

EFFECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS SOBRE EL CRECIMIENTO, FOTOSÍNTESIS Y RENDIMIENTO EN VIDES TEMPRANILLO (*Vitis vinifera*) EN BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

EFFECT OF TREATED WASTEWATER ON GROWTH, PHOTOSYNTHESIS AND YIELD OF TEMPRANILLO GRAPEVINES (*Vitis vinifera*) IN BAJA CALIFORNIA, MEXICO

Dinora Acosta-Zamorano, Víctor Macías-Carranza, Leopoldo Mendoza-Espinosa, Alejandro Cabello-Pasini*

Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México. (acabello@uabc.edu.mx)

RESUMEN

Baja California es una zona semidesértica donde la agricultura, incluyendo la viticultura, está limitada por la disponibilidad de agua. Ensenada es una ciudad adyacente a la zona viticultural donde 100 % de las aguas de drenaje son tratadas, no son reutilizadas y se vierten al mar. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las aguas residuales tratadas (ART) sobre el crecimiento, la fotosíntesis y el rendimiento de vid (*Vitis vinifera* var. Tempranillo) en el Valle de Guadalupe, México, durante dos años. Un viñedo establecido fue irrigado con 10 a 20 L semana⁻¹ de ART de la planta de tratamiento de El Sauzal, como factor experimental, y agua del acuífero Valle de Guadalupe como testigo. Las ART y el agua del acuífero se analizaron química y microbiológicamente durante el estudio. Las ART de la planta de tratamiento cumplieron con todos los parámetros de las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997 para el riego restringido y no restringido, así como para el contacto directo e indirecto durante el estudio. No hubo diferencias en las tasas de crecimiento relativo y la tasa de transporte electrónico de los cloroplastos de las vides en relación al tipo de agua aplicada. El rendimiento mayor de madera se observó en las plantas irrigadas con 20 L semana⁻¹ ART. Este estudio muestra que las ART de la planta de tratamiento del Sauzal no afectan a corto plazo el crecimiento y la fotosíntesis de las vides, y que las ART podrían usarse para reducir el estrés hídrico de cultivos de vid en Baja California.

Palabras clave: agua residual tratada, viticultura, crecimiento.

ABSTRACT

Baja California is a semi-arid region, where agriculture, including viticulture, is limited by water scarcity. The city of Ensenada, adjacent to the grape-growing area, treats 100 % of the wastewater, which is not reused but dumped into the sea. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of treated wastewater (TWW) irrigation on growth, photosynthesis and yield of grape (*Vitis vinifera* var. Tempranillo) in the Guadalupe Valley, Mexico, during two years. An established vineyard was irrigated with 10 to 20 L week⁻¹ of TWW from the El Sauzal wastewater treatment plant, as the experimental factor, and water from the Guadalupe Valley aquifer, as the control. The TWW and aquifer water were analyzed chemically and microbiologically during the study. TWW from the wastewater treatment plant satisfied all the parameters of the norms NOM-001-SEMARNAT-1996 and NOM-003-SEMARNAT-1997 for restricted and non-restricted irrigation, as well as for direct and indirect contact during the study. There were no differences in relative growth rates or chloroplast electron transport rate of the grapevines relative to the type of water applied. Higher wood yield was observed in plants irrigated with 20 L week⁻¹ TWW. This study shows that TWW from the El Sauzal wastewater treatment plant had no short-term effect on growth and photosynthesis of grapevines, and that treated wastewater could be used to reduce water stress of grape crops in Baja California.

Key words: treated sewage water, viticulture, growth.

INTRODUCTION

Water is a strategic resource for the economic development and survival of developing countries. The main problem facing this resource is loss of its original quality and its growing

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2013. Aprobado: octubre, 2013.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 47: 753-766. 2013.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso estratégico para el desarrollo económico y la supervivencia de los países en vías de desarrollo. El problema principal de este recurso es la pérdida de su calidad original y su creciente escasez para uso agrícola, urbano y ambiental. Así, la reutilización del agua es una actividad crítica, principalmente en zonas semidesérticas o con una disponibilidad de agua renovable menor a $1700 \text{ m}^3 \text{ habitante}^{-1} \text{ año}^{-1}$. El desarrollo de las prácticas de riego con agua residual tratada (ART) fue facilitado por las nuevas políticas y reglamentos en el mundo respecto a reutilizar ART (Lazarova y Bahri, 2005).

Para reducir la escasez de agua en la agricultura, algunos países tienen programas exitosos para reutilizar aguas residuales urbanas (Lazarova y Bahri, 2005). En Israel, Argentina y Chile se utiliza ART para irrigar duraznos (*Amygdalus persica*), alfalfa (*Medicago sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) (Scott *et al.*, 2004). México ha desarrollado sistemas de ART para la agricultura; así, el Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo, es uno de los sistemas de riego más grandes de Latinoamérica e irrigado parcialmente con ART de la ciudad de México (Jiménez *et al.*, 1999). En Alicante, España, el uso de aguas residuales para el cultivo de uva de mesa aumentó el rendimiento de fruta respecto al de cultivos irrigados con agua de acuíferos, y no hubo efectos negativos sobre la calidad de la uva irrigada con agua residual ni presencia de microorganismos patógenos (Rico-Amoros, 1989). Aunque el ART se puede usar para el cultivo, se desconoce su impacto sobre la fisiología de la vid y sobre la calidad de la uva para producir vino.

Baja California tiene un clima semiárido y una precipitación anual de 285 mm, pero desde 1999 hasta 2011 las precipitaciones en Ensenada fueron cercanas a 200 mm (Reyes-Coca y Troncoso-Gaytan, 2004, datos no publicados). Los municipios de Tijuana, Rosarito, Tecate y Mexicali suplen en gran medida sus necesidades hídricas con el río Colorado, pero toda el agua del municipio de Ensenada proviene de acuíferos. Aunado al intenso uso del recurso hídrico por los agricultores del Valle de Guadalupe, desde 1985 la Comisión de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE) ha instalado 10 pozos en el valle que extraen 320 L s^{-1} o 42 % de

scarcity for agricultural, urban and environmental use. Water reuse is thus essential, especially in semi-arid zones or areas with renewable water resources below $1700 \text{ m}^3 \text{ inhabitant}^{-1} \text{ year}^{-1}$. New water reuse policies and regulations established worldwide have facilitated the implementation of irrigation practices using treated wastewater (TWW) (Lazarova and Bahri, 2005).

To cope with water scarcity in agriculture, some countries have implemented successful urban wastewater reuse programs (Lazarova and Bahri, 2005). In Israel, Argentina and Chile, TWW is used for irrigating peach (*Amygdalus persica*), alfalfa (*Medicago sativa*) and tomato (*Solanum lycopersicum*) (Scott *et al.*, 2004). Mexico has developed TWW systems for agriculture; thus, the Mezquital Valley, in the state of Hidalgo, is one of the largest irrigation systems in Latin America, and it is partially irrigated with TWW from Mexico City (Jiménez *et al.*, 1999). In Alicante, Spain, the use of wastewater for cultivating table grapes increased fruit yield, compared to those irrigated with groundwater, and there were no negative effects on grape quality nor were pathogenic microorganisms observed (Rico-Amoros, 1989). Although TWW can be used to irrigate crops, its impact on the physiology of grapevines and quality of table grape used for wine production, is not known.

Baja California has a semi-arid climate with 285 mm of annual rainfall, but from 1999 to 2011 precipitation in Ensenada was close to 200 mm (Reyes-Coca and Troncoso-Gaytan, 2004). In the municipalities of Tijuana, Rosarito, Tecate and Mexicali, water needs are largely met by the Colorado River, but all the water in the municipality of Ensenada is pumped from aquifers. In addition to the intense use of water by the Guadalupe Valley farmers, since 1985 the Ensenada Public Service Commission (CESPE) has installed 10 wells in the valley that extract 320 L s^{-1} , or 42 % of the natural recharge, to supply water to the city of Ensenada (Kurczyn-Robledo *et al.*, 2006). Despite the importance of viticulture, the state faces major challenges in maintaining a sufficient water supply for urban and agricultural areas (Medellín-Azuara *et al.*, 2008). This scarcity of water negatively impacts the development of agriculture, including viticulture, in Baja California.

Baja California produces more than 90 % of the wine in Mexico, mainly in the Guadalupe

la recarga natural en el valle para abastecer agua a la ciudad de Ensenada (Kurczyn-Robledo *et al.*, 2006). Esta escasez de agua impacta negativamente en el desarrollo de la agricultura, incluyendo la viticultura, en Baja California.

Baja California produce más del 90 % del vino de México, principalmente en el Valle de Guadalupe a 20 km de la ciudad de Ensenada. No obstante la importancia de la viticultura, el estado enfrenta importantes retos para mantener el suministro de agua para la agricultura y ciudades (Medellín-Azuara *et al.*, 2008). Hay aproximadamente 3000 ha de vid en el estado y se espera duplicarla en los próximos 10 años, pero la principal limitante es la disponibilidad de agua (Sepúlveda, 2009).

Después de usar el agua proveniente del Valle de Guadalupe y otros acuíferos, la ciudad de Ensenada trata todas las aguas residuales captadas en su sistema de drenaje (Medellín-Azuara *et al.*, 2008). Esta agua cumple con los parámetros estipulados para descargas a cuerpos de agua costeros, e incluso para reutilizar donde la población está en contacto directo e indirecto (NOM-003-SEMARNAT-1997), así como para uso en la irrigación agrícola (NOM-001-SEMARNAT-1996). Sin embargo, aunque el ART de la ciudad de Ensenada cumple con las características necesarias para reutilizarse en la agricultura, sólo 2 % de esta agua se usa en el riego de áreas verdes de la ciudad, y el resto se vierte al mar (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2005). El ART de Ensenada se podría usar para irrigar cultivos y reducir la extracción de agua del acuífero, pero se debe evaluar el impacto que tendrá sobre la fisiología de las plantas que serán irrigadas. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del riego con ART sobre la fotosíntesis, el crecimiento y el rendimiento de la vid en el Valle de Guadalupe, Baja California.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó durante 2010 y 2011 usando vides (*Vitis vinifera* var. Tempranillo) cultivadas en el Valle de Guadalupe, Baja California (31° 59' 09" N, 116° 38' 46" O). Las vides tenían 5 años de edad y cultivadas en cordones de un brazo siguiendo un sistema de espaldera de dos líneas. Vides cultivadas en pasillos de 2.7 m y 1.2 m entre vides con una orientación Este-Oeste recibieron los tratamientos: 1) 20 L semana⁻¹ de agua del acuífero, 2) 10 L semana⁻¹ de ART, 3) 20 L semana⁻¹ de

Valley, 20 km from the city of Ensenada. Despite the importance of viticulture, the state faces major challenges in maintaining a sufficient water supply for urban and agricultural areas (Medellín-Azuara *et al.*, 2008). There are approximately 3000 ha of vineyards in the state and this area is expected to duplicate over the next 10 years. However, the main restriction is water availability (Sepúlveda, 2009).

After using the water from the Guadalupe Valley and other aquifers, the city of Ensenada treats all the wastewater captured in its drainage system (Medellín-Azuara *et al.*, 2008). This water complies with the parameters stipulated for discharges into coastal bodies of water, and even for re-utilization when there is direct or indirect exposure to the population (NOM-003-SEMARNAT-1997), as well as for use in agricultural irrigation (NOM-001-SEMARNAT-1996). However, although the TWW from Ensenada satisfies the characteristics necessary for re-utilization in agriculture, only 2 % is used to irrigate green areas in the city, and the rest is discharged into the sea (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2005). Ensenada's TWW could be used for crop irrigation to reduce extraction of water from aquifers, but it is necessary to assess the impact it will have on the physiology of the plants to be irrigated. Therefore, the objective of this study was to assess the effect of irrigation with TWW on photosynthesis, growth and grape yield in the Guadalupe Valley, Baja California.

MATERIALS AND METHODS

This study was conducted during 2010 and 2011 using grapevines (*Vitis vinifera* var. Tempranillo) cultivated in the Guadalupe Valley, Baja California (31° 59' 09" N, 116° 38' 46" W). The grapevines were 5 years old and cultivated on a one-cordon system following a two-line trellis system. Grapevines were cultivated in 2.7 m rows with 1.2 m between vines, with east-west orientation. They received one of the following treatments: 1) 20 L week⁻¹ aquifer water, 2) 10 L week⁻¹ TWW, 3) 20 L week⁻¹ TWW or 4) no water. The water for each treatment (n=10) was applied weekly using a catch basin at the foot of the grapevines.

Physicochemical and microbiological characterization of irrigation water

Samples of TWW and water from the Guadalupe Valley aquifer were collected weekly in sterile 0.5 L plastic containers

ART y 4) sin riego. El agua para cada tratamiento (n=10) fue suministrada semanalmente al pie de las vides utilizando cajetes.

Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de riego

Muestras de ART y agua del acuífero del Valle de Guadalupe fueron recolectadas semanalmente en contenedores plásticos estériles de 0.5 L y transportadas en hieleras al laboratorio de Calidad del Agua del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) para su análisis. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos sedimentables, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, conductividad, pH, turbidez, coliformes totales y fecales se analizaron con métodos estandarizados para el análisis de aguas (APHA, 1998). Los huevos de helmintos se analizaron de acuerdo con la técnica de la NMX-AA-113-SCFI-1999 (1999). La concentración de nitratos, fosfatos y amonio se determinó mediante colorimetría (Hach-Company, 2002).

Crecimiento vegetativo y rendimiento

La tasa de crecimiento relativo (TCR) se determinó cada semana mediante la elongación de los sarmientos (n=30). La longitud de los sarmientos se midió con una cinta métrica desde la base del sarmiento hasta el ápice de crecimiento. La TCR se calculó con la fórmula:

$$TCR(\% d^{-1}) = \frac{(L_1 - L_0)}{L_1} \times \frac{100}{t}$$

donde L_1 (cm) es la longitud final del sarmiento, L_0 (cm) es la longitud inicial y t es el tiempo.

El rendimiento de fruta por vid (n=10) se determinó mediante el peso de los racimos cosechados cuando la concentración de azúcar de las uvas alcanzó 24 °Brix.

Fotosíntesis

La fluorescencia *in vivo* asociada al fotosistema II (PSII) se evaluó en campo con un fluorímetro de pulso de amplitud modulada (PAM 2000, Walz, Effeltrich, Alemania). El rendimiento cuántico efectivo de las hojas de vid (n=30) se evaluó una semana antes de la cosecha y se calculó como $\Delta F / F'm$, donde $\Delta F = F'm - F't$, $F'm$ es la fluorescencia máxima y $F't$ es la fluorescencia basal. Los valores de $F't$ se midieron en la mañana después de mantener las hojas en oscuridad por 12 h, mientras que $F'm$ fue inducida con un

and transported in coolers to the Water Quality Laboratory at the Institute of Oceanological Research of the Autonomous University of Baja California (UABC) for analysis. The biochemical oxygen demand (DBO₅), sedimentable solids, total dissolved solids, total suspended solids, fats and oils, conductivity, pH, turbidity, total coliforms and fecal coliforms were analyzed using standard methods for the analysis of water (APHA, 1998). Helminth eggs were analyzed following the technique of the NMX-AA-113-SCFI-1999 (1999). Concentrations of nitrates, phosphates and ammonium were determined colorimetrically (Hach-Company, 2002).

Vegetative growth and yield

The relative growth rate (RGR) was determined weekly by measuring shoot elongation (n=30). Shoot length was measured with a metric tape from the base of the branch to the growth apex. The RGR (%) was calculated with the following formula:

$$RGR(\% d^{-1}) = \frac{(L_1 - L_0)}{L_1} \times \frac{100}{t}$$

where L_1 (cm) is the final length of the branch, L_0 (cm) is initial length and t is time.

Fruit yield per grapevine (n=10) was determined by weight of harvested grape clusters when the concentration of sugar in the grapes reached 24 °Brix.

Photosynthesis

In vivo fluorescence associated with photosystem II (PSII) was measured in the field with a modulated amplitude pulse fluorometer (PAM 2000, Walz, Effeltrich, Germany). Effective quantum yield of grape leaves (n=30) was assessed one week before harvest and was calculated as $\Delta F / F'm$, where $\Delta F = F'm - F't$, $F'm$ is maximum fluorescence and $F't$ is base fluorescence. The $F't$ values were taken in the morning after keeping the leaves in darkness for 12 h, while $F'm$ was induced with a saturating white light pulse (9000 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Schreiber *et al.*, 1994). Values of the maximum electron transport rate (ETR_{max}), the initial slope of the curve $\text{ETR vs. irradiance}$ (α), and the subsaturation coefficient (E_k) were calculated fitting a hyperbolic tangent curve to the data.

Pigments

Chlorophyll a and b concentrations were determined in grape leaves (n=10) by extraction with N, N-dimethylformamide

pulso de luz blanca saturante ($9000 \mu\text{mol cuanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Schreiber *et al.*, 1994). Los valores de la tasa de transporte electrónico máximo (TTE_{max}), la pendiente inicial de la curva ETR *vs* irradiancia (alfa) y el coeficiente de subsaturación (E_k) se calcularon ajustando una curva tangente hiperbólica a los datos.

Pigmentos

La concentración de clorofila a y b se determinó en las hojas de vid ($n=10$) por extracción con N, N-dimetilformamida (DMF). Aproximadamente 0.1 g de tejido se cortó de la parte central de las hojas maduras con un horador de 1 cm^2 . El tejido se colocó en un tubo de vidrio con 5 mL de DMF e incubó 24 h a 4°C en oscuridad. La absorbancia de las muestras se midió a 664 nm y la concentración de clorofila se determinó por espectrofotometría con las ecuaciones de Porra *et al.* (1989).

Concentración de nitrógeno en las hojas y peciolo

Muestras de hojas maduras ($n=10$) y peciolo ($n=10$) opuestos al primer racimo se deshidrataron hasta peso constante (48 h) en una estufa a 80°C . La concentración de nitrógeno de las hojas y peciolo se determinó con el método Micro-Kjeldahl (AOAC, 1999).

Diseño experimental

El diseño experimental consistió de bloques al azar de 10 vides cada uno. En el 2010, un bloque no recibió riego, otro recibió 20 L sem^{-1} de agua del acuífero y otro 20 L sem^{-1} ART. En el 2011, un bloque no recibió riego, otro recibió 10 y otro 20 L sem^{-1} ART. Las variables de calidad del agua del acuífero y del agua residual se monitorearon cada semana.

Para evaluar el efecto del uso de las aguas residuales sobre las tasas de crecimiento, se marcaron tres sarmientos de cada vid ($n=30$ por tratamiento) y se determinó la TCR semanalmente. Para medir el efecto del agua residual sobre la fotosíntesis, los pigmentos fotosintéticos y el rendimiento de fruta, se evaluó TTE ($n=30$), concentración de clorofila a y b ($n=10$), y peso de los racimos ($n=10$) para cada tratamiento, cuando la concentración de azúcar en la fruta alcanzó 24°Brix . El rendimiento de madera se determinó en cada vid después de la poda de invierno ($n=10$).

Los datos de TTE, crecimiento de los sarmientos, concentración de clorofila en las hojas, rendimiento de fruta y madera se evaluaron mediante un ANDEVA de una vía, después de probar la normalidad y homocedasticidad de los datos. Las medias de tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

(DMF). Approximately 0.1 g of tissue was cut from the central part of mature leaves with a 1 cm^2 cork borer. The tissue was placed in a glass tube with 5 mL DMF and incubated for 24 h at 4°C in darkness. Absorbance of the samples was assessed at 664 nm and the concentration of chlorophyll was determined by spectrophotometry using the equations proposed by Porra *et al.* (1989).

Concentration of nitrogen in leaves and petioles

Samples of mature leaves ($n=10$) and petioles ($n=10$) opposite the first grape cluster were dehydrated to constant weight (48 h) in an oven at 80°C . The concentration of nitrogen in leaves and petioles was determined by the Micro-Kjeldahl method (AOAC, 1999).

Experimental design

The experimental design consisted of random blocks of 10 grapevines each. In 2010, one block was non-irrigated, another block received 20 L week^{-1} of aquifer water and a third 20 L week^{-1} TWW. In 2011, one block was non-irrigated, another received 10 L week^{-1} TWW and another 20 L week^{-1} TWW. The wastewater and groundwater quality variables were monitored weekly.

To evaluate the effect of using TWW on growth rate, three shoots of each grapevine ($n=30$ per treatment) were marked and RGR was determined weekly. To measure the effect of wastewater on photosynthesis, photosynthetic pigments and fruit yield, ETR ($n=30$), the concentration of chlorophyll a and b ($n=10$), and the weight of grape clusters ($n=10$) were assessed for each treatment, when sugar concentration in the fruit reached 24°Brix . Wood yield was determined in each grapevine after winter pruning ($n=10$).

Data from ETR, branch growth, leaf chlorophyll concentration, fruit and wood yield were subjected to a one-way ANOVA after testing for normality and homoscedasticity of the data. Treatment means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Water quality analyses showed that the water from the El Sauzal treatment plant satisfies the parameters indicated by the official Mexican norms for crop irrigation (NOM-001-SEMARNAT-1996) and for re-utilization in activities that the population comes into direct or indirect contact with (NOM-003-SEMARNAT-1997, Table 1). The concentrations of

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de la calidad del ART mostraron que el agua de la planta de tratamiento de El Sauzal satisface los parámetros de las normas oficiales mexicanas para la irrigación de cultivos (NOM-001-SEMARNAT-1996), y para reutilizar en actividades en contacto directo e indirecto con la población (NOM-003-SEMARNAT-1997, Cuadro 1). La concentración de fosfatos y amonio en el ART fueron más altos que los del agua del acuífero durante todo el año. Estos resultados coinciden con otros estudios de las plantas de tratamiento de Ensenada, incluyendo la planta de El Sauzal (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008).

Durante el año, los niveles de nitratos en el ART fueron relativamente constantes ($\approx 7 \text{ mg L}^{-1}$), pero en el agua del acuífero fluctuaron entre 10 y 15 mg L^{-1} (Figura 1). Los niveles de nitratos en el agua del acuífero fueron dos veces más altos ($p \leq 0.05$) que los observados en el ART (Figura 1). Estos resultados coinciden con estudios similares en la misma zona

phosphates and ammonium in TWW were higher than those in aquifer water throughout the year. These results coincide with other studies of the Ensenada wastewater treatment plants, including the El Sauzal plant (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008).

Throughout the year, nitrate levels in TWW were relatively constant ($\approx 7 \text{ mg L}^{-1}$), but in the aquifer water they fluctuated between 10 and 15 mg L^{-1} (Figure 1). The levels of nitrates in the aquifer water were twice as high ($p \leq 0.05$) as those observed in TWW (Figure 1). These results coincide with similar studies in the same area (Daessle *et al.*, 2006), suggesting that the high levels of nitrates in aquifer water are due to excessive crop fertilization, or to high permeability of the fertilizers applied to crops and leached into the aquifer (Salgado-Tránsito *et al.*, 2012). Although nitrate concentration was lower in TWW than in aquifer water, the high levels of ammonium in TWW result in similar total N levels in the two types of water.

Exposure to below or above optimum nutrient levels can lead to a reduction in fruit production

Cuadro 1. Calidad del agua (concentración promedio) residual tratada y del agua del acuífero usada para irrigar las vides Tempranillo en el Valle de Guadalupe.

Table 1. Water quality (average concentration) of the treated wastewater and aquifer water used to irrigate Tempranillo grapevines in the Guadalupe Valley.

Parámetros	Agua residual tratada	Acuífero	NOM-001-SEMARNAT-1996		NOM-003-SEMARNAT-1997	
			Riego restringido	Riego no restringido	Contacto directo	Contacto indirecto
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	6	0.4	NA	NA	20	30
SST (mg L ⁻¹)	4	0.6	NA	NA	20	30
SDT (mg L ⁻¹)	1100	600				
Grasas y aceites (mg L ⁻¹)	2	0	15	15	1	15
Coliformes fecales (NMP 100 mL ⁻¹)	3	3	1000	1000	24	1000
Coliformes totales (NMP 100 mL ⁻¹)	105	7	NA	NA	NA	NA
Huevos de helminto (H L ⁻¹)	0	0	≤ 1	≤ 5	≤ 1	≤ 5
pH	7	7	NA	NA	NA	NA
Turbidez NTU	4	0.5				
Conductividad (dS m ⁻¹)	1.79	0.6				
Nitratos (mg L ⁻¹)	7	11				
Fosfatos (mg L ⁻¹)	15	0.2				
Amonio (mg L ⁻¹)	6.5	<1				

DBO₅=demanda bioquímica de oxígeno determinada a los 5 d. SST=sólidos suspendidos totales. SDT=sólidos disueltos totales. NA=no aplica ♦ DBO₅=biochemical oxygen demand determined at 5 d. SST=total suspended solids. SDT=total dissolved solids. NA=not applicable.

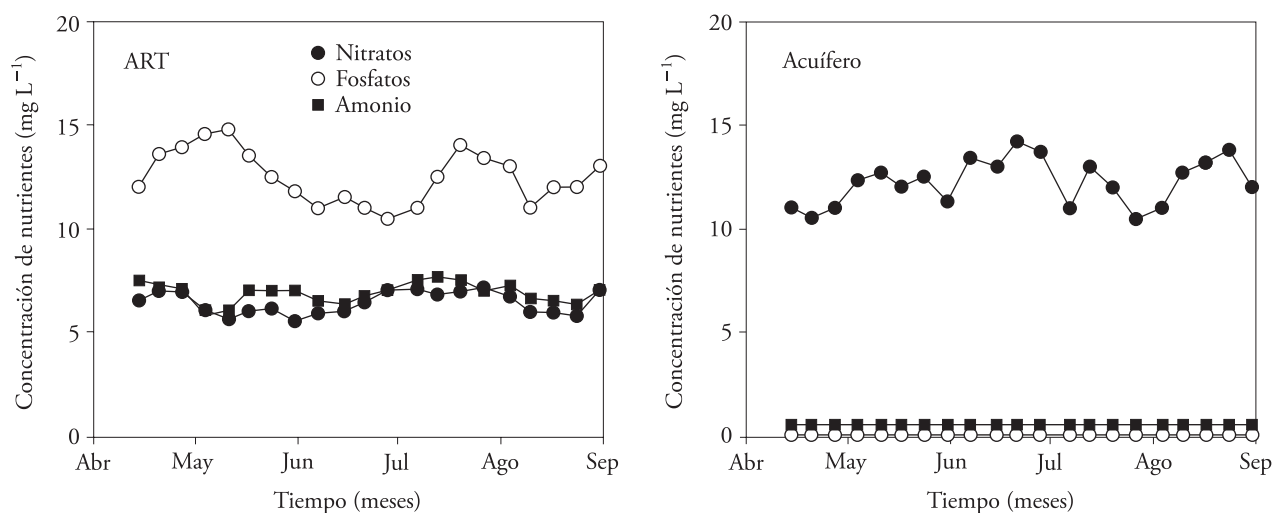


Figura 1. Concentración de nitratos y fosfatos en el agua residual tratada y agua del acuífero usada para irrigar las vides.
Figure 1. Nitrate and phosphate concentrations in treated wastewater and aquifer water used to irrigate grapevines.

(Daessle *et al.*, 2006), lo cual sugiere que los altos niveles de nitratos en el agua del acuífero se deben a un exceso de fertilización en los cultivos o por una alta permeabilidad de los fertilizantes aplicados a los cultivos hacia el manto acuífero (Salgado-Tránsito *et al.*, 2012). Aunque la concentración de nitrato fue más baja en el ART que en el agua del acuífero, los niveles altos de amonio en el ART hace que los niveles de N total en ambas aguas sean similares.

La exposición a niveles bajo o sobre los óptimos de nutrientes puede causar una reducción en la producción de frutos de algunos cultivos. Cantidades excesivas de macronutrientes en aguas residuales, por ejemplo, redujeron el rendimiento y calidad de algodón, tomate para conserva, remolacha, papa, durazno, albaricoquero, manzano y vid (Bouwer y Idelovitch, 1987). El N aportado por el ART y agua del acuífero en este estudio sería $19 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, para una concentración aproximada de 13 mg L^{-1} de NO_3^- y NH_4^+ y con un riego de $3000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Estos niveles de N son 25-50 % de lo aplicado para la vid en Baja California. Por tanto, los niveles de N aportados por ART debieran cuantificarse al calcular la dosis de fertilizantes aplicados al cultivo. Además, los niveles de N en las ART podrían reducir significativamente los costos de fertilizar cultivos en la región.

Al igual que los nitratos, la concentración de fosfatos en el ART y agua del acuífero fueron significativamente ($p \leq 0.05$) diferentes durante el año.

of some crops. For example, excessive amounts of macronutrients in sewage water reduced the yield and quality of cotton, canning tomatoes, sugar beets, potatoes, peaches, apricots, apples and grapes (Bouwer and Idelovitch, 1987). Nitrogen contributed by TWW or aquifer water in this study would be $19 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, for a concentration of approximately 13 mg L^{-1} of NO_3^- and NH_4^+ , irrigating $3000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. These levels of N are 25-50 % of the amount applied to vineyards in Baja California. Therefore, the levels of N contributed by TWW should be quantified when calculating the doses of fertilizers to be applied to a crop. Moreover, the levels of N in TWW could significantly reduce the costs of fertilizing crops in the region.

Like nitrates, the levels of phosphates in TWW and aquifer water were significantly ($p \leq 0.05$) different during the year. Phosphate levels in TWW fluctuated from 10 to 15 mg L^{-1} , while phosphates in aquifer water were nearly zero. High levels of phosphates in TWW coincide with observations for other urban wastewater treatment plants (López *et al.*, 1998). These phosphate levels are associated with detergents used in homes and dumped into urban drainage. Unlike the high nitrate levels, the low levels of phosphates in aquifer water suggest that this macronutrient is incorporated by the plants or has low rates of leaching from the fertilized layer into the water table. Phosphate mobility rates in sediments is reduced when the concentration of organic matter

Los niveles de fosfatos del ART fluctuaron de 10 a 15 mg L⁻¹, y los fosfatos en el agua del acuífero fueron cercanos a cero. Los niveles altos de fosfatos en el ART coinciden con observaciones de otras plantas de tratamiento de aguas urbanas (López *et al.*, 1998). Estos niveles de fosfatos están asociados con los detergentes usados en residencias y vertidos a los drenajes urbanos. A diferencia de los niveles altos de nitrato, los niveles bajos de fosfatos en las aguas del acuífero sugieren que este macronutriente es incorporado por las plantas o que tienen bajas tasas de permeabilidad desde la capa de fertilización hasta el manto freático. Las tasas de movilidad del fosfato en el sedimento se reducen al aumentar la concentración de materia orgánica; así, el fosfato se podría fijar en los primeros centímetros de suelo (Ahmed *et al.*, 2008).

Crecimiento de la planta

No hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) en la TCR de las vides regadas con agua residual o con agua del acuífero durante 2010 y 2011 (Figura 2). Durante el 2010, la TCR de los sarmientos en mayo fue 1.95 % d⁻¹ y disminuyó a prácticamente 0 a mediados de julio. Durante el 2011, la TCR máxima de los sarmientos fue 6.75 % d⁻¹ a mediados de abril y disminuyó a 0 % d⁻¹ a mediados de julio. A diferencia de estos resultados, se ha reportado tasas de TCR significativamente más altas para vid (*Vitis vinifera* var. Cabernet sauvignon y Merlot) regadas con ART que aquellas regadas con agua del acuífero (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008). Es probable que las mayores TCR observadas en otros estudios se deban a los niveles mayores de N reportadas en las ART que en el agua del acuífero y al mayor estrés hídrico para esas vides (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008). Similarmente, no hubo diferencias significativas en el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*), rábanos (*Raphanus sativus*) y zanahoria (*Daucus carota*) irrigadas con aguas residuales respecto a los tratamientos irrigados con agua del acuífero (Zavadi, 2009). Esto sugiere que el uso de ART no necesariamente aumenta el crecimiento de la planta y dependerá mayormente de la concentración de N disuelto respecto a la concentración de N en el agua del acuífero, el estrés hídrico al cual están expuestas las plantas, las dosis de irrigación, etc.

increases; thus, phosphate may settle in the top centimeters of the soil (Ahmed *et al.*, 2008).

Plant growth

There were no significant differences ($p > 0.05$) in RGR of the grapevines irrigated with wastewater or aquifer water during 2010 and 2011 (Figure 2). During 2010, shoot RGR in May was 1.95 % d⁻¹ and decreased to practically 0 by mid-July. During 2011, the maximum relative growth rate was 6.75 % d⁻¹ in mid-April and decreased to 0 % d⁻¹ in mid-July. Unlike our findings, significantly higher RGRs were reported for grape (*Vitis vinifera* var. Cabernet sauvignon and Merlot) irrigated with TWW compared to that irrigated with aquifer water (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008). The higher RGRs observed in other studies are most likely due to higher levels of N in TWW than in aquifer water, and to greater water stress for these grapevines (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008). Likewise, there were no significant differences in growth of lettuce (*Lactuca sativa*), radish (*Raphanus sativus*) or carrots (*Daucus carota*) irrigated with TWW relative to those irrigated with aquifer water (Zavadi, 2009). This suggests that the use of TWW does not necessarily increase plant growth, and this will largely depend on the concentration of dissolved N relative to the N concentration in aquifer water, the water stress plants are exposed to, the dosage of irrigation, etc.

Photosynthetic parameters

There were no significant differences ($p > 0.05$) in photosynthetic parameters at the end of maturity among the irrigation treatments (Figure 3). The ETR_{max} throughout PSII of the grape leaves was $60 \pm 20 \mu\text{mol e}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for all the treatments; the subsaturation coefficient (E_k) was $590 \pm 150 \mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$, while the initial slope of the ETR curve *vs.* irradiance (α) was $0.13 \pm 0.05 \mu\text{mol e}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} (\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$. Quantum yield is an indicator of photosynthetic yield (photochemical phase of photosynthesis) in plants and blue-green bacteria (Maxwell and Johnson, 2000). This quantum yield of the photosynthetic apparatus is very sensitive to stress caused by deficient irrigation, differences in fertilization, impact of a pollutant, etc. Thus,

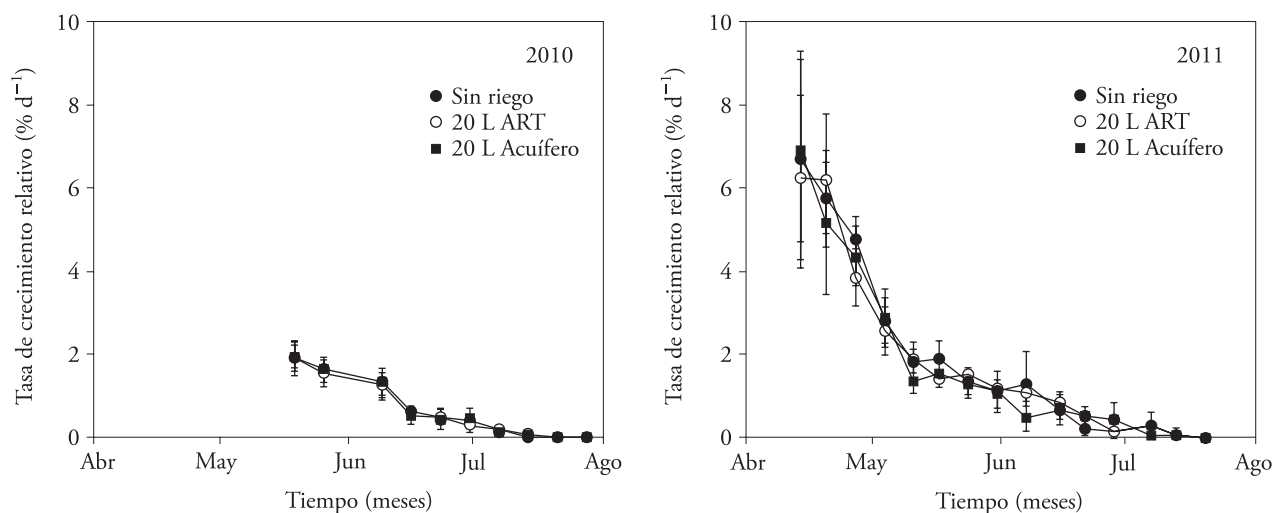


Figura 2. Tasa de crecimiento relativo (% d⁻¹) para las vides Tempranillo en 2010-2011, regadas con agua residual tratada, agua del acuífero y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.

Figure 2. Relative growth rate (% d⁻¹) of Tempranillo grapevines in 2010-2011, irrigated with treated wastewater, aquifer water, and non-irrigated. Error bars indicate standard deviation.

Parámetros fotosintéticos

No hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los parámetros fotosintéticos al final de la madurez entre los tratamientos de riego (Figura 3). La ETR_{max} a través del PSII de las hojas de vid fue $60 \pm 25 \mu\text{mol e}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para todos los tratamientos, el coeficiente de subsaturación (E_k) fue $590 \pm 150 \mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mientras que la pendiente inicial de la curva ETR *vs.* irradiancia (alfa) fue $0.13 \pm 0.05 \mu\text{mol e}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} (\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$. El rendimiento cuántico es un indicador del rendimiento fotosintético (fase fotoquímica de la fotosíntesis) en plantas y bacterias verde-azules (Maxwell y Johnson, 2000). Este rendimiento cuántico del aparato fotosintético es muy sensible al estrés causado por falta de irrigación, diferencias en fertilización, impacto de algún contaminante, etc. Así, las plantas aumentan la pendiente inicial de la curva ETR *vs.* irradiancia (alfa) y ETR_{max} a medida que aumenta la concentración de N disponible (Cabello-Pasini *et al.*, 2011). Por tanto, la similitud de los parámetros fotosintéticos en las vides estudiadas probablemente se debe a que los niveles de N aportado por el ART y el agua del acuífero fueron similares durante el periodo de crecimiento.

A diferencia de los parámetros fotosintéticos, la concentración de clorofila a y b fluctuaron

plants increase, the initial slope of the ETR curve *vs.* irradiancia (alpha) and ETR_{max} as the concentration of available N increases (Cabello-Pasini *et al.*, 2011). Therefore, the similarity of the photosynthetic parameters of the grapevines under study is likely due to the fact that the levels of N contributed by TWW and by aquifer water were similar during the growth period.

Contrary to the photosynthetic parameters, chlorophyll a and b concentrations fluctuated significantly ($p \leq 0.05$) in relation to the type of water applied (TWW *vs.* aquifer water), but not in relation to the concentration of TWW applied to the grapevines ($p \leq 0.05$, Figure 4). The highest concentrations ($p \leq 0.05$) of chlorophyll a and b were observed in grapevines irrigated with 10 and 20 L week⁻¹ of TWW, while the lowest were in non-irrigated plants. The increase in N-based fertilization increases the concentration of chlorophyll in leaves of a large number of plants (Cabello-Pasini and Figueroa, 2005). In maize, chlorophyll levels increase as the available N increases and when water stress is reduced (Schlemmer *et al.*, 2005). Therefore, the increase in chlorophyll in grape leaves irrigated with 10 and 20 L week⁻¹ TWW relative to those non-irrigated is likely due to greater availability of N in TWW and stress reduction. An increase in chlorophyll leads to an increase in ETR_{max} , which was not observed in the present study.

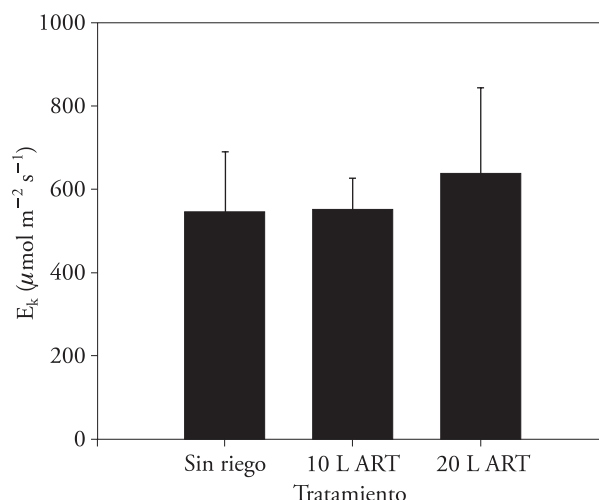
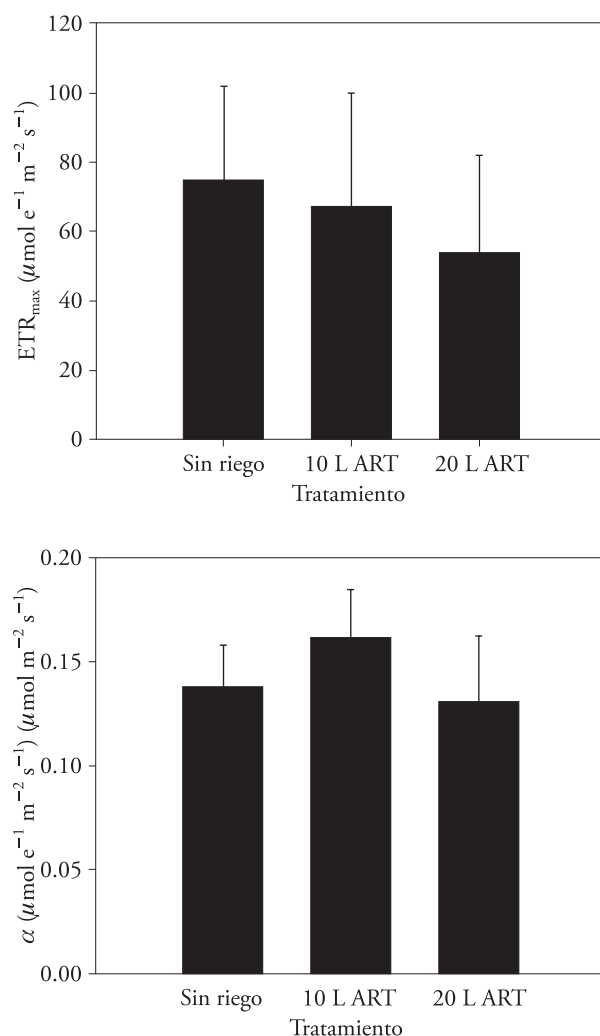


Figura 3. Determinación de ETR_{max} , E_k y α , en vides Tempranillo en 2011, regadas con agua residual tratada y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.

Figure 3. Assessment of ETR_{max} , E_k and α in Tempranillo grapevines irrigated with treated wastewater, aquifer water, and non-irrigated in 2011. Error bars indicate standard deviation.

significativamente ($p \leq 0.05$) en relación al tipo de agua aplicada (ART *vs.* agua del acuífero) pero no respecto a la concentración de agua residual aplicada a las vides ($p > 0.5$, Figura 4). Las concentraciones mayores ($p \leq 0.05$) de clorofila a y b se observaron en las vides irrigadas con 10 y 20 L sem^{-1} de ART, y las menores en las plantas sin irrigación. El aumento de fertilización a base de N aumenta la concentración de clorofila en las hojas de una gran cantidad de plantas (Cabello-Pasini y Figueroa, 2005). En maíz, los niveles de clorofila aumentan al aumentar la disponibilidad de N y al reducir el estrés hídrico (Schlemmer *et al.*, 2005). Por tanto, es probable que el aumento de clorofila en las hojas de vid irrigadas con 10 y 20 L sem^{-1} , se deba a la mayor disponibilidad de N en las ART y la reducción del estrés hídrico respecto a las vides no irrigadas. El aumento en la concentración de clorofila conduce a un incremento en ETR_{max} , lo cual no fue observado en este estudio.

Nitrogen in tissues

Nitrogen supplied by TWW generates an increase in tissue N levels and higher yields of some crops. Thus, the N content in maize leaves irrigated with TWW increased from 1 to 3 %, relative to those irrigated with aquifer water (Umaña-Gómez, 2007), and there was a yield of 2.58 t ha^{-1} of maize irrigated with TWW, while the non-irrigated control plot yielded 1.61 t ha^{-1} (Umaña-Gómez, 2006). In our study, N content in grape leaves and petioles did not vary significantly ($p > 0.05$, Figure 5). The N concentration in leaves was five times higher ($p \leq 0.05$) than that in petioles. The concentration of N in plant tissues, including the petioles, increases when the concentration of available N increases. The N concentration in leaves and petioles in this study was consistent with that observed in numerous varieties of grapes (Christensen, 1984). The concentration of N

Nitrógeno en los tejidos

El aporte de N por las ART genera un aumento en los niveles de N en el tejido y rendimientos mayores en algunos cultivos. Así, el contenido de N en las hojas de maíz irrigado con ART aumentó de 1 a 3 % respecto a los cultivos irrigados con agua del acuífero (Umaña-Gómez, 2007), y hubo un rendimiento de 2.58 t ha^{-1} de maíz en la parcela irrigada con ART, mientras que en la parcela testigo no regada fue 1.61 t ha^{-1} (Umaña-Gómez, 2006). En el presente estudio, el contenido de N en las hojas y peciolo de la vid no varió significativamente ($p > 0.05$; Figura 5). La concentración de N en las hojas fue cinco veces mayor ($p \leq 0.05$) que en los peciolo. Las plantas aumentan la concentración de N en el tejido, incluyendo los peciolo, al aumentar la concentración de N disponible. La concentración de N en las hojas y en los peciolo en este estudio fue consistente con lo observado para numerosos varietales de vid (Christensen, 1984). La concentración de N en los peciolo es más baja que en las hojas, y ambos tienden a disminuir durante el periodo de maduración de las uvas. Los niveles de N en las hojas de vid fluctúan entre 2 y 3 % cuando la fertilización es adecuada (Reuter y Robinson, 1986). Por tanto, la concentración de N en el tejido de hojas en este estudio sugiere que la concentración de N aportada por el agua del acuífero así como el ART fue suficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales de N en este varietal. El exceso de aporte de N durante el riego, además de ser perjudicial para las plantas, aumenta la lixiviación del nitrato, y por ende, la contaminación de las aguas subterráneas (Celis-Hidalgo, 2010).

Rendimiento de fruta y madera

No hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) del rendimiento de fruta en relación al tratamiento de riego (Figura 6), pero la cantidad de fruta producida durante 2010 y 2011 fue diferente ($p \leq 0.05$). El rendimiento de fruta por vid durante 2010 fue $5.5 \pm 0.6 \text{ kg}$ y durante 2011 fue $4 \pm 0.7 \text{ kg}$. Además hubo diferencias en el rendimiento de madera con respecto al tipo de riego (Figura 7). Las vides que recibieron 20 L sem^{-1} de ART ($2.7 \pm 0.6 \text{ kg madera vid}^{-1}$) mostraron un rendimiento 30 % mayor ($p \leq 0.05$) que los otros tratamientos. Esto

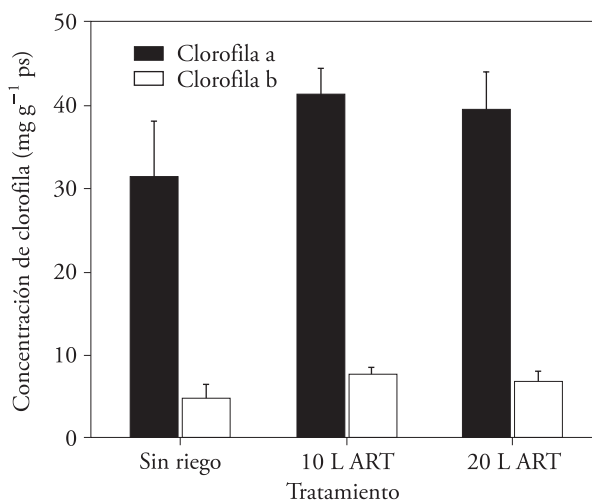


Figura 4. Concentración de clorofila a y b en vides Tempranillo 2011, regadas con agua residual tratada y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.

Figure 4. Chlorophyll a and b concentrations in Tempranillo grapevines irrigated with treated wastewater, and non-irrigated in 2011. Error bars indicate standard deviation.

is lower in petioles than in leaves, and in both it tends to decrease during the period of grape ripening. The N levels in grape leaves fluctuate between 2 and 3 % when fertilization is adequate (Reuter and Robinson, 1986). Therefore, the N levels in leaf tissue in our study suggest that N supplied by aquifer water as well as by TWW was sufficient to satisfy the nutritional requirements of this variety. Excessive application of N during irrigation, besides being harmful for the plants, increases nitrate leaching and pollutants underground water (Celis-Hidalgo, 2010).

Fruit and wood yield

There were no significant differences ($p > 0.05$) in fruit yield in relation to the irrigation treatment (Figure 6), but the quantity of fruit produced during 2010 and 2011 was different ($p \leq 0.05$). Fruit yield per grapevine was $5.5 \pm 0.6 \text{ kg}$ during 2010 and $4 \pm 0.7 \text{ kg}$ during 2011. Furthermore, there were differences in wood yield with respect to the type of irrigation (Figure 7). The grapevines that received 20 L week^{-1} of TWW ($2.7 \pm 0.6 \text{ kg wood vine}^{-1}$) showed a yield 30 % higher ($p \leq 0.05$) than the other treatments. This indicates that the grapevines with the higher rate of irrigation produced more foliage.

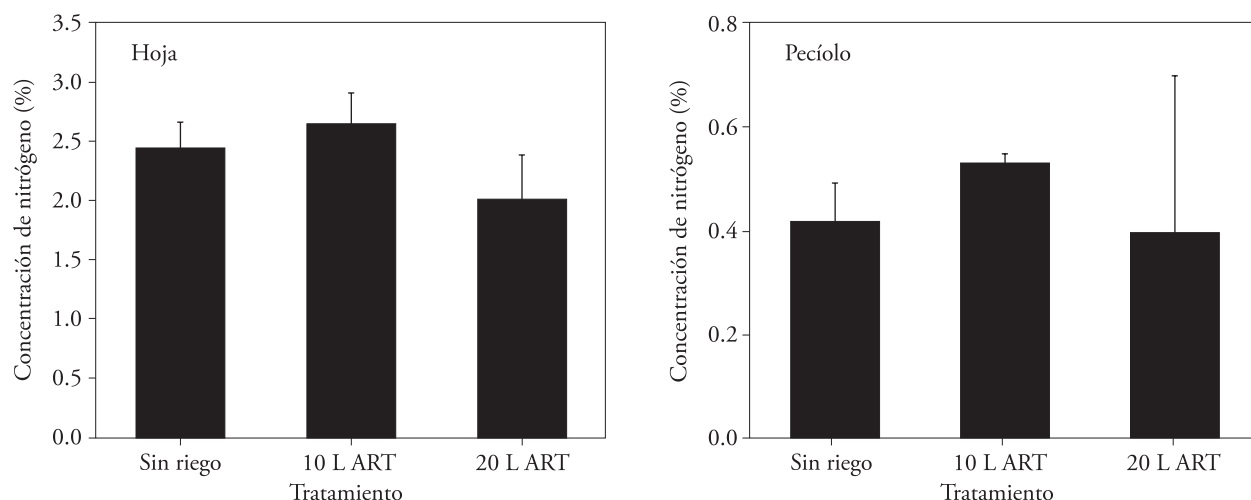


Figura 5. Contenido de nitrógeno en hoja y pecíolo en vides Tempranillo 2011, regadas con agua residual tratada y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.

Figure 5. Nitrogen content in Tempranillo grape, leaves and petioles irrigated with treated wastewater and non-irrigated in 2011. Error bars indicate standard deviation.

indica que las vides con mayor riego produjeron más follaje.

CONCLUSIONES

Las aguas residuales tratadas de la planta de tratamiento de El Sauzal cumplen con los parámetros que estipula la legislación mexicana para ser usada en el riego de cultivos. Además, estas aguas no afectaron negativamente el crecimiento,

CONCLUSIONS

Treated wastewater from the El Sauzal plant complies with the parameters stipulated by Mexican legislation for use in crop irrigation. Moreover, this water did not negatively affect growth, photosynthesis, nitrogen concentration in petioles and leaves, or fruit and wood yield in Tempranillo grape.

—End of the English version—

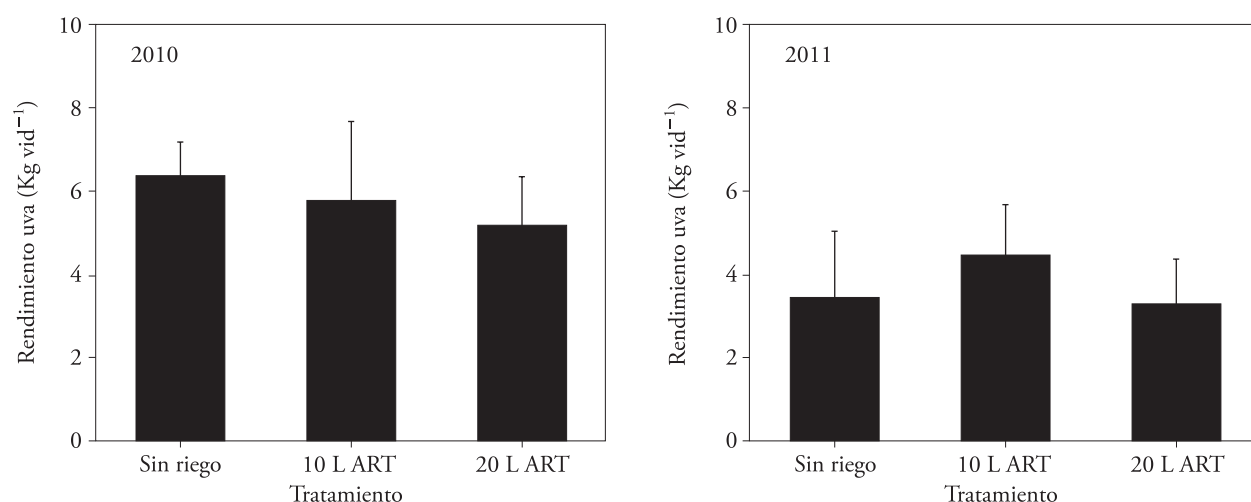


Figura 6. Rendimiento de uva (kg) para vides Tempranillo 2010-2011, en los tratamientos de riego: agua residual tratada y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.

Figure 6. Grape yield (kg) of Tempranillo grapevines under irrigation treatments in 2010 and 2011: treated wastewater and non-irrigated. Error bars indicate standard deviation.

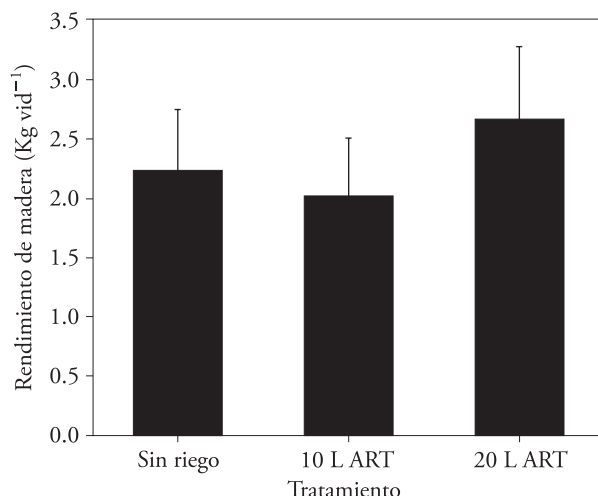


Figura 7. Rendimiento de madera (kg) para vides Tempranillo en 2011, en los tratamientos de riego: agua residual tratada, y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.

Figure 7. Wood yield (kg) of Tempranillo grapevines under irrigation treatments in 2011: treated wastewater, and non-irrigated. Error bars indicate standard deviation.

la fotosíntesis, la concentración de nitrógeno en los peciolo y hojas, y el rendimiento de fruta y madera en vides Tempranillo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Viñas Pasini S. A. de C. V. por permitir realizar los experimentos en parte de su viñedo. Este estudio fue apoyado con recursos del proyecto FORDECYT (#146606).

LITERATURA CITADA

- Ahmed, M., I. Kennedy, A. Choudhury, M. Kecskes, and R. Deaker. 2008. Phosphorus adsorption in some Australian soils and influence of bacteria on the desorption of phosphorus. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 39: 1269-1294.
- AOAC. 1999. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. AOAC International. Gaithersburg MD USA. 527 p.
- APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association. Washington, DC. 456 p.
- Bouwer, H., and E. Idelovitch. 1987. Quality requirements for irrigation with sewage water. *J. Irrig. Drain. Eng.* 113: 516-535.
- Cabello-Pasini, A., and F. L. Figueroa. 2005. Effect of nitrate concentration on the relationship between photosynthetic oxygen evolution and electron transport rate in *Ulva rigida* (Chlorophyta). *J. Phycol.* 41: 1169-1177.
- Cabello-Pasini, A., V. Macías-Carranza, R. Abdala, N. Korbee, and F. L. Figueroa. 2011. Effect of nitrate concentration and UVR on photosynthesis, respiration, nitrate reductase activity, and phenolic compounds in *Ulva rigida* (Chlorophyta). *J. Appl. Phycol.* 23: 363-369.
- Celis-Hidalgo, J. E. 2010. Utilización de aguas residuales para riego en Chile ¿es posible? *Ciencia Ahora* 25: 51-68.
- Christensen, P. 1984. Nutrient level comparisons of leaf petioles and blades in twenty-six grape cultivars over three years (1979 through 1981). *Am. J. Enol. Vitic.* 35: 124-133.
- Daessle, L., L. Mendoza-Espinosa, V. F. Camacho-Ibar, W. Rozier, O. Morton, L. Van-Dorst, K. Lugo-Ibarra, A. Quintanilla-Montoya, and A. Rodríguez-Pinal. 2006. The hydrogeochemistry of a heavily used aquifer in the Mexican wine-producing Guadalupe Valley, Baja California. *Environ. Geol.* 51: 151-159.
- Hach-Company. 2002. Water Analysis Handbook. Hach Company. Loveland, CO. 1260 p.
- Jiménez, B., A. Chávez, and C. Hernández. 1999. Alternative treatment for wastewater destined for agricultural use. *Water Sci. Tech.* 40: 355-362.
- Kurczyn-Robledo, J. A., T. G. Kretschmar, y A. Hinojosa-Corona. 2006. Evaluación del escurrimiento superficial en el noreste del Valle de Guadalupe, B. C., México, usando el método de curvas numeradas y datos de satélite. *Rev. Mex. Cien. Geol.* 24: 1-14.
- Lazarova, V., and A. Bahri. 2005. Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass. CRC Press. Baton Rouge, Louisiana. 408 p.
- López, J., I. De Juana, y F. Del Río. 1998. La reutilización integral de las aguas residuales urbanas en Vitoria-Gasteiz (España). *Ing. Civ.* 110: 211-222.
- Maxwell, K., and G. N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *J. Exp. Bot.* 51: 659-668.
- Medellín-Azuara, J., L. G. Mendoza-Espinosa, J. R. Lund, C. Waller-Barrera, and R. E. Howitt. 2008. Water supply for Baja California; Economic-engineering analysis for agricultural, environmental and urban demands. California Environmental Protection Agency. 99 p.
- Mendoza-Espinosa, L., L. Daessle, M. V. Orosco-Borbón, I. Espejel, C. Leyva, and A. Quintanilla-Montoya. 2005. Water quality and reclamation issue in the wine-producing Guadalupe Valley, Baja California, Mexico. *International Water Association, Jeju, Korea.* 23 p.
- Mendoza-Espinosa, L. G., A. Cabello-Pasini, V. Macías-Carranza, W. Daessle-Heuser, M. V. Orozco-Borbon, and A. L. Quintanilla-Montoya. 2008. The effect of reclaimed wastewater on the quality and growth of grapevines. *Water Sci. Tech.* 57: 1445-1450.
- NMX-AA-113-SCFI-1999. 1999. Análisis de Agua - Determinación de Huevos de Helminto - Método de Prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 12 p.
- Porra, R. J., W. A. Thomson, and P. E. Kriedemann. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with for different solvents: verification of the concentrations of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochim. Biophys. Acta* 975: 384-394.

- Reuter, D. J., and J. B. Robinson. 1986. Plant Analysis: An Interpretation Manual. Inkata Press Pty. Ltd. Melbourne, Australia. 237 p.
- Reyes-Coca, S., and R. Troncoso-Gaytan. 2004. Multidecadal variation of winter rainfall in the northwestern Baja California. *Ciencia Mar.* 30: 99-108.
- Rico-Amoros, A. M. 1989. Depuración y reutilización de aguas residuales en el litoral Alicantino. *Pap. Geog.* 23: 245-261.
- Salgado-Tránsito, J., O. Palacios-Vélez, A. Galvis-Spinola, F. Gavi-Reyes, y E. Mejia-Saens. 2012. Efecto de la calidad de agua del acuífero Valle de Guadalupe en la salinidad de suelos agrícolas. *Rev. Mex. Cien. Agr.* 3: 79-95.
- Schlemmer, M. R., D. F. Francis, J. F. Shanahan, and J. S. Schepers. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agron. J.* 97: 106-112.
- Schreiber, U., W. Bilger, and C. Neubauer. 1994. Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of *in vivo* photosynthesis. In: Schulze, E. and M. Caldwell (eds). *Ecophysiology of Photosynthesis*. pp: 49-70.
- Scott, C., N. Faruqui, and L. Raschid-Sally. 2004. Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities. CAB International, Cambridge, MA, USA. 206 p.
- Sepúlveda, B. J. 2009. Distribución geográfica y estadística de los viñedos en Baja California. VI Seminario Internacional de Vitivinicultura, Ensenada, Baja California. INIFAP. pp: 7-14.
- Umaña-Gómez, E. 2006. Efectos en suelo y plantas debido al riego de un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) con el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jinotepe. *Nexo* 19: 108-114.
- Umaña-Gómez, E. 2007. El reuso de aguas residuales para riego en un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) una alternativa ambiental y productiva. *La Calera* 6: 22-26.
- Zavadil, J. 2009. The effect of municipal wastewater irrigation on the yield and quality of vegetables and crops. *Soil Water Res.* 4: 91-103.