

EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A LA SEQUÍA DE UN PORTAINJERTO VENEZOLANO DE VID Y POSIBLES MECANISMOS CONDICIONANTES

DROUGHT TOLERANCE ASSESSMENT OF A VENZUELAN GRAPE ROOTSTOCK AND POSSIBLE CONDITIONING MECHANISMS

Reinaldo Pire¹, Aracelys Pereira¹, Julio Díez² y Elías Fereres³

¹Posgrado de Horticultura. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Apartado 400. Barquisimeto, Venezuela (rjpire@reacciun.ve). ²Universidad de Valladolid, Palencia, España. (jdcasero@pvs.uva.es). ³Universidad de Córdoba, España (ag1fecae@uco.es)

RESUMEN

Los portainjertos tolerantes se usan para conferir a las plantas capacidad de adaptación a condiciones de sequía. El portainjerto de vid Criolla Negra se utiliza en la viticultura de Venezuela aunque no hay información disponible para señalar que posee o puede conferir tolerancia. El objetivo de este trabajo fue comparar el crecimiento vegetativo del portainjerto y de las variedades Chenin blanc y Syrah, plantadas tanto en forma directa como injertadas sobre él, sometidos a diferentes niveles de déficit hídrico. Los cinco tipos de material vegetal resultantes se distribuyeron en tres tratamientos de riego (abundante, moderado y escaso) en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial y 12 repeticiones. El déficit hídrico redujo el potencial hídrico foliar en todos los materiales, a la vez que produjo una disminución ligera de la masa del sistema radical y reducción mayor de la copa ($p \leq 0.05$), en la masa de los brotes y en el área foliar. La masa radical del portainjerto superó notoriamente ($p \leq 0.05$) a la de las variedades, independientemente de que crecieran injertadas o en sus propias raíces. En condiciones de riego abundante las variedades Chenin blanc y Syrah injertadas sobre Criolla Negra mostraron diferencias pequeñas pero significativas del crecimiento con relación a las mismas variedades cultivadas en sus propias raíces. Algunas características del portainjerto que permiten clasificarlo como vigoroso y que podrían ayudar a conferirle tolerancia a la sequía fueron un extenso sistema radical (duplicó a los otros materiales de vid en condición de suelo húmedo y lo triplicó en condiciones de sequía) y mayor eficiencia de uso del agua en condiciones de sequía.

Palabras clave: *Vitis vinifera*, eficiencia de uso del agua, estrés hídrico, relaciones hídricas, riego.

INTRODUCCIÓN

Una forma de determinar la tolerancia a la sequía de los cultivos es evaluar sus respuestas de crecimiento vegetativo ante condiciones de déficit hídrico. Cregg (2004) señala que para comparar

ABSTRACT

Tolerant rootstock is used to confer plants the capacity of adaptation to drought conditions. *Criolla Negra* rootstock is used in viticulture in Venezuela, but there is no information available that indicates whether it possesses or can confer drought tolerance. The objective of this study was to compare vegetative growth of the rootstock with Chenin blanc and Syrah grape varieties, grown on their own roots or grafted onto the rootstock and subjected to different levels of water deficit. The five resulting combinations of plant material were distributed in three irrigation treatments (abundant, moderate and deficient) in a completely randomized design with a factorial arrangement and 12 replications. Water deficit reduced leaf water potential in all of the materials and, at the same time, produced a slight decrease in the mass of the root system and a greater reduction of the shoot ($p \leq 0.05$), in the mass of shoots and in leaf area. The root mass of the rootstock markedly surpassed ($p \leq 0.05$) that of the varieties, regardless of whether they were grafted or grown on their own roots. Under conditions of abundant irrigation, the varieties Chenin blanc and Syrah grafted on Criolla Negra showed small, but significant, differences in growth relative to the same varieties cultivated on their own roots. Some characteristics of the rootstock that made it possible to classify it as vigorous and able to confer drought tolerance were an extensive root system (double that of the other materials in moist soil and triple under drought conditions) and greater water use efficiency under drought conditions.

Key words: *Vitis vinifera*, water use efficiency, water stress, water relationships, irrigation.

INTRODUCTION

One way to determine crop drought tolerance is to evaluate their vegetative growth responses under water deficit conditions. Cregg (2004) states that to compare relative tolerance among different genotypes, the variables to evaluate are potential for survival, growth capacity, and water use efficiency on the basis of morphological and physiological adaptations that might occur in the plant. Agronomically focused on crop productivity, survival potential is less important.

Recibido: Mayo, 2006. Aprobado: Enero, 2007.
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 41: 435-446. 2007.

la tolerancia relativa entre diferentes genotipos, las variables a evaluar son el potencial de supervivencia, la capacidad de crecimiento y la eficiencia en uso del agua con base en las adaptaciones morfológicas y fisiológicas que pudieran ocurrir en la planta. Agronómicamente, y con un enfoque hacia la productividad de los cultivos, el potencial de supervivencia tiene menor importancia. Sin embargo, son relevantes la capacidad de crecimiento y las adaptaciones morfológicas que ocurran en la planta como un mecanismo para tolerar la sequía.

El crecimiento de cada órgano puede ser afectado en forma diferencial por los déficit hídricos como una adaptación morfológica que modifica la eficiencia de uso del agua en las plantas. Por ejemplo, las hojas pueden disminuir su tasa de crecimiento, mientras que en la misma planta las raíces pueden continuar creciendo vigorosamente con el mismo potencial hídrico (Westgate y Boyer, 1985) originando modificaciones morfológicas en su estructura. Esto puede resultar en un incremento relativo de la raíz comparativamente con la copa de la planta (Gales, 1979). En algunos casos hay un mayor crecimiento de la raíz en términos relativos y absolutos (Hsiao, 2000). En tal situación se puede lograr una mejora sustancial de la eficiencia de uso del agua por las plantas (Hsiao y Xu, 2000).

El uso de portainjertos permite conferir a una planta cierta capacidad de adaptación a condiciones de sequía. En esta situación pueden ocurrir cambios en la tasa de crecimiento atribuidos, principalmente, al control que el patrón ejerce sobre el transporte hacia el injerto de sustancias reguladoras del crecimiento (Hartmann *et al.*, 2001). Las modificaciones que pueden ocurrir son diversas. Por ejemplo, en algunos frutales de clima templado se produce un efecto enanizante del portainjerto (Webster, 2004), el cual es aprovechado por los fruticultores para limitar el crecimiento del árbol y facilitar su manejo (Atkinson *et al.*, 2003). En los cítricos cultivados en el trópico es notorio el vigor que le confiere a la copa el uso de determinados patrones (Monteverde *et al.*, 1996), así como los efectos producidos sobre la composición y calidad del fruto (Wagner *et al.*, 1998). En la vid, los patrones pueden causar una depresión transitoria en la producción de biomasa (Giorgessi *et al.*, 1996), pero también pueden mejorar el rendimiento y la calidad del fruto (Keller *et al.*, 2001), o proporcionar tolerancia a estreses ambientales. Tal es el caso de Ramsey, un portainjerto vigoroso que confiere altos rendimientos (Hedberg *et al.* 1986; Smith, 2001) y tolerancia a la sequía (McCarthy *et al.*, 1997). Pero no hay información que permita señalar que el portainjerto Criolla Negra, un híbrido de vid (presumiblemente *V. vinifera* × *V. caribaea*) nativo de Venezuela, posee o puede conferir algún grado de tolerancia a la sequía.

However, growth capacity and morphological adaptations occurring in the plant as drought tolerance mechanisms are relevant.

Growth of each organ can be affected differentially by water deficits as morphological adaptation that modifies the plants' water use efficiency. For example, the leaves may decrease their growth rate, while in the same plant the roots may continue growing vigorously at the same water potential (Westgate and Boyer, 1985) resulting in morphological modifications of its structure. This may result in a relative increase in roots compared with the plant shoot (Gales, 1979). In some cases there is greater root growth in relative and absolute terms (Hsiao, 2000). In this situation, a substantial improvement in water use efficiency can be achieved by the plants (Hsiao and Xu, 2000).

The use of rootstock makes it possible to give plants a certain capacity to adapt to drought conditions. In this situation changes in growth rate may occur; this is attributed mainly to the control that the rootstock exerts on transport of growth regulating substances to the graft (Hartmann *et al.*, 2001). The possible modifications are diverse. For example, in some temperate fruit trees a dwarfing effect is produced by the rootstock (Webster, 2004), which is used by fruit growers to limit tree growth and make management easier (Atkinson *et al.*, 2003). In citrus fruits grown in the tropics, the vigor conferred to the shoot by certain rootstock is notable (Monteverde *et al.*, 1996), as are the effect on fruit composition and quality (Wagner *et al.*, 1998). In grape, the rootstock can cause a temporary depression in the production of biomass (Giorgessi *et al.*, 1996), but it can also improve fruit yield and quality (Keller *et al.*, 2001) or provide tolerance to environmental stress. This is the case of Ramsey, a vigorous rootstock that confers high yields (Hedberg *et al.*, 1986; Smith, 2001) and drought tolerance (McCarthy *et al.*, 1997). But there is no information that identifies Criolla Negra, a grape hybrid (presumably *V. vinifera* × *V. caribaea*) native to Venezuela, as a rootstock that possesses or can confer some drought tolerance.

The objective of this study was to determine the probable capacity of drought tolerance of the rootstock through the evaluation of the magnitude of its vegetative growth, comparing it with two varieties of the species *Vitis vinifera* (Chenin blanc and Syrah), planted directly (own-rooted) or grafted onto it, under conditions of water deficit.

MATERIALS AND METHODS

The test was conducted in the experimental area of the Graduate Horticulture program of the Universidad Centroccidental "Lisandro

El objetivo de este trabajo fue determinar la probable capacidad de tolerancia a la sequía del portainjerto mediante la evaluación de la magnitud de su crecimiento vegetativo comparativamente con dos variedades de la especie *Vitis vinifera* (Chenin blanc y Syrah), plantadas en forma directa (pie franco o en sus propias raíces) o injertadas sobre él, en condiciones de déficit hídrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se hizo en el área experimental del Posgrado de Horticultura de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", en la localidad de Tarabana (10° 02' N; 500 m), Estado Lara, Venezuela. El clima en la zona se caracterizan por una alta insolación durante todo el año con un promedio de 7.3 h diarias, temperatura media 25.1 °C y humedad relativa media 70%. La evapotranspiración potencial es 1640 mm anuales (Pire *et al.*, 1998) y la precipitación 660 mm.

Se usaron plantas del portainjerto de vid Criolla Negra así como de las variedades de uva para vino Chenin blanc y Syrah (*V. vinifera* L.). Estas variedades se evaluaron tanto en forma directa como injertadas, constituyéndose los siguientes cinco tratamientos o tipos de material vegetal: Criolla Negra (CN); Chenin blanc (Ch); Chenin blanc sobre Criolla Negra (Ch/CN); Syrah (Sy) y Syrah sobre Criolla Negra (Sy/CN).

Las plantas se cultivaron en bolsas de polietileno de 5 L colocadas sobre mesones en una estructura de malla que interceptaba 40% de la radiación incidente. Como sustrato se utilizó un suelo constituido principalmente por arena fina cuya superficie se cubrió con una capa de perlitas de poliestireno para reducir al máximo la evaporación directa. Los injertos se realizaron por el método de yemas, y cada planta (una por contenedor) se condujo con uno o dos brotes guiados verticalmente.

Se sometieron las plantas a tres tratamientos de riego: abundante (R1), se aplicó el agua cuando el potencial promedio de humedad en el sustrato alcanzaba valores cercanos a -0.015 MPa registrados con tensiómetros; moderado (R2), se aplicó el agua (hasta saturación) cuando el potencial alcanzaba valores cercanos a -0.08 MPa, es decir, aproximadamente la lectura máxima de los tensiómetros; escaso (R3), se aplicó el agua cuando el potencial de humedad alcanzaba valores de aproximadamente -0.20 MPa. Este punto se obtuvo de la curva de retención de humedad a potenciales altos del sustrato y el peso promedio de los contenedores tomado antes de cada riego. El potencial de humedad del suelo en los tratamientos R1 y R2 se controló usando tensiómetros (SoilMoisture, Jet fill mod. 2725, Santa Barbara, California).

Los tratamientos se aplicaron cuando el brote principal alcanzó 20 a 30 cm de longitud, y se mantuvieron durante seis meses. El riego se aplicó con un sistema de microtubos controlados mediante válvulas de paso. Para uniformar el volumen de agua en la descarga, los microtubos se cortaron a diferente longitud de acuerdo con su ubicación en la línea lateral de alimentación, de manera que la longitud era menor en la medida que se usaban para regar las plantas

Alvarado", at Tarabana (10° 02' N; 500 m), Lara State, Venezuela. The climate is characterized by high insolation during the entire year with an average of 7.3 h daily, mean temperature 25.1 °C and mean relative humidity 70%. Annual potential evapotranspiration is 1640 mm (Pire *et al.*, 1998) and precipitation is 660 mm.

Criolla Negra rootstock and plants of the wine grape varieties Chenin blanc and Syrah (*V. vinifera* L.) were used. These varieties were evaluated both own-rooted and grafted, conforming the following five treatments, or plant materials: Criolla Negra (CN); Chenin blanc (Ch); Chenin blanc grafted onto Criolla Negra (Ch/CN); Syrah (Sy), and Syrah grafted onto Criolla Negra (Sy/CN).

The plants were cultivated in 5 L polyethylene bags placed on tables within a screen structure that intercepted 40% of the incident radiation. As substrate, a soil composed mainly of fine sand was used with a top layer of polystyrene perlite to reduce direct evaporation to a maximum. The grafts were performed by the bud method, and each plant (one per container) was trained with one or two shoots guided vertically.

The plants were subjected to three irrigation treatments: abundant (R1), water (to saturation) was applied when the average water potential in the substrate reached values close to -0.015 MPa recorded by tensiometers; moderate (R2), water applied when water potential reached values close to -0.08 MPa, that is, approximately the highest possible tensiometer reading; scant (R3), water applied when water potential reached values of approximately -0.20 MPa. This point was obtained from the moisture retention curve at high potentials of the substrate and average weight of the containers, which were weighed before each irrigation. Water potential of the soil in treatments R1 and R2 was controlled using tensiometers (SoilMoisture, Jet fill mod. 2725, Santa Barbara, California).

The treatments were applied when the main shoot reached 20 to 30 cm in length and were maintained for six months. Irrigation was applied with a system of microtubing controlled by valves. To uniform flow volume, the microtubes were cut to different lengths depending on their location on the lateral, so that shorter lengths were used to irrigate the plants farthest from the mainline, since there hydrostatic pressure was less.

Once a week (immediately after irrigation) commercial fertilizer was applied manually, using 150 cm³ of Gro-fol (20-9-17% N-P-K plus essential micronutrients) at a dosage of 2.5 g L⁻¹. Once a month, irrigation was applied in excess to leach out salts in the substrate and prevent their accumulation.

The three irrigation treatments were distributed in a factorial arrangement with the five types of plant material resulting in 15 treatments. A completely randomized design with 12 replications (plants) was used for 180 experimental units.

At six months, the plants were extracted from the containers. Previously, leaf water potential was determined using healthy leaves that had recently reached complete development (usually in the sixth to eighth position from the apex), three per treatment, in a pressure chamber (Scholander *et al.*, 1965). Measurements were taken before sunrise.

The assessment of the plant shoot included determination of leaf area and dry mass. Leaf area was determined from the area/mass

más alejadas de la línea principal, donde existía menor presión hidrostática.

Una vez por semana (inmediatamente después de un riego) se aplicó fertilizante en forma manual utilizando 150 cm³ de una solución del producto comercial Gro-fol (20-9-17% N-P-K más micronutrientes esenciales) en dosis de 2.5 g L⁻¹. Una vez al mes se aplicó riego en exceso con el fin de favorecer el lavado y evitar acumulación de sales en el sustrato.

Los tres tratamientos de riego se distribuyeron en un arreglo factorial con los cinco tipos de material vegetal para originar 15 tratamientos. Se usó un diseño completamente al azar con 12 repeticiones (plantas) para 180 unidades experimentales.

A los seis meses las plantas se extrajeron de los contenedores. Previamente se determinó el potencial hídrico foliar usando hojas sanas que habían alcanzado recientemente su desarrollo completo (usualmente en posición 6 a la 8 desde el ápice), tres por tratamiento y utilizando una cámara de presión (Scholander *et al.*, 1965). Las mediciones se realizaron antes del amanecer.

La evaluación de la copa de la planta incluyó la determinación del área foliar y la masa seca. El área foliar se determinó a partir de la relación área/masa. Para esto se extrajeron discos de hoja de diámetro conocido y al relacionar la masa de los discos y la masa total de las hojas, se calculó el área foliar de la planta mediante una relación numérica directa.

En la determinación de la masa seca de las plantas se separó la masa de la copa (ramas y hojas) y la de la raíz. La estaca madre, de la cual se originaron los brotes aéreos y las raíces, fue descartada. Después de cortar los brotes, el contenedor se agitó dentro de un recipiente con agua y las raíces se separaron del sustrato por decantación. Las masas secas se obtuvieron después de secar 24 h el material vegetal en estufa a 80 °C. Se determinó la relación entre la masa seca de las raíces y de la copa para usarla como indicador de la tolerancia a sequía. Asimismo, mediante la relación entre la masa total de la materia seca producida y el volumen total de agua consumida se calculó la eficiencia del uso del agua. El volumen de agua consumida se determinó mediante las diferencias de peso de los contenedores entre dos aplicaciones de riego empleando semanalmente tres plantas representativas por tratamiento.

Para determinar la capacidad de tolerancia a la sequía de cada material vegetal se calculó el nivel de afectación que sufrían las variables de crecimiento vegetativo (área foliar, masa seca de raíz y copa, y relación raíz/copa) y la eficiencia de uso del agua cuando pasaban de una condición de riego suficiente a riego deficiente (Padgett-Johnson *et al.*, 2003). Esto se realizó mediante la relación entre los valores absolutos de cada variable para las condiciones de riego de deficiente/suficiente. El riego deficiente estuvo representado por R3 mientras que para el riego suficiente se utilizó la media aritmética de R1 y R2, dado que produjeron resultados muy semejantes en la mayoría de las variables (sin diferencias estadísticas entre ellos).

Las diferencias entre los distintos regímenes de riego y material vegetal se evaluaron mediante análisis de la varianza y separación de medias con la prueba de Tukey, utilizando el procedimiento GLM (SAS, Cary, N.C. Versión 8.01). Cuando se detectó efecto de

ratio. Discs of a known diameter were cut out of the leaves, and by relating disc mass and total leaf mass, leaf area of the plant was calculated by a direct numerical relationship.

In determining dry mass of the plants, the shoot mass (branches and leaves) was separated from the root. The parent cutting, from which the aerial shoots and roots originated, was discarded. After cutting the shoots, the container was shaken in a recipient with water and the roots were separated from the substrate by decanting. Dry masses were obtained after drying the plant material in an oven at 80 °C for 24 h. The root to shoot dry mass ratio was determined to use it as a drought tolerance indicator. Also, using the relationship between the total mass of dry matter produced and the total volume of water consumed, water use efficiency was calculated. The volume of water consumed was determined by the differences in weight of the containers between two irrigations; three representative plants per treatment were used weekly.

To determine drought tolerance of each of the plant materials, the level of affectation of the vegetative growth variables (leaf area, root and shoot dry mass, and root/shoot ratio) and water use efficiency when moisture conditions changed from sufficient irrigation to reduced irrigation (Padgett-Johnson *et al.*, 2003). This was done by relating the absolute values of each variable for the deficient/sufficient irrigation conditions. Deficient irrigation was represented by R3, while for sufficient irrigation the arithmetic mean of R1 and R2 was used since very similar results were obtained in most of the variables (no statistical differences between them).

The differences between the different irrigation regimes and plant material were evaluated by analyses of variance and Tukey's mean separation test, using the GLM procedure (SAS, Cary, N.C., version 8.01). When an effect of the interactions was detected, the analyses were performed using the LSMEAN test for the interaction, which permitted relevant comparisons for each irrigation treatment and plant material. In the analysis of the root/shoot ratio, the logarithmic transformation was used to uniform variances.

RESULTS AND DISCUSSION

Leaf water potential

Predawn leaf water of all the grapevine materials decreased with the volume of irrigation applied (Figure 1), indicating a clear association between plant response and irrigation treatments. The values for R1 and R2 were very similar, but R3 showed consistently more negative values ($p \leq 0.05$). With R1 and R2, average potential was -0.28 and -0.32 MPa, while for R3 it was -0.57 MPa.

Regarding plant material, very similar values were observed with a small interval of variation in each irrigation treatment. The maximum and minimum values for R1 were -0.25 and -0.31, and for R3 -0.53 and -0.61. Given the dispersion of the values, no significant differences between varieties and rootstock could be detected, nor between grafted and ungrafted conditions.

interacciones, los análisis se realizaron utilizando la prueba LSMean para la interacción, la cual permitió realizar las comparaciones relevantes para cada tratamiento de riego y material vegetal. En el análisis de la relación raíz/copa se usó la transformación logarítmica para homogeneizar las varianzas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potencial hídrico foliar

Todos los materiales de vid mostraron un potencial hídrico foliar antes del amanecer que decreció con el volumen de riego aplicado (Figura 1), denotando una clara asociación entre la respuesta de las plantas y los tratamientos de riego. Los valores para R1 y R2 fueron bastante cercanos, pero R3 mostró siempre valores más negativos ($p \leq 0.05$). Con R1 y R2 el potencial promedio fue -0.28 y -0.32 MPa, mientras que para R3 fue -0.57 MPa.

En relación con el material vegetal se observaron promedios bastante semejantes con un intervalo estrecho de variación en cada tratamiento de riego. Los valores máximo y mínimo para R1 fueron -0.25 y -0.31 y para R3 -0.53 y -0.61 . Dada la dispersión de los valores, no se pudo detectar diferencias significativas entre las variedades y el portainjerto, o entre su condición de injertadas o no. Se observó, sin embargo, que en la condición de riego deficiente (R3) las variedades injertadas tendieron a mostrar potenciales ligeramente superiores a los de las mismas conducidas en forma directa (Figura 1).

En las variables de crecimiento de la copa y las raíces, así como en la eficiencia de uso del agua, se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) tanto para los efectos principales de los tratamientos como para su interacción. Para la relación raíz/copa se detectó efecto del riego pero no del material vegetal.

Crecimiento de la copa

El portainjerto Criolla Negra produjo la mayor área foliar ($p \leq 0.05$) en todos los muestreos, con promedio de 2076.1 cm^2 , planta⁻¹ (Cuadro 1). Esta superioridad se mantuvo aun con el tratamiento de riego escaso (R3), pero en tales condiciones la producción de área foliar disminuyó notoriamente comparada con las plantas bien regadas del portainjerto.

Fue notoria la diferencia entre CN y el resto del material vegetal, así como entre el riego escaso y los otros tratamientos de riego (Cuadro 1). Cuando recibieron abundante riego (R1), las variedades Chenin blanc y Syrah injertadas sobre Criolla Negra superaron ($p \leq 0.05$) a las que crecían en sus propias raíces.

It was observed, however, that under the condition of deficient irrigation (R3) the grafted varieties tended to exhibit potentials slightly superior to those of the same varieties that were not grafted (Figure 1).

In shoot and root growth variables, as well as in water use efficiency, significant differences ($p \leq 0.05$) were detected for both principal effects of the treatments and their interaction. For the root/shoot ratio, an effect of irrigation was detected, but not for plant material.

Shoot growth

Criolla Negra rootstock produced the greatest leaf area ($p \leq 0.05$) in all of the samplings, with an average of 2076.1 cm^2 plant⁻¹ (Table 1). This superiority was maintained even with the deficient irrigation treatment (R3), although under this condition production of leaf area decreased notably compared with the well-irrigated rootstock.

The difference between CN and the rest of the plant material was marked, as was the difference between deficient irrigation and the other irrigation treatments (Table 1). When they received abundant irrigation (R1), the Chenin blanc and Syrah varieties grafted onto Criolla Negra surpassed ($p \leq 0.05$) those grown on their own roots.

Regarding dry mass production of stems and leaves, CN clearly surpassed the other materials ($p \leq 0.05$) regardless of the irrigation treatment (Table 2). On average, it doubled the values of grafted Chenin blanc

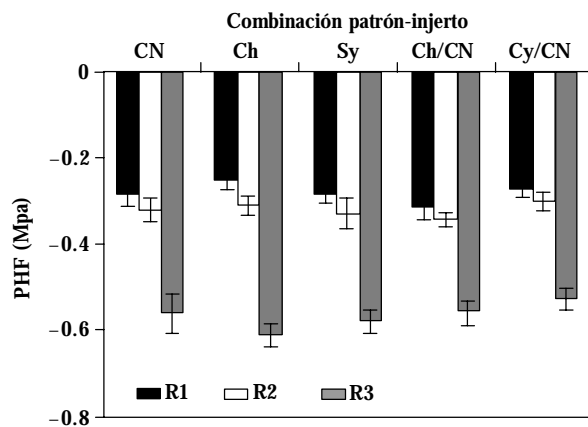


Figura 1. Potencial hídrico foliar (PHF) al amanecer en vides de seis meses de edad en función del riego y el material vegetal. I: error estándar. CN= Criolla Negra; Ch= Chenin; Sy= Syrah; CR/CN= Chenin blanc sobre Criolla Negra; Sy/CN= Syrah sobre Criolla Negra.

Figure 1. Predawn leaf water potential (LWP) in six-month-old grapevines in function of irrigation and plant material. I: standard error. CN= Criolla Negra; Ch= Chenin; Sy= Syrah; CR/CN= Chenin blanc on Criolla Negra; Sy/CN= Syrah on Criolla Negra.

Cuadro 1. Área foliar ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) de vides de seis meses de edad en función del riego y el material vegetal.
Table 1. Leaf area ($\text{cm}^2 \text{ plant}^{-1}$) in six-month-old grapevines in function of irrigation and plant material.

| Riego | Material vegetal | | | | | Promedio |
|----------|------------------|------------|-----------|------------|------------|----------|
| | CN | Ch | Sy | Ch/CN | Sy/CN | |
| R1 | 2540.5 aA | 1871.9 aCD | 1656.7 bD | 2062.9 aBC | 2316.3 aAB | 2089.7 |
| R2 | 2652.0 aA | 2112.6 aB | 2255.5 aB | 2380.1 aAB | 2325.5 aAB | 2345.1 |
| R3 | 1035.9 bA | 852.6 bAB | 771.6 cAB | 801.4 bAB | 655.3 bB | 823.4 |
| Promedio | 2076.1 | 1612.4 | 1561.3 | 1748.1 | 1765.7 | |

Promedios con letras diferentes son estadísticamente diferentes. Letras minúsculas para comparar filas de una misma columna y mayúsculas para columnas de una misma fila ($p \leq 0.05$). MDS= 376.31.

CN= Criolla Negra; Ch= Chenin blanc; Sy= Syrah; Ch/CN= Chenin blanc sobre Criolla Negra; Sy/CN= Syrah sobre Criolla Negra.

En relación con la producción de masa seca de tallos y hojas, el CN superó claramente al resto de los materiales ($p \leq 0.05$) independientemente del tratamiento de riego (Cuadro 2). En promedio, alcanzó a duplicar los valores de Chenin blanc y Syrah injertadas y superó en más de dos veces a estas variedades a pie franco. En forma similar a lo ocurrido con el área foliar, la variedad Chenin blanc injertada superó ($p \leq 0.05$) a las variedades sin injertar en condiciones de riego abundante.

Con riego escaso (R3) las plantas tendieron a reducir la producción de masa seca de la copa. Se destaca que la masa seca promedio del portainjerto sometido a riego escaso alcanzó $21.10 \text{ g planta}^{-1}$ mientras que el mayor promedio para el resto del material vegetal que recibió riego abundante fue $18.34 \text{ g planta}^{-1}$ (Cuadro 2).

Masa seca de las raíces

El portainjerto CN produjo mayor masa seca de raíces ($p \leq 0.05$) que los otros materiales (Cuadro 3), mientras que las variedades injertadas mostraron mayor tendencia de producción de raíces que las conducidas en sus propias raíces. Esto permitirá señalar que el patrón habría conservado parte de su vigor original en

and Syrah and more than doubled these same varieties that were own-rooted. Like the results for leaf area, grafted Chenin blanc surpassed ($p \leq 0.05$) the ungrafted varieties in conditions of abundant irrigation.

With deficient irrigation (R3), the plants tended to decrease shoot dry mass production. It is notable that the average dry mass of the rootstock subjected to deficient irrigation was $21.10 \text{ g plant}^{-1}$, while the highest average for the rest of the plant material that received abundant irrigation was $18.34 \text{ g plant}^{-1}$ (Table 2).

Root dry mass

CN rootstock produced more root dry mass ($p \leq 0.05$) than the other materials (Table 3), while the grafted varieties exhibited a greater tendency to produce roots than those grown on their own roots. This suggests that the rootstock conserved part of its original vigor in root growth, although notably diminished by effect of the graft.

The roots accumulated a greater quantity of dry matter in the measure that they received greater volumes of water. When subjected to deficient irrigation (R3), the Chenin blanc and Syrah varieties cultivated on their own roots were significantly ($p \leq 0.05$) affected, while

Cuadro 2. Masa seca (g planta^{-1}) de los brotes de vides de seis meses de edad en función del riego y el material vegetal.
Table 2. Dry mass (g plant^{-1}) of six-month-old grapevine shoots in function of irrigation and plant material.

| Riego | Material vegetal | | | | | Promedio |
|----------|------------------|-----------|----------|----------|-----------|----------|
| | CN | Ch | Sy | Ch/CN | Sy/CN | |
| R1 | 30.90 aA | 13.04 abC | 11.90 aC | 18.34 aB | 13.42 abC | 17.52 |
| R2 | 29.36 aA | 14.27 aB | 14.88 aB | 16.83 aB | 15.58 aB | 18.18 |
| R3 | 21.10 bA | 9.49 bB | 10.62 aB | 8.08 bB | 9.56 bB | 11.77 |
| Promedio | 27.12 | 12.27 | 12.47 | 14.42 | 12.85 | |

Promedios con letras diferentes son estadísticamente ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas para comparar filas de una misma columna y mayúsculas para columnas de una misma fila. MDS= 4.7455.

CN= Criolla Negra; Ch= Chenin blanc; Sy= Syrah; Ch/CN= Chenin blanc sobre Criolla Negra; Sy/CN= Syrah sobre Criolla Negra.

Cuadro 3. Masa seca (g planta⁻¹) de la raíz de vides de seis meses de edad en función del riego y el material vegetal.
Table 3. Root dry mass (g plant⁻¹) of six-month-old grapevine in function of irrigation and plant material.

| Riego | Material vegetal | | | | | Promedio |
|----------|------------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|
| | CN | Ch | Sy | Ch/CN | Sy/CN | |
| R1 | 30.00 aA | 11.31 abC | 12.75 aC | 17.66 aB | 13.46 aC | 17.04 |
| R2 | 27.60 bA | 12.53 aC | 12.20 aC | 15.72 aB | 11.44 aC | 15.90 |
| R3 | 28.51 abA | 9.61 bC | 9.88 bBC | 10.05 bBC | 12.08 aB | 14.03 |
| Promedio | 28.70 | 11.15 | 11.61 | 14.48 | 12.32 | |

Promedios letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas para comparar filas de una misma columna y mayúsculas para columnas de una misma fila. MDS= 2.2983.
 CN= Criolla Negra; Ch= Chenin blanc; Sy= Syrah; Ch/CN= Chenin blanc sobre Criolla Negra; Sy/CN= Syrah sobre Criolla Negra.

el crecimiento radical, aunque notoriamente disminuido por efecto del injerto.

Las raíces acumularon mayor cantidad de materia seca en la medida en que recibieron mayores volúmenes de agua. Al someterlas a riego deficitario (R3), las variedades Chenin blanc y Syrah cultivadas en sus propias raíces fueron afectadas significativamente ($p \leq 0.05$), mientras que en condiciones de injertación la variedad Syrah no fue afectada, sugiriendo cierta tolerancia a la sequía inducida por el portainjerto CN. Para el portainjerto no se detectaron diferencias entre el riego abundante (R1) y el riego escaso (R3), lo que indica el crecimiento de sus raíces fue poco afectado por el déficit hídrico (Cuadro 3).

Relación raíz /copa

Cuando las plantas fueron sometidas al déficit hídrico la relación raíz/copa aumentó entre 30 y 40% en CN, Ch/CN y Sy/CN (Cuadro 4). El incremento se debió a que el déficit afectó menos al desarrollo de las raíces que al de la copa (Cuadros 2 y 3). Sin embargo, no se detectaron efectos en las variedades sin injertar.

Los valores absolutos de la relación oscilaron alrededor de una media un poco superior a la unidad con un mínimo de 0.85 y un máximo de 1.42. Aparte del

grafted Syrah was not affected, suggesting drought tolerance induced by the CN rootstock. For the rootstock, no significant differences were detected between abundant irrigation (R1) and scant irrigation (R3), indicating that root growth was not greatly affected by water deficit (Table 3).

Root to shoot ratio

When the plants were subjected to water deficit, the root/shoot ratio increased 30 to 40% in CN, Ch/CN and Sy/NC (Table 4). The increase was due to the fact that the deficit affected root development less than it did shoot development (Tables 2 and 3). However, no effects were detected in the ungrafted varieties.

Absolute values of the ratio oscillated around a mean slightly above 1, with a minimum of 0.85 and a maximum of 1.42. Besides the effect of the irrigation treatments, no differences were detected among the plant materials used.

Water deficit, reflected in a decrease in leaf water potential, affected the plants in different ways, although the general trend was toward a decrease in the shoot mass, resulting in an increase in the root/shoot ratio. Likewise there was a strong decrease in leaf area of all of the grapevine materials due, essentially, to a reduction

Cuadro 4. Relación entre la masa de la raíz y la copa en vides de seis meses de edad en función del riego y el material vegetal.
Table 4. Root to shoot ratio of six-month-old grapevines in function of irrigation and plant material.

| Riego | Material vegetal | | | | | Promedio |
|----------|------------------|----------|---------|---------|----------|----------|
| | CN | Ch | Sy | Ch/CN | Sy/CN | |
| R1 | 0.98 bA | 0.89 aA | 1.15 aA | 1.04 bA | 1.12 abA | 1.04 |
| R2 | 0.94 bA | 0.91 aA | 0.88 aA | 0.97 bA | 0.85 bA | 0.90 |
| R3 | 1.36 aAB | 1.19 aAB | 1.02 aB | 1.42 aA | 1.34 aAB | 1.27 |
| Promedio | 1.09 | 1.00 | 1.02 | 1.15 | 1.10 | |

Promedios con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas para comparar filas de una misma columna y mayúsculas para columnas de una misma fila. Transformación de datos según $y = \ln(x + 1)$.
 CN= Criolla Negra; Ch= Chenin blanc; Sy= Syrah; Ch/CN= Chenin blanc sobre Criolla Negra; Sy/CN= Syrah sobre Criolla Negra.

efecto de los tratamientos de riego, no se detectaron diferencias entre el material vegetal utilizado.

El déficit hídrico, reflejado en una disminución del potencial hídrico foliar, afectó a las plantas en diferentes formas aunque la tendencia general fue hacia una disminución moderada de la masa radical y mayor disminución de la masa de la copa, lo cual originó un aumento en la relación raíz/copa. Así mismo, hubo una fuerte disminución del área foliar en todos los materiales de vid, debido esencialmente a la reducción de la tasa de crecimiento y no a pérdida de follaje ya que en ninguno de ellos se noto una caída importante de hojas por efecto del tratamiento de riego escaso. Este tipo de respuestas y adaptaciones morfológicas de las plantas ante la falta de humedad del suelo ha sido documentado por Klepper (1990), Cregg (2004) y Masinde *et al.* (2005). Para el portainjerto Criolla Negra se encontró que el mismo logró mantener casi invariable su masa radical en términos absolutos cuando pasó del tratamiento de riego abundante al de riego escaso. Esta característica, al conjugarse con la disminución del área transpiratoria, puede permitir a la planta mantener un adecuado balance de agua, confiriéndole la posibilidad de aumentar el volumen de suelo explorado y obtener agua de estratos más profundos en condiciones de campo (Hsiao, 2000).

Existió una notoria superioridad en la masa radical del portainjerto sobre el resto de los materiales estudiados para cualquier tratamiento de riego. El valor promedio al menos duplicó al del resto de los materiales. Incluso, en condiciones de riego escaso, la masa radical de CN fue superior a la de cualquiera de los otros materiales que recibían riego abundante, lo cual destaca el alto vigor del portainjerto.

Aunque al final del ensayo se observó una buena exploración de las raíces dentro del sustrato, éstas no habían iniciado el crecimiento en espiral característico de las plantas mantenidas por largo tiempo en espacios confinados. Sin embargo, algunas plantas de CN en condiciones de riego escaso lograron extender sus raíces a través de los orificios de drenaje de los contenedores hasta los de otra planta cercana bien dotada de agua, mostrando el crecimiento vigoroso de sus raíces en condiciones de déficit hídrico. Esta situación ameritó una revisión continua en las plantas del ensayo para corregir tal irregularidad.

El crecimiento encontrado en las raíces refleja sólo el crecimiento inicial de la planta y no necesariamente el crecimiento que ocurriría a largo plazo. Sin embargo, algunos estudios sobre la tasa de crecimiento durante un ciclo de desarrollo de plantas adultas del portainjerto en condiciones de campo (Pire, 1985; Pire y Díez, 2006) indican que el mismo logra mantener un crecimiento vigoroso de sus raíces.

in growth rate and not to a loss of foliage since a major fall of leaves was not observed in any case as an effect of the deficient irrigation treatment. This type of morphological response and adaptation of plants when soil moisture is low has been documented by Klepper (1990), Cregg (2004) and Masinde *et al.* (2005). Criolla Negra rootstock was found to maintain an almost invariable root mass in absolute terms when it passed from abundant irrigation to the deficient irrigation treatment. This characteristic, when combined with a decrease in the transpiration area, can enable the plant to maintain an adequate water balance, giving it the possibility of increasing the volume of soil explored and obtain water from deeper strata in the field (Hsiao, 2000).

Root mass of the rootstock was notably superior to the rest of the materials in all of the irrigation treatments. The average value was at least double that of the other materials. Even under conditions of deficient irrigation, CN root mass was superior to all of the other materials that received abundant irrigation, evidencing outstanding vigor of the rootstock.

Although at the end of the study good exploration of the roots within the substrate was observed, the roots had not begun spiraling growth characteristic of plants kept for a long time in confined spaces. However, some CN plants under deficient irrigation conditions were able to extend their roots through the drain holes of the containers to those of another nearby plant that was well-supplied with water, showing vigorous root growth under conditions of water deficit. This situation required continuous checking of the experiment to correct the irregularity.

The root growth observed reflects only the initial growth of the plant and not necessarily its long-term growth. However, studies on growth rate during an adult rootstock development cycle under field conditions (Pire, 1985; Pire and Díez, 2006) indicate that they are able to maintain vigorous root growth.

The results indicate that in a certain measure the rootstock favored plant growth. Hidalgo (2002) mentions the effect that some grape rootstock can confer to the graft. However, the grafted plants had vegetative growth that was much more similar to that of plants cultivated with their own roots than to that of the rootstock. For example, the average root mass of grafted Chenin blanc and Syrah varieties was 13.40 g plant⁻¹, a figure closer to the 11.37 g of the same ungrafted varieties than to the 28.70 g of CN (averages derived from Table 3). That is, in the association between rootstock and graft, the latter retained most of its characteristics, contributing up to 88% of the total variation, while the rootstock contributed only about 12% of the variation. However, the real increase in

Los resultados indican que en cierta medida el injerto favoreció el crecimiento de las plantas. Hidalgo (2002) menciona el efecto sobre el vigor que pueden conferir al injerto algunos patrones de vid. Sin embargo, las plantas injertadas tuvieron un crecimiento vegetativo que semejó mucho más al de las plantas cultivadas a pie franco que al del portainjerto. Por ejemplo, el promedio de masa radical de las variedades Chenin blanc y Syrah injertadas fue 13.40 g planta⁻¹, cifra más próxima a los 11.37 g de las mismas variedades sin injertar que a los 28.70 g de CN (promedios derivados del Cuadro 3). Es decir, en la asociación entre el patrón y el injerto, este último retuvo la mayor parte de sus características aportando hasta 88% de la variación total, mientras que el patrón aportó aproximadamente sólo 12% de dicha variación. Sin embargo, el aumento real en su masa radical bajo las condiciones de injertación indica que, de mantenerse esta respuesta en condiciones de campo, estas variedades en cierta medida lograrían aumentar su capacidad para absorber el agua del suelo.

El efecto leve pero repetido del patrón sobre el crecimiento vegetativo de la copa de plantas jóvenes cultivadas en contenedores el observado en este trabajo, difiere de lo encontrado por otros autores en vides cultivadas en condiciones de campo. Bates *et al.* (2001) no detectaron diferencias en producción de masa seca entre la variedad Concord directa o injertada en condiciones de riego o sequía, y Novello *et al.* (1996) encontraron que la variedad Erbaluce mostró mayor crecimiento vegetativo al ser cultivado directo que cuando fue injertado sobre diferentes patrones vigorosos. Según Rogiers *et al.* (2004), la injertación tampoco favoreció la velocidad de crecimiento del fruto en la variedad Shiraz (sinónimo Syrah).

Eficiencia de uso del agua

La producción de materia seca (MS) por volumen de agua transpirada aumentó en el tratamiento de riego escaso (R3), es decir, hubo un incremento significativo ($p \leq 0.05$) de la eficiencia de uso del agua (Cuadro 5). La respuesta fue más evidente en CN en el cual la producción de MS aumentó de 2.43 g en R1 a 5.19 g en R3 por L de agua consumida.

El incremento de la eficiencia de uso del agua ocurrió en las variedades estudiadas independientemente de estar injertadas o no, a pesar de que la masa seca vegetal, especialmente la correspondiente a la copa, disminuyó con la escasez de riego (Cuadro 2). En el presente estudio, la masa seca total empleada para el cálculo de la eficiencia de uso del agua incluyó los principales órganos vegetales pero no los frutos, debido a la imposibilidad de obtener cosecha en plantas de sólo seis meses

root mass under conditions of grafting indicates that, if this response is maintained under field conditions, these varieties would, in certain measure, increase their capacity to take up water from the soil.

The slight, but repeated, effect of the rootstock on the vegetative growth of the shoots of young plants cultivated in containers observed in this study differs from that found by other authors in grapes cultivated in the field. Bates *et al.* (2001) did not detect differences in dry mass production of the Concord variety grown on its own roots or grafted under conditions of drought or irrigation, and Novello *et al.* (1996) found that the variety Erbaluce exhibited greater vegetative growth when cultivated directly in the soil than when it was grafted on different vigorous rootstock. According to Rogiers *et al.* (2004), neither did grafting favor growth rate of the fruit in the Shiraz (synonym of Syrah) variety.

Water use efficiency

Dry matter production by volume of water transpired increased in the scant irrigation treatment (R3), that is, there was a significant ($p \leq 0.05$) increase in water use efficiency (Table 5). The response was more evident in CN with increments in dry matter production of 2.43 g in R1 to 5.19 g in R3 per liter of water consumed. The increase in water use efficiency occurred in the varieties studied whether they were grafted or not, even though plant dry matter, especially that corresponding to the shoot, decreased with deficient irrigation (Table 2). In our study, total dry mass used for the calculation of water use efficiency included the main plant organs, but not the fruits, because of the impossibility of obtaining a harvest in plants of only six months of age. However, according to Schultz (2000), this was not an obstacle to interpreting the results, since the best determination of water use efficiency (including the root system) can only be achieved in plants cultivated in containers.

Water use efficiency increases when irrigation is limited. Kaiser *et al.* (2004) found a significant increase in water use efficiency when reducing irrigation to four *V. vinifera* varieties in containers. In the combination Tempranillo/Richter 110 in the field, there was greater water use efficiency in plants that had not been irrigated (Yuste *et al.*, 2004). A three-year average of water use efficiency, in relation to fresh fruit production, almost doubled in Chardonnay variety plants without irrigation in the field (Pudney and McCarthy, 2004).

Water use efficiency is an indicator of the relationship between CO₂ assimilated and water lost by the plant, and both terms vary in conjunction, indicating that carbon assimilation and dry matter accumulation are directly associated with water consumption (Kramer

Cuadro 5. Eficiencia de uso del agua, expresada como materia seca por volumen de agua (g L^{-1}), en vides de seis meses de edad en función del riego y el material vegetal.**Table 5. Water use efficiency, expressed as dry matter per volume of water (g L^{-1}) in six-month-old grapevine sprouts in function of irrigation and plant material.**

| Riego | Material vegetal | | | | | Promedio |
|----------|------------------|---------|----------|----------|---------|----------|
| | CN | Ch | Sy | Ch/CN | Sy/CN | |
| R1 | 2.43 bA | 1.41 bC | 1.54 bC | 2.07 abB | 1.52 bC | 1.79 |
| R2 | 2.41 bA | 1.51 bC | 1.80 bBC | 2.05 bB | 1.57 bC | 1.87 |
| R3 | 5.23 aA | 2.22 aB | 2.26 aB | 2.38 aB | 2.25 aB | 2.87 |
| Promedio | 3.36 | 1.71 | 1.87 | 2.17 | 1.78 | |

Promedios con letras diferentes son estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas para comparar filas de una misma columna y mayúsculas para columnas de una misma fila. MDS= 0.3259.

CN= Criolla Negra; Ch= Chenin blanc; Sy= Syrah; Ch/CN= Chenin blanc sobre Criolla Negra; Sy/CN= Syrah sobre Criolla Negra.

de edad. Sin embargo, según Schultz (2000), esto no representaría un obstáculo para interpretar los resultados, ya que la mejor determinación de la eficiencia de uso del agua (incluyendo el sistema radical) sólo puede lograrse en plantas cultivadas en contenedores.

La eficiencia de uso del agua al restringir el riego a la vid se ha aumentado. Kaiser *et al.* (2004) encontraron un aumento significativo de la eficiencia de uso del agua al reducir la aplicación del líquido aplicado a cuatro variedades de *V. vinifera* en contenedores. En la combinación Tempranillo/Richter 110 en campo hubo mayor eficiencia de uso del agua en las plantas que no habían recibido riego (Yuste *et al.*, 2004). En un promedio de tres años la eficiencia de uso del agua, en relación con la producción de frutos frescos, casi se duplicó en plantas de la variedad Chardonnay mantenidas sin riego en campo (Pudney y McCarthy, 2004).

La eficiencia de uso del agua es un indicador de la relación entre el CO_2 asimilado y el agua perdida por la planta, y ambos términos varían conjuntamente, indicando que la asimilación de carbono y acumulación de masa seca está directamente asociada con el consumo del líquido (Kramer y Boyer, 1995). Sin embargo, el hecho de que esta eficiencia no permanezca constante para diferentes disponibilidades de agua corrobora que la relación no es lineal y que, al disminuir el volumen de riego, existe un incremento sustancial en la producción de masa seca por cada litro de agua consumida (Grimes y Williams, 1990). Este fenómeno podría considerarse como el fundamento básico de las estrategias de riego que promueven la aplicación deficitaria del agua para lograr una mayor tasa de retorno económico en zonas donde el líquido es escaso o de alto costo.

Indicadores de tolerancia a la sequía

El cálculo del nivel de afectación de las principales variables vegetativas permitió desarrollar una escala numérica en la que el CN ocupó la menor puntuación,

and Boyer, 1995). However, the fact that this efficiency does not remain constant for different amounts of available water corroborates a non-linear relationship and, when volume of irrigation is reduced, there is a substantial increase in the production of dry mass for each liter of water consumed (Grimes and Williams, 1990). This phenomenon could be considered the basic principle of irrigation strategies that promote deficient application of water to achieve a higher rate of economic return in regions where the liquid is scarce or costly.

Drought tolerance indicators

Calculation of the affectation levels of the vegetative variables enabled the development of a numerical scale in which CN had the lowest score, indicating its greater capacity for drought tolerance (Table 6), followed by the own-rooted varieties, while the grafted varieties showed the lowest drought tolerance.

The fact that CN was in first place, though not far ahead of non-grafted materials, would place it as a moderately drought tolerant rootstock. In spite of its vigorous growth under conditions of irrigation, its vegetative variables decreased noticeably under drought conditions. Moreover, the varieties Chenin blanc and Syrah grafted onto CN were in the last places in the numerical tolerance scale (Table 6), indicating that it could not transmit its tolerance capacity to the graft. McCarthy *et al.* (1997) state that it is not clear whether the rootstock can transmit drought tolerance to the shoot. They found that the Shiraz variety cultivated directly in the field without irrigation had yields similar to those obtained when grafted onto Ramsey, a rootstock known for its drought tolerance, and when grafted onto other tolerant rootstocks, its yield was even significantly lower. Fregoni (1977) and Southey (1992) concluded that there is no precise relationship between vigor and drought tolerance of grape rootstock. However, Padgett-Johnson *et al.* (2003) evaluated 17 species of grape

indicando una mayor capacidad para tolerar la sequía (Cuadro 6). Le siguieron las variedades conducidas a pie franco, mientras que las injertadas mostraron la menor capacidad de tolerancia a la sequía.

El hecho de que CN ocupó la primera posición, aunque no muy lejos de los materiales no injertados, permitiría ubicarlo como un portainjerto moderadamente tolerante a la sequía. A pesar de tener un crecimiento vigoroso en condiciones de regadío, sus variables vegetativas disminuyeron sensiblemente al estar en condiciones de sequía. Más aun, no pudo transmitir al injerto parte de su capacidad de tolerancia, ya que las variedades Chenin blanc y Syrah injertadas sobre él ocuparon las últimas posiciones en la escala numérica de tolerancia (Cuadro 6). McCarthy *et al.* (1997) señalan que no está claro si el patrón puede transmitir tolerancia a la sequía sobre la copa al encontrar que la variedad Shiraz cultivada a pie franco en un campo sin riego presentó rendimientos similares a los obtenidos cuando fue injertada sobre Ramsey, un portainjerto conocido por su tolerancia a la sequía, e incluso, injertada sobre otros patrones también tolerantes tuvo un rendimiento significativamente menor. Fregoni (1977) y Southey (1992) concluyeron que no existe una relación precisa entre el vigor y la tolerancia a la sequía de los portainjertos de vid. Sin embargo, Padgett-Johnson *et al.* (2003) evaluaron 17 especies de vid y encontraron una buena asociación entre las especies más vigorosas y las más tolerantes a la sequía. En el presente estudio el portainjerto CN demostró ser muy vigoroso y, al mismo tiempo, presentó cierta tolerancia a la sequía que logró transmitir al injerto parte de su vigor en condiciones de regadío, pero no le confirió tolerancia en condiciones de déficit hídrico.

CONCLUSIONES

El déficit hídrico produjo una disminución ligera de la masa del sistema radical y reducción mayor de la

and found a good association between the most vigorous species and those most tolerant to drought. In our study, CN rootstock proved to be very vigorous and, at the same time, was, to a certain degree, drought tolerant; moreover, it was able to transmit part of its vigor to the graft under conditions of irrigation, but it did not confer tolerance to conditions of water deficit.

CONCLUSIONS

Water deficit produced a slight decrease in the root system mass and a larger reduction in the shoot. The root mass of the rootstock notably surpassed the rest of the materials regardless of whether they were grafted or not. Water use efficiency increased with the decrease in irrigation, with a more evident response from the Criolla Negra rootstock.

Under conditions of abundant irrigation, the varieties Chenin blanc and Syrah grafted onto Criolla Negra showed small, but significant, differences in growth, compared with those grown on their own roots. The differences were manifested mainly in leaf area. Under conditions of moderate irrigation, there was little effect on the plants, which exhibited behavior quite similar to that of plants with abundant irrigation.

The rootstock proved to be very vigorous and partially drought tolerant. The most important growth characteristics that classify it as very vigorous are the extensive aerial (shoot mass and leaf area) and root growth, while its capacity to tolerate drought is attributed to extensive root development and greater water use efficiency.

—End of the English version—



Cuadro 6. Indicadores relativos de la tolerancia a la sequía en vides de seis meses de edad en función de diferentes variables de crecimiento vegetativo. La menor puntuación total representa la mayor tolerancia a la sequía[†].

Table 6. Indicators relative to drought tolerance of six-month-old grapevine in function of different vegetative variables. Lower total score represents higher drought tolerance[†].

| Variable | Material vegetal | | | | |
|---------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | CN | Ch | Sy | Ch/CN | Sy/CN |
| Área foliar | 0.400 (2) | 0.428 (1) | 0.394 (3) | 0.361 (4) | 0.282 (5) |
| Masa copa | 0.700 (2) | 0.695 (3) | 0.793 (1) | 0.459 (5) | 0.659 (4) |
| Masa raíz | 0.990 (1) | 0.806 (3) | 0.792 (4) | 0.602 (5) | 0.970 (2) |
| Relación raíz/copa | 1.417 (1) | 1.122 (4) | 1.036 (5) | 1.300 (3) | 1.360 (2) |
| Eficiencia uso agua | 2.150 (1) | 1.503 (3) | 1.508 (2) | 1.129 (5) | 1.483 (4) |
| Puntuación total | 7 | 14 | 15 | 22 | 17 |

[†] En paréntesis aparece la puntuación asignada a cada material de acuerdo con su posición relativa dentro de cada variable.

CN= Criolla Negra; Ch= Chenin blanc; Sy= Syrah; Ch/CN= Chenin blanc sobre Criolla Negra; Sy/CN= Syrah sobre Criolla Negra.

copa de las plantas. La masa radical del portainjerto superó notoriamente al resto de los materiales independientemente de que éstos estuviesen injertados o no. La eficiencia de uso del agua aumentó a medida que disminuyó el volumen de los riegos, con una respuesta más evidente en el portainjerto Criolla Negra.

En condiciones de riego abundante, las variedades Chenin blanc y Syrah injertadas sobre el Criolla Negra mostraron diferencias pequeñas pero significativas del crecimiento con relación a las cultivadas a pie franco. Las diferencias se manifestaron principalmente en el área foliar. En condiciones de riego moderado hubo poco efecto sobre las plantas, las cuales presentaron un comportamiento bastante similar al de las plantas con riego abundante.

El portainjerto demostró ser muy vigoroso y parcialmente tolerante a la sequía. Las características de crecimiento más importantes que permiten clasificarlo como muy vigoroso son el extenso crecimiento aéreo (masa y área de la copa) y radical, mientras que su capacidad de tolerancia a la sequía se atribuye al extenso desarrollo de raíces y mayor eficiencia de uso del agua.

LITERATURA CITADA

- Atkinson, C. J., M. A. Else, L. Taylor, and C. J. Dover. 2003. Root and stem hydraulic conductivity as determinants of growth potential in grafted trees of apple (*Malus pumila* Mill.). *J. Exp. Bot.* 54 (385): 1221-1229.
- Bates, T. R., G. English-Loeb, R. M. Dunst, T. Taft, and A. Lakso. 2001. The interaction of phylloxera infection, rootstock, and irrigation on young Concord grapevine growth. *Vitis* 40 (4): 225-228.
- Cregg, B. 2004. Improving drought tolerance of trees. Theoretical and practical considerations. *Acta Hort.* 630: 147-158.
- Fregoni, M. 1977. Irrigation des vignobles. Problemes de physiologie, de biochimie, de genetique, de agronomie, de technologie et de economie. *Bull. O.I.V.* 50: 3-19.
- Gales, K. 1979. Effects of water supply on partitioning of dry matter between roots and shoots in *Lolium perenne*. *J. Appl. Ecol.* 16: 863-877.
- Giorgessi, F., C. Bortolin, L. Sansone, and C. Giulivo. 1996. Stock and scion growth relationships in *Vitis vinifera*. *Acta Hort.* 427: 311-317.
- Grimes, D. W., and L. E. Williams. 1990. Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompson Seedless grapevines. *Crop Sci.* 30: 255-260.
- Hartmann, H. T., D. Kester, F. Davies, and R. Geneve. 2001. *Plant Propagation: Principles and Practices*. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 880 p.
- Hedberg, P., R. McLeod, B. Cullis, and B. Freeman. 1986. Effect of rootstock on the production, grape and wine quality of Shiraz vines in the Murrumbidgee irrigation area. *Aust. J. Exp. Agric.* 26: 511-516.
- Hidalgo, L. 2002. *Tratado de Viticultura General*. MundiPrensa. Madrid. 1172 p.
- Hsiao, T. C. 2000. Leaf and root growth in relation to water status. *HortScience* 35: 1051-1058.
- Hsiao, T. C., and L. K. Xu. 2000. Predicting water use efficiency in crops. *Acta Hort.* 537: 199-206.
- Kaiser, R. M., J. B. Cavagnaro, and M. Ríos. 2004. Response of Argentinian and European cultivars of *Vitis vinifera* L. to water stress. II. Water relations. *Acta Hort.* 646: 47-54.
- Keller, M., M. Kummer, and M. Vascocelos. 2001. Reproductive growth of grapevines in response to nitrogen supply and rootstock. *Aust. J. Grape Wine Res.* 7: 12-18.
- Klepper, B. 1990. Root growth and water uptake. *In: Stewart D. A., and D. R. Nielsen (eds). Irrigation of Agricultural Crops*. American Society of Agronomy. Madison, WI. pp: 281-322.
- Kramer, P. J., and J. S. Boyer. 1995. *Water Relations of Plant and Soils*. Academic Press. New York. 495 p.
- Masinde, P. W., H. Stützel, S. G. Agong, and A. Fricke. 2005. Plant growth, water relations, and transpiration of spiderplant [*Gynandropsis gynandra* (L.) Briq.] under water-limited conditions. *J. Amer. Soc. Hort. Soc.* 130 (3): 469-477.
- McCarthy, M., R. Cirami, and D. Furkaliev. 1997. Rootstock response of Shiraz (*Vitis vinifera*) grapevines to dry and drip irrigated conditions. *Aust. J. Grape Wine Res.* 3: 95-98.
- Monteverde, E., G. Laborem, J. Ruiz, M. Espinoza, y C. Guerra. 1996. Evaluación del naranjo Valencia sobre siete patrones en los valles altos Carabobo-Yaracuy, Venezuela. *Agron. Trop.* 46(4): 371-393.
- Novello, V., L. De Palma, and D. Bica. 1996. Rootstock effects on vegetative-productive indices in grapevine cv Erbaluce trained to pergola system. *Acta Hort.* 427: 233-240.
- Padgett-Johnson, M., L. E. Williams, and M. A. Walker. 2003. Vine water relations, gas exchange, and vegetative growth of seventeen *Vitis* species grown under irrigated and non irrigated conditions in California. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128 (2): 269-276.
- Pire, R. 1985. Densidad longitudinal de raíces y extracción de humedad en un viñedo de El Tocuyo, Venezuela. *Agron. Trop.* 35 (1-3): 5-20.
- Pire, R., y J. Diez. 2006. La actividad de crecimiento de las raíces de la vid en condiciones tropicales. *Rev. de la Facultad de Agron. (LUZ)*. 23 (4): 453-463.
- Pire, R., J. López, y R. Rodríguez. 1998. Evapotranspiración de la grama San Agustín (*Stenotaphrum secundatum*) en la zona de Tarabana, estado Lara. XLIV Annual Meeting Interamerican Society for Tropical Horticulture. Barquisimeto. 1998. Resúmenes. pp: A-2.
- Pudney, S., and M. G. McCarthy. 2004. Water use efficiency of field grown Chardonnay grapevines subjected to partial root zone drying and deficit irrigation. *Acta Hort.* 664: 567-573.
- Rogiers, S. Y., J. M. Hatfield, and M. Keller. 2004. Irrigation, nitrogen, and rootstock effects on volume loss of berries from potted Shiraz vines. *Vitis* 43(1): 1-6.
- Scholander, P., H. Hammel, E. Bradstreet, and E. Hemmingsen. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339-345.
- Southey, J. M. 1992. Grapevine rootstock performance under adverse conditions in South Africa. *In: J. Wolper, M. Walker, and E. Weber (eds). Proc. Rootstock Seminar: A Worldwide Perspective*. Amer. Soc. Enol. Vitic. Davis, California. pp. 27-51.
- Schultz, H. R. 2000. Physiological mechanisms of water use efficiency in grapevines under drought conditions. *Acta Hort.* 526: 115-136.
- Smith, J. P. 2001. Physiological mechanisms underlying rootstock effects on scion vigour and yield in Shiraz grapevines. Final report of Project CSU 00/5. Grape and Wine Research and Development Centre. Geisenheim, Germany. 9 p.
- Wagner, M., G. Laborem, G. Medina, y L. Rangel. 1998. Efecto del patrón y la frecuencia de riego sobre el nivel foliar de proлина en el naranjo 'Valencia'. *Bioagro* 10(3): 76-79.
- Webster, A. D. 2004. Vigour mechanisms in dwarfing rootstocks for temperate fruit trees. *Acta Hort.* 658: 29-41.
- Westgate, M. E., and J. S. Boyer. 1985. Osmotic adjustment and the inhibition of leaf, root, stem and silk growth at low water potentials in maize. *Planta* 164: 540-549.
- Yuste, J., J. A. Rubio, and M. A. Pérez. 2004. Influence of plant density and water regime on soil water use, water relations and productivity of trellis-trained Tempranillo grapevines. *Acta Hort.* 646: 187-193.