por cuadrícula de 20 x 20 cm (400 cm²), respectivamente.

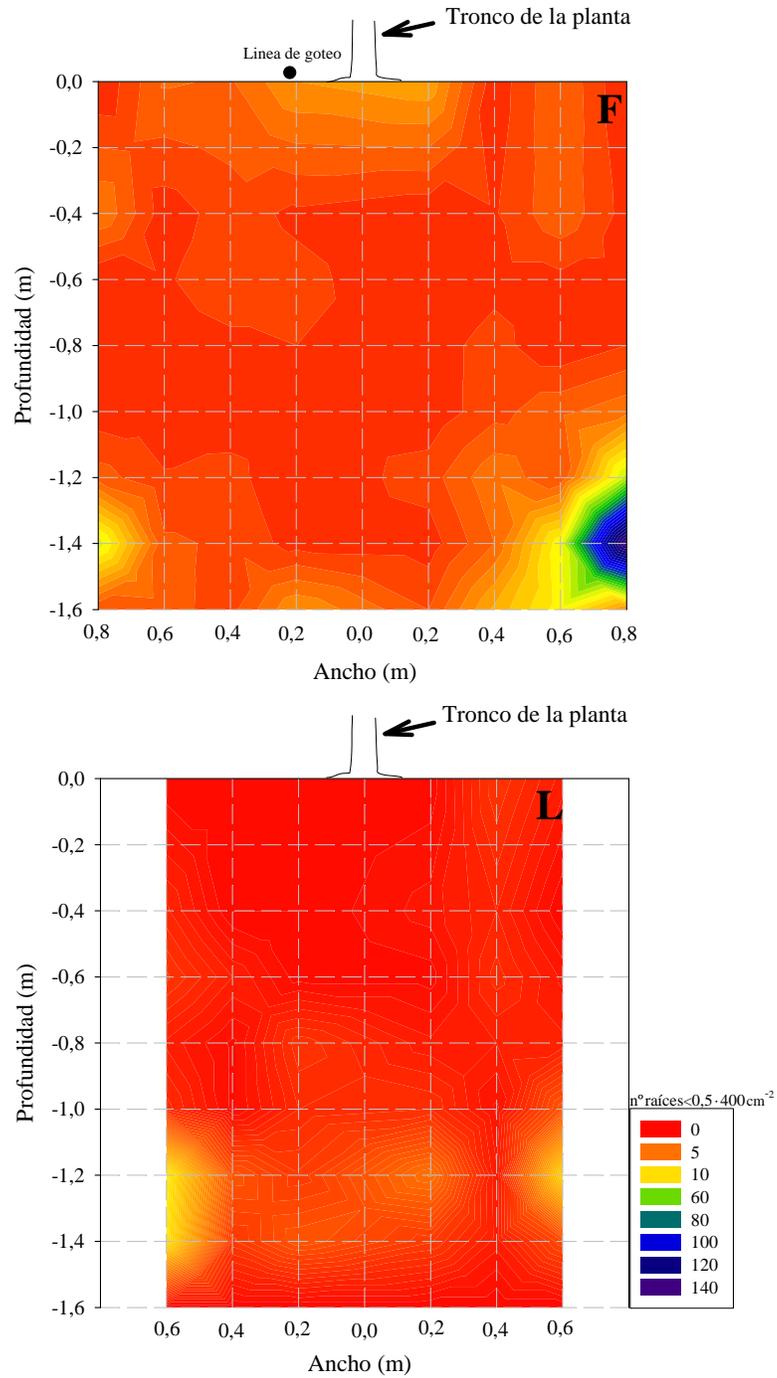


Figura 15. Mapas de densidad de raíces de diámetro menor a 0,5 mm en calicatas frontales^{1/} (F) y laterales^{2/} (L), en plantas de bajo potencial productivo en suelo profundo de textura franca.

^{1/} La calicata frontal tiene valores máx., min. y media de 129, 0 y 11 raíces por cuadrícula de 20 x 20 cm (400 cm²), respectivamente.

^{2/} La calicata lateral tiene valores máx., min. y media de 42, 0 y 7 raíces por cuadrícula de 20 x 20 cm (400 cm²), respectivamente.

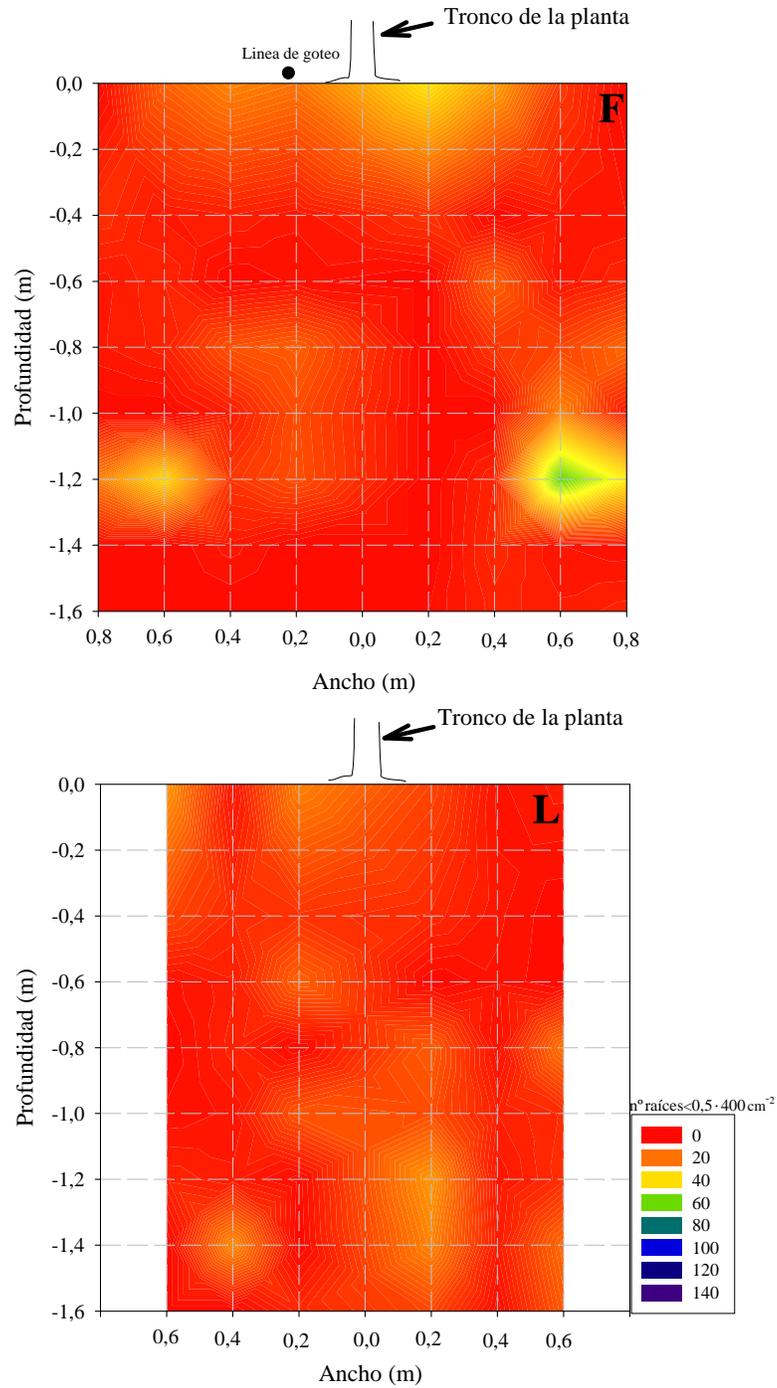


Figura 16. Mapas de densidad de raíces de diámetro menor a 0,5 mm en calicatas frontales^{1/} (F) y laterales^{2/} (L), en plantas de bajo potencial productivo en suelo delgado de sustrato arenoso subyacente.

^{1/} La calicata frontal tiene valores máx., min. y media de 62, 0 y 8 raíces por cuadrícula de 20 x 20 cm (400 cm²), respectivamente.

^{2/} La calicata lateral tiene valores máx., min. y media de 26, 0 y 7 raíces por cuadrícula de 20 x 20 cm (400 cm²), respectivamente.

DISCUSIÓN

Método del barreno

Respecto a la forma de evaluar las raíces en el suelo, cabe señalar que la pedregosidad en el perfil determinó en gran medida el fracaso en la aplicación de la metodología del barreno. Perry *et al.* (1983), en un experimento de laboratorio, probaron con éxito la metodología utilizando un barreno de 5 cm de diámetro para evaluar el sistema radical de diferentes cultivares de vid de 1 año de edad, en un sustrato uniforme, de arena fina. En explotaciones comerciales, Nagarajah (1987) no señala inconvenientes al utilizar la metodología con un barreno de 17,5 cm de diámetro a profundidades de hasta 220 cm para evaluar el sistema radical de vid Thompson Seedless, de 7-10 años de edad, en diferentes texturas de suelo. Cabe recordar que el barreno utilizado en este estudio tuvo un diámetro de 9,5 cm, poco si se considera al utilizado con éxito por Nagarajah (1987) y debe ser un factor a considerar en la posible utilización de esta metodología.

Método de los monolitos

El análisis de distribución de raíces mediante el método de los monolitos es dificultoso, laborioso y consumidor de tiempo, tal como lo señala Böhm (1979). En efecto, dadas las particulares condiciones de suelo en que se realizó este estudio, se produce el fenómeno de desmoronamiento del sustrato de textura gruesa subyacente de ambos tipos de suelo, con la vibración generada producto de los golpes necesarios para introducir el cubo de metal al perfil de suelo. Además, los guijarros y piedras existentes impiden en ciertas ocasiones la penetración del cubo de metal en el perfil. Al respecto Bassoi *et al.* (2003), investigando la distribución de raíces en vides de la variedad Italia, injertada sobre IAC 313, en un suelo de textura media, no señala inconvenientes al evaluar los parámetros peso seco de raíces y largo de raíces por volumen de suelo estimados por el método de los monolitos. En otro contexto de suelo, Nappi *et al.* (1985) utilizaron con éxito la metodología extrayendo cubos de 20 cm hasta una profundidad de 1,2 m al evaluar el sistema radical de vides en un suelo franco limoso.

Mapeo detallado del perfil

Smart *et al.* (2006) señalan que existen varios métodos de estudio de la distribución de raíces, pero el más comúnmente aceptado en viticultura es el método del perfil (Böhm, 1979). Dentro de esta metodología, el primer paso para determinar indicadores de desarrollo del sistema radical relacionados con el potencial productivo, es hacer un muestreo de perfiles representativos del sistema radical tridimensional de la planta.

Según Van Zyl (1988), puede esperarse en mayor medida que el modelo de distribución de las raíces esté más influenciado por el sistema de riego y menos por la lluvia, en zonas de baja precipitación. A esto debe sumarse el efecto detrimental de la compactación de suelo sobre el crecimiento de las raíces, producto del constante paso de maquinaria (Richards, 1983; Van Huyssteen, 1988; Van Zyl, 1988), lo cual estaría confinando su crecimiento en la zona de la sobrehilera. En este estudio, los antecedentes recién expuestos se ven corroborados por la menor cantidad de raíces totales que se observa en las calicatas laterales de la zona de la entrehilera, respecto de las calicatas frontales evaluadas en la zona de la sobrehilera (Cuadro 12), además, de la baja densidad de raíces que se observa en la parte superior del perfil (compactación por el paso de maquinaria) de calicatas laterales (figuras 13L, 14L, 15L y 16L). El menor desarrollo de raíces hacia la entrehilera se manifiesta en la escasa significación estadística de los indicadores de desarrollo del sistema radical en calicatas laterales (cuadros 4, 6, 8 y 10).

Otro aspecto de importancia al momento de aplicar la metodología del mapeo detallado, es determinar que tipo de raíces se debe considerar en relación al potencial productivo. De acuerdo a la literatura, existen diferencias entre distintos autores para designar categorías de diámetro a las raíces muestreadas, señalándose, entre otras categorías: raíces <1; 1-2; 2-5; 5-10; 10-20; 20-30 mm, Perry *et al.* (1983); raíces <0,5; 0,5-2; 2-5; >5 mm, Van Zyl (1988); raíces <2; 2-5; 5-12; >12 mm, Williams y Smith (1991); raíces <1; 1-2; >2 mm, Morlat y Jacquet (1993); raíces <2; 2-5; 5-12; >12 mm, Morano y Kliwer (1994) y raíces <1,6; 1,6-3,2; >3,2 mm, Araujo *et al.* (1995). Por otra parte, es sabido que desde el punto de vista de la funcionalidad o actividad, las raíces de vid más importantes son aquellas de menor diámetro y de color blanco (Honorato *et al.*, 1990; Silva *et al.*, 1991; Mullins *et al.*, 1992; Sellés *et al.*, 2003; Ruiz *et al.*, 2007), comúnmente denominadas "activas". Con respecto a los indicadores de desarrollo radical utilizados en este estudio, se determinó que el número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm (Cuadro 3), el número de raíces de diámetro menor a 2 mm (Cuadro 5) y el número de raíces totales (Cuadro 7) siempre presentan coeficientes de correlación significativamente diferentes de cero con los parámetros producción y peso de poda, para las secciones de área 1,2 x 1,2 m y 1,2 x 1,6 m de calicatas frontales, en ambos tipos de suelo, no destacándose un indicador sobre otro.

Considerando la información anterior y a partir del análisis de la composición porcentual de raíces, según las diferentes categorías de diámetro, usadas en este estudio (Cuadro 12), se considera que el número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm es el que entrega la información necesaria y suficiente para ser considerado un buen indicador de desarrollo del sistema radical en ambos tipos de suelo. Lo anterior se sustenta en el hecho que no se refleja en un coeficiente de correlación con mayor nivel de confianza estadística, el efecto de agregar a esta categoría las demás categorías de diámetro, con la ventaja práctica adicional del menor requerimiento de tiempo que esto implica.

Como se mencionó anteriormente, otro punto a favor para considerar a las raíces menores a 0,5 mm como un buen indicador de desarrollo del sistema radical es su característica de raíz funcional. Al respecto, Comas *et al.* (2000), analizando raíces en vides var. Concord, señalan que son muy sensibles a condiciones adversas, y que su actividad metabólica decrece a medida que aumenta su pigmentación en el tiempo. Los autores mencionan que la duración de raíces de diámetro menor 0,6 mm, desde que nacen blancas hasta que

desaparecen, varía entre 149 y 248 días, dependiendo del tipo de poda de canopia. De esta forma, este lapso de tiempo podría ser considerado como un periodo en que las raíces menores a 0,5 mm pueden ser registradas.

Van Zyl (1988) considera que un alto índice de enraizamiento (I.E.) es un reflejo de favorables condiciones de suelo, que resultarían en una alta proporción de raíces finas en relación a raíces gruesas. En este estudio, el I.E. (Cuadro 9) no presenta una mejor asociación con el potencial productivo si se compara con los otros indicadores de desarrollo del sistema radical propuestos (cuadros 3, 5 y 7). Por otra parte, el hecho de tener que cuantificar todas las raíces presentes en el perfil representa una desventaja práctica, por el mayor requerimiento de tiempo que esto implica. Por último, cabe señalar que por su condición de índice, su valor no queda definido si en la sección de área muestreada no se cuantifican raíces de las categorías medias (2-5 mm) y gruesas (>5 mm), y un mismo valor de índice de enraizamiento puede representar una cantidad de raíces muy distinta, por lo cual su utilización como un valor comparativo es restringida.

Cantidad y distribución de raíces

En relación al análisis nematológico, González (1993) define un nivel severo de infestación sobre 100 individuos por 250 ml de suelo para *Xiphinema americanum* y sobre 20 individuos por 250 ml de suelo para *Xiphinema index*. Según esto, todas las plantas de este estudio tendrían un nivel severo de infestación, particularmente, las plantas de alto potencial productivo en suelo delgado de sustrato arenoso subyacente (Cuadro 1). Estas plantas presentan, además, la mayor cantidad de raíces (Cuadro 11), lo cual podría explicar su mayor nivel de infestación, ya que, de acuerdo a la literatura, el crecimiento de raíces puede contribuir al aumento en el número de estos parásitos, debido al aumento del recurso alimenticio (Feil *et al.*, 1997). Por otra parte, la fecha de muestreo (mes de junio) pudo haber influido en el alto número de individuos recolectados, ya que, según Callejas *et al.* (2006b), corresponde a un periodo en que las raíces se encuentran sin la protección de los nematicidas en la Zona Norte de Chile.

Considerando la edad de la planta y analizando la Figura 11, se puede inferir que ésta desarrolla sus raíces estructurales principalmente entre los 0,2 y 0,4 m de suelo (Figura 11D), y a partir de ellas va desarrollando su crecimiento de extensión y ramificación (figuras 11B y 11C), coincidiendo con lo señalado por Richards (1983). Desde éstas últimas se estarían desarrollando las raíces de diámetro menor a 0,5 mm, con una tendencia de crecimiento en los primeros 20 cm del camellón y especialmente en profundidad (Figura 11A).

En los mapas de densidad de raíces menores a 0,5 mm, puede observarse que en el suelo franco profundo existe específicamente una zona bajo la posición de los goteros con una baja densidad de raíces menores a 0,5 mm (Figura 13F), en contraste con el crecimiento uniformemente distribuido hasta 1,6 m de profundidad que se observa en el suelo delgado de sustrato arenoso subyacente (Figura 14F), existiendo diferencia estadística en el número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm ubicadas entre 0,4 y 0,8 m de profundidad (Figura

12). Lo anterior se da en el contexto de una frecuente saturación de una parte del perfil y una permanente situación de exceso de humedad debido al manejo de riego para evitar el peligro de salinización secundaria en la zona estudiada y podría explicarse por la menor oxigenación en suelo franco dada su mayor capacidad de retención de humedad y menor cantidad de macroporos (Sellés y Ferreyra, 2007), lo que podría estar generando problemas de aireación. De manera similar, y para la misma zona, Callejas *et al.* (2004) indican que en un suelo de texturas finas se observa una zona bajo el gotero con una menor densidad de raíces, señalando una situación diferente en un suelo de texturas gruesas. De la misma forma, la situación del sector de texturas finas se explicaría por las inadecuadas condiciones de aireación de suelo.

Del análisis de la Figura 14F puede inferirse que la planta está dirigiendo su crecimiento hacia sectores de suelo donde encuentra un mejor equilibrio agua-aire. La alta densidad de raíces en los primeros 20 cm del perfil podría estar relacionada al mayor contenido de materia orgánica (Morlat y Jacquet, 1993) y, a su vez, el crecimiento en profundidad estaría asociado a las texturas gruesas de baja capacidad de retención de humedad y buenas condiciones de aireación (Sellés *et al.*, 2003).

Independientemente de la distribución que pueda tener el sistema radical, es importante señalar que, en este estudio, las plantas más productivas están asociadas a una mayor cantidad de raíces (Cuadro 11), especialmente de menor diámetro (Cuadro 12), lo cual es coincidente con lo señalado por (Richards, 1983; Honorato *et al.*, 1988; Honorato *et al.*, 1990; Davies y Zhang, 1991; Silva *et al.*, 1991; Ruiz, 2000; Sellés *et al.*, 2003; Ruiz *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones experimentales en que se realizó esta investigación, se puede concluir que:

El número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm, menor a 2 mm, raíces totales e índice de enraizamiento (Van Zyl, 1988), aparecen como indicadores de desarrollo del sistema radical de plantas de vid, relacionados con el potencial productivo, en ambos tipos de suelo.

El número de raíces de diámetro menor a 0,5 mm es el mejor indicador de desarrollo del sistema radical de plantas de vid, en relación al potencial productivo, en ambos tipos de suelo.

Los indicadores de desarrollo del sistema radical deben obtenerse a partir de calicatas frontales y con una profundidad de muestreo mínima de 1,2 m, en ambos tipos de suelo.

Las plantas de vid de mayor potencial productivo están asociadas a una mayor cantidad de raíces, especialmente de menor diámetro, en ambos tipos de suelo.

Las raíces funcionales de vid, de diámetro menor a 0,5 mm, se ubican preferentemente en zonas de suelo con buenas condiciones de aireación; hacia la periferia del bulbo, alejadas de la zona de saturación, en el caso de suelo franco, y con una distribución uniforme en el perfil, en el caso de texturas gruesas.

El barreno y el monolito no son herramientas aptas para la evaluación de raíces en suelos pedregosos o con tendencia a desmoronarse, respectivamente.

LITERATURA CITADA

Araujo, F., L. Williams, D. Grimes and M. Mathews. 1995. A comparative study of young "Thompson Seedless" grapevines under drip and furrow irrigation. I. Root and soil water distributions. *Scientia Horticulturae* 60: 235-249.

Bassoi, L. H., J. W. Hopmans., L. A. de Castro., C. Miranda and J. A. Moura. 2003. Grapevine root distribution in drip and microsprinkler irrigation. *Scientia Agrícola* 60(2): 377-387.

Benavides, C. 1992. El suelo como sistema físico. pp. 121-152. *In: Vera, W. (Ed.). Suelos, una visión actualizada del recurso.* Universidad de Chile, Fac. de Cs. Agr. y For. Publ. Misc. Agr. 38. Santiago, Chile. 345 p.

Böhm, W. 1979. *Methods of studying root systems.* Springer-Verlag. Berlin. 187 p.

Bresler, E. 1977. Trickle-drip irrigation: principle and application to soil water management. *Adv. Agron.* 29: 343-393.

Brouwer, R. 1983. Functional equilibrium: sense or nonsense? *Neth. J. Agr. Sci.* 31: 335-348.

Callejas, R., E. Kania., C. Perez y J. C. Magunacelaya. 2004. Poda de raíces y tratamientos complementarios sobre el crecimiento y distribución de raíces en la vid "Sultanina", en el Valle de Copiapó. 55° Congreso Agronómico de Chile. 19-22 de Octubre de 2004. Valdivia, Chile. Disponible en: <http://www.cevid.cl/articulos/Poster%20Carlos%20Perez%20Congreso%202004%20Pod a.pdf> Leído el 24 de julio de 2005.

Callejas, R., J. T. Wiczorek., C. Kusch y C. Benavides. 2006a. Evaluación del crecimiento invernal de raíces de vid, variedad "Sultanina", en la III Región. 57° Congreso Agronómico de Chile. 16-20 de Octubre de 2006. Santiago, Chile. Disponible en: http://www.cevid.cl/poster_congreso%20pdf/2006/Crecimiento%20invernal%20de%20raices%20en%20Sultanina.pdf Leído el 27 de noviembre de 2006.

Callejas, R., J. I. Covarrubias y C. Kusch. 2006b. La raíz de la vid: Su crecimiento y la eficiencia en el control de nematodos. Artículo de extensión CEVID. Fac. Cs. Agr. Universidad de Chile. Disponible en: http://www.cevid.cl/boletin/La_raiz_de_la_vid_su_crecimiento_y_eficiencia_en_el_control_de_nematodos.pdf Leído el 10 de diciembre de 2006.

Comas, L. H., D. M. Eissenstat and A. N. Lakso. 2000. Assessing root death and root system dynamics in a study of grape canopy pruning. *New Phytologist* 147: 171-178.

- Davies, W. J. and J. Zhang. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Plant Physiol.* 42: 55-76.
- Feil, H., B. Westerdahl, R. Smith and P. Verdegaal. 1997. Effects of seasonal and site factors on *Xiphinema index* populations in two California vineyards. *Journal of Nematology* 29 (4): 491-500.
- Freeman, B. M. and R. E. Smart. 1976. Research note: A root observation laboratory for studies with grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 27: 36-39.
- Glenn, D. M. 2000. Physiological effects of incomplete rootzone wetting on plant growth and their implications for irrigations management. *HortScience* 35: 1041-1043.
- González, H. 1993. Nematodos vectores de enfermedades virosas. *IPA La Platina* 77: 18-21.
- Honorato, R., H. Silva y C. Bonomelli. 1988. Efecto del suelo en el patrón de enraizamiento y productividad de la vid. *Ciencia e Investigación Agraria* 15 (3): 159-171.
- Honorato, R., H. Silva y C. Bonomelli. 1990. Productividad de parronales de la Región Metropolitana y sus relaciones edáficas. *Ciencia e Investigación Agraria* 17 (3): 133-143.
- Ibacache, A. y A. Lobato. 1995. Periodos de crecimiento de raíces en vid. *Revista Frutícola* 16 (1): 23-26.
- McKenry, M. 1984. Grape root phenology relative to control of parasitic nematodes. *Am. J. Enol. Vitic.* 35 (4): 206-211.
- Morano, L. and M. Kliwer. 1994. Root distribution of three grapevine rootstocks grafted to Cabernet Sauvignon grown on a very gravely clay loam soil in Oakville, California. *Am. J. Enol. Vitic.* 45: 345-348.
- Morlat, R. and A. Jacquet. 1993. The soil effects on the grapevine root system in several vineyards of the Loire valley (France). *Vitis* 32: 35-42.
- Mullins, M. G., A. Bouquet and L. E. Williams. 1992. *Biology of the grapevine.* Cambridge University Press. Cambridge. 237 p.
- Nagarajah. S. 1987. Effects of soil texture on the rooting patterns of Thompson Seedless vines on own roots and on Ramsey root-stock in irrigated vineyards. *Am. J. Enol. Vitic.* 38 (1): 54-59.
- Nappi, P., R. Jodice, A. Luzzati and L. Corino. 1985. Grapevine root system and VA mycorrhize in some soils of Piedmont (Italy). *Plant and Soil* 85: 205-210.

- Novoa R., S. Villaseca, P. Del Canto, J. L. Rouanet, C. Sierra y A. Del pozo. 1989. Mapa agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. Santiago. Chile. 221 p.
- Perry. R. L., S. D. Lyda and H. Bowen. 1983. Root distribution in four *Vitis* cultivars. *Plant and Soil* 71: 63-74.
- Richards, D. 1983. The grape root system. *Horticultural Reviews*. 5: 127-168.
- Ruiz, R. 2000. Dinámica nutricional en cinco parrones de diferente productividad del valle central regado de Chile. *Agricultura Técnica* 60 (4): 379-398.
- Ruiz, R., G. Selles y R. Ahumada. 2007. Aspectos físicos del suelo y calidad de fruta en parronales de uva de mesa. pp. 101-114. *In: Muñoz, I., M. González y G. Sellés. (Eds.). Manejo de Suelo y Riego en Vides para Vino y Mesa. Serie Actas 39. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Santiago, Chile. 196 p.*
- Sellés, G., R. Ferreyra, G. Contreras, R. Ahumada, J. Valenzuela y R. Bravo. 2003. Manejo de riego por goteo en uva de mesa cv. Thompson Seedless cultivada en suelos de textura fina. *Agricultura Técnica* 63 (2): 180-192.
- Sellés, G. y R. Ferreyra. 2007. Criterios para controlar el riego en uva de mesa. pp. 15-58. *In: Muñoz, I., M. González y G. Sellés. (Eds.). Manejo de Suelo y Riego en Vides para Vino y Mesa. Serie Actas 39. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Santiago, Chile. 196 p.*
- Schulze, E. D. 1983. Root-shoot interactions and plant life forms. *Neth. J. Agr. Sci.* 31: 291-303.
- Silva, H., R. Honorato y C. Bonomelli. 1991. Crecimiento radical y desarrollo de la vid variedad Thompson Seedless. *Aconex* 34:14-21.
- Smart, D. R., E. Schwass, A. Lakso and L. Morano. 2006. Grapevine rooting patterns: A comprehensive analysis and a review. *Am. J. Enol. Vitic.* 57 (1): 89-104.
- Van Huyssteen, L. 1988. Grapevine root growth in response to soil tillage and root pruning practices. pp. 44-56. *In: Van Zyl, J. L. (Ed.). The grapevine root and its environment. Department of Agriculture and Water supply, Pretoria, South Africa. 146 p.*
- Van Noordwijk, M. and P. De Willigen. 1987. Agricultural concept of root: from morphogenetic to functional equilibrium between root and shoot growth. *Neth. J. Agr. Sci.* 35: 487-496.
- Van Zyl, J. L. 1988. Response of grapevine to soil water regimes and irrigation systems. pp. 30-43. *In: Van Zyl, J. L. (Ed.). The grapevine root and its environment. Department of Agriculture and Water supply, Pretoria, South Africa. 146 p.*

Weller, F. 1967. Vergleichende Untersuchungen über die Wurzelverteilung von Obstbäumen in verschiedenen Böden des Neckarlandes. Arb. Hochschule Hohenheim 31. 181 p.

Werger, M.O. 1983. Functional equilibrium between shoots and roots. Introduction to the theme. Neth. J. Agr. Sci. 31: 287-289.

Williams, L. E. and R. J. Smith. 1991. The effect of rootstock on the partitioning of dry weight, nitrogen and potassium, and root distribution of Cabernet Sauvignon grapevines. Am. J. Enol. Vitic. 42 (2): 118-122.

APÉNDICE I



Figura 1. Ubicación de la calicata frontal y lateral en torno a la planta.

APÉNDICE II



Figura 1. Planta de alto potencial productivo.



Figura 2. Planta de bajo potencial productivo.