

# CRECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE RAÍCES Y SU RELACIÓN CON EL POTENCIAL PRODUCTIVO DE PARRALES DE VIDES DE MESA

## GROWTH AND DISTRIBUTION OF ROOTS AND ITS RELATIONSHIP WITH THE PRODUCTION POTENTIAL OF TABLE GRAPES

Rodrigo Callejas-Rodríguez\*, Eduardo Rojo-Torres, Carlos Benavidez-Zabala, Erika Kania-Kuhl

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Casilla 1004, Santiago, Chile.  
(rcallejas@uchile.cl).

### RESUMEN

Conocer el crecimiento de las raíces es un aspecto fundamental para evaluar el comportamiento de un huerto frutal al comprender el patrón de desarrollo de la parte aérea incluyendo el rendimiento y calidad de la fruta. Durante 2006-2007 se trabajó en parrales ubicado en la localidad de La Junta (28° 3' 3" S, 69° 57' 37.8" O; 1218 m altitud), Región de Atacama, Chile, separadamente en dos tipos de suelo, textura media y gruesa. Se seleccionaron ocho plantas de Thompson Seedless, autoenraizadas, de 20 años de edad, separadas en cuatro ejemplares de alto potencial productivo y cuatro de bajo potencial productivo. Para cada sitio el diseño fue completamente al azar con dos tratamientos (alto y bajo potencial productivo), con cuatro repeticiones por tratamiento, siendo la unidad experimental la planta. En cada sitio experimental se excavó una calicata frontal (perpendicular a la hilera de plantación) y se realizó un mapeo detallado, basado en la ubicación y categoría de diámetro, de todas las raíces presentes en el perfil del suelo. Se determinó que en suelos de textura media, y debido a la alta frecuencia y tiempo de riego (15 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> al año), las raíces funcionales de vid se ubican preferentemente alejadas de la zona de saturación del bulbo de riego, evitando probables eventos de hipoxia y anoxia. En suelos de textura gruesa las raíces finas se localizan uniformemente distribuidas en el perfil; además plantas de vid de mayor potencial productivo están relacionadas con una mayor cantidad de raíces.

**Palabras clave:** Thompson Seedless, sistema radical, uva de mesa, *Vitis vinifera*.

### ABSTRACT

Knowing the root growth is a fundamental aspect to evaluate the performance of a fruit orchard by understanding the development pattern of the aboveground growth including yield and fruit quality. During 2006-2007 research was carried out in the vineyards of the locality of La Junta (28° 3' 3" S, 69° 57' 37.8" W, 1218 m altitude), Atacama Region, Chile, separately in two soil types, medium and coarse texture. Eight Thompson Seedless plants were selected, self-rooted, 20 years old, divided into four highly productive individuals and four of low production potential. For each site, the design was completely randomized with two treatments (high and low productive potential), with four replications per treatment, being the experimental unit the plant. On each experimental site a frontal pit was excavated (perpendicular to the vine row) and performed a detailed mapping, based on location and category in diameter of all roots present in the soil profile. It was found that in medium-textured soils, and due to the high frequency and time of irrigation (15 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year), functional roots of vines are located preferably away from the zone of saturation of the wetted area, avoiding probably events of hypoxia and anoxia. In coarse-textured soils fine roots are found evenly distributed in the profile; in addition, vines of more productive potential are associated with a higher number of roots.

**Key words:** Thompson Seedless, root system, table grapes, *Vitis vinifera*.

### INTRODUCTION

The economic viability of grapevines of table grape in Chile is based on high yields and fruit quality for export, which must be maintained in good condition from 20 to 45 d in storage. For such reasons in the Atacama Region

---

\*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: febrero, 2011. Aprobado: diciembre, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 46: 23-35. 2012.

## INTRODUCCIÓN

La viabilidad económica de parrales de uva de mesa en Chile se basa en los altos rendimientos y calidad de la fruta para exportación, la que debe mantenerse en buenas condiciones entre 20 a 45 d en almacenaje. Por tales razones en la Región de Atacama (Chile), una zona desértica, se requieren plantas sanas y de máximo potencial productivo dada la alta radiación incidente, presencia de suelos poco fértiles, salinos o salinos sódicos, toxicidad específica, menor disponibilidad de agua de riego, y menos días entre el inicio de la brotación y cosecha. Sin embargo, los estudios son escasos debido principalmente a las dificultades prácticas y metodológicas de las investigaciones relacionadas con la raíz. Así, el potencial productivo de las vides se ha relacionado con el desarrollo de la parte aérea de la planta, sin estudiar el comportamiento general de las raíces de la vid (Honorato *et al.*, 1990; Callejas *et al.*, 2010).

Al respecto, 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. Según Ruiz (2000), la calidad del sistema radical define en gran medida el desarrollo y vigor de las vides, así como los niveles productivos de los huertos (Ruiz, 2000; Sellés *et al.*, 2003; Ruiz *et al.*, 2007).

Hay diferentes criterios para caracterizar las raíces de la vid según su diámetro, generando variadas categorías: raíces <1; 1-2; 2-5; 5-10; 10-20 y 20-30 mm (Perry *et al.*, 1983); raíces <0.5; 0.5-2; 2-5 y >5 mm (Van Zyl, 1988); raíces <2; 2-5; 5-12 y >12 mm (Williams y Smith, 1991); raíces <1; 1-2 y >2 mm (Morlat y Jacquet, 1993); raíces <2; 2-5; 5-12 y >12 mm (Morano y Kliever, 1994); y raíces <1.6; 1.6-3.2 y >3.2 mm (Araujo *et al.*, 1995), determinando desde el punto de vista de la funcionalidad que las raíces de vid más importantes son aquellas de menor diámetro y de color blanco (Mullins *et al.*, 1992; Sellés *et al.*, 2003; Ruiz *et al.*, 2007), comúnmente denominadas activas.

En suelos de diferente origen y estructura, la mayor parte de las raíces de la vid se localizan en el primer metro de profundidad (Richards, 1983; Hsiao, 2000; Callejas *et al.*, 2010), concentrándose en la parte superior las raíces laterales finas, conformando el área absorbente más importante de la planta. Nagarajah (1987) y Morlat y Jacquet (1993) afirman

(Chile), a desert area, healthy plants with full productive potential are required given the high incident radiation, the presence of infertile, saline or saline-sodic soils, specific toxicities, reduced availability of irrigation water, and fewer days between the start of budding and harvest. However, the studies are scarce, mainly due to practical and methodological difficulties of research related to the root. Thus, the productive potential of the vines has been related to the aboveground development of the plant, without studying the general behavior of the roots of the vine (Honorato *et al.*, 1990; Callejas *et al.*, 2010).

In this regard, Richards (1983) mentions that there is a close relationship between the aboveground growth and the root system activity of the vine plant. According to Ruiz (2000), the quality of the root system largely defines the development and vigor of the vines, as well as the production levels of the orchards (Ruiz, 2000; Sellés *et al.*, 2003; Ruiz *et al.*, 2007).

There are different criteria to characterize the roots of the vine as their diameter, generating various categories: roots <1; 1-2, 2-5, 5-10, 10-20 and 20-30 mm (Perry *et al.*, 1983); roots <0.5; 0.5-2; 2-5 and 5> mm (Van Zyl, 1988); roots <2; 2-5; 5-12 and >2 mm (Williams and Smith, 1991); roots <1; 1-2 and >2 mm (Morlat and Jacquet, 1993); roots <2; 2-5; 5-12 and >12 mm (Morano and Kliever, 1994); and roots <1.6; 1.6-3.2 and 3.2 mm (Araujo *et al.*, 1995), determining from the point of view of functionality that the most important vine roots are those of small diameter and white color (Mullins *et al.*, 1992; Sellés *et al.*, 2003; Ruiz *et al.*, 2007), commonly called active.

In soils of different origin and structure, most of the roots of vines are located in the first meter of depth (Richards, 1983; Hsiao, 2000; Callejas *et al.*, 2010), focusing on the top the fine lateral roots, forming the most important absorber area of the plant. Nagarajah (1987) and Morlat and Jacquet (1993) claim that the distribution of roots in the vines depends on soil conditions, adding Bassoi *et al.* (2003) other factors such as the irrigation system, plant age, and the rootstock, which may explain the differences in the distribution in the soil profile as shown by Araujo *et al.* (1995) 0-100 cm, Morano and Kliever (1994) 0-120 cm, and Williams and Smith (1991) 0-240 cm deep.

que la distribución de las raíces en las vides depende de las condiciones edáficas, agregando Bassoi *et al.* (2003) otros factores como el sistema de riego, edad de la planta y el portainjerto, lo que explicaría las diferencias en la distribución en el perfil de suelo tal como lo indican Araujo *et al.* (1995) 0-100 cm, Morano y Kliewer (1994) 0-120 cm, y Williams y Smith (1991) 0-240 cm de profundidad.

Dependiendo de la edad de las vides, las raíces estructurales varían en diámetro de 6 a 100 mm, generándose de ellas pequeñas raíces permanentes con un diámetro entre 2 a 6 mm que crecen horizontal y 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. Mullins *et al.* (1992) indican que las raicillas que derivan de raíces menores a 2 mm de diámetro son las más importantes en términos de la absorción de agua y nutrientes. En este sentido, Comas *et al.* (2000) analizaron raíces de vid menores a 0.6 mm y señalan que son muy sensibles y que su actividad metabólica decrece a medida que aumenta su pigmentación en el tiempo.

Según Sellés y Ferreyra (2007) y Callejas *et al.* (2010), el desarrollo del sistema radical de las plantas está directamente afectado por las condiciones de humedad, aireación, temperatura y la resistencia mecánica en los suelos. Así, los sistemas de riego pueden afectar la distribución de las raíces, localizándose principalmente dentro del volumen húmedo bajo los goteros (Bresler, 1977; Van Zyl, 1988). El buen manejo de los factores productivos impactará directamente en la calidad del sistema radical y con ello el potencial productivo de las plantas (Davies y Zhang, 1991; Glenn, 2000; Ruiz *et al.*, 2007).

Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento, distribución de raíces y su diámetro en relación con el potencial productivo de parrales de vides de mesa, en dos suelos característicos de la región árida del desierto de Atacama, Chile.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar del estudio y condiciones experimentales

El estudio se efectuó en la localidad de La Junta (28° 3' 3" S, 69° 57' 37.8" O; 1,218 m de altitud) a 100 km de la ciudad de Copiapó, Región de Atacama, Chile, desde marzo de 2006

Dependiendo on the age of the vines, the structural roots vary in diameter of 6 to 100 mm, generating from them small permanent roots with a diameter ranging from 2 to 6 mm, which grow horizontally and vertically. These roots extend and branch into a few roots of average size, usually 1 to 2 mm in diameter and rapid growth. Mullins *et al.* (1992) point out that the rootlets that are derived from roots less than 2 mm in diameter are the most important in terms of absorption of water and nutrients. In this sense, Comas *et al.* (2000) analyzed vine roots smaller than 0.6 mm and point out that they are very sensitive and that their metabolic activity decreases as their pigmentation increases over time.

According to Selles and Ferreyra (2007) and Callejas *et al.* (2010), the development of the root system of plants is directly affected by the conditions of moisture, aeration, temperature and mechanical resistance in soils. Thus, irrigation systems can affect the distribution of the roots, located primarily in the wet volume under the drippers (Bresler, 1977; Van Zyl, 1988). Good management of productive factors will directly impact on the quality of the root system and thus the productive potential of plants (Davies and Zhang, 1991; Glenn, 2000; Ruiz *et al.*, 2007).

Therefore, the aim of this study was to evaluate the growth, distribution of roots and their diameter in relation to the productive potential of vineyards of table vines in two soils typical of the arid region of the Atacama Desert, Chile.

## MATERIALS AND METHODS

### Study site and experimental conditions

The study was conducted in the town of La Junta (28° 3' 3" S, 69° 57' 37.8" W, and 1218 m above sea level) 100 km from Copiapó city, Atacama Region, Chile, from March 2006 to June 2007. The climatic grouping for the site corresponds to Desert Highland, with an average annual precipitation of 27 mm (Novoa *et al.*, 1989). Self-rooted plants of the variety Thompson Seedless were used, 20 years of age, same production management, conducted in a Spanish grapevine system, with a planting spacing of 3.5×3.5 m, nutrition by fertigation and irrigated with a line of drippers of 4 L h<sup>-1</sup>, on ridges, occupying a water volume of 15 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a year. Plants sprouted in the first days of August, flowering in mid-September, the harvest took place on December 15 and pruning on May 15. The study was conducted separately in two sites corresponding to textured

a junio de 2007. La agrupación climática para la zona corresponde a Desértico de Altura y precipitación anual promedio de 27 mm (Novoa *et al.*, 1989). Se usaron plantas autoenraizadas 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 3.5×3.5 m, nutrición mediante fertirrigación y regadas con una línea de goteros de 4 L h<sup>-1</sup>, sobre camellones, ocupando un volumen de agua de 15 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> al año. Las plantas brotan en los primeros días de agosto, florecen a mediados de septiembre, la cosecha se realizó el 15 de diciembre y la poda el 15 de mayo. El estudio se realizó por separado en dos sitios correspondientes a suelos con textura muy frecuente en suelos aluviales estratificados de la Región de Atacama.

#### Sitio 1

Suelo de textura media, de origen aluvial, profundo, de textura franca hasta los 95 cm (26 % arcilla, 44 % limo, 30 % arena, 2,1 % materia orgánica y 0,98 dS m<sup>-1</sup>) con incorporación variable de materia orgánica en los primeros 15 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.

#### Sitio 2

Suelo de textura gruesa, de origen aluvial, con una estrata superficial de textura franca hasta los 25 cm con incorporación variable de materia orgánica en los primeros 15 cm. Separado por un límite lineal abrupto, descansa sobre un 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 35 % del volumen de suelo, piedras redondeadas (25-40 cm) en profundidad, topografía plana, bien drenado y permeable.

En cada sitio y de acuerdo con su producción y crecimiento vegetativo, se conformaron dos grupos de plantas catalogadas como de alto y bajo potencial productivo, libre de plagas y enfermedades. Para cada caso se evaluó el peso de poda (peso fresco), usando una balanza digital de colgar (Extech, modelo 160394, EE.UU.), la producción total por planta usando una balanza digital de sobremesa (Mettler-Toledo, modelo PBA330A6, España), contándose el número de racimos y de yemas por planta y el diámetro de cargadores. Además, se midió el perímetro de tronco a una altura de 40 cm (con una cinta plástica graduada en cm) y se determinó el área de sección

soils very common in stratified alluvial soils of the Atacama Region.

#### Site 1

Medium textured soil, alluvial, deep, and loamy to 95 cm (26 % clay, 44 % silt, 30 % sand, 2.1 % organic matter and 0.98 dS m<sup>-1</sup>) with variable integration of organic matter in the first 15 cm and variable content of gravel (2-3 mm). It is separated by a sharp linear boundary, rests on a loose substrate of sandy matrix of simple grain with abundant gravel and gravel pebbles, presence of rounded stones (25-40 cm) by 20 % of the volume of soil, gently sloping topography with 2 % of slope.

#### Site 2

Coarse-textured soil of alluvial origin, with a loamy surface layer to 25 cm with variable incorporation of organic matter in the first 15 cm. Separated by a sharp linear boundary, rests on a coarse textured substrate and stony, composed of a sandy matrix of single grain, loose, with variable content of gravel (2-5 mm), gravel pebbles (10-20 cm) in 35 % volume of soil, rounded stones (25-40 cm) in depth, flat topography, well drained and permeable.

At each site and according to their production and vegetative growth, two groups were formed of plants classified as high and low production potential, free from pests and diseases. For each case the weight of pruning (fresh weight) was evaluated using a digital scale (Extech, Model 160 394, USA), the total yield per plant using a digital desktop scale (Mettler-Toledo, Model PBA330A6, Spain), counting the number of clusters and buds per plant and diameter of chargers. In addition, the trunk perimeter was measured at a height of 40 cm (with a plastic tape graduated in cm) and determined the trunk cross-sectional area (TCSA), approximating it to the area of the circumference ( $\pi \times r^2$ ).

For site 1 it is estimated that the differences in the type of plants are due to their response to inadequate irrigation criteria (excess water) and at site 2, coarse texture, and poor estimation of fertilization efficiency. Both explanations must be corroborated by another investigation, especially because it is a characteristic of the region, in the sense of finding disparity in the growth of vines grown from the same site.

#### Evaluation of roots in the soil profile

For each experimental unit orthogonal (pits) were made, located at a distance of 0.6 m from the trunk, perpendicular to the plantation row, with a dimension of excavation 2 m long

transversal de tronco (ASTT), aproximándola al área de la circunferencia ( $\pi \times r^2$ ).

Para el sitio 1 se considera que las diferencias en el tipo de plantas se deben a su respuesta frente a inadecuados criterios de riego (exceso de agua) y en el sitio 2, de textura gruesa, a una mala estimación de eficiencia de fertilización. Ambas explicaciones deben ser corroboradas con otra investigación, sobre todo porque es una característica de la región en el sentido de encontrar disparidad en el crecimiento de las vides de un mismo sitio.

#### Evaluación de las raíces en el perfil de suelo

Para cada unidad experimental se realizaron ortogonales (calicatas), situados a una distancia de 0.6 m desde el tronco, perpendicular a la hilera de plantación, con una dimensión de excavación de 2 m de largo (centrada frente al tronco de la planta) por 0.8 m de ancho y una profundidad de 1.8 m, considerando el camellón de 0.2 m de alto. Las evaluaciones se realizaron en mayo (otoño) de acuerdo con el método del perfil (Böhm, 1979), utilizando una malla con cuadrículas de 0.2×0.2 m, puesta sobre el perfil en el que previamente se removió una delgada capa de suelo adicional para exponer las raíces, registrando en cada cuadrícula la ubicación y número de raíces según su tamaño, usando un pie de metro, de acuerdo con una de las cuatro siguientes categorías de diámetro (Van Zyl, 1988): raíces menores que 0.5 mm (finas), raíces entre 0.5 y 2 mm (delgadas), raíces entre 2 y 5 mm (medias), raíces mayores que 5 mm (gruesas) y se calculó el índice de enraizamiento (IE):

$$IE = \{(\text{raíces} < 0.5 \text{ mm} + \text{raíces } 0.5\text{-}2 \text{ mm}) / (\text{raíces } 2\text{-}5 \text{ mm} + \text{raíces } > 5 \text{ mm})\}$$

#### Análisis estadístico

La información se agrupó en secciones de área (ancho×profundidad) del perfil, considerando dos anchos de calicata (1.2 y 1.6 m) y cuatro intervalos de profundidad (0.4, 0.8, 1.2 y 1.6 m). El ensayo y para cada tipo de suelo por separado se realizó con un diseño completamente al azar con dos tratamientos (alto y bajo potencial productivo) y cuatro repeticiones por tratamiento. La unidad experimental correspondió a la planta. Las medias de dos muestras se compararon con la prueba t de Student ( $p \leq 0.05$ ). Se realizó análisis de correlación para determinar las asociaciones entre los indicadores de desarrollo del sistema radical y los parámetros de potencial productivo. El registro de los datos y el análisis estadístico se realizó con Microsoft® Excel 2000 (Microsoft Corporation, Washington, EE.UU.) y el programa STATGRAPHICS® Centurion XV Demo (StatPoint, Inc., Northern Virginia, EE.UU.).

(centered against the trunk of the plant) by 0.8 m wide and a depth of 1.8 m, considering the ridge of 0.2 m high. Evaluations were conducted in May (autumn) in accordance with the profile method (Böhm, 1979), using a grid mesh of 0.2×0.2 m, placed on the profile in which a thin layer of additional soil was previously removed to expose roots, recording in each grid the location and number of roots according to their size, using one foot of meter, according to one of the following four diameter classes (Van Zyl, 1988): roots less than 0.5 mm (fine), roots from 0.5 to 2 mm (thin), roots from 2 to 5 mm (middle), roots larger than 5 mm (thick) and the rooting index (RI) was calculated:

$$IE = \{(\text{roots} < 0.5 \text{ mm} + \text{roots } 0.5\text{-}2 \text{ mm}) / (\text{roots } 2\text{-}5 \text{ mm} + \text{roots } > 5 \text{ mm})\}$$

#### Statistical analysis

The information was grouped in sections of area (width×depth) of the profile, considering two widths of test pits (1.2 and 1.6 m) and four depth intervals (0.4, 0.8, 1.2 and 1.6 m). The trial, and for each type of soil separately, was performed using a completely randomized design with two treatments (high and low productive potential) and four replicates per treatment. The experimental unit corresponded to the plant. The means of two samples were compared using Student's t test ( $p \leq 0.05$ ). Correlation analysis was performed to determine the associations between indicators of the development of root system and the parameters of productive potential. The data recording and statistical analysis was performed using Microsoft® Excel 2000 (Microsoft Corporation, Washington, USA) and the program STATGRAPHICS® Centurion XV Demo (StatPoint, Inc., Northern Virginia, USA).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Productive and vegetative condition of plants

The plants chosen for each type of soil have different productive potentials according to the evaluations of the selected parameters, a fundamental condition to carry out the study (Tables 1 and 2).

### Root growth and distribution

The most productive plants are associated with a greater number of roots, especially of smaller diameter (Tables 3 and 4), which coincides with that indicated by Selles *et al.* (2003) and Ruiz *et al.* (2007) for other edaphic-climatic conditions of Chile.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Condición productiva y vegetativa de las plantas

Las plantas elegidas en cada tipo de suelo presentan distintos potenciales productivos de acuerdo con las evaluaciones de los parámetros seleccionados, condición fundamental para realizar el estudio (Cuadros 1 y 2).

### Crecimiento y distribución de raíces

Las plantas más productivas están asociadas con una mayor cantidad de raíces, especialmente de menor diámetro (Cuadros 3 y 4), lo cual coincide con lo señalado por Sellés *et al.* (2003) y Ruiz *et al.* (2007) para otras condiciones edafoclimáticas de Chile.

Las evaluaciones de las variables productivas (Cuadros 1 y 2), manifiestan la estrecha relación y balance que existe entre la expresión de la parte aérea de las vides y el volumen de sus raíces (Richards,

The evaluations of production variables (Tables 1 and 2) show the close relationship and balance that exists between the aboveground expression of vines and the volume of roots (Richards, 1983; Honorato *et al.*, 1990; Ruiz, 2000). Similarly, the density maps of roots less than 0.5 mm and for both types of soil show that plants with high potential have a greater presence of roots in the soil profile (Figure 1, AM *versus* BM and AG *versus* MG).

In medium-textured soil (Figure 1, AM) it was found an area where the discharge of the drippers showed a minimum density of roots, in contrast to the rest of the profile evaluated that was considered up to 1.6 m deep. This is most evident when compared with the area under dripper of the coarse-textured soil (Figure 1, AG), confirming the reported by Honorato *et al.* (1990) in a medium-textured soil located in a Mediterranean climate in the Central Zone of Chile, and Callejas *et al.* (2010) for the case of the Atacama Desert. This situation would be generated by the frequent water logging on that

**Cuadro 1. Caracterización de plantas de distinto potencial productivo en suelo de textura media.**  
**Table 1. Characterization of plants of different production potential in medium-textured soil.**

Potencial productivo	Producción planta	Peso poda	Número racimos	Número yemas	Diámetro cargador (mm)	ASTT <sup>†</sup> (cm <sup>2</sup> )
	(kg planta <sup>-1</sup> )		(por planta)			
Alto	22.7 a <sup>‡</sup>	13.6 a	41.5 a	198.0 a	7.4 a	90.9 a
Bajo	8.6 b	2.6 b	17.0 b	164.5 b	6.7 b	22.5 b

<sup>†</sup> ASTT: área de sección transversal de tronco. <sup>‡</sup> Letras diferentes en una columna indican diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) <sup>‡</sup> TCSA: trunk cross-sectional area. <sup>‡</sup> Different letters in a column indicate differences statistically significant ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 2. Caracterización de plantas de distinto potencial productivo en suelo de textura gruesa.**  
**Table 2. Characterization of plants of different production potential in coarse-textured soil.**

Potencial productivo	Producción planta	Peso poda	Número racimos	Número yemas	Diámetro cargador (mm)	ASTT <sup>†</sup> (cm <sup>2</sup> )
	(kg planta <sup>-1</sup> )		(por planta)			
Alto	25.5 a <sup>‡</sup>	18.3 a	45.0 a	216.3 a	7.7 a	90.9 a
Bajo	4.1 b	3.8 b	6.8 b	117.3 b	6.4 b	46.9 b

<sup>†</sup> ASTT: área de sección transversal de tronco. <sup>‡</sup> Letras diferentes en una columna indican diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) <sup>‡</sup> TCSA: trunk cross-sectional area. <sup>‡</sup> Different letters in a column indicate differences statistically significant ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 3. Número total y composición porcentual de raíces según su diámetro en plantas de distinto potencial productivo, evaluadas en calicatas de 1.6×1.6 m, en suelo de textura media.****Table 3. Total number and percentage composition of roots by diameter in plants of different production potential, evaluated in test pits of 1.6×1.6 m, in medium-textured soil.**

Potencial productivo	Raíces (%)				Número de raíces totales
	<0.5 mm	0.5-2 mm	2-5 mm	>5 mm	
Alto	66	23	9	2	2009 a <sup>†</sup>
Bajo	56	28	10	6	1225 b

<sup>†</sup> Letras distintas indican diferencias significativas entre plantas de distinto potencial productivo ( $p \leq 0.05$ ) ❖ <sup>†</sup> Different letters indicate significant differences between plants of different production potential ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 4. Número total y composición porcentual de raíces según su diámetro en plantas de distinto potencial productivo, evaluadas en calicatas de 1.6×1.6 m, en suelo de textura gruesa.****Table 4. Total number and percentage composition of roots by diameter in plants of different production potential, evaluated in test pits of 1.6×1.6 m, in coarse-textured soil.**

Potencial productivo	Raíces (%)				Número de raíces totales
	<0.5 mm	0.5-2 mm	2-5 mm	>5 mm	
Alto	80	14	4	2	3255
Bajo	64	22	8	6	788 b

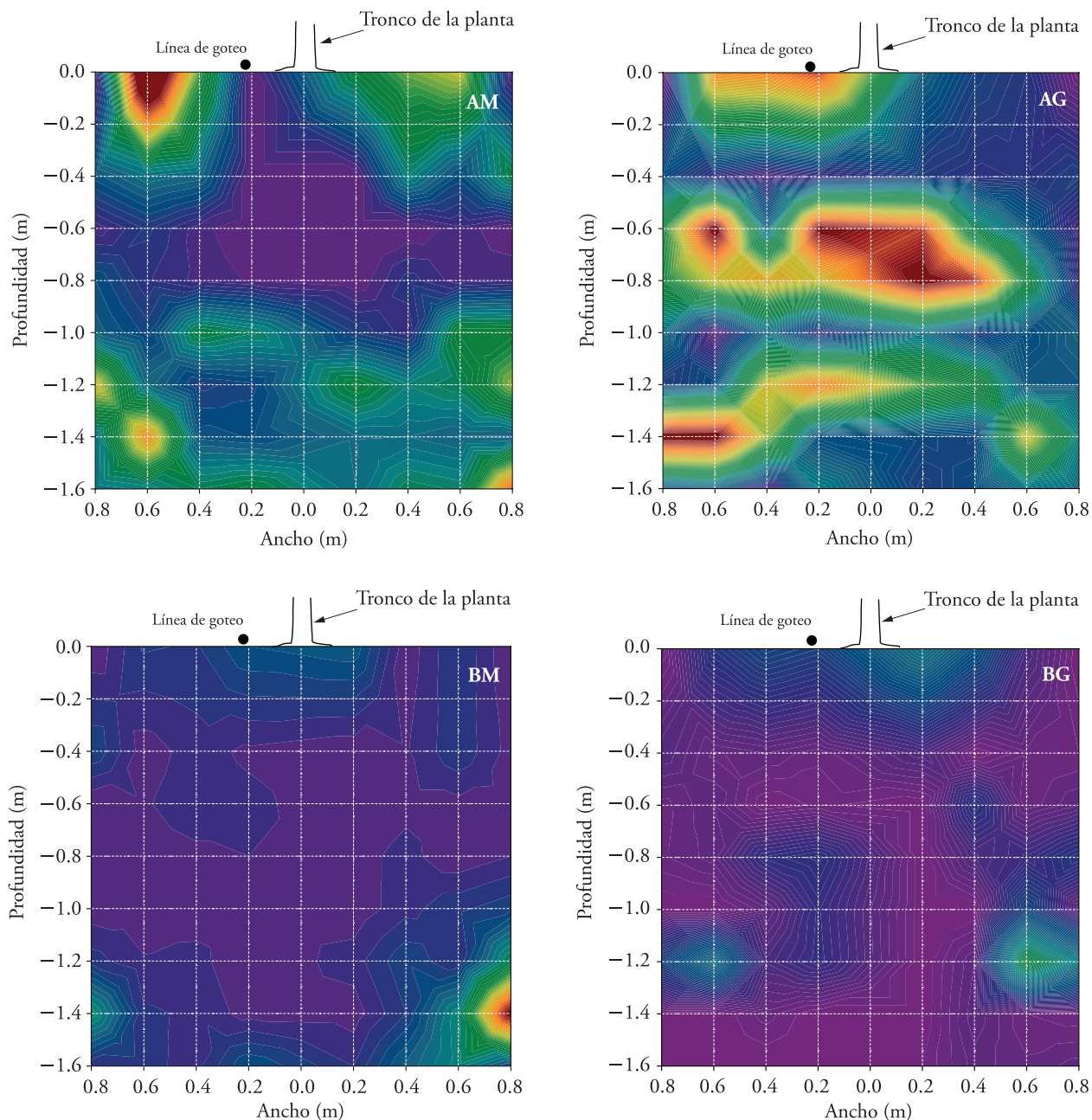
<sup>†</sup> Letras distintas indican diferencias significativas entre plantas de distinto potencial productivo ( $p \leq 0.05$ ) ❖ <sup>†</sup> Different letters indicate significant differences between plants of different production potential ( $p \leq 0.05$ ).

1983; Honorato *et al.*, 1990; Ruiz, 2000). En este mismo sentido, los mapas de densidad de raíces menores a 0.5 mm y para ambos tipos de suelo muestran que las plantas de alto potencial presentan una mayor presencia de raíces en el perfil de suelo (Figura 1, AM *versus* BM y AG *versus* MG).

En el suelo de textura media (Figura 1, AM) se detectó una zona en el punto de descarga de los goteos con una mínima densidad de raíces, en contraste con el resto del perfil evaluado que se consideró hasta los 1.6 m de profundidad. Esto es más evidente si se compara con la zona bajo gotero del suelo de textura gruesa (Figura 1, AG), ratificando lo señalado por Honorato *et al.* (1990) en un suelo de texturas medias ubicado en un clima mediterráneo de la zona Central de Chile, y Callejas *et al.* (2010) para el caso del desierto de Atacama. Esta situación se generaría por la frecuente saturación hídrica de esa parte del perfil en los suelos de texturas medias o finas, debido al

part of the profile in medium or fine textured soils, due to the wrong criteria of irrigation established by farmers to use high frequency and excessive irrigation times, in order to produce with quality water classified as generating water of increasing toxicity ( $0.85 \text{ dS m}^{-1}$ ) and under conditions of high vapor pressure deficit of the desert. This would generate a lower oxygenation in these soils because of their higher water-holding capacity and lower amount of macrospores (Selles and Ferreyra, 2007), causing the death and disappearance of new root growth in this part of the profile. On the contrary (Figure 1 AM), the plant is leading its growth to sections of soil where it finds a better water-air balance.

The high density of roots in the first 0.2 m of the profile could be related additionally to the higher content of organic matter (Morlat and Jacquet, 1993 and in depth given the presence of loose substrate, of single-grained sandy matrix with abundant gravel



**Figura 1. Mapas de densidad de raíces (número de raíces  $\times 400 \text{ cm}^{-2}$ ), de diámetro menor a 0.5 mm en plantas de alto (A) y bajo (B) potencial productivo en suelo de textura gruesa (G) y textura media (M).**  
**Figure 1. Density maps of roots (root number  $\times 400 \text{ cm}^{-2}$ ) having a diameter less than 0.5 mm in plants of high (A) and low (B) production potential in coarse-textured soil (G) and medium texture (M).**

criterio equivocado de riego establecido por los agricultores al utilizar alta frecuencia y excesivos tiempos de riego, con el objetivo de producir con aguas de calidad catalogadas como generadoras de toxicidad en aumento ( $0.85 \text{ dS m}^{-1}$ ) y en condiciones de alto déficit de presión de vapor del desierto. Esto generaría una menor oxigenación en este tipo de suelos

and gravel pebbles, which generates a lower holding-water capacity and better conditions of aeration (Sellés *et al.*, 2003).

Regarding the distribution of the root system in the profile as its size, it was found that thick roots were concentrated markedly between 0.2 and 0.4 m (data not shown), there is a similar trend of distribution



dada su mayor capacidad de retención de humedad y menor cantidad de macroporos (Sellés y Ferreyra, 2007), generando la muerte y desaparición de nuevo crecimiento de raíces en esta parte del perfil. Por el contrario (Figura 1 AM), 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 0.2 m del perfil podría estar relacionada adicionalmente al mayor contenido de materia orgánica (Morlat y Jacquet, 1993) y en profundidad dada la presencia de un sustrato suelto, de matriz arenosa de grano simple con gravas y guijarros abundantes, lo que genera una menor capacidad de retención de agua y mejores condiciones de aireación (Sellés *et al.*, 2003).

Respecto a la distribución del sistema radical en el perfil según su tamaño, se encontró que las raíces gruesas se concentraron marcadamente entre 0.2 y 0.4 m (datos no presentados), con una similar tendencia de distribución de las raíces medianas, pero con más extensión de crecimiento en profundidad. En relación a las raíces delgadas, se observó en el suelo de textura media que las plantas de alto y bajo potencial productivo siguen la tendencia de la categoría anterior; pero, en el suelo de textura gruesa las plantas de alto potencial productivo exhiben una tendencia de distribución distinta, con un particular foco de crecimiento entre 1.2 y 1.4 m de profundidad. Considerando la edad de las plantas, se puede inferir que éstas generan sus raíces estructurales en los primeros centímetros del perfil de suelo y de ellas se desarrolla su crecimiento de extensión y ramificación, coincidiendo con lo señalado por Richards (1983).

Las raíces finas están en cantidad limitada en plantas de bajo potencial productivo, con focos de crecimiento en los primeros 0.2 m y profundidad 1.0-1.2 m en el suelo de textura gruesa y 1.2-1.4 m en suelo de textura media. Además, las plantas de alto potencial productivo en suelo de textura gruesa presentan una cantidad alta de raíces finas en el perfil, contrastando con las plantas de alto potencial en suelo de textura media, que tienen igualmente cantidades altas de raíces menores a 0.5 mm, pero éstas disminuyen a un mínimo entre 0.4 y 0.8 m de profundidad. Desde éstas últimas se desarrollaron las raíces de diámetro menor a 0.5 mm, con un crecimiento mayor en los primeros 0.2 m en algunos puntos en profundidad.

of the medium roots, but with more extension of growth in depth. With regard to the thin roots, it was observed in the medium-textured soils that plants with high and low production potential follow the trend of the previous category; but in coarse-textured soil plants with high production potential exhibits a trend of different distribution, with a particular focus of growth between 1.2 and 1.4 m deep. Considering the age of the plants, it can be inferred that they generate structural roots in the first centimeters of the soil profile and from them develop their extension and branching growth, coinciding with the point made by Richards (1983).

Fine roots are in limited amount in plants of low production potential, with focal growth in the first 0.2 m and 1.0-1.2 m depth in the coarse-textured soil and 1.2-1.4 m in medium-textured soil. In addition, plants of high production potential in coarse-textured soils have a high amount of fine roots in the profile, contrasting with high potential plants in medium-textured soil, which while having equally high amounts of roots less than 0.5 mm, they are reduced to a minimum between 0.4 and 0.8 m deep. From these latter the roots of less than 0.5 mm diameter were developed, with a greater growth in the first 0.2 m at some points in depth.

#### **Root growth and rooting index per section of profile**

With regard to of functionality, the most important vine roots are smaller in diameter and white (Mullins *et al.*, 1992, Selles *et al.*, 2003, Ruiz *et al.*, 2007), commonly referred to as active. Correlation analysis of the indicators of root system development versus pruning weight and yield per plant (Table 5) indicate that the number of roots of diameter less than 0.5 mm, of the diameter less than 2 mm and the total number of roots always show correlation coefficients significantly different from zero for sections of area 1.2×1.2 m and 1.2×1.6 m in both soil types, not emphasizing an indicator on another (Table 5). Therefore, the only quantification of roots of diameter less than 0.5 mm is enough to be an appropriate indicator of the root system development in both types of soil, since the correlation value did not change significantly when added to this category the other categories in diameter, with the advantage of being the indicator of faster determination (Table

**Crecimiento de raíces e índice de enraizamiento por sección de perfil**

En relación con la funcionalidad, las raíces de vid más importantes son las de menor diámetro y de color blanco (Mullins *et al.*, 1992; Sellés *et al.*, 2003; Ruiz *et al.*, 2007), comúnmente denominadas activas. El análisis de correlación de los indicadores de desarrollo del sistema radical *versus* peso de poda y producción por planta (Cuadro 5) indica que el número de raíces de diámetro menor a 0.5 mm, del diámetro menor a 2 mm y el número de raíces totales siempre presentan coeficientes de correlación significativamente diferentes de cero para las secciones de área 1.2×1.2 m y 1.2×1.6 m, en ambos tipos de suelo, no destacando un indicador sobre otro (Cuadro 5). Por tanto, la cuantificación sólo de raíces de diámetro menor a 0.5 mm es suficiente

5). The results between 1.2 and 1.6 m wide of test pit and depths less than 1.2 m are not shown because they are not significant.

Van Zyl (1988) considers that a high rooting index is a reflection of favorable soil conditions that would result in a high proportion of fine roots in relation to thick roots. In this study the rooting index does not shown a better association with the production potential when compared with other proposed indicators of the development of the root system. In this study the rooting index does not present a better association with the production potential when compared with other indicators of root development proposed. The fact of quantifying all the roots present in the profile is a practical disadvantage because of the greater time requirement. In addition, due to their index condition their value is not defined if in the section of sampled area roots of middle (2-5 mm)

**Cuadro 5. Coeficientes de correlación lineal entre número de raíces de diámetro menor a 0.5 mm, menor a 2 mm, raíces totales e índice de enraizamiento para diferentes secciones de área en relación a peso de poda y producción por planta, en dos tipos de suelo.**

**Table 5. Linear correlation coefficients between number of roots of diameter less than 0.5 mm, less than 2 mm, total roots and rooting index for different sections of the area in relation to pruning weight and yield per plant, in two soil types.**

Área perfil <sup>†</sup> (m)	Indicador de desarrollo del sistema radical (raíces por planta)	Coeficiente de correlación lineal de Pearson			
		Suelo de textura media		Suelo de textura gruesa	
		Peso poda	Producción planta	Peso poda	Producción planta
(kg planta <sup>-1</sup> )					
1.2×1.2	Raíces <0.5 mm	0.85**	0.88**	0.76*	0.86**
1.2×1.2	Raíces <2 mm	0.86**	0.86**	0.79*	0.88**
1.2×1.2	Raíces totales	0.87**	0.87**	0.80*	0.89**
1.2×1.2	Índice de enraizamiento	0.80*	0.84**	NS	0.71*
1.2×1.6	Raíces <0.5 mm	0.81*	0.75*	0.87**	0.91**
1.2×1.6	Raíces <2 mm	0.81*	0.75*	0.89**	0.91**
1.2×1.6	Raíces totales	0.79*	0.72*	0.90**	0.92**
1.2×1.6	Índice de enraizamiento	0.87**	0.87**	0.74*	0.79*
1.6×1.2	Raíces <0.5 mm	0.84**	0.89**	NS	0.83*
1.6×1.2	Raíces <2 mm	0.85**	0.87**	0.74*	0.86**
1.6×1.2	Raíces totales	0.86**	0.88**	0.75*	0.87**
1.6×1.2	Índice de enraizamiento	0.79*	0.84**	NS	0.71*
1.6×1.6	Raíces <0.5 mm	0.76*	0.72*	0.83**	0.89**
1.6×1.6	Raíces <2 mm	0.76*	NS	0.85**	0.90**
1.6×1.6	Raíces totales	0.71*	NS	0.86**	0.91**
1.6×1.6	Índice de enraizamiento	0.87**	0.87**	NS	0.79*

\* Significativo (p≤0.05); \*\* Significativo (p≤0.01); NS no significativo. † Ancho×profundidad ❖ \* Significant (p≤0.05); \*\* Significant (p≤0.01); NS not significant. † Width×depth.

para ser un indicador apropiado del desarrollo del sistema radical en ambos tipos de suelo, ya que el valor de correlación no cambió significativamente cuando se agregaron a esta categoría las demás categorías de diámetro, con la ventaja de ser el indicador de más rápida determinación (Cuadro 5). Los resultados entre 1.2 o 1.6 m de ancho de calicata y profundidades menores a 1.2 m no se presentan por no ser significativos.

Van Zyl (1988) considera que un índice de enraizamiento alto refleja condiciones de suelo favorables que resultarían en una proporción alta de raíces finas en relación a raíces gruesas. En este estudio el índice de enraizamiento no presenta una mejor asociación con el potencial productivo si se compara con los otros indicadores de desarrollo del sistema radical propuestos. El hecho de cuantificar todas las raíces presentes en el perfil es una desventaja práctica por el mayor requerimiento de tiempo. Además, 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 uso como un valor comparativo es restringido.

### Crecimiento de raíces y potencial productivo

Hubo una asociación lineal estrecha entre las raíces menores a 0.5 mm y variables indicadoras del potencial productivo, como la producción y el peso de poda de las plantas (Figura 2). La relación calculada entre las raíces menores a 0.5 mm y la producción para los suelos de texturas medias fue  $y=0.0216x+4.7866$ ; para las texturas gruesas,  $y=0.0099x+1.7806$ ; para el peso de poda en las texturas medias,  $y=0.0156x+0.2579$ ; y para las texturas gruesas,  $y=0.0067x+2.152$ . Estos resultados manifiestan, para la producción y para el peso de poda, que una mayor presencia de raíces finas generará un aumento de los dos parámetros anteriores, existiendo, como lo señalan Honorato *et al.* (1990) y Gregory (2006), una relación estrecha entre la condición de la parte aérea y el sistema radical. En este sentido hay que destacar la importancia de todas las labores agrícolas destinadas a generar las mejores condiciones físicas y químicas del suelo para maximizar el desarrollo de las raíces, y así

and thick (>5 mm) categories are not quantified, and a same root index value can represent a number of different roots, so their use as a comparative value is restricted.

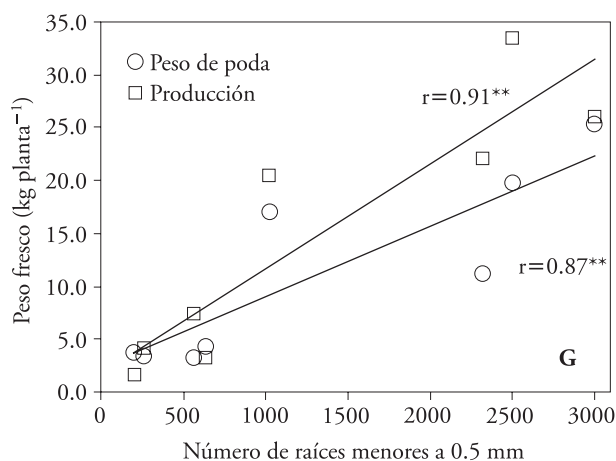
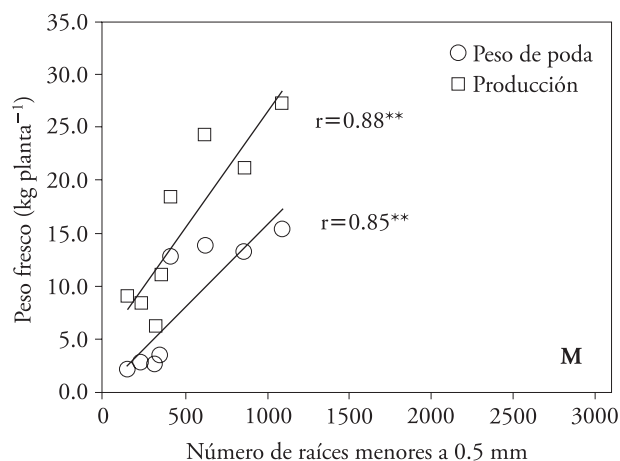
### Root growth and production potential

There was a close linear association between the roots of less than 0.5 mm and indicator variables of the production potential, such as production and pruning weight of plants (Figure 2). The relationship calculated between the roots of less than 0.5 mm and the production for medium textured soils was  $y=0.0216x+4.7866$ ; for coarse textures,  $y=0.0099x+1.7806$ ; for pruning weight in medium textures,  $y=0.0156x+0.2579$ ; and for coarse textures  $y=0.0067x+2.152$ . These results express, both for production and for pruning weight, that a greater presence of fine roots will generate an increase of the two previous parameters, existing, as indicated by Honorato *et al.* (1990) and Gregory (2006), a close relationship between the aboveground condition and the root system. In this sense it has to be highlighted the important role of all agricultural activities aimed at creating the best physical and chemical soil conditions for maximum root development, and thus form a valid and integrated strategy to increase the production potential of vine plants.

### CONCLUSIONS

Under the experimental conditions described it is concluded that the vine plants of greater production potential are related to a larger amount of roots of diameter less than 0.5 mm, less than 2 mm; total roots and rooting index, and the first of them was the best indicator. These indicators of the root system development must be obtained from test pits with a minimum sampling depth of 1.2 m. In medium textured soils, the permanent soil saturation by irrigation water under the drip zone, due to the high frequency and irrigation times, generates a lower density of roots. Finally, it was determined a close association between the roots of less than 0.5 mm and indicator variables of the production potential, such as production and pruning weight of the plants.

—End of English version—



**Figura 2. Relación lineal entre el número de raíces menores a 0.5 mm y el peso de poda y producción por planta (como peso fresco), para calicatas de 1.2×1.2 m en suelo de texturas media (M) y calicatas de 1.2×1.6 m suelo de texturas gruesas (G). (\*\* Significativo,  $p \leq 0.01$ ).**

**Figure 2. Linear relationship between the number of roots less than 0.5 mm and weight of pruning and production per plant (as fresh weight) for test pits of 1.2×1.2 m in medium textured soils (M) and test pits of 1.2×1.6 m in coarse-textured soils (G). (\*\* Significant,  $p \leq 0.01$ ).**

conformar una estrategia válida e integrada para aumentar el potencial productivo de las plantas de vid.

### CONCLUSIONES

De acuerdo con las condiciones experimentales descritas se concluye que las plantas de vid de mayor potencial productivo están relacionadas con una cantidad mayor de raíces de diámetro menor a 0.5 mm; menor a 2 mm; raíces totales e índice de enraizamiento, y la primera de ellas fue el mejor indicador. Estos indicadores de desarrollo del sistema radical deben obtenerse de calicatas con una profundidad de muestreo mínima de 1.2 m. En suelos de texturas medias, la saturación permanente del suelo por el agua de riego bajo la zona de gotero, producto de la alta frecuencia y tiempos de riego, genera una menor densidad de raíces. Finalmente, se determinó una estrecha asociación entre las raíces menores a 0.5 mm y variables indicadoras del potencial productivo, como la producción y el peso de poda de las plantas.

### AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la ayuda prestada por los productores de uva de mesa de los valles de Copiapó y Huasco, Región de

Atacama, Chile, y al Fondo de Innovación Agraria (FIA), proyecto FIA-PI-C-2003-1-A-037.

### 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.
- Basso, 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 Agricola* 60(2): 377-387.
- 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. in Agron.* 29: 343-393.
- Callejas, R., P. Canales, and V. García de Cortázar. 2010. Relationship between root growth of "Thompson Seedless" grapevines and soil temperature. *Chilean J. Agric. Res.* 69 (4): 496-502.
- 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 Phytol.* 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.
- Glenn, D. M. 2000. Physiological effects of incomplete rootzone wetting on plant growth and their implications for irrigations management. *HortScience* 35: 1041-1043.
- Gregory, P. 2006. *Plant Roots: Growth, Activity and Interaction with Soils*. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 318 p.

- 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.
- Hsiao, T. 2000. Leaf and root growth in relation to water status. *HortScience* 35(6): 1051-1058.
- Morano, L., and M. Kliewer. 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. Viticulture* 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. Viticulture* 38(1): 54-59.
- 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. *Horticulture Rev.* 5: 127-168.
- Ruiz, R. 2000. Dinámica nutricional en cinco parrones de diferente productividad del valle central regado de Chile. *Agric. Téc.* 60(4): 379-398.
- Ruiz, R., G. Sellés, y R. Ahumada. 2007. Aspectos físicos del suelo y calidad de fruta en parronales de uva de mesa. *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. pp: 101-114.*
- 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. *Agric. Téc.* 63(2): 180-192.
- Sellés, G., y R. Ferreyra. 2007. Criterios para controlar el riego en uva de mesa. *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. pp: 15-58.*
- Van Huyssteen, L. 1988. Grapevine root growth in response to soil tillage and root pruning practices. *In: Van Zyl, J. L. (ed). The Grapevine Root and its Environment. Department of Agriculture and Water Supply. Pretoria, South Africa. pp: 44-56.*
- Van Zyl, J. L. 1988. Response of grapevine to soil water regimes and irrigation systems. *In: Van Zyl, J. L. (ed). The Grapevine Root and its Environment. Department of Agriculture and Water Supply. Pretoria, South Africa. pp: 30-43.*
- 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. Viticulture* 42(2): 118-122.