

EFFECTO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UVA TEMPRANILLO (*Vitis vinifera*) EN BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

EFFECT OF TREATED WASTEWATER ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF TEMPRANILLO GRAPES (*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. 22860.
(acabello@uabc.edu.mx).

RESUMEN

La viticultura está limitada en Baja California por la disponibilidad del agua debido a que es una zona semidesértica, pero las aguas residuales tratadas (ART) se podrían utilizar para regar algunos cultivos. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el impacto del riego de la vid con ART sobre la calidad microbiológica y química de las uvas en el Valle de Guadalupe, México. Entre 10 a 20 L semana⁻¹ de ART de la planta de tratamiento de El Sauzal fueron aplicados a vides Tempranillo de 5 años de edad y para los testigos se usó agua del acuífero Valle de Guadalupe. El análisis mostró que 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 se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en pH, acidez titulable, concentración de sólidos solubles (azúcar) y nitrógeno asimilable por las levaduras de las uvas, independientemente del tipo de agua aplicada como riego. Las concentraciones de los iones de Ca, Mg, Na y K no fueron afectadas por los tratamientos de riego ($p > 0.05$). Este estudio muestra que el ART de la planta de tratamiento de El Sauzal no tuvo un impacto negativo a corto plazo sobre la calidad de la uva para vinificación y el agua tratada podría usarse para regar este cultivo.

Palabras clave: agua residual tratada, viticultura, madurez, uva.

ABSTRACT

Viticulture in Baja California (Mexico), located in a semi-arid region, is limited by the availability of water. Treated wastewater (TWW), however, could be used to irrigate some crops. Therefore, the objective of this study was to assess the effect of irrigating grapevines with TWW on the microbiological and chemical quality of grapes in the Guadalupe Valley. Five-year-old Tempranillo grapevines were irrigated with 10 or 20 L week⁻¹ of TWW from the El Sauzal wastewater treatment plant; for the control treatment, water from the Guadalupe Valley aquifer was used. The analysis showed that TWW 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. No significant differences ($p > 0.05$) were observed in pH, titratable acidity, the concentration of soluble solids (sugar) or yeast assimilable nitrogen in the grapes, regardless of the type of water used for irrigation. The concentrations of the Ca, Mg, Na and K ions were not affected by the irrigation treatments ($p > 0.05$). This study shows that TWW from the El Sauzal treatment plant did not cause short-term negative impacts on the quality of grapes for vinification, and that treated water could be used to irrigate this crop.

Key words: treated waste water, viticulture, ripening, grapes.

INTRODUCTION

The main problems associated with water use are the loss of its original quality and its constantly growing demand for farming and forest activities as well as for urban and industrial needs (Lazarova and Bahri, 2005). Worldwide, nearly 65 % of available fresh water is used for

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

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

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 47: 767-779. 2013.

INTRODUCCIÓN

El problema principal relacionado con la utilización del agua es que pierde su calidad original y aumenta constantemente la demanda de las actividades agropecuarias y forestal, y de las necesidades urbanas y de la industria (Lazarova y Bahri, 2005). En el mundo se usa cerca de 65 % del agua dulce disponible para irrigación, 20 % en las industrias y 15 % para uso doméstico. En algunos países hay programas exitosos para la reutilización de aguas residuales urbanas (Lazarova y Bahri, 2005), mientras que en zonas áridas, donde el agua es escasa, la reutilización del agua residual tratada (ART) para el riego podría reducir el consumo de agua potable hasta 50 % (Laurenson *et al.*, 2010).

La reutilización de agua es una manera eficiente de reducir el estrés hídrico de las plantas, y permite una gestión del agua más sostenible en países donde el agua es escasa (Hochstrat *et al.*, 2008). Además de la escasez de agua, algunas ciudades enfrentan el problema del desecho de las aguas residuales las cuales generalmente son vertidas en cuerpos de agua interiores y costeros, o son usadas ocasionalmente en la agricultura. En Ensenada, Baja California, más del 90 % del ART es vertida al mar (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2004). En contraste, en el Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, 90 000 ha de cultivo son irrigadas con agua residual de la ciudad de México (Jiménez *et al.*, 1999).

La principal zona vitivinícola de México está en el norte de Baja California, donde el promedio de precipitación pluvial es 285 mm, pero debido a periodos de sequías en los últimos 15 años es más cercano a 200 mm (Reyes-Coca y Troncoso-Gaytan, 2004). A diferencia de otros municipios de Baja California que suplen parcialmente sus requerimientos hídricos del río Colorado, el municipio de Ensenada satisface todos sus requerimientos hídricos con agua de acuíferos y agua de escorrentía (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2005). Uno de los principales suministros de agua para la ciudad de Ensenada es el acuífero Valle de Guadalupe ($9 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$; CNA, 1998), lo cual tiene un gran impacto en la disponibilidad de agua para la viticultura en esta zona. Debido a la reducción en precipitación y la extracción de agua del acuífero Valle de Guadalupe hacia la ciudad de

irrigación, 20 % in industry and 15 % for domestic use. In some countries, successful urban water reuse programs have been implemented (Lazarova and Bahri, 2005), while in arid regions, where water is scarce, reuse of treated wastewater (TWW) for irrigation could reduce consumption of potable water by up to 50 % (Laurenson *et al.*, 2010).

Reusing water is an efficient way to reduce plant water stress, and it makes water management more sustainable in countries where water is scarce (Hochstrat *et al.*, 2008). In addition to water scarcity, some cities must deal with the problem of disposing of wastewater, which is generally discharged into inland or coastal bodies of water and occasionally used in agriculture. In Ensenada, Baja California, more than 90 % of TWW is discharged into the sea (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2004). In contrast, in the Mezquital Valley, state of Hidalgo, 90 000 ha of crops are irrigated with wastewater from Mexico City (Jiménez *et al.*, 1999).

The main wine producing region of Mexico is located in northern Baja California, where average rainfall is 285 mm; however, because of periods of drought over the last 15 years, this average is closer to 200 mm (Reyes-Coca and Troncoso-Gaytan, 2004). Unlike other Baja California municipalities, whose water needs are partially met by the Colorado River, the municipality of Ensenada is supplied entirely by water from aquifers and runoff (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2005). One of the main water supplies for the city of Ensenada is the Guadalupe Valley aquifer ($9 \text{ Mm}^3 \text{ year}^{-1}$; CNA, 1998). This greatly impacts water availability for viticulture in this region. Because of the reduction in rainfall and extraction of groundwater from the Guadalupe Valley aquifer for the city of Ensenada, the volume and quality of water in the aquifer are decreasing (Daessle *et al.*, 2004).

With good management and adequate treatment, TWW can increase plant growth and fruit yield without negatively affecting crops (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2005; Laurenson *et al.*, 2012). In grape cultivation, however, the use of TWW has been associated with problems such as an increase in heavy metals, pathogenic microorganisms and salinity in the soil and fruit (Metcalf & Eddy Inc., 2004; Laurenson *et al.*, 2012). In vineyards irrigated with TWW, the nutritional status has decreased due to a progressive increase in salinity (McCarthy,

Ensenada, los volúmenes y calidad de los mantos acuíferos disminuyen (Daessle *et al.*, 2005).

Con una buena gestión y el tratamiento adecuado, las ART pueden aumentar el crecimiento, el rendimiento de fruta, y no afectar negativamente los cultivos (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2005; Laurenson *et al.*, 2012). Sin embargo, las ART usadas en el cultivo de la vid pueden causar problemas relacionados con metales pesados, microorganismos patógenos, aumento de la salinidad de la tierra y fruta, etc. (Metcalf & Eddy Inc., 2004; Laurenson *et al.*, 2012). En los viñedos irrigados con ART ha disminuido el estatus nutricional debido al aumento progresivo de la salinidad (McCarthy, 1981; McCarthy y Downton, 1981). Además, ha cambiado la concentración de sólidos solubles, pH y acidez total de las uvas, lo que afecta el balance químico y la calidad de los vinos producidos con estas uvas (Paranychianakis *et al.*, 2006).

El gobierno municipal de Ensenada, Baja California, ha propuesto la creación de un acueducto para llevar ART al valle de Guadalupe y mitigar el estrés hídrico en los viñedos, pero pocos estudios han valorado el efecto de las ART sobre la fisiología de la vid (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008) y no existen estudios sobre el efecto de las ART en la calidad de la fruta en esta zona vitivinícola. En consecuencia, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del riego con ART sobre la concentración de sólidos solubles, acidez total, pH y nitrógeno asimilable en uvas Tempranillo. Además, se evaluó la acumulación de iones y la presencia de bacterias patógenas en uvas para vino irrigadas con ART en el Valle de Guadalupe, Baja California, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó durante dos periodos de producción (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), de cinco años de edad, en cordones de un brazo con un sistema de espaldera de dos líneas. Las vides fueron cultivadas en pasillos de 2.7 m y 1.2 m entre vides dispuestas en una orientación Este-Oeste y la poda se mantuvo a 30 yemas por vid. Los tratamientos fueron: 1) plantas regadas con 20 L semana⁻¹ de agua del acuífero, 2) plantas regadas con 10 L semana⁻¹ de ART, 3) plantas regadas con 20 L semana⁻¹ de ART y 4) plantas no regadas. El agua fue suministrada semanalmente al pie de las vides usando cajetes.

1981; McCarthy and Downton, 1981). Moreover, the concentrations of soluble solids, pH and total acidity have changed, affecting the chemical balance and quality of wines produced with these grapes (Paranychianakis *et al.*, 2006).

The municipal government of Ensenada, Baja California, has proposed the creation of an aqueduct to transport TWW to the Guadalupe Valley to mitigate water stress in the vineyards, but few studies have assessed the effect of TWW on grapevine physiology (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008) and there are no studies on the effect of TWW on fruit quality in this grape-growing region. Consequently, the objective of this study was to assess the effect of irrigating with TWW on the concentration of soluble solids, total acidity, pH and assimilable nitrogen in Tempranillo grapes. Furthermore, ion accumulation and presence of pathogenic bacteria was assessed in wine grapes irrigated with TWW in the Guadalupe Valley, Baja California, Mexico.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted during two production periods (2010 and 2011) using five-year-old grapevines (*Vitis vinifera* var. Tempranillo) cultivated on one-arm cords with a two-line trellis system in the Guadalupe Valley, Baja California (31° 59' 09" N, 116° 38' 46" W). The grapevines were planted in 2.7 m rows with 1.2 m between vines, with an east-west orientation, and pruned to 30 buds per vine. The treatments were: 1) plants irrigated with 20 L week⁻¹ aquifer water, 2) plants irrigated with 10 L week⁻¹ TWW, 3) plants irrigated with 20 L week⁻¹ TWW, and 4) plants without irrigation. Water was supplied weekly at the foot of the grapevines.

Physicochemical and microbiological characterization of irrigation water

Samples of TWW from the El Sauzal wastewater treatment plant (secondary treatment with disinfection) and of water from the Guadalupe Valley aquifer were collected weekly in sterile 0.5 L plastic containers and transported to the Water Quality Laboratory of the Institute of Oceanological Research of the Autonomous University of Baja California for analysis. Biochemical oxygen demand (DBO₅), sedimentable solids, total dissolved solids, total suspended solids, fat and oils, conductivity, pH, turbidity, and total and fecal coliforms were analyzed by standardized water analysis methods (APHA, 1998). Helminth eggs were analyzed following the technique stipulated in NMX-

Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de riego

Muestras de ART de la planta de tratamiento de El Sauzal (tratamiento secundario con desinfección) y agua del acuífero del Valle de Guadalupe fueron recolectadas semanalmente, en contenedores plásticos estériles de 0.5 L y se transportaron 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 (DBO_5), 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 estipulada en la NMX-AA-113-SCFI-1999 (1999). La concentración de nitratos, fosfatos y amonio se determinó analíticamente mediante colorimetría (Hach-Company, 2002).

Madurez de la uva

Las variables de madurez de las uvas fueron determinadas semanalmente desde la fecha de envero en los tratamientos de riego. Aproximadamente, 45 uvas por tratamiento ($n=10$) fueron recolectadas al azar y transportadas en una hielera a 4 °C al laboratorio para los análisis. Las uvas de cada tratamiento se maceraron 2 h y se determinó la concentración de sólidos solubles (azúcares). Los niveles de sólidos totales se evaluaron con un refractómetro de mesa Abbe (Fisher Scientific Co.), la acidez se midió mediante titulación, el pH se determinó potenciométricamente (ThermoOrion 410) y el nitrógeno asimilable por las levaduras por titulación con NaOH (Zoecklein *et al.*, 1995).

Concentración de sodio, potasio, calcio y magnesio en mosto

Cada semana se recolectaron aproximadamente 45 uvas de cada tratamiento ($n=3$), desde el envero hasta el final de la cosecha. Las uvas fueron maceradas para obtener el jugo y analizar los iones (mg L^{-1}) de Na, K y Ca por emisión con una flama oxidante de acetileno, y el Mg por absorción atómica con un espectrofotómetro de absorción atómica (Atomic Absorption Spectrometer Fast Sequential, SpectraAA 220/FS).

El diseño experimental fue bloques de 10 vides cada uno. En el 2010, uno de los bloques no recibió riego, otro bloque recibió 20 L sem^{-1} de agua del acuífero y el último recibió 20 L sem^{-1} ART. En el 2011, uno de los bloques no recibió riego, otro bloque recibió 20 L sem^{-1} de agua del acuífero, y los

AA-113-SCFI-1999 (1999). Nitrate, phosphate and ammonium concentrations were determined analytically by colorimetry (Hach Company, 2002).

Grape ripeness

Grape ripeness variables were determined weekly as of the date of veraison in irrigation treatments. Approximately 45 grapes per treatment ($n=10$) were collected at random and transported in a cooler at 4 °C to the laboratory for analysis. The grapes from each treatment were macerated for 2 h, and the concentration of soluble solids (sugars) was determined. Levels of total solids were measured with an Abbe table refractometer (Fisher Scientific Co.), acidity was determined by titration, pH was determined with a potentiometer (ThermoOrion 410), and yeast assimilable nitrogen was measured by titration with NaOH (Zoecklein *et al.*, 1995).

Concentration of sodium, potassium, calcium and magnesium in must (pulp)

Weekly, approximately 45 grapes were collected from each treatment ($n=3$), from veraison to the end of harvest. The grapes were macerated to obtain juice for the analysis of Na, K and Ca ions (mg L^{-1}) by oxidizing acetylene flame emission and of Mg ions by atomic absorption using a SpectraAA 220 Fast Sequential Atomic Absorption Spectrometer.

The experimental design was four blocks of 10 grapevines each. In 2010, one block was non-irrigated, another received 20 L week^{-1} aquifer water and the last received 20 L week^{-1} TWW. In 2011, one block was non-irrigated, another received 20 L week^{-1} aquifer water, another received 10 L week^{-1} TWW and the fourth received 20 L week^{-1} TWW. Water quality parameters of aquifer water and TWW were monitored weekly using the methodology described above. To assess the effect of irrigating with TWW on the chemical characteristics and quality of grapes (from veraison to harvest), the concentration of soluble solids (sugars), pH, titratable acidity, and yeast assimilable nitrogen were determined weekly for each irrigation treatment. The concentrations of Na, K, Ca and Mg ions in grape must were assessed as described above.

Data from ammonium, NO_3 , PO_4 , conductivity and dissolved solids during the year were analyzed with a one-way ANOVA after testing for normality and homoscedasticity of the data (Sokal and Rohlf, 1995). Data for concentration of soluble solids, pH, titratable acidity, yeast assimilable nitrogen, and the concentrations of Ca, Mg, K and Na were analyzed with a one-way ANOVA. All of the multiple comparisons were done with the Tukey test ($p \leq 0.05$).

otros bloques dos recibieron 10 y 20 L sem^{-1} ART cada uno. Los parámetros de calidad del agua del acuífero y del ART se monitorearon cada semana usando la metodología ya descrita. Para evaluar el efecto del uso de las ART sobre las características químicas de las uvas y su calidad, se evaluó semanalmente desde el envero, la concentración de sólidos solubles (azúcares), pH, acidez titulable y el nitrógeno asimilable por las levaduras, para cada tratamiento de riego. En el mosto se evaluó la concentración de los iones de Na, K, Ca y Mg, según la metodología ya descrita.

Los datos de concentración de amonio, NO_3 , PO_4 , conductividad y sólidos disueltos durante el año se analizaron con un ANDEVA de una vía después de probar normalidad y homocedasticidad de los datos (Sokal y Rohlf, 1995). Los datos de la concentración de sólidos solubles, pH, acidez titulable, nitrógeno asimilable por las levaduras, y la concentración de Ca, Mg, K y Na se analizaron con un ANDEVA de una vía. Todas las comparaciones múltiples se realizaron con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad del agua

Los análisis del ART mostraron que el agua de la planta de tratamiento de El Sauzal está dentro de lo establecido por las normas oficiales mexicanas para la irrigación de cultivos (NOM-001-SEMARNAT-1996), así como para la reutilización en actividades en contacto directo o indirecto con la población (NOM-003-SEMARNAT-1997). El fósforo y amonio contenidos en el ART fueron más bajos durante todo el año que los máximos permitidos para el uso de riego por ambas normas oficiales. Estos resultados coinciden con otros estudios de las plantas de tratamiento de Ensenada, Baja California, incluyendo la planta de El Sauzal (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008). Durante el año, los niveles de nitratos en el ART fluctuaron entre 3 y 7 mg L^{-1} , y los nitratos en el agua del acuífero variaron de 2 a 12 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). Esto coincide con lo reportado por Daessle *et al.* (2004) y sugiere que los niveles altos 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.

RESULTS AND DISCUSSION

Water quality

Analysis of TWW showed that the quality of the water from the El Sauzal wastewater treatment plant complied with the official Mexican norms established for crop irrigation (NOM-001-SEMARNAT-1996), as well as for reuse in activities in direct or indirect contact with the population (NOM-003-SEMARNAT-1997). The phosphates and ammonium contained in TWW were lower during the entire year than the maximum levels allowed for use in irrigation by both official norms. These results match with other studies of treatment plants in Ensenada, Baja California, including the El Sauzal plant (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008). During the year, nitrate levels in TWW fluctuated between 3 and 7 mg L^{-1} , and nitrates in aquifer water varied from 2 to 12 mg L^{-1} (Figure 1). Nitrate levels in the aquifer water were twice as high ($p \leq 0.05$) as those observed in TWW (Figure 1). This matches with Daessle *et al.* (2004) and suggests that the high levels of nitrates in groundwater are due to excessive fertilization or the high permeability of the fertilizers applied to the crops and leached into the aquifer.

An excess of macronutrients in TWW has reduced the yield and quality of annual crops such as cotton, tomato, sugar beet, potato, peach, apple and grape (Bouwer and Idelovitch, 1987). Fertilization of vineyards with more than 200 kg N h^{-1} delayed sugar accumulation during ripening (Spayed *et al.*, 1994); moreover, grapes harvested from high N fertilized vineyards produced wines with significantly higher levels of volatile acidity than those produced with grapes fertilized with lower doses. The concentrations of nitrates observed in aquifer water and TWW in this study, however, did not cause significant differences in grapevine branch growth.

Unlike nitrate, the concentration of ammonium was much lower in aquifer water than in TWW. Ammonium levels in TWW fluctuated between 4 and 7 mg L^{-1} , whereas in aquifer water they were near zero throughout the year. The high levels of ammonium in TWW are consistent with those observed in other wastewater treatment plants and are related to bacterial decomposition of organic matter (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008). When used in irrigation, ammonium is rapidly assimilated

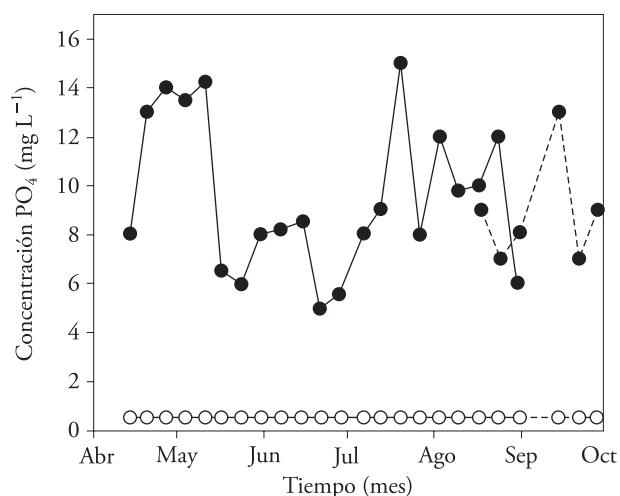
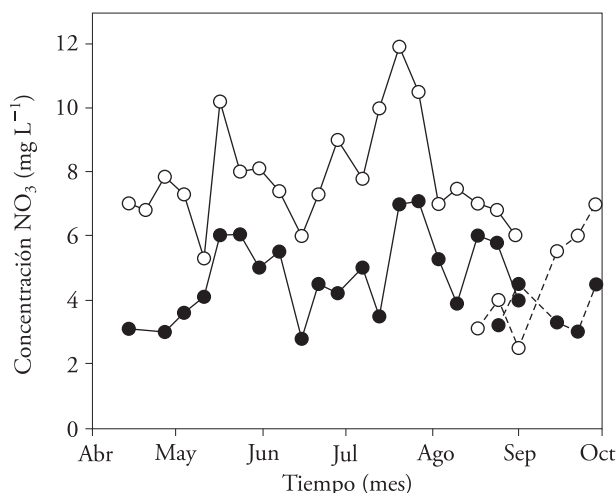
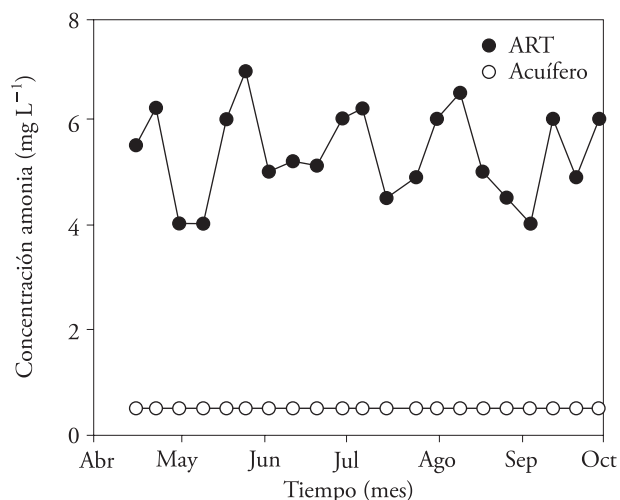


Figura 1. Concentración de amonio, nitratos y fosfatos en el agua residual tratada y agua del acuífero utilizada para irrigar las vides. En el año 2010 (línea punteada) y 2011 (línea sólida).

Figure 1. Concentration of ammonium, nitrates and phosphates in treated wastewater and aquifer water used to irrigate grapevines in 2010 (broken line) and 2011 (solid line).

El exceso de macronutrientes en las ART ha reducido el rendimiento y la calidad en cultivos anuales como algodón, tomate, remolacha, papa, durazno, manzano y vid (Bouwer y Idelovitch, 1987). La fertilización de viñedos con más de 200 kg N ha⁻¹ retrasó la acumulación de azúcares durante la maduración (Spayd *et al.*, 1994); además, las uvas cosechadas de viñedos con alta fertilización de N generaron vinos con niveles significativamente más altos de acidez volátil que aquellos producidos de uva con fertilizaciones menores. Las concentraciones de nitratos observados en las aguas del acuífero y las ART en este estudio, sin embargo, no causaron diferencias significativas en el crecimiento de los sarmientos de vid.

A diferencia del nitrato, la concentración de amonio fue mucho menor en las aguas del acuífero que en las ART. Los niveles de amonio en las ART

by the plants through the roots or is adsorbed onto clays or organic matter by electrostatic loads; fixed ammonium in the soil is then oxidized by bacteria to generate nitrates through nitrification processes (Norton and Stark, 2011). Because of the high rates of assimilation by the plants and nitrification, there is little infiltration and, consequently, ammonia concentration in aquifer water is very low.

Like nitrate, the concentration of phosphates in TWW was significantly different ($p \leq 0.05$) from the concentration in aquifer water during the entire year. Thus, while phosphate levels in TWW fluctuated between 10 and 15 mg L⁻¹, in aquifer water they were close to zero. The high levels of phosphates in TWW match with observations of other urban wastewater treatment plants (Laurenson *et al.*, 2010). These levels are associated with detergents used in homes and emptied into the urban drainage system.

fluctuaron entre 4 y 7 mg L⁻¹, mientras que en el agua del acuífero fue cercana a cero durante el año. Los niveles altos de amonio en el ART son consistentes a lo observado en el agua residual de otras plantas de tratamiento y se relacionan con la descomposición bacteriana de la materia orgánica (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008). Al usarlo durante el riego, el amonio es asimilado rápidamente por las plantas a través de las raíces o se adsorbe a arcillas o materia orgánica mediante cargas electrostáticas; después, el amonio fijado en la tierra es oxidado por bacterias para generar nitratos mediante procesos de nitrificación (Norton y Stark, 2011). Debido a las tasas altas de asimilación por las plantas y la nitrificación, no hay mucha infiltración y en consecuencia la concentración de amonio en el agua del acuífero es muy baja.

Al igual que los nitratos, la concentración de fosfatos entre el ART y el agua del acuífero fue significativamente ($p \leq 0.05$) diferente durante el año. Así, los niveles de fosfatos del ART fluctuaron de 10 a 15 mg L⁻¹, pero 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 (Laurenson *et al.*, 2010). Estos niveles de fosfatos están asociados con detergentes usados en residencias y vertidos a los drenajes urbanos. Los niveles bajos de fosfatos observados 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 cultivo o fertilización, hasta el manto freático. De hecho, el P tiene una gran afinidad por minerales y materia orgánica en el suelo por lo que tiene tasas muy bajas de movilidad a través del sustrato (Ahmed *et al.*, 2008).

La conductividad y la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) en el ART y en el agua del acuífero fueron relativamente constantes durante el año (Figura 2), pero fueron dos veces más alta en el ART que en el agua del acuífero. El valor mayor de conductividad en el ART (2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$) se observó en agosto de 2010, y el menor (1250 $\mu\text{S cm}^{-1}$) en agosto de 2011. La mayor concentración de SDT en el agua del acuífero (650 mg L⁻¹) fue en agosto-septiembre. La concentración mayor de SDT en el ART fue relativamente constante (1100 mg L⁻¹) durante el año. La mayor conductividad y mayor concentración de SDT en el ART, respecto

The low phosphate levels observed in aquifer water suggest that this macronutrient is incorporated by plants, or that the element has a low permeability rate and does not leach from the top soil into the aquifer. Indeed, phosphorus has a high affinity for soil minerals and organic matter, and mobility rates through the substrate are very low (Ahmed *et al.*, 2008).

The conductivity and concentration of total dissolved solids (TDS) in TWW and aquifer water were relatively constant during the year (Figure 2), but they were twice as high in TWW as in aquifer water. The highest conductivity value in TWW (2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$) was observed in August 2010 and the lowest (1250 $\mu\text{S cm}^{-1}$) in August 2011. The highest concentration of TDS in TWW was relatively constant (1100 mg L⁻¹) during the entire year. The higher conductivity and higher TDS concentration in TWW, relative to aquifer water, are due to the concentration of minerals because of oxidation and decomposition of organic matter in the wastewater treatment plants. Therefore, irrigation with TWW may result in high salt concentrations in the soil, especially when applied in arid and semiarid regions. Because of scant rainfall in these areas, salts are not washed out of the soil, and yields of some crops decrease (Tejeda *et al.*, 2001).

Grapevines are moderately sensitive to salinity and grow best when electrical conductivity (EC) is below 0.8 dS m⁻¹. Yields may decrease when EC of irrigation water is above 1.5 dS m⁻¹, which corresponds to a salt content of 975 mg L⁻¹ (Bauder *et al.*, 2011). The EC of TWW in our study was 1.6 dS m⁻¹, which is above optimum for wine grape production. An increase in the salinity of irrigation water, in the short-term, reduces grapevine growth rates, number of racemes and yield, and in cases of long exposure to high salinity, the survival of the grapevines is reduced (Downton, 1977; Shani and Ben-Gal, 2005). However, in our study, irrigating grapevines with TWW for two years did not negatively impact the vegetative growth or yield of Tempranillo var. grapes.

The levels of fecal coliforms in TWW and in aquifer water were less than three colonies, according to the most probable number (MPN), throughout the study (data not shown). Official Mexican Guidelines establish 1000/100 mL MPN as the maximum permitted limit in TWW for crop

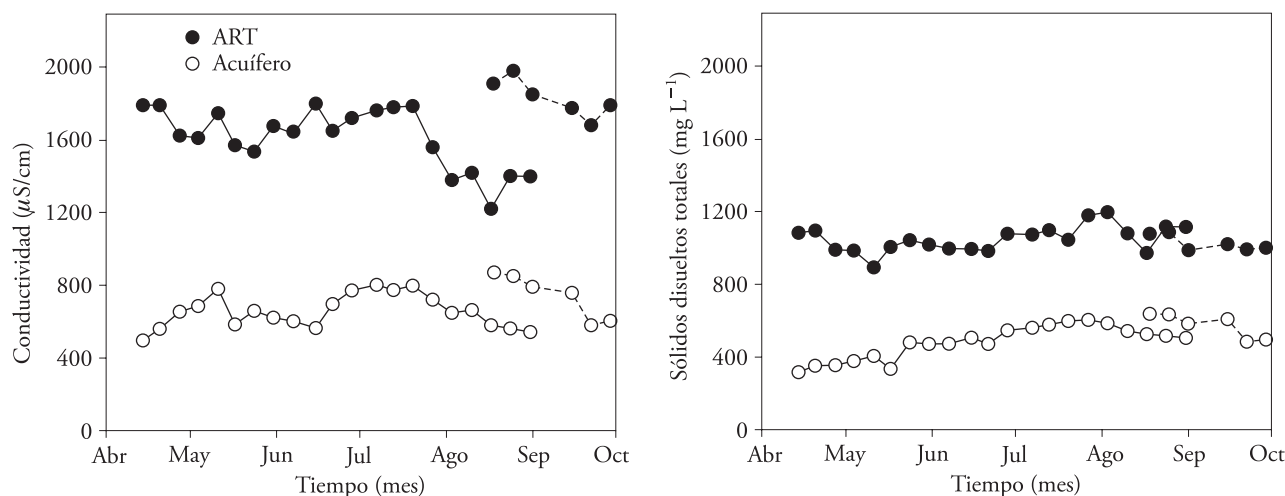


Figura 2. Relación de la conductividad y los sólidos disueltos totales, en el agua residual tratada y agua del acuífero utilizada para irrigar las vides. En el año 2010 (línea punteada) y 2011 (línea sólida).

Figure 2. Conductivity and total dissolved solids in treated wastewater and aquifer water used to irrigate grapevines in 2010 (broken line) and 2011 (solid line).

al agua del acuífero, se debe a la concentración de minerales causada por la oxidación y descomposición de la materia orgánica en las plantas de tratamiento. Por tanto, el riego con ART puede causar un problema de concentración de sales en el suelo, especialmente cuando se aplica en zonas áridas y semiáridas. La falta de lluvias en estas zonas impide lavar las sales del suelo y reduce el rendimiento de algunos cultivos (Tejeda *et al.*, 2001).

La vid es moderadamente sensible a la salinidad y crece mejor cuando la conductividad eléctrica (CE) es inferior a 0.8 dS m^{-1} . El rendimiento puede disminuir cuando la CE del agua de riego es mayor a 1.5 dS m^{-1} , que corresponde a un contenido de sales de 975 mg L^{-1} (Bauder *et al.*, 2011). La CE del ART en este estudio fue 1.6 dS m^{-1} , lo cual es superior al óptimo para el desarrollo de la vitivinicultura. El aumento de la salinidad en el riego a corto plazo reduce las tasas de crecimiento en la vid, número de racimos y rendimiento, y una exposición larga a salinidad alta reduce la sobrevivencia de las vides (Downton, 1977; Shani y Ben-Gal, 2005). Sin embargo, en este estudio la irrigación de vides con ART por dos años no impactó negativamente el crecimiento vegetativo ni el rendimiento de vides var. Tempranillo.

Los niveles de coliformes fecales en el ART y en el agua del acuífero fueron menores a tres colonias, según el número más probable (NMP), durante

irrigation (NOM-001-SEMARNAT-1996) and in activities in which contact is indirect (NOM-003-SEMARNAT-1997), and 240/100 mL MPN for reuse in activities that involve direct contact with the population (NOM-003-SEMARNAT-1997). Furthermore, the results of the analyses conducted on must of grapes irrigated with TWW showed an absence of pathogenic bacteria, suggesting that both TWW from the El Sauzal wastewater treatment plant and water from the aquifer have sufficient microbiological quality for use in growing grapevines.

In the two years of study, the concentration of soluble solids was not significantly different ($p > 0.05$) among the irrigation treatments (Figure 3). This indicates that 10 or 20 L week⁻¹ of aquifer water or TWW covered grapevine water requirements and similar photosynthetic rates were maintained. Non-irrigated plants, however, had lower rates of accumulation of soluble solids in the grapes, compared with those from vines that received TWW or aquifer water. In general, there was a delay in ripening during 2010 relative to 2011 since the grapes reached 25 °Brix three weeks later. The lower soluble solids accumulation rates in non-irrigated grapes are consistent with the results reported by Freeman and Kliever (1983) and Esteban *et al.* (1999). The reduction in soluble solids accumulation in water-stressed grapevines is due to stomatic closure and the consequent reduction in photosynthetic rates

todo el estudio (datos no mostrados). Las Normas Oficiales Mexicanas establecen como límites máximos permisibles 1000/100 mL NMP para ART que se usarán en cultivos (NOM-001-SEMARNAT-1996) y en actividades con contacto indirecto (NOM-003-SEMARNAT-1997); y de 240/100 mL NMP para la reutilización del ART en actividades que impliquen contacto directo con la población (NOM-003-SEMARNAT-1997). Además, el resultado de los análisis en el mosto de la uva irrigada con ART mostró ausencia de bacterias patógenas, lo cual sugiere que las ART de la planta de tratamiento del Sauzal, así como las aguas del acuífero, tienen calidad microbiológica suficiente para ser usadas en el cultivo de la vid.

En los dos años de estudio la concentración de sólidos solubles no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos de riego (Figura 3). Esto indica que las vides irrigadas con 10 o 20 L semana⁻¹ de agua del acuífero o ART cubrieron sus requerimientos hídricos y mantuvieron tasas fotosintéticas similares. Pero las plantas sin riego presentaron las tasas menores de acumulación de sólidos solubles en las uvas, comparado con las vides que recibieron ART o agua del acuífero. En general hubo un retraso de la maduración durante el 2010 respecto al 2011 ya que las vides alcanzaron 25 °Brix tres semanas después. Las tasas menores de

(Liu *et al.*, 1978; Gomez-del-Campo *et al.*, 2002). In grapevines, the stomata close when leaf water potential is from -13 to -15 bar (Liu *et al.*, 1978). In our study, the non-irrigated grapevines under greater water stress reached a leaf water potential of -15 more rapidly than irrigated grapevines (data not shown). Nitrogen concentration in grape must varied greatly among the treatments and between the two years (Figure 3; $p \leq 0.05$). There was twice as much N in must during 2010 than during 2011, but no clear pattern was observed relative to the irrigation treatments.

Similar to the results obtained for soluble solids, there were no significant differences ($p > 0.05$) in the pH of grape must relative to the irrigation treatments (Figure 4). The pH increased as the grapes ripened until reaching 3.6, but the lowest pH was consistently observed in must from non-irrigated plants. The increase in pH with ripening is consistent with the findings of other studies and is directly related to the catabolism of organic acids and accumulation of K in the grape (Esteban *et al.*, 1999; Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008). The accumulation of K in grapes induces the formation of potassium bitartrate that reduce the concentration of dissolved organic acids and increases must pH. In our study, irrigation had no significant impact on pH, and thus, there were no significant differences between irrigated grapes and those with severe water stress (Esteban *et al.*, 1999).

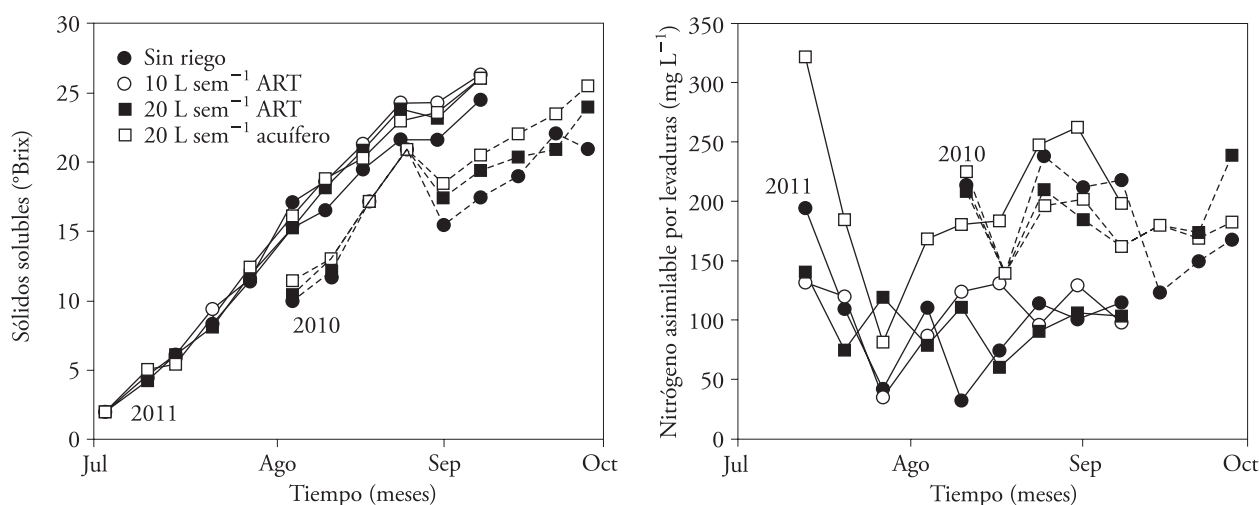


Figura 3. Relación de los sólidos solubles (°Brix) y nitrógeno asimilable por levaduras, en el mosto de uva Tempranillo, regadas con 10 y 20 L de agua residual tratada, 20 L de agua del acuífero y sin riego. En el año 2010 (línea punteada) y 2011 (línea sólida).

Figure 3. Soluble solids (°Brix) and yeast assimilable nitrogen in must from Tempranillo grapes irrigated with 10 and 20 L treated wastewater, 20 L aquifer water and non-irrigated. In 2010 (broken line) and 2011 (solid line).

acumulación de sólidos solubles en las uvas no irrigadas es consistente con resultados reportados por Freeman y Kliwer (1983) y Esteban *et al.* (1999). La reducción en la acumulación de sólidos solubles en vides con estrés hídrico se debe al cierre estomático y a la consecuente reducción de las tasas fotosintéticas (Liu *et al.*, 1978; Gomez-del-Campo *et al.*, 2002). En las vides, las estomas se cierran cuando el potencial hídrico de las hojas alcanza -13 a -15 bar (Liu *et al.*, 1978). En este estudio, las vides sin riego y con un estrés hídrico mayor alcanzaron un potencial hídrico de las hojas de -15 bar más rápidamente que las vides regadas (datos no mostrados). La concentración de N en el mosto de las uvas presentó una gran variación entre los tratamientos y entre los dos años (Figura 3; $p \leq 0.05$). Hubo dos veces más N en el mosto durante 2010 que durante 2011, pero no hubo un patrón claro respecto a los tratamientos de riego.

De manera similar a los resultados obtenidos para sólidos solubles, no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) en el pH del mosto respecto al tratamiento de riego (Figura 4). El pH del mosto aumentó al avanzar la maduración de las uvas hasta alcanzar 3.6 pero, consistentemente, el pH más bajo del mosto se observó en los tratamientos sin riego. El aumento del pH con la maduración es consistente con resultados de otros estudios de maduración de la uva y se relaciona directamente con el catabolismo de ácidos

Total acid concentration in the must decreased significantly ($p \leq 0.05$) during grape ripening in all the irrigation treatments (Figure 4). Like soluble solids, the highest concentration of total acids during 2010 ($p \leq 0.05$) indicated a delay in ripening, relative to 2011. Furthermore, use of TWW did not have a negative effect on total acid concentration. During 2010, there was a higher concentration of acids at the onset of ripening, but at the end, all treatments exhibited the same concentration of organic acids. Unlike the 2010 results, the concentration of organic acids in grape must did not change during the entire ripening period.

Cation concentration was significantly higher in the treatments with TWW than in the aquifer water treatment. Compared to water from the aquifer, in TWW the concentration of Ca was 52 times higher ($324.3 \pm 49.0 \text{ mg L}^{-1}$), Mg 5.8 times higher ($11.9 \pm 0.4 \text{ mg L}^{-1}$), K 41 times higher ($47.0 \pm 1.1 \text{ mg L}^{-1}$), and Na 3.4 times higher ($42.2 \pm 0.3 \text{ mg L}^{-1}$). Although cation levels TWW were higher in TWW than in groundwater, the concentrations of Ca, Mg and K in TWW from the El Sauzal treatment wastewater plant are similar to concentrations in aquifers in other parts of the world (Zaheeruddin and Khurshid, 2004). Furthermore, the cation levels in TWW from the El Sauzal wastewater treatment plant are similar to or lower than those found in the

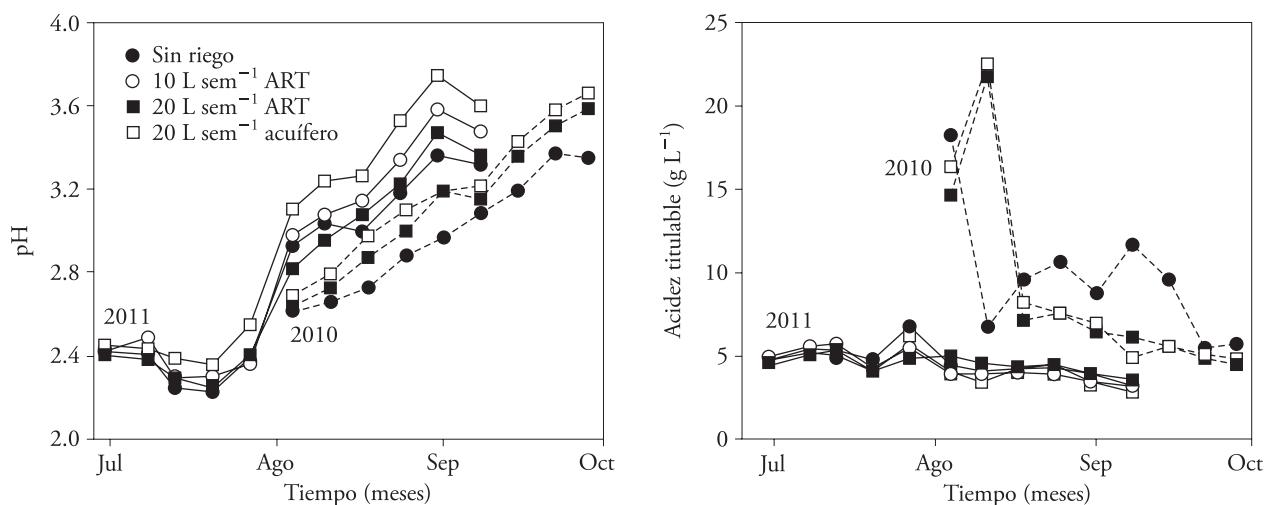


Figura 4. Relación del pH y acidez titulable, en el mosto de uva tempranillo, regadas con 10 y 20 L de agua residual tratada, 20 L de agua del acuífero y sin riego. En el año 2010 (línea punteada) y 2011 (línea sólida).

Figure 4. Soluble pH and titratable acidity in must from Tempranillo grapes irrigated with 10 and 20 L treated wastewater, 20 L aquifer water and non-irrigated. In 2010 (broken line) and 2011 (solid line).

orgánicos y la acumulación de K en la uva (Esteban *et al.*, 1999; Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008). La acumulación de K en las uvas induce la formación de sales de bitartrato de K que reducen la concentración de ácidos orgánicos disueltos y aumentan el pH del mosto. En el presente estudio, el riego no tuvo un impacto significativo sobre el pH por lo que no hubo diferencias en vides irrigadas o con un alto estrés hídrico (Esteban *et al.*, 1999).

La concentración de ácidos totales en el mosto disminuyó significativamente ($p \leq 0.05$) durante la maduración de las uvas en todos los tratamientos de riego (Figura 4). Al igual que con los sólidos solubles, la concentración mayor de ácidos totales durante el 2010 ($p \leq 0.05$) indicó un retraso en la maduración respecto al 2011. Además, el uso de ART no tuvo un efecto negativo sobre la concentración de ácidos totales. Durante el 2010 hubo una mayor concentración de ácidos al inicio de la maduración, pero al finalizar todos los tratamientos mostraron la misma concentración de ácidos orgánicos. A diferencia del 2010, la concentración de ácidos orgánicos en el mosto de las uvas no cambió durante todo el periodo de maduración.

La concentración de cationes fue significativamente mayor en el ART que en el agua del acuífero. Respecto al agua del acuífero, en el ART la concentración de Ca ($324.3 \pm 49.0 \text{ mg L}^{-1}$) fue 52 veces mayor, la de Mg ($11.9 \pm 0.4 \text{ mg L}^{-1}$) 5.8 veces mayor, la de K ($47.0 \pm 1.1 \text{ mg L}^{-1}$) 41 veces mayor, y la de Na ($42.2 \pm 0.3 \text{ mg L}^{-1}$) 3.4 veces mayor. Aunque los niveles de cationes del ART fueron superiores a los del agua del acuífero, la concentración de Ca, Mg y K en el ART de la planta de tratamiento de el Sauzal es similar a la concentración en acuíferos en el mundo (Zaheeruddin y Khurshid, 2004). Aun más, los niveles de cationes del ART de la planta de tratamiento de el Sauzal está dentro de los niveles o es inferior a los encontrados en las aguas más duras del acuífero del Valle de Guadalupe (Daessle *et al.*, 2004).

El riego con ART no aumentó significativamente los niveles de cationes en el mosto de uva (Figura 5) y aunque los niveles de cationes del ART fue significativamente mayor que la del acuífero, no fueron lo suficientemente altos como para afectar la concentración del mosto. La concentración de Ca, Mg, Na y K en el mosto de los tratamientos es similar al observado en vinos mexicanos y en el mundo (Cabello-Pasini *et al.*, 2013). Sin embargo, niveles altos de Na en

hardest water from the Guadalupe Valley aquifer (Daessle *et al.*, 2004).

Irrigation with TWW did not significantly increase cation levels in grape must (Figure 5) and, although the cation levels in TWW were significantly higher than those of aquifer water, they were not high enough to affect concentrations in the must. The concentration of Ca, Mg, Na and K in grape must from the treatments are similar to those observed in Mexican and international wines (Cabello-Pasini *et al.*, 2013). High levels of Na in irrigation water (575 mg L^{-1}), however, increase Na in the xylem and, eventually, in the grape juice (Downton 1977; McCarthy, 1981; McCarthy and Downton, 1981). But the Na concentration in TWW from the El Sauzal wastewater treatment plant used in our study was only $42.2 \pm 0.3 \text{ mg L}^{-1}$. In fact, Na levels in aquifer water in 2011 ranged from 83 to 340 mg L^{-1} , that is 2 to 8 times higher than in the TWW used in our study. This suggests that the concentration of Na, Ca, Mg and K in the TWW used is too low to significantly increase these ions in the grapes.

No negative microbiological effects were observed either in the grapes or in the concentration of total solids, pH, total acidity and ions in grape must, but the effect on grapevine physiology or fruit quality of other ions (*i.e.* heavy metals), fats, oils, pesticides, etc., which can potentially be found in TWW, is not known.

CONCLUSIONS

This two-year study shows that TWW from the El Sauzal wastewater treatment plant, in Baja California, satisfies the parameters stipulated by Mexican legislation for irrigating crops. Moreover, these TWW do not affect the basic parameters of ripe grapes (soluble solids, titratable acidity, pH and nitrogen). Because the concentration of Ca, Mg, Na and K in TWW is similar to or less than that in the aquifer water, accumulation of these ions was not observed in grape must. This suggests that TWW from the El Sauzal wastewater treatment plant can be used to supplement irrigation in grape cultivation, but it is necessary to evaluate its long-term effect.

—End of the English version—

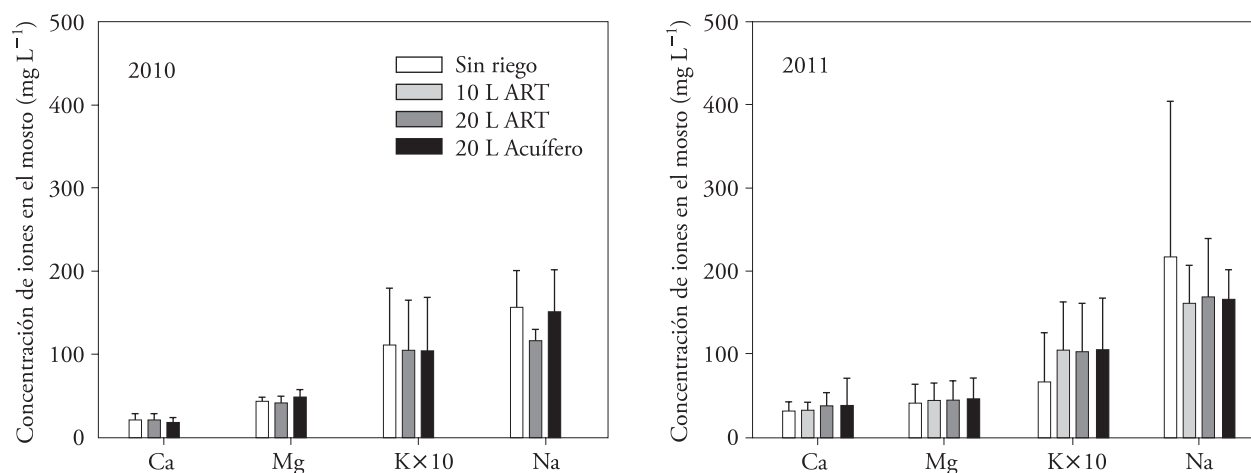


Figura 5. Concentración de iones en el mosto de uva Tempranillo, regadas con 10 y 20 L de agua residual tratada, 20 L de agua del acuífero y sin riego en el año 2010 y 2011.

Figure 5. Concentration of ions in must from Tempranillo grapes irrigated with 10 and 20 L treated wastewater, 20 L aquifer water and non-irrigated in 2010 and 2011.

el agua de riego (575 mg L^{-1}) aumentan el Na en el xilema y eventualmente en el jugo de uva (Downton 1977; McCarthy, 1981; McCarthy y Downton, 1981). Pero la concentración de Na en el ART de la planta de tratamiento de El Sauzal usada en este estudio sólo fue $42.2 \pm 0.3 \text{ mg L}^{-1}$. De hecho, los niveles de Na para el agua del acuífero para el 2011 variaron de 83 a 340 mg L^{-1} , esto es 2 a 8 veces más altos que los de ART en este estudio. Lo anterior sugiere que la concentración de Na, Ca, Mg y K en las ART de la planta de tratamiento del Sauzal es suficientemente baja como para no causar un aumento significativo de estos iones en las uvas.

No se observaron efectos negativos microbiológicos en las uvas, ni en la concentración de sólidos totales, pH, acidez total y iones en el mosto, pero se desconoce cuál es el efecto de otros iones (*i.e.* metales pesados), grasas, aceites, pesticidas, etc., que potencialmente se pudieran encontrar en el ART, sobre la fisiología de vid o sobre la calidad de la fruta.

CONCLUSIONES

En el presente estudio de dos años se demuestra que las ART de la planta de tratamiento de El Sauzal, en Baja California, cumplen con los parámetros que estipula la legislación mexicana para ser usada en el riego de cultivos. Además, estas ART no afectaron los parámetros básicos de madurez de la uva (sólidos solubles, acidez titulable, pH y nitrógeno). Debido a

que la concentración de Ca, Mg, Na y K en el ART es similar o menor que en el agua del acuífero, no se observó una acumulación de estos iones en el mosto de uva. Lo anterior sugiere que las ART de la planta de tratamiento del Sauzal se pueden usar como suplemento hídrico en el cultivo de la vid, pero es necesario evaluar su efecto a largo plazo.

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.
- APHA. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. American Public Health Association. Washington, DC. 456 p.
- Bauder, T. A., R. M. Waskom, P. L. Sutherland, and J. G. Davis. 2011. *Irrigation water quality criteria*. Colorado State University Extension. 4 p.
- Bouwer, H., and E. Idelovitch. 1987. Quality requirements for irrigation with sewage water. *J. Irrig. Drain. Eng.* 113: 516-535.
- Cabello-Pasini, A., V. Macías-Carranza, A. Siqueiros-Valencia, and M. A. Huerta-Díaz. 2013. Concentration of calcium, magnesium, potassium, and sodium in wines from Mexico. *Am. J. Enol. Vitic.* 64: 280-284.

- CNA. 1998. Balance de los recursos hidráulicos subterráneos acuífero BC-07, Guadalupe, Mpo. Ensenada, B.C. Comisión Nacional del Agua, Subgerencia Regional Técnica.
- Daessle, W., E. C. Sánchez, V. F. Camacho-Ibar, L. G. Mendoza-Espinoza, J. D. Carriquiry, V. A. Macías, and P. G. Castro. 2005. Geochemical evolution of groundwater in the Maneadero coastal aquifer during a dry year in Baja California, México. *Hydrogeol. J.* 13: 584-595.
- Downton W., J. S. 1977. Salinity effects on the ion composition of fruiting Cabernet Sauvignon vines. *Am. J. Enol. Vitic.* 28: 210-214.
- Esteban, M., M. Villanueva, and J. Lissarrague. 1999. Effect of irrigation on changes in berry composition of tempranillo during maturation. Sugar, organic acids, and mineral elements. *Am. J. Enol. Vitic.* 50: 418-434.
- Freeman, B. M., and W. M. Kliever. 1983. Effect of irrigation, crop level and potassium fertilization on Carignane vines. II. Grape and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 34: 197-207.
- Gomez-del-Campo, M., C. Ruiz, and J. R. Lissarrague. 2002. Effect of water stress on leaf area development, photosynthesis, and productivity in Chardonnay and Airen grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 53: 138-143.
- Hach-Company. 2002. *Water Analysis Handbook*. Hach Company. Loveland, CO. 1260 p.
- Hochstrat, R., T. Wintgens, and T. Melin. 2008. Development of integrated water reuses strategies. *Desalination* 218: 208-217.
- Jiménez ,B., A. Chávez, and C. Hernández. 1999. Alternative treatment for wastewater destined for agricultural use. *Wat. Sci. Tech.* 40: 355-362.
- Laurenson, S., N. Bolan, E. Smith, and M. McCarthy. 2010. Winery wastewater irrigation: effects of sodium and potassium on soil structure. *CRC for Contamination Assessment and Remediation of the Environment*. 25 p.
- Laurenson, S., N. S. Bolan, E. Smith, and M. McCarthy. 2012. Review: Use of recycled wastewater for irrigating grapevines. *Aust. J. Grape Wine Res.* 18: 1-10.
- Lazarova, V., and A. Bahri. 2005. *Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass*. CRC Press. Baton Rouge, Louisiana. 408 p.
- Liu, W. T., R. Pool, W. Wenkert, and P. E. Kriedemann. 1978. Changes in photosynthesis, stomatal resistance and abscisic acid of *Vitis Labruscana* through drought and irrigation cycles. *Am. J. Enol. Vitic.* 29: 239-246.
- McCarthy, M. 1981. Irrigation of grapevines with sewage effluent. I. Effects on yield and petiole composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 32: 189-196.
- McCarthy, M., and W. Downton. 1981. Irrigation of grapevines with sewage effluent. II. Effects on wine composition and quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 32: 197-199.
- Mendoza-Espinoza, 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. *Int. Water Assoc., Jeju, Korea*. p. 23.
- Mendoza-Espinoza, L., M. V. Orosco-Borbón, and P. Silva-Nava. 2004. Quality assessment of reclaimed water for its possible use for crop irrigation and aquifer recharge in Ensenada, Baja California, Mexico. *Wat. Sci. Tech.* 50: 285-291.
- Mendoza-Espinoza, 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. *Wat. Sci. Tech.* 57: 1445-1450.
- Metcalf & Eddy Inc. 2004. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. McGraw-Hill Companies Inc. New York. 545-1026 p.
- NMX-AA-113-SCFI-1999. 1999. *Análisis de Agua - Determinación de Huevos de Helmintho - Método de Prueba*. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 12 p.
- Norton, J. M., and J. M. Stark. 2011. Regulation and measurement of nitrification in terrestrial systems. *Methods Enzymol.* 486: 343-362.
- Paranychianakis, N. V., M. Nikolantonakis, Y. Spanakis, and A. N. Angelakis. 2006. The effect of recycled water on the nutrient status of Soultanina grapevines grafted on different rootstocks. *Agricult. Water Manage.* 81: 185-198.
- Reyes-Coca, S., and R. Troncoso-Gaytan. 2004. Multidecadal variation of winter rainfall in the northwestern Baja California. *Cien. Mar.* 30: 99-108.
- Shani, U., and A. Ben-Gal. 2005. Long-term response of grapevines to salinity: Osmotic effects and ion toxicity. *Am. J. Enol. Vitic.* 56: 148-154.
- Sokal, R. R., and F. J. Rohlf. 1995. *Biometry*. W.H. Freeman and Company. New York. 887 p.
- Spayd, S. E., R. L. Wample, R. G. Evans, R. G. Stevens, B. J. Seymour, and C. W. Nagel. 1994. Nitrogen fertilization of white Riesling grapes in Washington. Must and wine composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 45: 34-42.
- Tejeda, H., M. Sadzawka, y J. Araos. 2001. *Análisis de suelo, foliar y de agua para el diagnóstico nutricional y de uso de fertilizantes y enmiendas*. In: *Agenda del Salitre*. pp: 197-230.
- Zaheeruddin, and S. Khurshid. 2004. Aquifer geometry and hydrochemical framework of the shallow alluvial aquifers in the western part of the Yamuna River Basin, India. *Water Qual. Res. J.* 39: 129-139.
- Zoecklein, B. W., K. C. Fugelsang, B. H. Gump, and F. S. Nury. 1995. *Wine Analysis and Production*. Chapman-Hall. New York. 296 p.