

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
Instituto de Investigaciones Oceanológicas  
Facultad de Ciencias Marinas  
Facultad de Ciencias



**EVALUACIÓN FISIOLÓGICA Y SOCIOECONÓMICA DEL USO  
DE AGUA RESIDUAL TRATADA PARA LA IRRIGACIÓN DE  
VID EN EL VALLE DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA,  
MÉXICO**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTORA EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

PRESENTA

DINORA ACOSTA ZAMORANO

Ensenada, Baja California, Agosto 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
Instituto de Investigaciones Oceanológicas  
Facultad de Ciencias Marinas  
Facultad de Ciencias

**EVALUACIÓN FISIOLÓGICA Y SOCIOECONÓMICA DEL USO  
DE AGUA RESIDUAL TRATADA PARA LA IRRIGACIÓN DE  
VID EN EL VALLE DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA,  
MÉXICO**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

PRESENTA

DINORA ACOSTA ZAMORANO

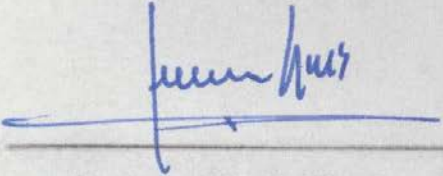
Ensenada, Baja California, Agosto 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
Instituto de Investigaciones Oceanológicas  
Facultad de Ciencias Marinas  
Facultad de Ciencias

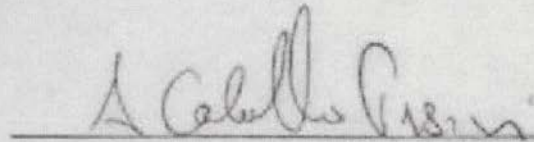
DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO  
PRESENTA

DINORA ACOSTA ZAMORANO



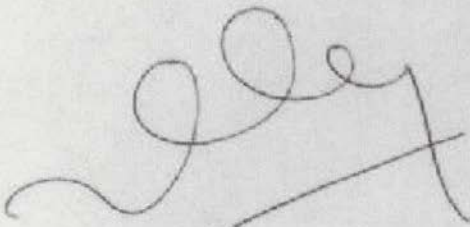
Dr. Leopoldo G. Mendoza Espinosa  
Codirector de Tesis



Dr. Alejandro Cabello Pasini  
Codirector de Tesis



Dr. Cesar Valenzuela Solano  
Sinodal



Dra. Nelly Calderón de la Barca Guerrero  
Sinodal



Dra. Ma. del Carmen Alcalá Álvarez  
Sinodal

## RESUMEN

Baja California es una zona semidesértica donde la agricultura, incluyendo la viticultura, está limitada por la disponibilidad de agua. En la ciudad de Ensenada el 100% de las aguas de drenaje son tratadas en plantas de tratamiento, sin embargo, una vez procesadas en vez de ser re-utilizadas, la gran mayoría son descargadas al mar. Ensenada se localiza aproximadamente a 35 km del Valle de Guadalupe donde se encuentra la principal zona vitivinícola de México y las aguas tratadas de esta ciudad podrían ser utilizadas para mitigar el estrés hídrico en este cultivo. Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo, realizar un análisis fisiológico y socioeconómico sobre el uso del agua residual tratada (ART) para irrigar cultivos vid (*Vitis vinifera* var. Tempranillo) en el Valle de Guadalupe. La tesis está organizada en cuatro capítulos donde el primero analiza el efecto del ART sobre el crecimiento, fotosíntesis y rendimiento de las vides. Este estudio se realizó durante dos años, donde se aplicaron de 10 a 20 L semana<sup>-1</sup> de ART como factor experimental y 20 L semana<sup>-1</sup> agua del acuífero como testigo. En el segundo capítulo, se analiza el efecto del riego de vid con ART sobre la calidad microbiológica y química de las uvas. El ART y el agua del acuífero se analizaron química y microbiológicamente durante ambos estudios. En el tercer capítulo se presenta un análisis de la percepción de la población ante la propuesta del uso de agua residual tratada para el riego de cultivos de vid, y su disposición a consumir un vino cuya materia prima procede de vides regadas con aguas residuales tratadas. En el cuarto capítulo se estableció un procedimiento para determinar la factibilidad económica de utilizar las ART para irrigar cultivos de vid. Los resultados de este estudio mostraron que 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 mayor rendimiento de madera se observó en las plantas irrigadas con 20 L sem<sup>-1</sup> ART. Además, 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 aplicados ( $p > 0.05$ ). Por otra parte, el 84% de la población encuestada manifestó estar de acuerdo en que se utilicen las aguas residuales tratadas para el riego de viñedos. Se encontró que la propuesta de utilizar ART para irrigar cultivos de vid es factible siempre y cuando se cuente con un terreno propio para establecer un viñedo, comprar un camión pipa para transportar el agua de la planta de tratamiento hacia la zona de estudio y posteriormente rentar el camión a otros

vitivinicultores para obtener ingresos extras, y finalmente, no obtener ninguna clase de financiamiento externo proveniente de una institución financiera (banco), ya que los intereses generados por el endeudamiento impactarían de manera negativa en los ingresos. En el presente trabajo se demostró que a corto plazo el ART no tiene un impacto negativo en el crecimiento de vides y en la calidad bioquímica de sus uvas, que un alto porcentaje de consumidores de vino y de vitivinicultores aceptarían el empleo de ART para el riego de vides y que bajo ciertas condiciones, tal medida es económicamente redituable.

## **DEDICATORIA**

A FRANCO FORNASARI mi esposo

Por ser siempre el apoyo incondicional en todo momento pese a las  
adversidades

A FABIO mi hijo

Por comprender que no siempre pude estar con él en momentos  
importantes

A mi familia

Por siempre estar pendientes en todo momento y ayudarme cuando  
más lo necesitaba

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Autónoma de Baja California por ser el apoyo en la formación de profesionales dedicados y comprometidos con su labor

Al Instituto de Investigación Oceanológicas, Facultad de Ciencias Marinas y Facultad de Ciencias

A CONACYT por el financiamiento otorgado para la realización de este trabajo mediante el programa de becas para estudio de posgrado.

A mi director co-Doctor Leopoldo G. Mendoza Espinosa, por aceptar serlo, por su apoyo desde el inicio del doctorado, dedicación y valiosas aportaciones.

A mi co-director Doctor Alejandro Cabello-Pasini, porque a pesar de las adversidades decidió guiarme en este camino, por aceptar serlo y por el apoyo brindado a lo largo de los años del posgrado.

A la Doctora Nelly Calderón de la Barca Guerrero, por su paciencia, calidez, buen humor, dedicación y apoyo para la realización de esta tesis.

A la Doctora Carmen Alcalá Álvarez, por su tiempo, paciencia, acertadas y valiosas aportaciones, además de su apoyo para la realización de este trabajo de tesis.

Al Doctor Cesar Valenzuela Solano, por sus valiosas aportaciones, para la realización de esta tesis.

Al M.C. Víctor A. Macías Carranza, por todo el tiempo, paciencia, apoyo, enseñanzas, críticas, risas, en el trabajo de campo y gabinete, para la realización de esta tesis.

A mis compañeros de doctorado, por compartir y escuchar las historias del posgrado, Anita, Adriana, Ivonne, Blanca, Miriam, Tere.

Al personal administrativo del IIO, así como al personal académico del posgrado y del instituto.

Y a todos aquellos que de alguna manera estuvieron presentes a lo largo de estos 4 años y seis meses.

¡Gracias!

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>x</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Introducción General .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Antecedentes .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3 Área de estudio .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4 Objetivos .....</b>	<b>19</b>
<b>Objetivo General .....</b>	<b>19</b>
<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO 2. EFECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS SOBRE EL CRECIMIENTO, FOTOSÍNTESIS Y RENDIMIENTO EN VIDES (<i>Vitis vinifera</i>) TEMPRANILLO EN BAJA CALIFORNIA .....</b>	<b>23</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>24</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>26</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>34</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO 3. EFECTO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UVA TEMPRANILLO (<i>Vitis vinifera</i>) EN BAJA CALIFORNIA .....</b>	<b>50</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>51</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>52</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>54</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>58</b>

---

CONCLUSIONES.....	72
<b>CAPÍTULO 4. PERCEPCIÓN SOCIAL SOBRE EL USO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS PARA LA IRRIGACIÓN DE CULTIVOS DE VID EN LA ZONA DEL VALLE DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO .....</b>	<b>73</b>
RESUMEN.....	74
INTRODUCCIÓN .....	76
METODOLOGÍA.....	80
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	86
CONCLUSIONES.....	108
<b>CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE COSTOS PARA EVALUAR LA FACTIBILIDAD ECONOMICA DEL RIEGO DE CULTIVOS DE VID CON AGUA RESIDUAL TRATADA EN EL VALLE DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO .....</b>	<b>109</b>
RESUMEN.....	110
INTRODUCCIÓN .....	112
MATERIALES Y MÉTODOS .....	116
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	130
CONCLUSIONES.....	137
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>139</b>
DISCUSIONES GENERALES.....	140
CONCLUSIONES GENERALES.....	147
LITERATURA CITADA .....	149

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Ventajas y desventajas de la re-utilización de agua residual tratada.....	8
Tabla 1.2. Países con proyectos de re-utilización de agua residual tratadas.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 1.3. Volumen diario de agua residual tratada re-utilizada en diferentes ciudades del mundo( $m^3/d$ ).....	16
Tabla 2.1. Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual tratada de la planta de tratamiento de El Sauzal y del agua proveniente del acuífero Guadalupe utilizada para irrigar vides Tempranillo en el Valle de Guadalupe.....	35
Tabla 4.1. Características de la población encuestada.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b> 7
Tabla 5.1. Descripción de las alternativas propuestas para el desarrollo del proyecto..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 5.2. Costos de inversión (en pesos) de mobiliario, maquinarias, equipos de producción y oficina para la realización del proyecto.	<b>Error! Bookmark not defined.</b> 21
Tabla 5.3. Costos de los activos (en pesos) para determinar la inversión inicial en los diferentes escenarios. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b> 22
Tabla 5.4. Precios reales de la tonelada de uva Tempranillo, para determinar los ingresos por venta.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b> 23
Tabla 5.5. Costos (en pesos) de producción y mano de obra mensuales.	<b>Error! Bookmark not defined.</b> 24
Tabla 5.6. Establecimiento del costo de oportunidad ( $K_o$ ) para las alternativas con financiamiento y sin financiamiento. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b> 26

Tabla	5.7.	Indicadores económicos.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
			<b>52</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Figura 1.1. Localización del Valle de Guadalupe en Baja California. Tomado de Google Earth 2014.....	18
Figura 1.2. Figura 1.2. Esquema Metodológico general utilizado en el presente estudio. El esquema muestra los principales parámetros determinados en el estudio económico, social y agrícola. VPN: Valor presente neto. TIR: Tasa interna de rendimiento. PR: Periodo de recuperación. IR: Índice de rendimiento.....	22
Figura 2.1. Disposición de vides en campo y su tratamiento de riego en cada bloque...	33
Figura 2.2. Concentración de nitratos y fosfatos en el agua residual tratada y agua del acuífero utilizada para irrigar las vides. Las barras de error indican la desviación estándar.....	36
Figura 2.3. Tasa de crecimiento relativo (% d) para las vides tempranillo en 2010-2011, regadas con ART, agua subterránea (acuífero) y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.....	39
Figura 2.4. Determinación de $ETR_{max}$ , $E$ y $\alpha$ , en vides tempranillo en 2011, regadas con agua residual tratada y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.....	41

- Figura 2.5. 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...43
- Figura 2.6. Contenido de nitrógeno en hoja y peciolo en vides tempranillo 2011, regadas con agua residual tratada y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.....45
- Figura 2.7. Rendimiento de uva en Kg para vides Tempranillo 2010-2011, en los distintos tratamientos de riego. Las barras de error indican la desviación estándar.....47
- Figura 2.8. Rendimiento de madera en Kg para vides Tempranillo en 2011, en los distintos tratamientos de riego, con agua residual tratada y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.....48
- Figura 3.1. Concentración de amonio, nitratos y fosfatos en el agua residual tratada y agua subterránea (acuífero) utilizada para irrigar las vides. En el año 2010 (línea punteada) y 2011 (línea sólida).....59
- Figura 3.2. Relación de la conductividad y los sólidos disueltos totales, en el agua residual tratada y agua subterránea (acuífero) utilizada para irrigar las vides. En el año 2010 (línea punteada) y 2011 (línea sólida).....62
- Figura 3.3. 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,

agua subterránea (acuífero) y sin riego. En el año 2010 (línea punteada) y 2011 (línea sólida).....	65
Figura 3.4. Relación de pH y acidez titulable en el mosto de uva tempranillo regada con 10 y 20 L de agua residual tratada, 20 L de agua del acuífero y sin riego. Año 2010 (línea punteada) y 2011 (línea sólida).....	68
Figura 3.5. 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.....	71
Figura 4.1. Preguntas de la encuesta.....	83
Figura 4.2. Preguntas de la entrevista.....	85
Figura 4.3. Porcentaje de encuestados que conocen de qué manera se abastece de agua potable la ciudad de Ensenada y el Valle de Guadalupe.....	89
Figura 4.4. Categorías sobre la manera de abastecimiento de agua potable la ciudad de Ensenada y el Valle de Guadalupe.....	90
Figura 4.5. Porcentaje de encuestados que tiene conocimiento sobre el problema de escasez de agua potable en la ciudad de Ensenada y el Valle de Guadalupe.....	92
Figura 4.6. Porcentaje en consumo de vino, en relación a la cantidad de botellas (de una a dos) adquirida por los encuestados.....	94

Figura 4.7. Categorías sobre los aspectos de mayor importancia al momento de adquirir un vino.....	95
Figura 4.8. Porcentaje de la población encuestada y la percepción sobre la calidad del agua tratada de las plantas de tratamiento de la ciudad de Ensenada, Baja California.....	98
Figura 4.9. Categorías de acuerdo a la profesión sobre la disposición a consumir un producto (vino) cuyas vides fueron regadas con aguas residuales tratadas...	100
Figura 4.10. Categorías en cuanto a la procedencia de los encuestados a consumir un producto (vino) cuyas vides fueron regadas con aguas residuales tratadas.....	101
Figura 4.11. Categorías de acuerdo a la edad de los encuestados y su disposición a consumir vino cuyas vides fueron regadas con aguas residuales tratadas.....	102

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Introducción General

El agua es el líquido esencial para conservar la vida y los ecosistemas y es, además, crítico para el desarrollo económico de los países. Todas las necesidades básicas de alimentación e inmunidad frente a las enfermedades dependen del recurso hídrico. La inquietud de los países por tener agua suficiente en cantidad y calidad para estas necesidades, es mucho mayor con el paso del tiempo (FAO, 2013). Aunque el agua es el recurso más abundante en el planeta, de los 35.2 millones de km<sup>3</sup> de agua total, únicamente el 2.5% es agua dulce (CONAGUA, 2008). En nuestros días, a escala global se emplea cerca del 78% del agua dulce disponible para irrigación, el 14% se usa en las industrias y el 8% es empleado para uso doméstico (Asano y Levine, 1996). Esta tendencia mundial sobre el uso del agua se manifiesta claramente en México, ya que el 71% del agua concesionada en el país se utiliza para uso agropecuario. Debido a la escasez en algunas zonas, en México el tema del agua ha empezado a recibir una mayor atención, lo que ha derivado en considerar al recurso hídrico como un tema de seguridad nacional (CONAGUA, 2012).

El agua es un recurso limitado, por lo que a escala global el aumento demográfico ha hecho que el recurso sea más escaso en algunas regiones. Según estimaciones del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010), la población en México es de 120 millones de habitantes, con una tasa de crecimiento anual de 1.4 %, lo cual indica que aumentará la demanda de este vital líquido en el futuro. El país utiliza en promedio el

17% del volumen de la disponibilidad media de agua (SEMARNAT, 2012), sin embargo el estado de Baja California utiliza el 85%, lo que hace que haya una fuerte presión sobre el recurso hídrico y por lo tanto, sobre los ecosistemas que dependen del recurso (CONAGUA, 2011). El constante crecimiento demográfico en el estado de Baja California con una tasa de 4.15% (CONAPO, 2013) ha traído consigo una demanda creciente de bienes y servicios, lo que implica que la demanda de agua supere a la oferta en corto plazo, en las zonas de cultivo del estado. Por lo anterior surge la posibilidad de conflictos sociales entre los productores agrícolas y los pobladores de la ciudad, por el recurso hídrico.

En la actualidad, de todas las actividades económicas, la actividad agrícola es la que más agua consume en el mundo incluyendo a México. Debido a sus características climáticas mayormente áridas, México es considerado como uno de los países en el mundo con mayores demandas de agua para el riego de sus zonas de cultivo (Brañes, 2000). Además, existen diferencias en el uso del agua para cultivar productos que serán consumidos en el país y los que serán exportados. Por ejemplo, la agricultura de riego contribuye con el 54% de la producción nacional y con el 70% de la exportación (SEMARNAT, 2012).

En Baja California se utiliza el 85% de la disponibilidad media de agua para la irrigación de 320,721 has de cultivo en zona costa (SAGARPA, 2013). En el municipio de Ensenada, el 70% del agua se utiliza para la irrigación de 66,353 has de cultivo,

---

sobresaliendo la producción de vid. Este municipio es responsable de aproximadamente el 90% del total nacional del vino que se producen México. La zona vitivinícola principal comprende 2,266 hectáreas de cultivo de uva para vino (SEFOA, 2012; SAGARPA, 2013), con alrededor de 72 vinícolas en sus distintos valles (Venegas, 2012), destacándose el Valle de Guadalupe como la zona mayormente reconocida por sus casas vitivinícolas y por su ruta turística. La industria vitivinícola en México tiene una importante trayectoria histórica, prueba de ello ha sido el reconocimiento a la calidad alcanzada por varias de sus marcas, muchas de ellas bajacalifornianas (Gaeta, 2006). Desafortunadamente, la actividad vitícola del Valle de Guadalupe así como de otras regiones vitivinícolas en el estado, han entrado en una seria crisis agropecuaria, debido en gran medida, al agotamiento de los mantos acuíferos y al deterioro en la calidad del agua (Daessle *et al.*, 2006). De acuerdo a cifras oficiales de la Comisión Nacional del Agua, se debería suministrar 3,336 millones de metros cúbicos por año de agua en Baja California, sin embargo actualmente se presenta un déficit de 12 millones de metros cúbicos (CONAGUA, 2013). El agotamiento del manto acuífero del Valle de Guadalupe se debe en gran medida, a la extracción de agua para la agricultura, aunados a los volúmenes extraídos para proveer agua potable a la ciudad de Ensenada (Campos y Kretschmar, 2008). De ahí que el reto para mantener la actividad económica y social, es la búsqueda de fuentes alternativas de agua y mejor aprovechamiento de este vital líquido (Venegas, 2012).

El gran consumo de agua en la agricultura en México se explica, en parte por ser uno de los países con mayor infraestructura de riego en el mundo, pero también refleja el derroche de agua en los cultivos por inundación y la ineficiencia de los sistemas de riego utilizados por la gran mayoría de los productores agrícolas (López et al, 1998). El 64.4 % del total de las unidades con superficie agrícola del país utilizan canales de tierra para el riego, en los que se pierde una buena proporción de agua por la infiltración al subsuelo y por la evaporación, mientras que sistemas de riego eficientes que ahorran agua, como el goteo, aspersión y microaspersión apenas es utilizado en 12.3 % de las unidades agrícolas (INEGI, 2007).

Se ha demostrado que las aguas residuales tratadas pueden ser utilizadas para el riego como una alternativa frente a la escasez del recurso hídrico. La reutilización está creciendo principalmente en zonas relativamente secas (Lazarova *et al.*, 2005), donde la agricultura ha captado con gran éxito la mayor parte de los recursos mundiales de agua dulce, aunque algunas veces de forma inadecuada, esto es debido a que en algunas partes del mundo se utiliza el riego por inundación con una eficiencia del 30%, en comparación con métodos tecnificados que llegan alcanzar una eficiencia de hasta 90% (CONUEE, 2011). Aunado a lo anterior, existen presiones sin precedentes sobre las reservas de agua debido al crecimiento demográfico y el desarrollo económico, particularmente en regiones áridas (Mujeriego *et al.*, 2000). Sin embargo, para una correcta reutilización se requiere una tecnología de tratamiento apropiada que asegure la protección a la salud pública, a suelos y a cultivos. La reutilización de agua residual, siempre que se realice de

---

forma correcta ofrece una serie de beneficios así como limitaciones (Tabla 1.1, Viso, 2005).

En el desarrollo de opciones de reutilización de agua en la agricultura, los encargados de formular políticas, planificar y diseñar los sistemas de re-utilización se enfrentan a una serie de problemas de tipo social, económico o legislativo. Si bien el desarrollo de tecnologías para la re-utilización ha crecido en la última década, su aplicación práctica no depende únicamente de la eficiencia en la tecnología; más bien, el éxito en el empleo de estrategias y tecnologías requieren de un entendimiento tanto por parte de las instituciones involucradas como de los usuarios del recurso (Lazarova et al, 2005).

Bajo este contexto surge la necesidad de identificar nuevas fuentes de abastecimiento de agua para las zonas del cultivo del Valle de Guadalupe, por lo que el gobierno a nivel federal, estatal y municipal ha identificado y planeado varias estrategias de abastecimiento de agua potable. Entre las estrategias potenciales se encuentran, la perforación de nuevos pozos, desalación del agua de mar, la utilización de agua residual tratada para uso agrícola, industrial y recarga de acuíferos y la construcción de un nuevo acueducto que aporte agua del río Colorado (CONAGUA, 2012). Dada esta realidad, atender el problema del agua requiere de un análisis integrado que no sólo se enfoque a la problemática de la distribución y equidad, sino que también atienda el serio problema de escasez que ocurre en el Valle de Guadalupe.

Tabla 1.1. Ventajas y desventajas de la re-utilización de agua residual tratada.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Reducción de las demandas de agua potable	Si se implementa en gran escala, los beneficios de la provisión puede caer cuando se reduzca la demanda del uso de agua no potable y la descarga del agua residual
Reducción del aporte de contaminantes a los recursos naturales de agua.	En algunos casos, el re-utilizar agua tratada no es económicamente factible debido a la necesidad de un sistema adicional de distribución
Conservación del acuífero para disminuir drásticamente la extracción de agua	
Las aguas residuales tratadas son ricas en nutrientes, lo que deriva en ahorros para los agricultores en fertilizantes	
Se pueden mantener más áreas verdes en la ciudad	

Fuente: Tomado de Viso, 2005.

Esto se puede lograr a través de la incorporación de las tecnologías apropiadas y disponibles, la evaluación de los costos y el análisis de factibilidad de su implementación, en las áreas cultivables del valle. En el presente trabajo doctoral se evalúa la posibilidad de utilizar las aguas residuales tratadas para la irrigación de cultivos de vid, como una alternativa frente a la escasez del recurso hídrico que se padece en la zona vitícola del Valle de Guadalupe.

## **1.2 Antecedentes**

Las primeras evidencias de la reutilización de aguas residuales corresponden a la Grecia antigua y se identifican tres etapas fundamentales en el desarrollo de la regeneración y reutilización de aguas residuales: 1) la época inicial de los sistemas de agua y saneamiento, que comprende el periodo del 3000 A.C. hasta 1850; 2) la época del gran avance sanitario, que va de 1850 a 1950; y 3) la época de la regeneración, reutilización y reciclaje de aguas residuales que comprende desde 1960 hasta nuestros días (Asano 2001). Es muy importante el desarrollo de prácticas de riego con agua reciclada que se ha venido producido en los últimos 20 años, creciendo principalmente en zonas relativamente secas, con una disponibilidad de agua renovable por debajo de 1,700 m<sup>3</sup>/hab/año (Lazarova *et al.*, 2005). Esto se debe a factores tales como, la irregular distribución del recurso, el aumento en la escasez del recurso hídrico en zonas de clima árido y semiárido, el rápido crecimiento demográfico y la constante presión de la agricultura por las reservas de agua, lo que ha provocado que el agua haya dejado de ser

considerado un recurso natural inagotable, y que empiece a ser un factor limitante en el desarrollo de los países

En la actualidad, la experiencia internacional sobre reutilización de aguas residuales es muy amplia. La agricultura ha captado con gran éxito la mayor parte de los recursos mundiales de agua dulce, pero de forma inadecuada, esto es debido a los sistemas de riego, que en algunas partes del mundo todavía es por inundación que se utilizan para irrigar las zonas de cultivo. Esta situación se está modificando rápidamente debido a las presiones sin precedentes que ejerce el crecimiento demográfico sobre las reservas de agua, en particular en las regiones áridas (Mujeriego *et al.*, 2000).

Seguí (2004) clasifica los diferentes usos de las aguas residuales tratadas en diversos países (Tabla 1.2), donde el reuso es indispensable, debido a la situación de escasez de agua. Por lo anterior, en los últimos años, el agua se ha convertido en un importante recurso para el desarrollo económico de los países (Lavee, 2010). Actualmente son cada vez más los países que consideran la reutilización de agua residual tratada en el mundo. Ejemplo de ello lo es China, quien regenera aproximadamente 4,500 millones de metros cúbicos por año ( $Mm^3/año$ ) de ART (Lu *et al.*, 2010). Las aguas regeneradas se utilizan principalmente en la agricultura, la industria, usos público-urbanos y ornamentales. Cabe destacar, ciudades como Gaobeidian donde el ART es la segunda fuente de suministro de agua para la ciudad, regenerando  $300,000 m^3/día$  de los cuales  $200,000 m^3/día$  de aguas residuales tratadas son para usos ambientales y los

100,000 m<sup>3</sup>/día son sometidos a tratamientos avanzados para ser reutilizados en la industria y, usos públicos-urbanos (Yue y Xingcan, 2001).

En Israel, desde 1965 el gobierno permite el uso de agua residual tratada para el riego de cultivos, con excepción de aquellos que se consumen crudos (Friedler, 1999). En este país, las plantas de tratamiento regeneran 330,000 m<sup>3</sup>/día de agua que es producida por aproximadamente 2 millones de personas. El agua regenerada se utiliza para la recarga de acuíferos y la irrigación agrícola de 15,000 has (Ammary, 2007). Tanto China como Israel presentan un modelo de gestión más participativo, donde se logran involucrar, tanto a los usuarios como a los especialistas en el tema, para lograr el éxito de la re-utilización (Qadir *et al.*, 2010).

En América, las experiencias sobre el uso de las aguas residuales tratadas son básicamente las realizadas en los Estados Unidos de América (EUA) y en México. Lo anterior se debe en gran medida a que tanto el sur de los EUA como la parte central y norte de México son zonas áridas o semiáridas, lo que favorece el interés por reutilizar las aguas residuales (Tabla 1.2). Estados Unidos es el país con más sistemas de reutilización de agua implantados a gran escala. La incursión de este país en la regeneración y reutilización planificada del agua residual data de 1912, siendo California el estado pionero en la materia (USGS, 1995). Cabe señalar que el alto desarrollo económico y tecnológico de los EUA les ha permitido convertirse en un referente internacional de los sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales (Eisenberg *et al.*, 1998). En

Tabla 1.2. Países con proyectos de reutilización del agua residual tratada.

País	Reutilización						
	Irrigación		Industrial (3)	Usos urbanos		Ambiental	
	Agrícola (1)	Jardinería (2)		No potables (4)	Potables (5)	Recarga de acuíferos (6)	Aguas superficiales (7)
Arabia Saudita							
Australia							
China							
EAU							
EE.UU.							
España							
Francia							
Inglaterra							
Israel							
Italia							
Japón							
Jordania							
Kazaistán							
México							
Namibia							
Sudafrica							
Zimbabwe							

1) irrigación de cultivos, viveros comerciales, 2) parques, jardines escolares, vías públicas, campos de golf, zonas verde, 3) enfriamiento, calderas, construcción, 4) protección contra incendios, aire acondicionado, agua para sanitarios, 5) mezcla en el abastecimiento de agua, conexión directa a la conducción del suministro de agua, 6) recarga de acuíferos, intrusión salina, control de hundimientos, 7) lagos y lagunas, mejora de humedales, aumento del caudal ecológico, acuicultura. Tomado de Seguí 2004.

la actualidad la región de Monterey en California, regenera alrededor de 60,000 Mm<sup>3</sup>/año de aguas residuales que reciben un tratamiento avanzado, para la irrigación de 5,000 has de cultivo de hortalizas (MRWPCA, 2013). Al igual que Monterey, el rancho Irvine en California y sus alrededores trata aproximadamente 59,000 Mm<sup>3</sup>/año para el riego de 400 has de cultivos alimenticios y 2,000 has de parques y jardines (IRDW, 2013).

Se estima que en América Latina se vierten anualmente más de 100 millones de metros cúbicos de aguas residuales a los cauces naturales receptores (ríos y lagos) (Arregui *et al.*, 2002). De este volumen alrededor de 400 m<sup>3</sup>/s son aguas residuales diluidas en aguas limpias y sin tratar que se reutilizan para el riego de aproximadamente 500,000 hectáreas. México es el país latinoamericano que mayor superficie riega con este tipo de aguas, con un total de 350,000 hectáreas, seguido por Chile con 16,000 ha, Perú con 5,500 ha y Argentina con 3,700 ha (Peasey *et al.*, 2000).

En nuestro país, la región donde se producen los mayores volúmenes de aguas residuales es la ciudad de México (Arreguín *et al.*, 2002). Sin embargo, se estima que del total producido en el país, sólo el 46.5% son tratadas (CONAGUA, 2012). En ella, los usos principales de las aguas residuales tratadas son en el riego de áreas verdes (parque, jardines, carreteras y el llenado de lagos recreativos como el de Chapultepec, Aragón y los canales de Xochimilco), riego agrícola, sector industrial (lavado de automóviles,

autobuses de transporte público, los trenes del metro, algunos procesos industriales de enfriamiento y de limpieza) y recarga artificial de acuífero (Lahera, 2010).

Resolver el problema complejo del reuso de agua en México es urgente porque es un país con muchos contrastes, es un país con una riqueza en recursos naturales extraordinaria; es el 4to lugar a nivel mundial en diversidad biológica (CONABIO, 2007) pero presenta una grave y enorme desigualdad en la distribución de la riqueza económica y de recursos hídricos. Aproximadamente el 10% de las aguas residuales del valle de México recibe algún proceso de tratamiento y se reutilizan en distintos proyectos, tales como la recarga de aguas subterráneas y la irrigación del paisaje urbano en la ciudad, el 90 % se aplica sin tratamiento alguno en las zonas agrícolas (Jiménez *et al.*, 2001).

La experiencia en reutilización de agua residual es muy extensa y existen muchos países que de alguna manera llevan a cabo esta práctica. Los volúmenes de utilización de las aguas residuales depende en gran medida de la infraestructura de cada uno de los países (Tabla 1.3, Seguí, 2004). La evidencia internacional muestra el éxito en la reutilización de aguas residuales tratadas en el mundo. En México, a pesar de que contamos con el distrito de riego más grande de Latinoamérica, que utiliza aguas residuales para irrigar sus zonas de cultivo, las ART generan desconfianza debido a su naturaleza. El éxito en la reutilización de aguas residuales depende de manera importante de la aceptación pública. Por lo tanto, en este trabajo integrando de una manera interdisciplinaria, se evalúa la posibilidad de utilizar las aguas residuales tratadas para

irrigar cultivos de vid en la zona agrícola del Valle de Guadalupe, desde un punto de vista agronómico, así como desde un análisis socioeconómica.

Tabla 1.3. Volumen diario de agua residual tratada re-utilizada en diferentes ciudades del mundo (m<sup>3</sup>/d).

No.	Sistemas de Regeneración y Reutilización de aguas Residuales	País	Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Reutilización					
				Irrigación			Usos urbanos		Ambiental Recarga de acuíferos
				Agrícola	Jardinería	Industrial	No Potable	Potable	
1	Palermo	Italia	280 000						
2	Central eléctrica de Palo Verde, Arizona	EUA	250 000						
3	Abu Dhabi	EAU	200 000						
4	Harare	Zimbabwe	190 000						
5	Amman	Jordania	170 750						
6	Cerro de la Estrella	México	160 108						
7	St. Petersburg Florida	EUA	150 000						
8	Riad	Arabia Saudita	130 000						
9	Alicante	España	120 500						
10	Virginia	Australia	120 000						
11	Tianjin	China	115 000						
12	Termoeléctrica de Tula	México	73 440						
13	Sta. Clara, California	EUA	60 000						
14	Irvine, California	EUA	57 000						
15	Water Factory 21, California	EUA	57 000						
16	Coyoacán	México	17 590						
17	Aguas Industriales de Monterrey	México	17 280						
18	Cristóbal	México	17 280						
19	Lechería	México	12 960						
20	Ciudad deportiva	México	12 857						
21	San Luis Tlaxiátemalco	México	8 546						
22	Chapultepec	México	7 940						
23	Vallejo	México	7 344						
24	Acueducto de Guadalupe	México	6 596						
26	PEMEX	México	786						

Fuente: tomado de Seguí 2004.

### 1.3 Área de estudio

El Valle de Guadalupe está situado a 30 kilómetros al norte de la ciudad de Ensenada, se encuentra ubicado entre los paralelos 32°07'04" de latitud norte y 116°31'10" de longitud oeste (Figura 1.1). El clima en el Valle de Guadalupe es semiárido: más árido y cálido hacia las sierras circundantes y más húmedas hacia el Oeste (CONAGUA, 2001), las temperaturas medias anuales son menores a 18°C, las temperaturas máximas se presentan de julio a septiembre con valores de 39°C a 45°C y las temperaturas mínimas extremas, oscilan de -13°C a -14°C, presentándose en las áreas montañosas y al oriente del valle (CONAGUA, 2004). En cuanto a las precipitaciones presentes en la zona la CONAGUA (2004) reportó que hasta 1977 la precipitación promedio fue de 241 mm. Pero este patrón varía considerablemente de un año a otro registrándose periodos extremadamente lluviosos y otros severamente escasos. En los últimos 10 años se reporta una precipitación anual de 100 a 200 mm al año.



Figura 1.1. Localización del Valle de Guadalupe en Baja California. Tomado de Google Earth 2014.

## 1.4 Objetivos

### Objetivo General

El presente estudio tiene como objetivo general evaluar la factibilidad agronómica y desarrollar un estudio socioeconómico para establecer el potencial del empleo de aguas residuales tratadas en la planta de tratamiento de El Sauzal para el riego de cultivos de vid, en el Valle de Guadalupe, Baja California, México.

### Objetivos Específicos

1. Evaluar el efecto de las aguas residuales tratadas sobre el crecimiento, fotosíntesis y rendimiento en vides Tempranillo (*Vitis vinifera*) en Baja California, México.
2. Determinar el efecto del agua residual tratada sobre la composición química de uva Tempranillo (*Vitis vinifera*) en Baja California, México.
3. Evaluar la percepción social sobre el uso de aguas residuales tratadas para la irrigación de cultivos de vid en la zona del Valle de Guadalupe, Baja California, México.
4. Realizar un análisis de costos para evaluar la factibilidad del riego de cultivos de vid con agua residual tratada en la zona agrícola del Valle de Guadalupe, Baja California, México

## 1.5 Marco metodológico

La metodología del presente estudio consistió en evaluar el efecto que tiene el agua residual tratada sobre el desarrollo de plantas de vid y por consecuencia el efecto en el fruto, que posteriormente son utilizados en procesos de vinificación, así como evaluar la percepción de consumidores y productores de vino en torno a este tema y, finalmente, evaluar la posibilidad de reuso a partir de una evaluación económica del proyecto. Para llevar a cabo esta investigación, se utilizó una metodología para cada capítulo (Figura 1.2).

La metodología consistió en tres fases, primero el análisis fisiológico Capítulo 2, evaluando el efecto que tiene el agua residual tratada sobre el crecimiento, rendimiento y fotosíntesis de las vides, determinando la tasa de crecimiento relativo (TCR) semanalmente, la tasa de transporte eléctrico, la concentración de clorofila a y b. En el Capítulo 3, se buscó, evaluar el efecto que tiene el riego con ART sobre las características químicas de las uvas y la calidad de las mismas, evaluando semanalmente a partir de la maduración del fruto (envero), la concentración de sólidos solubles (azúcares), pH, acidez titulable y el nitrógeno asimilable por las levaduras. A su vez, en el mosto se evaluó la concentración de los iones de sodio, potasio, calcio y magnesio.

En el Capítulo 4, se evaluó la percepción social de la población, y el grado de aceptación en torno a la reutilización de agua residual tratada para la irrigación de cultivos de vid, vides que posteriormente serán utilizadas para la elaboración de vinos en la región, a manera de un primer diagnóstico como un ejercicio exploratorio en cuanto a

la aceptación del producto y la re-utilización del agua residual tratada. Por último, en el Capítulo 5, se buscó hacer una evaluación sobre la alternativa de reutilización de agua residual tratada para el riego de cultivos de vid, bajo la metodología de proyecto de inversión.

La figura 1.2 resume la metodología en función de los componentes ambiental, social y económico. Cada una de las metodologías se encuentra completamente desarrollada en los capítulos correspondientes.

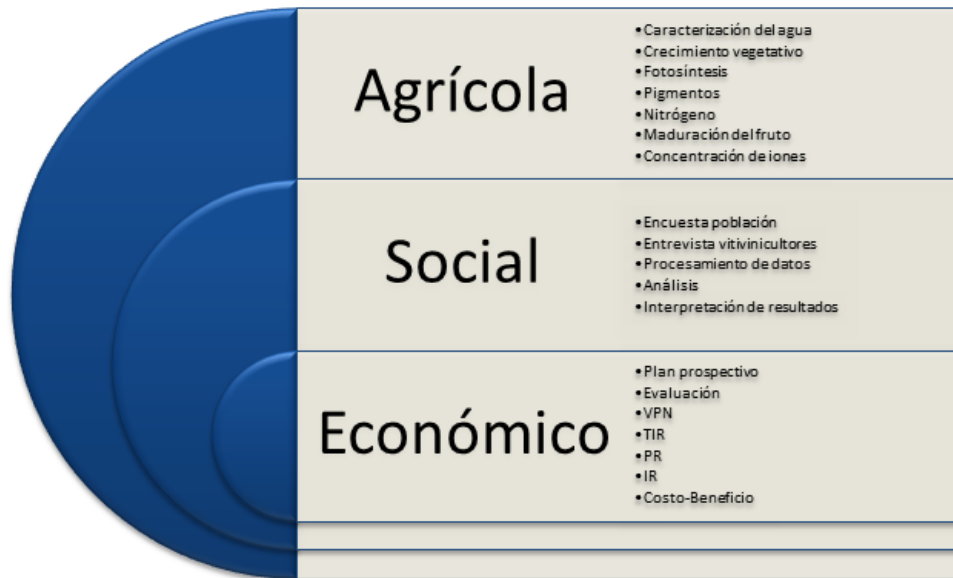


Figura 1.2. Esquema Metodológico general utilizado en el presente estudio. El esquema muestra los principales parámetros determinados en el estudio económico, social y agrícola. VPN: Valor presente neto. TIR: Tasa interna de rendimiento. PR: Periodo de recuperación. IR: Índice de rendimiento.

**CAPÍTULO 2. EFECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS SOBRE  
EL CRECIMIENTO, FOTOSÍNTESIS Y RENDIMIENTO EN VIDES (*Vitis  
vinifera*) TEMPRANILLO EN BAJA CALIFORNIA**

## 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 vitícola donde el 100% de las aguas de drenaje son tratadas en plantas de tratamiento, sin embargo, estas aguas residuales tratadas no son re-utilizadas y se vierten al mar. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del uso 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. A un viñedo establecido se aplicó una irrigación de 10 a 20 L semana de ART proveniente de la planta de tratamiento de El Sauzal como factor experimental y agua del acuífero como testigo. Las ART y el agua del acuífero se analizaron química y microbiológicamente a lo largo del 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 a lo largo del estudio. No se observaron 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 mayor rendimiento de madera y de fruta ocurrió en las plantas regadas con 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 aumentan el rendimiento de uva. Se concluye que las ART se podrían usar para reducir el estrés hídrico de cultivos de vid en Baja California.

## 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. Debido a esto, la reutilización del agua es una actividad crítica, principalmente en zonas semidesérticas o con una disponibilidad de agua renovable menor a 1,700 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Por lo tanto, las prácticas de riego con agua residual tratada (ART) se han desarrollado en los últimos 20 años, facilitada por las nuevas políticas y reglamentos en el mundo en relación al reuso de las aguas (Lazarova y Bahri, 2005).

Para reducir la escasez de agua en la agricultura, algunos países han implementado programas exitosos para la reutilización de aguas residuales urbanas (Lazarova y Bahri, 2005). En Israel, Argentina y Chile, por ejemplo, se han implementado programas de reutilización de aguas residuales tratadas para el cultivo de duraznos (*Amygdalus persica*), alfalfa (*Medicago sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) (Scott, *et al.*, 2004). México también ha desarrollado sistemas de reutilización de aguas residuales para la agricultura, así, en el estado de Hidalgo, el Valle del Mezquital es uno de los sistemas de riego más grandes de Latinoamérica y es irrigado parcialmente con ART proveniente de la ciudad de México (Jiménez, *et al.*, 1999). En Alicante, España, el uso de aguas residuales para el cultivo de uva de mesa incrementó el rendimientos de fruta en relación al observado en cultivos irrigados con agua de

acuíferos, además no hubo efectos negativos sobre la calidad de la uva irrigada con agua residual ni presencia de microorganismos patógenos (Rico-Amoros, 1989). A pesar de que el ART puede ser utilizada para el cultivo, se desconoce su impacto sobre la fisiología de la vid y sobre la calidad de la uva que se usará para la producción de vino de mesa.

Baja California se caracteriza por un clima semiárido y una precipitación anual aproximada de 285 mm pero desde 1999 hasta 2011, las precipitaciones promedio en Ensenada fueron menores a 200 mm (Reyes-Coca y Troncoso-Gaytan, 2004). Los municipios de Tijuana, Rosarito, Tecate y Mexicali suplen en gran medida sus necesidades hídricas con el agua del 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) instaló pozos para abastecer a la ciudad de Ensenada con agua potable. La CESPE opera 10 pozos con una extracción aproximada de 320 L s<sup>-1</sup> o 42% de la recarga natural en el valle (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 nuestro país, 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). En la actualidad, se cuenta

con aproximadamente 3,000 ha de vid en el estado pero se ha planteado duplicar la extensión de cultivo en los próximos 10 años; sin embargo, la principal limitante para estos cultivos es la disponibilidad de agua (Sepúlveda, 2009).

Después de utilizar el agua proveniente del Valle de Guadalupe y otros acuíferos, la ciudad de Ensenada trata la totalidad de las aguas residuales captadas en su sistema de drenaje (Medellín-Azuara, *et al.*, 2008). Estas aguas cumplen con los parámetros estipulados por la legislación mexicana para descargas a cuerpos de agua costeros, e inclusive para reuso en donde la población se encuentra en contacto directo e indirecto (NOM-003-SEMARNAT-1997), así como para su 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 su reuso en la agricultura, sólo el 2% de esta agua se reutiliza en el riego de áreas verdes de la ciudad, y el resto se vierte al mar (Mendoza-Espinosa, *et al.*, 2005). Se ha planteado que el ART de Ensenada podría ser empleada para la irrigación de productos agrícolas y reducir la extracción de agua del acuífero. Es crítico, sin embargo, que antes de utilizar el ART se evalúe el impacto que esta tendrá sobre la fisiología de las plantas que serán irrigadas. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue el de evaluar el efecto del riego con aguas residuales tratadas sobre la fotosíntesis, el crecimiento y el rendimiento de la vid en el Valle de Guadalupe, Baja California.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Este estudio se llevó a cabo durante los meses de Abril-Agosto del 2010 y 2011 utilizando vides cultivadas en el Valle de Guadalupe, Baja California ( $31^{\circ}59'09''\text{N}$ ,  $116^{\circ}38'46''\text{O}$ ). Se utilizaron vides (*Vitis vinifera* var. Tempranillo) de 5 años de edad 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 1) 20 L semana<sup>-1</sup> de agua del acuífero, 2) 10 L semana<sup>-1</sup> de ART, 3) 20 L semana<sup>-1</sup> de ART y 4) por último plantas que no recibieron 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 proveniente del acuífero del Valle de Guadalupe fueron recolectadas semanalmente en contenedores plásticos estériles de 0.5 L. Las muestras se transportaron 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 (DBO<sub>5</sub>), sólidos sedimentables, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, conductividad, pH, turbidez, coliformes totales y fecales se analizaron en las muestras siguiendo métodos estandarizados para el análisis de aguas (APHA, 1998). Los huevos de helmintos se analizaron de acuerdo a 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).

### **Crecimiento vegetativo y rendimiento**

La tasa de crecimiento relativo se determinó semanalmente mediante la elongación de los sarmientos a partir de la brotación. La longitud semanal de los sarmientos se determinó con una cinta métrica desde la base del sarmiento hasta el ápice de crecimiento. La tasa de crecimiento relativo (TCR) en porcentaje diario se estimó utilizando la siguiente fórmula:

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

donde  $L_t$  (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 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 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 evaluaron en la mañana después de mantener las hojas en oscuridad por 12 h, mientras que  $F_m'$  fue inducida con un pulso de luz blanca saturante ( $9,000 \mu\text{mol cuanta/m}^2/\text{s}$ ) (Schreiber, *et al.*, 1994). Los valores de la tasa de transporte electrónico máximo ( $\text{ETR}_{\text{max}}$ ), la pendiente inicial de la curva ETR vs irradiancia ( $\alpha$ ) y el coeficiente de subsaturación ( $I_k$ ) se calcularon de la curva de ETR vs irradiancia ajustando una curva tangente hiperbólica a los datos.

### **Pigmentos**

La concentración de clorofila a y b se determinó en las hojas de vid mediante una extracción con N, N-Dimetilformamida (DMF). Aproximadamente 0.1 g de tejido se cortó de la parte central de las hojas maduras utilizando un horador de 1 cm. El tejido se colocó en un tubo de vidrio con 5 mL de DMF y se incubó por 24 horas a 4°C en oscuridad. La absorbancia de las muestras se evaluó a 664 nm y la concentración de clorofila se determinó espectrofotométricamente utilizando las ecuaciones propuestas por Porra, *et al.* (1989).

### **Concentración de nitrógeno en las hojas y peciolo**

Muestras de hojas y peciolo se deshidrataron hasta alcanzar peso constante (aprox. 48 h) en una estufa a 80°C. La concentración de nitrógeno de las hojas y peciolo se determinó utilizando el método Micro-Kjeldahl (AOAC, 1999).

### **Diseño experimental**

Se diseñó un modelo de bloques aleatorios de 10 vides cada uno. Uno de los bloques no recibió riego, otro bloque recibió 20 L sem<sup>-1</sup> de agua del acuífero y los últimos dos tratamientos recibieron 10 y 20 L sem<sup>-1</sup> ART cada uno (Figura 2.1). Las variables de calidad del agua del acuífero y del agua residual se monitorearon cada semana utilizando la metodología descrita anteriormente.

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 de acuerdo a la metodología descrita anteriormente. Para evaluar el efecto del agua residual sobre la fotosíntesis, los pigmentos fotosintéticos y el rendimiento de fruta se evaluó la TTE (n = 10), la concentración de clorofila a y b (n = 10), y el 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).



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de la calidad del ART mostraron que el agua de la planta de tratamiento de El Sauzal está dentro de los parámetros que indican las normas oficiales mexicanas para la irrigación de cultivos (NOM-001-SEMARNAT-1996), así como para el reuso en actividades que estén en contacto directo e indirecto con la población (NOM-003-SEMARNAT-1997, Tabla 2.1). La concentración de fosfatos y amonio en el ART fueron más bajos que los del agua del acuífero durante todo el año. Estos resultados coinciden con otros estudios de las plantas de tratamiento de Ensenada, Baja California, incluyendo la planta de tratamiento de El Sauzal (Mendoza-Espinosa, *et al.*, 2008).

Los niveles de nitratos en el ART fueron relativamente constantes ( $\approx 7 \text{ mg L}^{-1}$ ) a lo largo del año, sin embargo, los niveles de nitratos en el agua del acuífero fluctuaron entre 10 y 15  $\text{mg L}^{-1}$  a lo largo del año (Figura 2.1). En general, los niveles de nitratos en el acuífero de Guadalupe fueron dos veces más altos ( $p \leq 0.05$ ) que los observados en el ART (Figura 2.2). Estos resultados coinciden con los resultados de otros estudios en la misma zona (Daessle, *et al.*, 2006). Lo anterior sugiere que los altos niveles de nitratos en el agua del acuífero son el resultado de un exceso de fertilización en los cultivos o el resultado de 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 la del acuífero, los altos niveles de amonio en el ART hace que en términos generales, los niveles de nitrógeno total en ambas aguas sean similares

Tabla 2.1. Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual tratada de la planta de tratamiento del Sauzal y del agua proveniente del acuífero Guadalupe utilizada para irrigar vides tempranillo en el Valle de Guadalupe.

Parámetros	Agua residual		NCM-001-		NCM-003-	
	tratada	Acuífero	SEMARNAT-1996		SEMARNAT-1997	
			Riego restringido	Riego no restringido	Contacto directo	Contacto indirecto
DBO5 (mg L <sup>-1</sup> )	6	0.4	NA	NA	20	30
SST (mg L <sup>-1</sup> )	4	0.6	NA	NA	20	30
SDT (mg L <sup>-1</sup> )	1100	600				
Grasas y Aceites (mg L <sup>-1</sup> )	2	0	15	15	15	15
Coliformes Fecales (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	3	3	1000	1000	240	1000
Coliformes totales (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	105	7	NA	NA	NA	NA
Huevos de Helminto (H L <sup>-1</sup> )	0	0	= 1	= 5	= 1	= 5
pH	7	7	NA	NA	NA	NA
Turbidez NTU	4	0.5				
Conductividad (dS m <sup>-1</sup> )	1.79	0.6				
Nitratos (mg L <sup>-1</sup> )	7	11				
Fosfatos (mg L <sup>-1</sup> )	15	0.2				
Amonio (mg L <sup>-1</sup> )	6.5	<1				

Promedios de las muestras de agua tomadas semanalmente durante de Abril-Agosto de los siguientes parámetros: DBO5 = Demanda Bioquímica de Oxígeno determinada a los cinco días, SST = sólidos suspendidos totales, SDT = sólidos disueltos totales, NA = no aplica

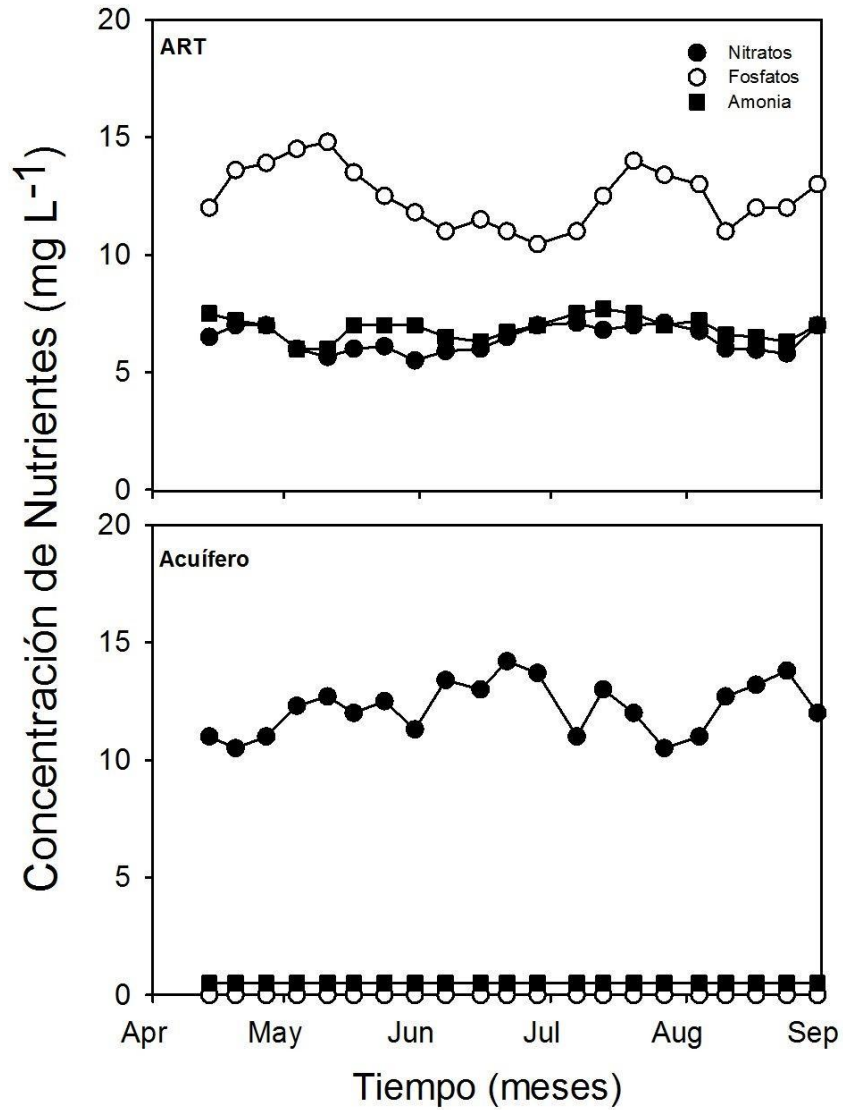


Figura 2.2. Concentración de nitratos y fosfatos en el agua residual tratada y agua del acuífero utilizada para irrigar las vides.

Niveles sub- o super-óptimos en la concentración de nutrientes aplicados a un cultivo generan una reducción de la producción de frutos en algunos cultivos. El exceso de macronutrientes contenidos en las aguas residuales, por ejemplo, redujo de rendimiento y calidad de algodón, el tomate para conserva, la remolacha, la papa, el durazno, el albaricoquero, el manzano y la vid (Bouwer y Idelovitch, 1987). Las concentraciones de nitratos observados en las aguas del acuífero y las aguas residuales en este estudio, sin embargo, no causaron diferencias significativas en el crecimiento de los sarmientos de vid. La concentración de N aportada por el ART y agua del acuífero en este estudio sería de 19 Kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, considerando una concentración de aproximadamente 13 mg L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y asumiendo un riego de 3,000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Estos niveles de nitrógeno son aproximadamente el 25-50% de lo generalmente aplicado para el cultivo de la vid en Baja California. Por lo anterior, los niveles de N aportados por las aguas residuales tendrán que ser cuantificadas en el momento de calcular la dosis fertilizantes aplicados al cultivo. Por otro lado, los niveles de nitrógeno en las ART podrían reducir significativamente los costos de fertilización en los cultivos de la región.

Al igual que los nitratos, la concentración de fosfatos en el ART y el acuífero fueron significativamente ( $p \leq 0.05$ ) diferentes a lo largo del año. Los niveles de fosfatos del ART fluctuaron entre 10 y 15 mg L<sup>-1</sup> a lo largo del año, mientras que los niveles de fosfatos en el agua del acuífero fueron cercanos a cero durante todo el año. Los altos niveles de fosfatos en el ART coinciden con observaciones de otras plantas de tratamiento de aguas urbanas (Lopez, *et al.*, 1998). Estos niveles de fosfatos

generalmente están asociados con los detergentes utilizados en residencias y vertidos a los drenajes urbanos. A diferencia de los altos niveles de nitrato, los bajos niveles de fosfatos observados en las aguas del acuífero sugieren que este macro-nutriente es incorporado por las plantas o que tienen bajas tasas de permeabilidad desde la capa de fertilización hasta el manto freático. Se ha demostrado que las tasas de movilidad del fosfato a través del sedimento se reducen al aumentar la concentración de materia orgánica por lo que posiblemente el fosfato se fije en los primeros centímetros de suelo (Ahmed, *et al.*, 2008).

### **Crecimiento de la planta**

No se observaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en la tasa de crecimiento relativo de las vides regadas con agua residual o con agua del acuífero durante 2010 y 2011 (Figura 2.3). Durante el 2010, la TCR de los sarmientos en mayo fue de aproximadamente 1.95% d<sup>-1</sup> y disminuyó a prácticamente cero a mediados de julio. Durante el 2011, las TCR máximas de los sarmientos fueron de aproximadamente 6.75% d<sup>-1</sup> a mediados de abril y disminuyeron a 0% d<sup>-1</sup> a mediados de julio. A diferencia a lo encontrado en este estudio, se han reportado tasas de crecimiento relativo (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 mayores niveles de N reportadas en las ART que en el agua del acuífero y al mayor estrés

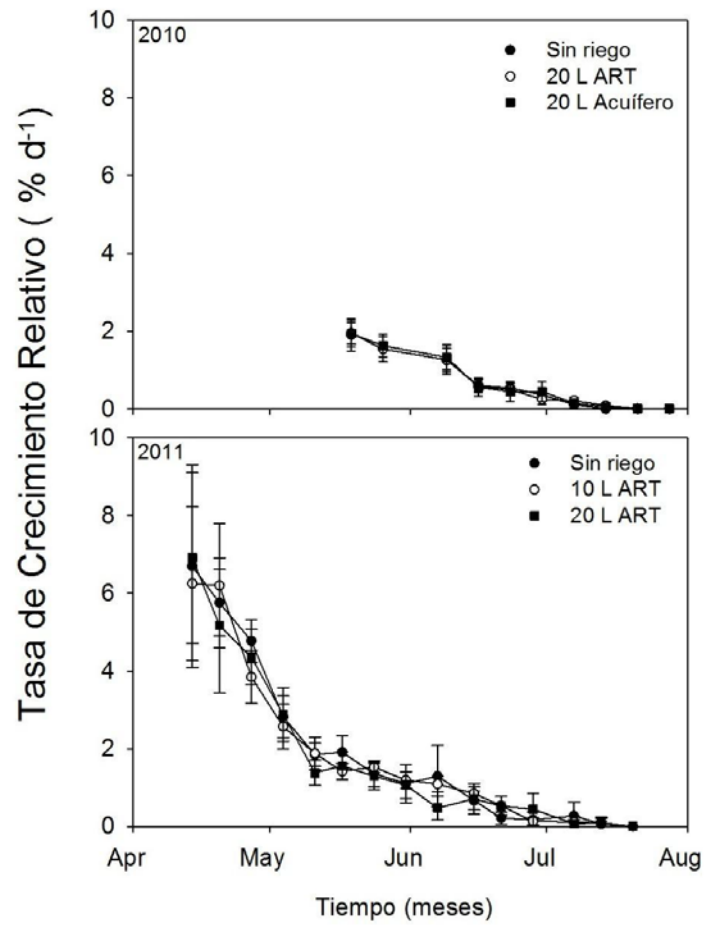


Figura 2.3. Tasa de crecimiento relativo (% d<sup>-1</sup>) para las vides tempranillo en 2010-2011, regadas con ART, agua subterránea (acuífero) y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.

hídrico al que estaban expuestas esas vides (Mendoza-Espinosa, *et al.*, 2008). Por otro lado, el crecimiento de pepinos (*Cucumis sativus* L.) o tres especies de árboles de ornato no presentaron diferencias significativas en el crecimiento al ser irrigados con aguas residuales o agua del acuífero (Bastias-Cantuarias, 2004; Morillo, *et al.*, 2009). Lo anterior sugiere que el uso de ART no necesariamente incrementa el crecimiento de los vegetales, y que en gran medida dependerá de la concentración de nitrógeno disuelto en relación con la concentración de nitrógeno en el agua del acuífero, al historial de estrés hídrico al que estén expuestas las plantas, a las dosis de irrigación, etc.

### **Parámetros fotosintéticos**

No se observaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los parámetros fotosintéticos al final de la maduración en relación a los distintos tratamientos de riego (Figura 2.4). La tasa máxima de transporte de electrones ( $ETR_{max}$ ) a través del PSII de las hojas de vid fue de aproximadamente  $60 \pm 25 \mu\text{mol e}^- \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para todos los tratamientos, el coeficiente de subsaturación ( $I_k$ ) fue de  $590 \pm 150 \mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , mientras que la pendiente inicial de la curva ETR vs. irradiancia (alfa) fue de aproximadamente  $0.13 \pm 0.05 \mu\text{mol e}^- \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} (\mu\text{mol quanta/ m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$ . 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 la fertilización, impacto de algún contaminante, etc. Se ha demostrado, por ejemplo, que las

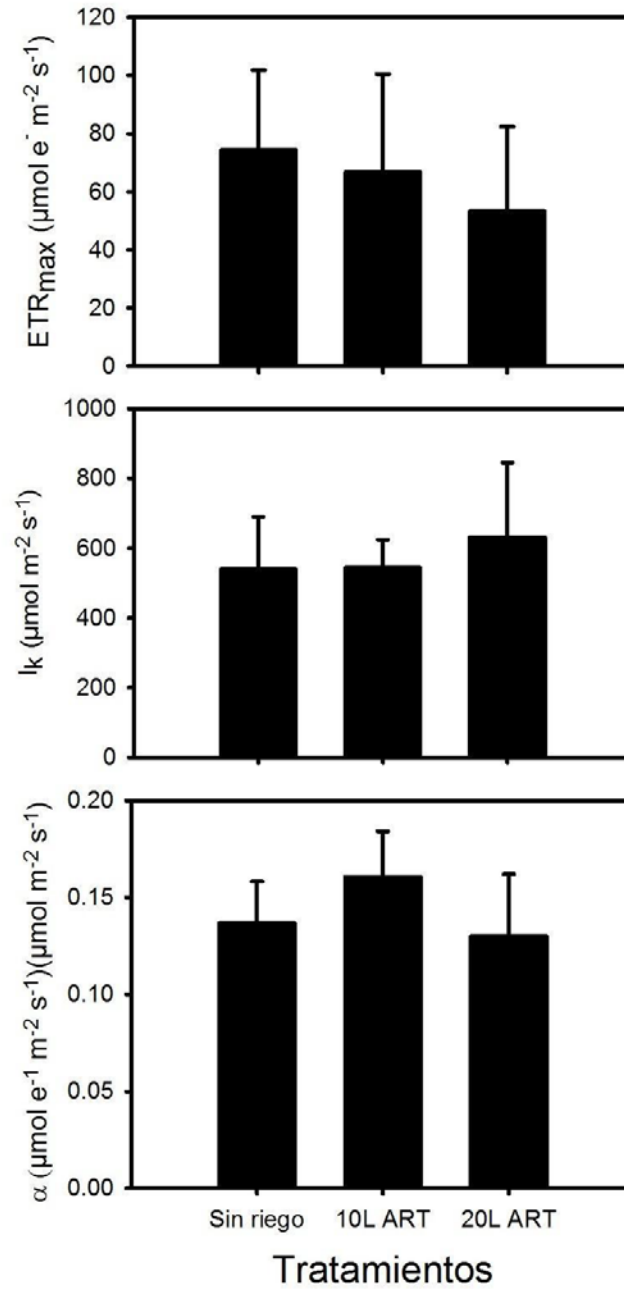


Figura 2.4. Determinación de  $ETR_{max}$ ,  $E_k$  y  $\alpha$ , en vides tempranillo en 2011, regadas con agua residual tratada y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.

plantas incrementan la pendiente inicial de la curva ETR vs. irradiancia (alfa) y  $ETR_{max}$  a medida que se incrementa la concentración de nitrógeno disponible (Cabello-Pasini, *et al.*, 2011). Por lo anterior, la similitud entre los parámetros fotosintéticos en las vides en este estudio probablemente se deba a que la concentración de nitrógeno aportado por el ART y el agua del acuífero fue similar a lo largo del periodo de crecimiento.

A diferencia de los parámetros fotosintéticos, la concentración de clorofila a y b fluctuaron significativamente ( $p \leq 0.05$ ) en relación al tipo de agua aplicada (ART vs. acuífero) pero no en relación a la concentración de agua residual aplicada a las vides ( $p > 0.5$ , Figura 2.5). Las mayores concentraciones ( $p \leq 0.05$ ) de clorofila a y b se observaron en las vides irrigadas con 10 y 20 L  $sem^{-1}$  de ART y menores en las plantas sin irrigación. Se ha demostrado que el incremento de fertilización a base de nitrógeno aumenta la concentración de clorofila en las hojas de una gran cantidad de plantas (Cabello-Pasini y Figueroa, 2005). En maíz, por ejemplo, los niveles de clorofila aumentan a medida que aumenta la disponibilidad de nitrógeno y al reducir el estrés hídrico en las plantas (Schlemmer, *et al.*, 2005). Por lo anterior, 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 en relación a las vides no irrigadas. El aumento en la concentración de clorofila generalmente conduce a un incremento en  $ETR_{max}$ , sin embargo esto no fue observado en este estudio.

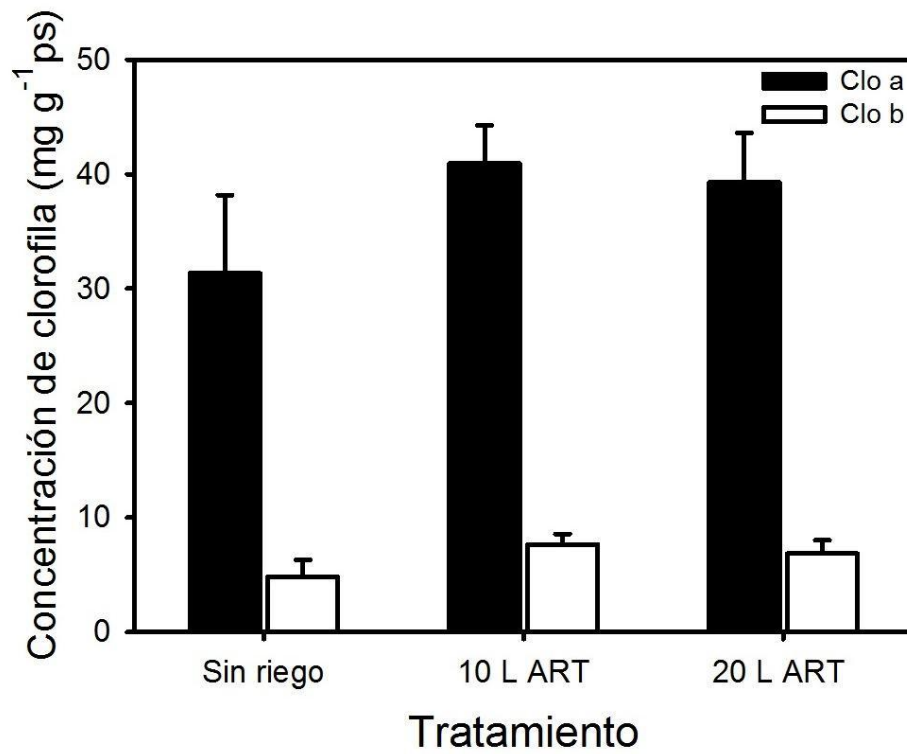


Figura 2.5. Concentración de clorofila a y b en vides tempranillo 2011, regadas con agua residual tratada y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.

### **Nitrógeno en el Tejido**

El aporte de nitrógeno proveniente de las aguas residuales ha generado un incremento en los niveles de nitrógeno en el tejido y mayores rendimientos en algunos cultivos. Por ejemplo, el contenido de nitrógeno en las hojas de maíz irrigado con ART se incrementó de 1 a 3 % en relación a los cultivos irrigados con agua del acuífero (Umaña-Gomez, 2007). De igual manera, se observó un rendimiento de 2.58 t ha<sup>-1</sup> de maíz en la parcela irrigada con aguas residuales, mientras que la parcela testigo presentó un rendimiento de solo 1.61 t ha<sup>-1</sup> (Umaña-Gómez, 2007). En este estudio, sin embargo, el contenido de N en las hojas y peciolo de la vid no variaron significativamente con relación al tratamiento ( $p > 0.05$ , Figura 2.6). En general, la concentración de N en las hojas fue de 5-veces mayor ( $p \leq 0.05$ ) que la concentración de N en los peciolo. Las plantas generalmente incrementan la concentración de N en el tejido, incluyendo los peciolo, a medida que aumenta 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 un gran número de variedades de vid (Christensen, 1984). En general, la concentración de N en los peciolo es más bajo que la concentración de N en las hojas, y ambos tienden a disminuir durante el periodo de maduración de las uvas. Se considera que los niveles de N en las hojas de vid fluctúan entre 2 y 3% cuando presentan una fertilización adecuada (Reuter y Robinson, 1986). Por lo anterior, 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

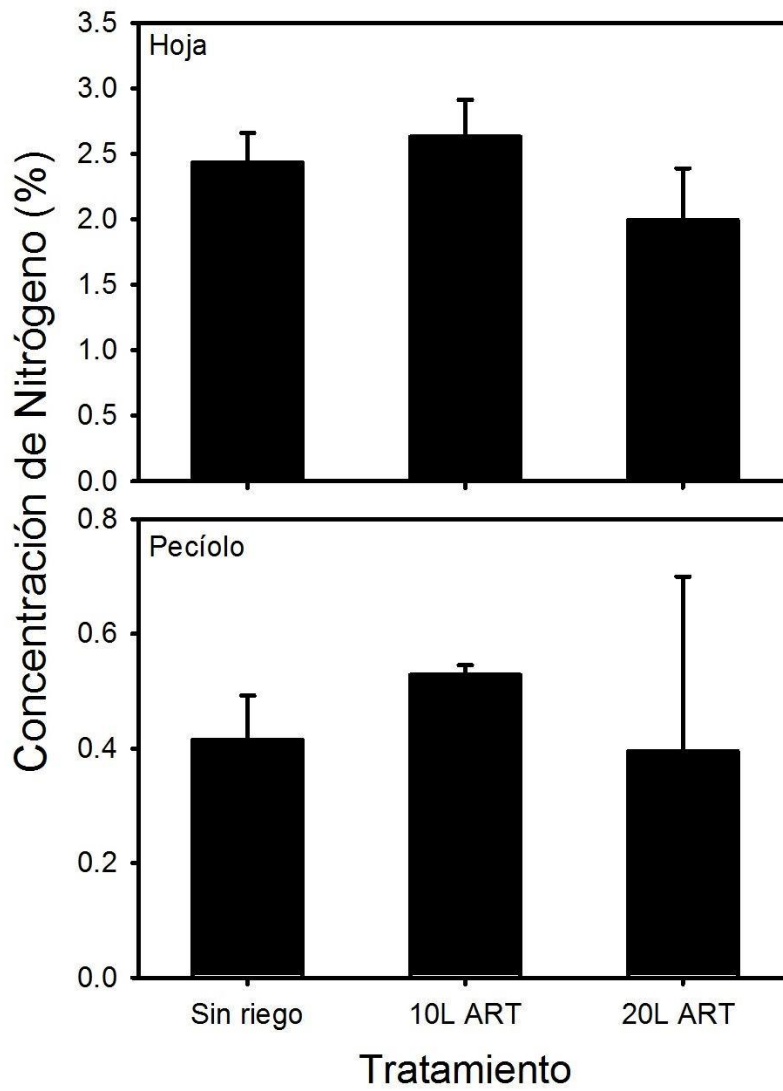


Figura 2.6. Contenido de nitrógeno en hoja y pecíolo en vides tempranillo 2011, regadas con agua residual tratada y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.

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 se observaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) del rendimiento de fruta en relación al tratamiento de riego (Figura 2.7). Sin embargo, se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la cantidad de fruta producida durante el 2010 y el 2011. El rendimiento de fruta por vid durante el 2010 fue de  $5.5 \pm 0.6$  kg mientras que el rendimiento de fruta durante el 2011 fue de  $4 \pm 0.7$  kg. A su vez, se observaron diferencias en el rendimiento de madera con respecto al tipo de riego aplicado a las vides (Figura 2.8). Las vides que recibieron  $20 \text{ L/ sem}^{-1}$  de ART ( $2.7 \pm 0.6$  kg madera/ vid<sup>-1</sup>) mostraron un rendimiento 30% mayor ( $p \leq 0.05$ ) que el resto de los tratamientos. Lo anterior indica que las vides con mayor dosis de riego presentaron mayor generación de follaje.

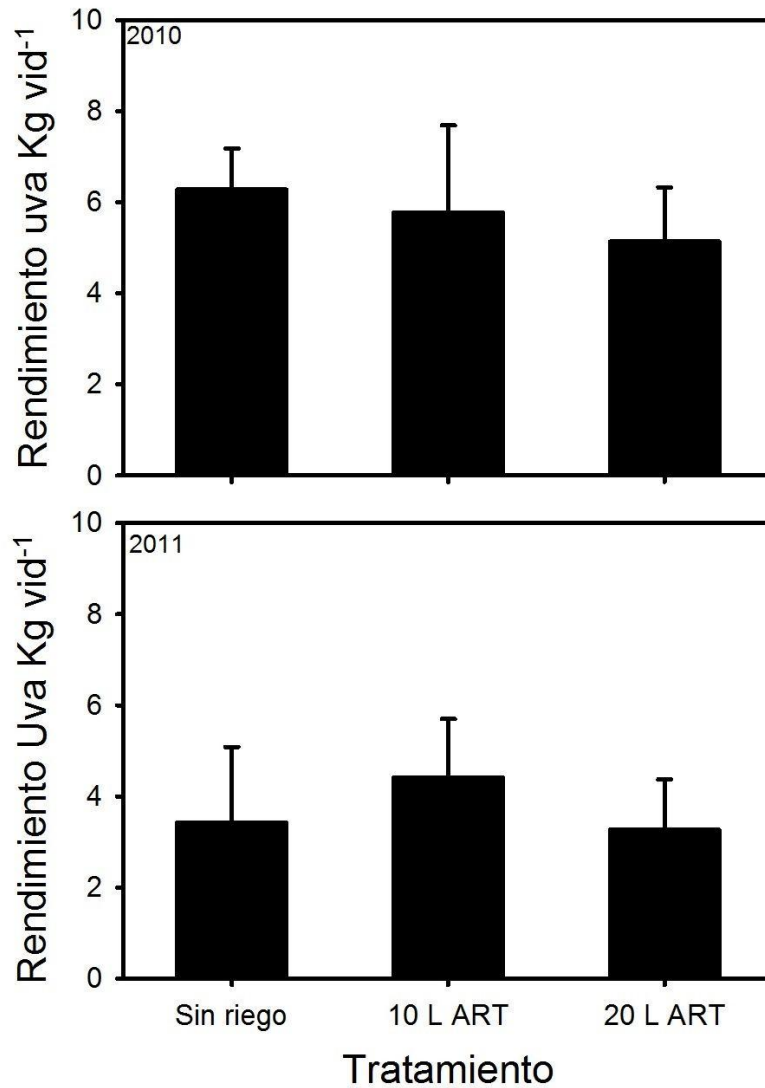


Figura 2.7. Rendimiento de uva en Kg para vides Tempranillo 2010-2011, en los distintos tratamientos de riego. Las barras de error indican la desviación estándar.

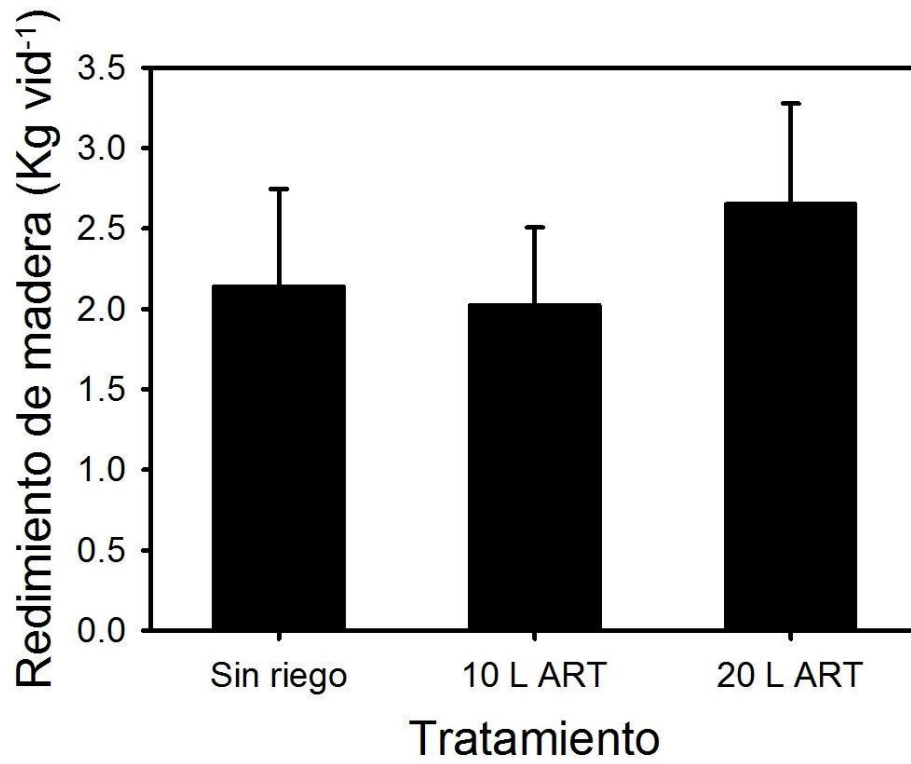


Figura 2.8. Rendimiento de madera en Kg para vides Tempranillo en 2011, en los distintos tratamientos de riego, con agua residual tratada y sin riego. Las barras de error indican la desviación estándar.

## **CONCLUSIONES**

En el presente estudio de dos años se mostró que 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, las aguas residuales utilizadas en este estudio no afectaron negativamente el crecimiento, la fotosíntesis, la concentración de N en los peciolo y hojas, y el rendimiento de fruta y madera en vides Tempranillo.

**CAPÍTULO 3. EFECTO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA SOBRE LA  
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UVA TEMPRANILLO (*Vitis vinifera*) EN BAJA  
CALIFORNIA**

**RESUMEN**

Baja California es una zona semidesértica donde la agricultura, incluyendo la viticultura, está limitada por la disponibilidad del agua. Ensenada es una ciudad adyacente a la zona viticultural donde 100% de las aguas de drenaje son tratadas en plantas de tratamiento. Estas aguas residuales tratadas (ART) podrían ser utilizadas para el riego de algunos cultivos, sin embargo, se vierten al mar. En consecuencia, el objetivo de este estudio fue el de evaluar el impacto del riego de la vid con aguas residuales tratadas sobre la calidad microbiológica y química de las uvas en el Valle de Guadalupe, México. Se aplicó de 10 a 20 L semana<sup>-1</sup> de ART proveniente de la planta de tratamiento de “El Sauzal” a vides Tempranillo de 5 años de edad y agua del acuífero a los testigos. 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 calcio, magnesio, sodio y potasio, no fueron afectadas por los distintos tratamientos de riego aplicados ( $p > 0.05$ ). Este estudio muestra que el ART de la planta de tratamiento de “El Sauzal” no presentó un impacto negativo a corto plazo sobre la calidad de la uva para fines de vinificación y el agua tratada podría utilizarse para dicho cultivo.

## 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 el uso agrícola, urbano y ambiental (Lazarova y Bahri, 2005). A escala global se emplea cerca de 65% del agua dulce disponible para irrigación, 20% en las industrias y 15% para uso doméstico. Para reducir la escasez de agua en la agricultura, algunos países han implementado programas exitosos para la reutilización de aguas residuales urbanas (Lazarova y Bahri, 2005). Esto es particularmente importante en zonas áridas, donde el agua es escasa y la reutilización del agua residual tratada (ART) para el riego podría reducir el consumo de agua potable hasta en 50% (Laurenson, *et al.*, 2010).

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

La principal zona vitivinícola de México se encuentra en el norte de Baja California. El promedio histórico de precipitación pluvial en el en esta zona es de aproximadamente 285 mm, sin embargo, debido a periodos de sequías recientes, este promedio en los últimos 15 años es más cercano a los 200 mm (Reyes-Coca y Troncoso-Gaytan, 2004). A diferencia del resto de los municipios de Baja California que suplen parcialmente sus requerimientos hídricos del río Colorado, el municipio de Ensenada suple 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 de Guadalupe ( $9 \text{ m}^3/\text{a}^{-1}$ , (CNA, 1998)), lo cual impacta considerablemente la disponibilidad de agua para la viticultura en esta zona. Debido a la reducción en los volúmenes de precipitación y la extracción de agua del acuífero Guadalupe hacia la ciudad de Ensenada, los mantos acuíferos presentan una disminución en sus volúmenes además de un deterioro en su calidad (Daessle, *et al.*, 2004).

Con una buena gestión y el tratamiento adecuado, el uso de las ART pueden incrementar el crecimiento vegetativo, el rendimiento de fruta, y no impactar 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 a metales pesados, microorganismos patógenos, incremento de la salinidad de la tierra y fruta, etc. (Metcalf\_&\_Eddy\_Inc, 2004; Laurenson, *et al.*, 2012). Los viñedos irrigados con ART, por ejemplo, han reducido el estatus nutricional debido al incremento progresivo de la salinidad (McCarthy, 1981; McCarthy y Downton, 1981). Además, se ha

reportado cambios en la concentración de sólidos solubles, pH y acidez total de las uvas, lo que impacta 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 activamente la creación de un acueducto para llevar ART al valle de Guadalupe como una manera de mitigar el estrés hídrico en los viñedos. Sin embargo, hay muy pocos estudios que valoren el efecto de las ART sobre la fisiología de la vid (Mendoza-Espinosa, *et al.*, 2008) y no existen estudios sobre el impacto de las ART en la calidad de la fruta en esta zona vitivinícola. En consecuencia, el objetivo de este estudio fue el de evaluar el efecto del riego con aguas residuales tratadas 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 llevó a cabo durante dos periodos de producción (2010 y 2011) utilizando vides cultivadas en el Valle de Guadalupe, Baja California (31°59'09"N, 116°38'46" O). Se utilizaron vides (*Vitis vinifera* var. Tempranillo) de 5 años de edad cultivadas en cordones de un brazo siguiendo 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. Se dispusieron cuatro tratamientos: 1) plantas regadas con 20 L semana<sup>-1</sup> de agua del acuífero, 2) plantas regadas con 10 L semana<sup>-1</sup> de agua residual tratada, 3) plantas regadas con 20 L semana<sup>-1</sup> de agua residual tratada y 4) plantas que no recibieron riego. El agua fue suministrada semanalmente al pie de las vides utilizando cajetes.

### **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 proveniente del acuífero del Valle de Guadalupe fueron colectadas semanalmente. Las muestras se recolectaron 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 (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 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 a partir de la fecha de envero en los diferentes tratamientos de riego. Se colectaron al azar aproximadamente 45 uvas por tratamiento ( $n = 10$ ), las cuales fueron transportadas en una hielera a 4°C al laboratorio para realizar los análisis. Las uvas de cada tratamiento se maceraron durante 2 h y se determinó la concentración de sólidos solubles (azúcares), los niveles de sólidos totales se evaluaron utilizando un refractómetro de mesa Abbe (Fisher Scientific Co.), la acidez se determinó mediante titulación, el pH se determinó potenciométricamente (ThermoOrion 410) y el nitrógeno asimilable por las levaduras por medio de titulación con NaOH (Zoecklein, *et al.*, 1995).

### **Concentración de sodio, potasio, calcio y magnesio en mosto**

Se recolectaron semanalmente aproximadamente 45 uvas de cada tratamiento ( $n = 3$ ), a partir del envero y hasta el final de la cosecha, las uvas fueron maceradas para obtener el jugo correspondiente para los análisis. Se analizaron los iones en  $\text{mg L}^{-1}$  de sodio, potasio y calcio por medio de emisión con una flama oxidante de acetileno y el magnesio se analizó por medio de absorción atómica a través de un espectrofotómetro de absorción atómica (Atomic Absorption Spectrometer Fast Sequential, SpectrAA 220/FS).

El diseño experimental consistió en bloques de 10 vides cada uno, misma disposición del capítulo anterior (Figura 2.1). En el 2010, uno de los tratamientos no recibió riego, otro bloque recibió  $20 \text{ L sem}^{-1}$  de agua del acuífero y el último recibió  $20 \text{ L sem}^{-1}$  ART. En el 2011, uno de los tratamientos no recibió riego, otro bloque recibió  $20$

L sem<sup>-1</sup> de agua del acuífero, y los otros bloques dos recibieron 10 y 20 L sem<sup>-1</sup> ART cada uno. Los parámetros de calidad del agua del acuífero y del ART se monitorearon cada semana utilizando la metodología descrita anteriormente. Para evaluar el efecto del uso de las ART sobre las características químicas de las uvas y la calidad de las mismas, se evaluó semanalmente a partir del 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 sodio, potasio, calcio y magnesio, de acuerdo a la metodología descrita anteriormente.

Las diferencias significativas entre la concentración de amonio, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, conductividad y sólidos disueltos a lo largo del año se evaluó mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía después de probar normalidad y homocedasticidad de los datos (Sokal y Rohlf, 1995). Las diferencias significativas entre la concentración de sólidos solubles, pH, acidez titulable, nitrógeno asimilable por las levaduras, y la concentración de Ca, Mg, K y Na se determinaron mediante un ANOVA de una vía. Todas las comparaciones múltiples se realizaron mediante una 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 el reuso en actividades que estén en contacto directo e indirecto con la población (NOM-003-SEMARNAT-1997). El fosfato y amonio contenido 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 tratamiento de El Sauzal (Mendoza-Espinosa, *et al.*, 2008). Los niveles de nitratos en el ART fluctuaron entre 3 y 7 mg L<sup>-1</sup> a lo largo del año, mientras que los niveles de nitratos en el agua del acuífero fluctuaron entre 2 y 12 mg L<sup>-1</sup> a lo largo del año (Figura 3.1). En general, los niveles de nitratos en el agua del acuífero de Guadalupe fueron dos veces más altos ( $p \leq 0.05$ ) que los observados en el ART (Figura 3.1). Esto coincide con lo observado en otros estudios (Daessle, *et al.*, 2004), y sugiere que los altos niveles de nitratos en el agua del acuífero son el resultado un exceso de fertilización en los cultivos o el resultado de una alta permeabilidad de los fertilizantes aplicados a los cultivos hacia el manto acuífero.

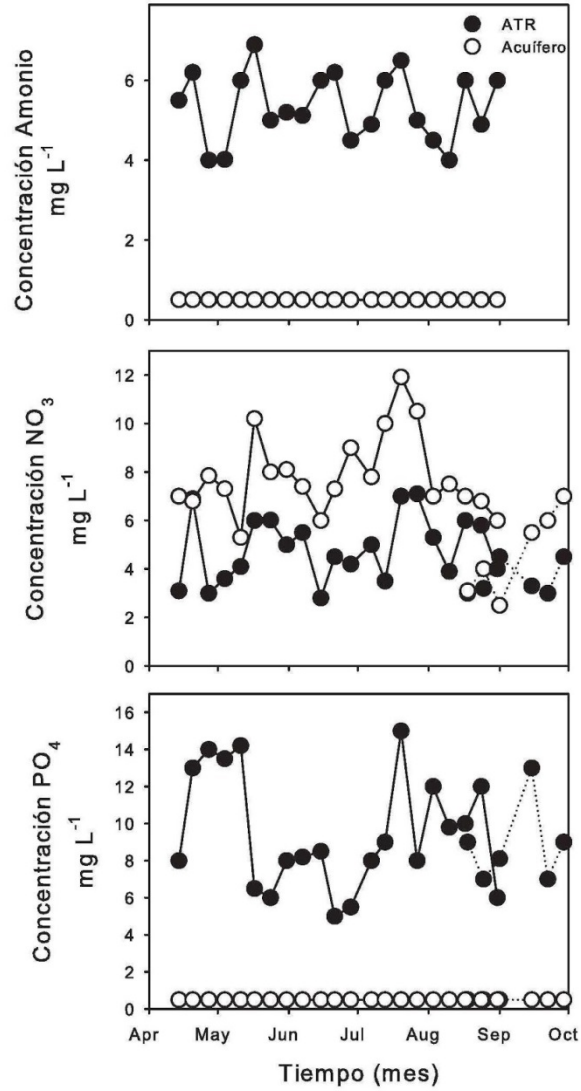


Figura 3.1. Concentración de amonio, nitratos y fosfatos en el agua residual tratada y agua subterránea (acuífero) utilizada para irrigar las vides. En el año 2010 (línea punteada) y 2011 (línea sólida).

El exceso de macronutrientes contenidos en las ART ha causado problemas de reducción de rendimiento y calidad en algunos cultivos anuales como el algodón, tomate, remolacha, papa, durazno, manzano y vid (Bouwer y Idelovitch, 1987). La fertilización de viñedos con más de 200 Kg N Ha<sup>-1</sup>, por ejemplo, generó un retraso en la acumulación de azúcares durante la maduración (Spayd, *et al.*, 1994). De igual manera, las uvas cosechadas de los viñedos con alta fertilización de N generaron vinos con niveles significativamente más altos de acidez volátil que aquellos producidos de uva con fertilizaciones más reducidas. 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 fluctuaron entre 4 y 7 mg L<sup>-1</sup>, mientras que la concentración de amonio en el agua del acuífero fue cercana a cero a lo largo del año. Los altos niveles de amonio en el ART son consistentes a lo observado en el agua residual de otras plantas de tratamiento y se relacionan a la descomposición bacteriana de la materia orgánica (Mendoza-Espinosa, *et al.*, 2008). Al utilizarse durante el riego, el amonio es rápidamente asimilado por las plantas a través de las raíces o se adsorbe a arcillas o materia orgánica mediante cargas electrostáticas. Posteriormente, el amonio fijado en la tierra es oxidado por bacterias para generar nitratos mediante procesos de nitrificación en la tierra (Norton y Stark, 2011). Debido a las altas tasas de asimilación por las plantas y la nitrificación, no existe 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 acuífero fue significativamente ( $p \leq 0.05$ ) diferente a lo largo del año. Los niveles de fosfatos del ART fluctuaron entre 10 y 15 mg L<sup>-1</sup> a lo largo del año. Por el contrario, los niveles de fosfatos en el agua del acuífero fueron cercanos a cero durante todo el año. Los altos niveles de fosfatos en el ART coinciden con observaciones de otras plantas de tratamiento de aguas urbanas (Laurenson, *et al.*, 2010). Estos niveles de fosfatos generalmente están asociados con los detergentes utilizados en residencias y vertidos a los drenajes urbanos. Por otro lado, los bajos niveles de fosfatos observados en las aguas del acuífero sugieren que este macro-nutriente 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, se ha demostrado que el fósforo 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 en el ART y al agua del acuífero se mantuvieron relativamente constantes a lo largo del año (Figura 3.2). En general, la conductividad y la concentración de SDT del ART fue dos veces más alta que la del agua del acuífero. Los mayores valores de conductividad en el ART (2000  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) se observaron en agosto de 2010, mientras que los menores (1250  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) en agosto de 2011. La mayor concentración de SDT en el agua del acuífero (650 mg L<sup>-1</sup>) se

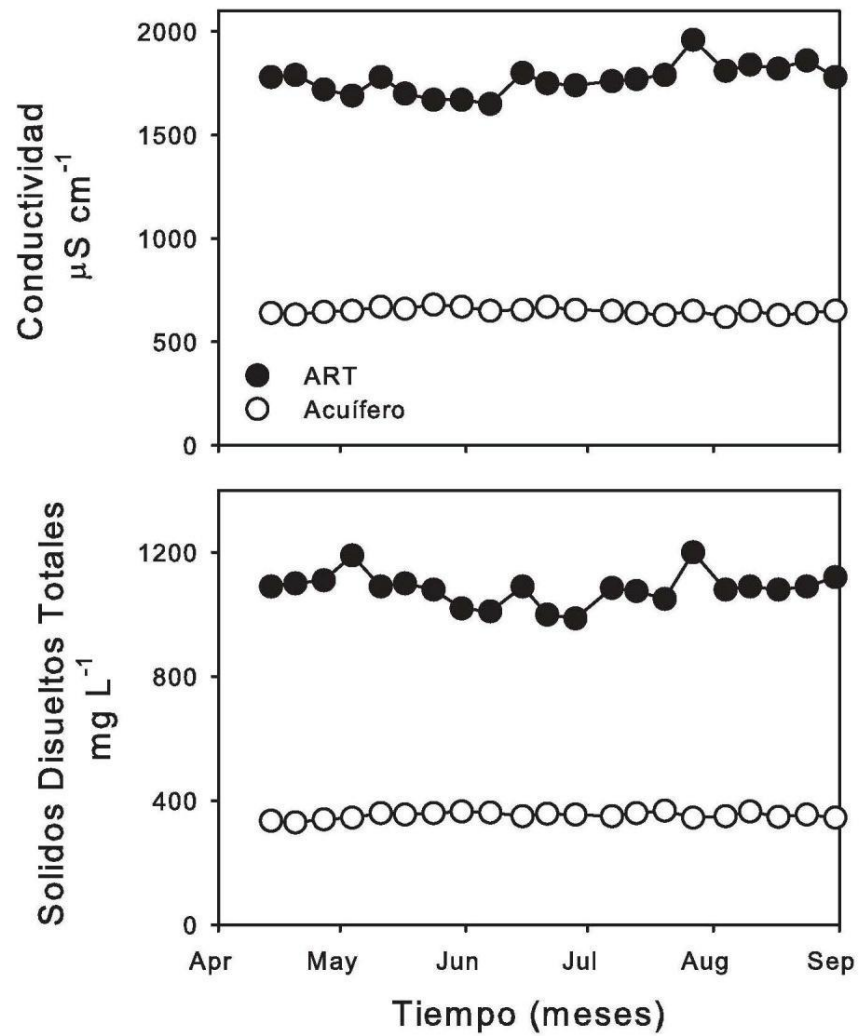


Figura 3.2. Relación de la conductividad y los sólidos disueltos totales, en el agua residual tratada y agua subterránea (acuífero) utilizada para irrigar las vides. En el año 2010 (línea punteada) y 2011 (línea sólida).

observó en agosto-septiembre. Por el contrario, la concentración de SDT en el ART se mantuvo relativamente constante ( $1100 \text{ mg L}^{-1}$ ) a lo largo del año. La mayor conductividad y mayor concentración de SDT en el ART, en relación al agua de riego, se debe a la concentración de minerales como resultado de la oxidación y descomposición de la materia orgánica en las plantas de tratamiento. Por lo anterior, el riego con ART puede presentar 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 ha resultado en una reducción del rendimiento de algunos campos de cultivo (Tejeda, *et al.*, 2001).

La vid es una especie moderadamente sensible a la salinidad y crece mejor cuando la conductividad eléctrica (CE) es inferior a  $0.8 \text{ dS m}^{-1}$ . Una reducción en el rendimiento puede presentarse cuando la conductividad eléctrica del agua de riego es superior a  $1.5 \text{ dS m}^{-1}$ , lo que corresponde a un contenido de sales de  $975 \text{ mg L}^{-1}$  (Bauder, *et al.*, 2011). La conductividad eléctrica del ART en este estudio fue de  $1.6 \text{ dS m}^{-1}$ , lo cual está por encima de lo óptimo para el desarrollo de la vitivinicultura. El incremento de la salinidad en el riego, a corto plazo ha demostrado reducir las tasas de crecimiento en la vid, número de racimos y rendimiento; y en casos de larga exposición a altas salinidades se demostró la reducción de la sobrevivencia de las vides (Downton, 1977; Shani y Ben-Gal, 2005). Sin embargo, se demostró en este estudio que 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 (NMP) a lo largo del año durante todo el periodo de estudio (datos no mostrados). Las Normas Oficiales Mexicanas establecen como límites máximos permisibles 1000/100 ml NMP para ART que serán utilizadas en cultivos (NOM-001-SEMARNAT-1996) y en actividades con contacto indirecto (NOM-003-SEMARNAT-1997); y de 240/100 ml NMP para el reuso del ART en actividades que impliquen contacto directo con la población (NOM-003-SEMARNAT-1997). Además, análisis realizados al mosto de la uva irrigado con ART en este estudio mostraron ser negativas a bacterias patógenas. Lo anterior sugiere que las ART de la planta de tratamiento del Sauzal, así como las aguas del acuífero, tienen la calidad suficiente desde el punto de vista microbiológico para ser utilizadas en el cultivo de la vid.

En los dos años de estudio la concentración de sólidos solubles no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en los distintos tratamientos de riego (Figura 3.3). Lo anterior indica que las vides irrigadas 10 o 20 L  $\text{sem}^{-1}$  de agua del acuífero o ART alcanzaron a cubrir sus requerimientos hídricos y mantuvieron tasas fotosintéticas similares. Sin embargo, las plantas que no obtuvieron riego durante el 2010 y 2011 presentaron las menores tasas de acumulación de sólidos solubles en las uvas en relación a las vides que recibieron ART y de agua del acuífero. En general se observó un retraso de la maduración durante el 2010 en relación al 2011 ya que las vides alcanzaron los 25°Bx tres semanas después. Las menores tasas de acumulación de sólidos solubles en las uvas no irrigadas es consistente con resultados en otros estudios (Freeman y Kliever,

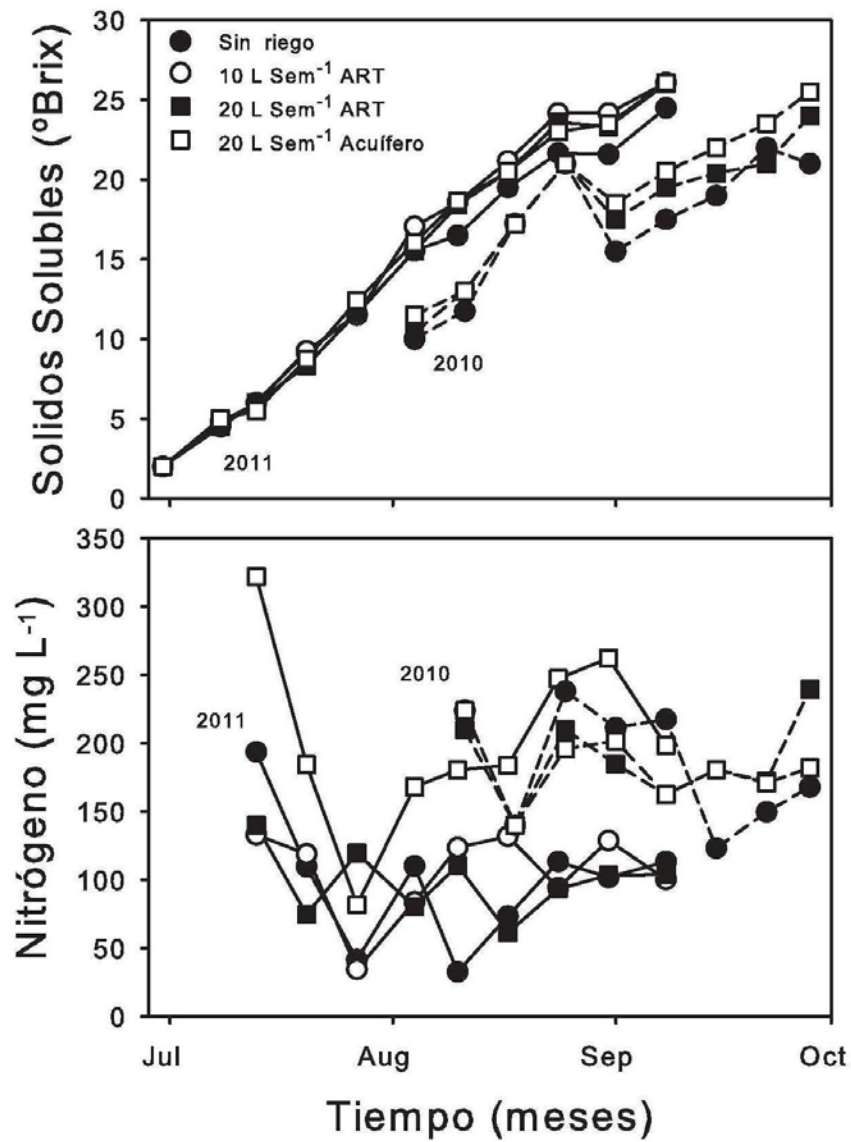


Figura 3.3. Relación de los sólidos solubles (°Brix) y nitrógeno asimilable por levaduras, en el mosto de uva tempranillo, regadas con 10 y 20 L de agua residual tratada, agua subterránea (acuífero) y sin riego. En el año 2010 (línea punteada) y 2011 (línea sólida).

1983; 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 de -13 a -15 bar (Liu, *et al.*, 1978). En este estudio, las vides sin riego y con un mayor estrés hídrico alcanzaron un potencial hídrico de las hojas de -15 bar más rápidamente que las vides regadas (datos no mostrados). La concentración de nitrógeno en el mosto de las uvas muestra una gran variación entre los diferentes tratamientos y entre los dos años estudiados (Figura 3.3,  $p \leq 0.05$ ). En general, se obtuvieron dos veces más nitrógeno en el mosto durante 2010 que durante 2011. Sin embargo, no se observó un patrón claro en relación a los tratamientos de riego.

De una manera similar a los sólidos solubles, no se observaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en el pH del mosto en relación al tratamiento de riego (Figura 3.4). En general se observó un incremento del pH del mosto a medida que avanzaba la maduración de las uvas hasta alcanzar valores de aproximadamente 3.6. Sin embargo, consistentemente el pH más bajo del mosto se observó en los tratamientos que no recibieron riego. El incremento del pH a medida que avanza la maduración es consistente con lo observado en estudios de maduración de la uva y se relaciona directamente con el catabolismo de ácidos orgánicos y la acumulación de potasio en la uva (Esteban, *et al.*, 1999; Mendoza-Espinosa, *et al.*, 2008). La acumulación de potasio en las uvas induce a la formación de sales de bitartrato de potasio que reducen la concentración de ácidos orgánicos disueltos y aumentan el pH del mosto. Igual que en este estudio,

investigaciones indican que el riego no tiene un impacto muy significativo sobre el pH por lo que no se observan diferencias en vides irrigadas o con un alto estrés hídrico (Esteban, *et al.*, 1999).

La concentración de ácidos totales en el mosto disminuyó significativamente ( $p \leq 0.05$ ) a lo largo de la maduración de las uvas en todos los tratamientos de riego (Figura 3.4). Al igual que con los sólidos solubles, la mayor concentración de ácidos totales durante el 2010 ( $p \leq 0.05$ ) indicó un retraso en la maduración en relación al 2011. De igual manera, el uso de ART no tuvo un efecto negativo en cuanto a la concentración de ácidos totales. Durante el 2010 se observó una mayor concentración de ácidos al inicio de la maduración, sin embargo, al final de la maduración todos los tratamientos mostraron la misma concentración de ácidos orgánicos. A diferencia del 2010, no se observaron diferencias en la concentración de ácidos orgánicos en el mosto de las uvas durante todo el periodo de maduración.

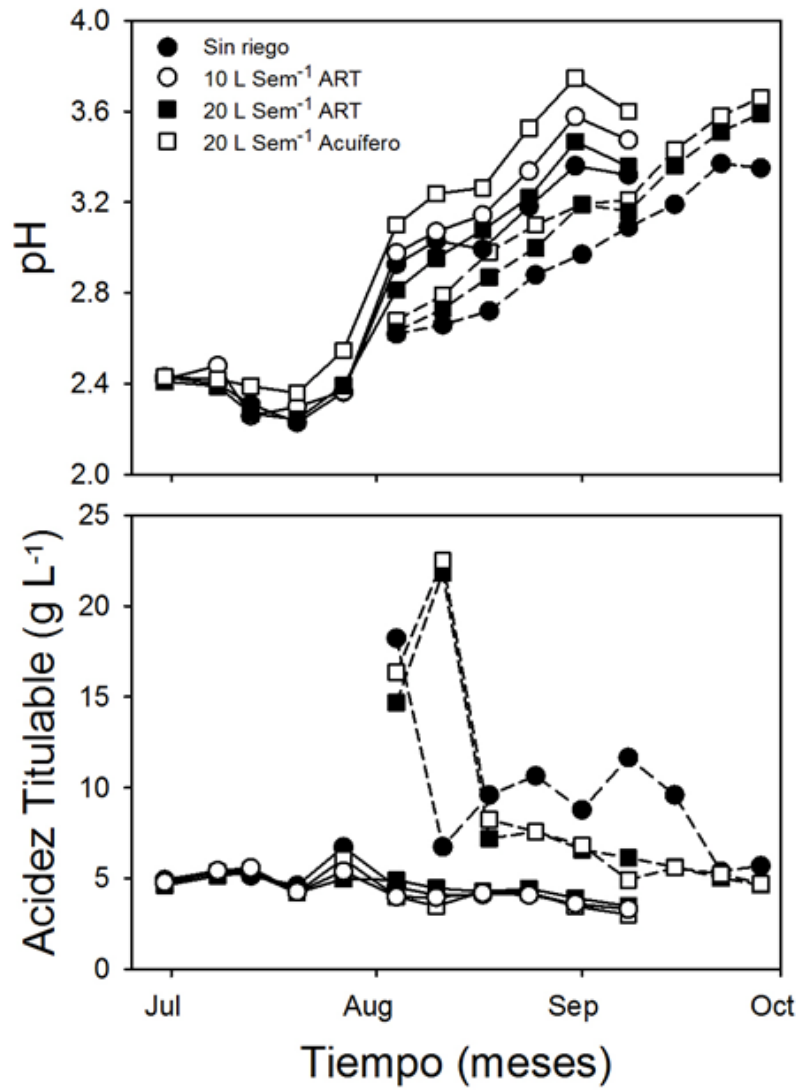


Figura 3.4. Relación de pH y acidez titulable en el mosto de uva tempranillo, regada con 10 y 20 L de agua residual tratada, 20 L de agua del acuífero y sin riego. Año 2010 (línea punteada) y 2011 (línea sólida).

La concentración de cationes fue significativamente mayor en el ART que en el agua del acuífero. La concentración de Ca en el ART ( $324.3 \pm 49.0 \text{ mg L}^{-1}$ ) fue 52-veces mayor que la encontrada en el agua del acuífero. De igual manera, la concentración de Mg en el ART ( $11.9 \pm 0.4 \text{ mg L}^{-1}$ ) fue 5.8-veces mayor que la encontrada en el agua del acuífero. La concentración de K en el ART ( $47.0 \pm 1.1 \text{ mg L}^{-1}$ ) fue 41-veces mayor que la encontrada en el agua del acuífero. Por último, la concentración de Na en el ART ( $42.2 \pm 0.3 \text{ mg L}^{-1}$ ) fue 3.4-veces mayor que la encontrada en el agua del acuífero. No obstante que 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 encontrada en acuíferos a nivel mundial (Zaheeruddin y Khurshid, 2004). Aún 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 incrementó significativamente los niveles de cationes en el mosto de uva (Figura 3.5). No obstante que los niveles de cationes del ART fue significativamente mayor que la del acuífero, los niveles no fueron lo suficientemente altos como para causar un impacto en la concentración del mosto. En general, la concentración de Ca, Mg, Na y K en el mosto de los diferentes tratamientos es similar al observado en vinos mexicanos y del resto del mundo (Cabello-Pasini, *et al.*, 2013). Sin embargo, se ha demostrado que niveles de Na altos en el agua de riego conllevan un incremento de Na en el xilema y eventualmente en el jugo de uva (Downton, 1977;

McCarthy, 1981; McCarthy y Downton, 1981). Estos estudios demuestran que concentraciones de  $575 \text{ mg L}^{-1}$  de Na en el agua de riego duplican la concentración de este ion en el xilema y triplica la concentración la concentración en el jugo de uva (Downton, 1977; McCarthy, 1981; McCarthy y Downton, 1981). Sin embargo, los niveles de Na en el ART de la planta de tratamiento de el Sauzal utilizada en este estudio sólo alcanzó concentraciones de  $42.2 \pm 0.3 \text{ mg L}^{-1}$ . De hecho, los niveles de Na reportados para el agua del Acuífero de Guadalupe para el 2011 fluctuaron entre 83 y  $340 \text{ mg L}^{-1}$  los cuales son de 2 a 8 veces más altos que los encontrados para el 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 son lo suficientemente bajos como para no causar un incremento significativo de estos iones en las uvas.

No obstante que no se observaron efectos negativos desde el punto de vista microbiológico en las uvas, así como en la concentración de sólidos totales, pH, acidez total y iones en el mosto, 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.

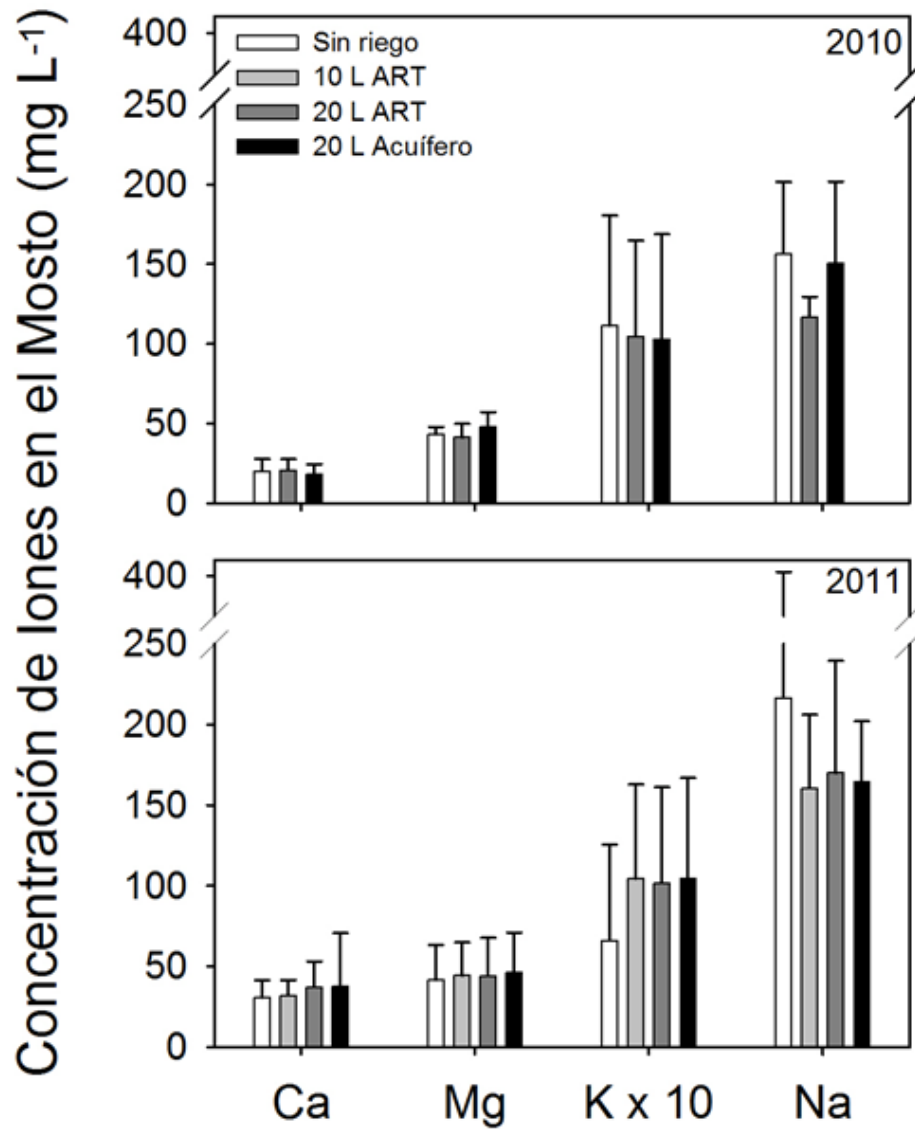


Figura 3.5. Concentración de iones en el mosto de uva tempranillo, regadas con 10 y 20 L de agua residual tratada, 20 L de agua del acuífero y sin riego en el año 2010 y 2011.

## **CONCLUSIONES**

En Baja California se han planteado diferentes propuestas para reutilizar el ART, sin embargo, son limitados los estudios que evalúan el efecto de esta agua sobre el crecimiento y la fotosíntesis de la vid, así como sobre la calidad de la fruta. En el presente estudio de dos años se demuestra que las ART 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. Se demuestra además, que las ART de la planta de tratamiento del Sauzal utilizadas en este estudio no impactaron los parámetros básicos de madurez de la uva (sólidos solubles, acidez titulable, pH y nitrógeno). Debido a que la concentración de iones como Ca, Mg, Na y K en el ART es similar (o más baja) que la 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 pueden ser utilizadas como suplemento hídrico en el cultivo de la vid; sin embargo, es necesario evaluar el efecto de esta agua a largo plazo.

## **AGRADECIMIENTOS**

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

**CAPÍTULO 4. PERCEPCIÓN SOCIAL SOBRE EL USO DE AGUAS  
RESIDUALES TRATADAS PARA LA IRRIGACIÓN DE CULTIVOS DE VID  
EN LA ZONA DEL VALLE DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO**

## RESUMEN

Ensenada es una ciudad adyacente a la zona viticultural donde el 100% de las aguas de drenaje son tratadas en plantas de tratamiento, sin embargo, estas aguas residuales tratadas no son re-utilizadas y se vierten al mar. Hemos demostrado que estas aguas residuales podrían ser utilizadas para irrigar vides empleadas para la producción de uva utilizada en la producción de vino de mesa. Sin embargo, la percepción del consumidor de vino podría estar influenciada por el tipo de agua utilizada en el cultivo de las vides. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue el de evaluar la percepción de la población consumidora de vino, ante el posible uso de las aguas residuales tratadas (ART) para la irrigación en cultivos de vid (*Vitis vinífera* var. Tempranillo) en el Valle de Guadalupe, México. Se utilizaron dos técnicas de investigación social, la encuesta y la entrevista. Se aplicaron 120 encuestas (cuestionarios) a mayores de 18 años, en eventos sociales y culturales, así como también en los lugares (Museo del Vino) más representativos sobre la cultura y apreciación del vino en la región, durante los meses de agosto a diciembre de 2012. La entrevista se utilizó para conocer la percepción de los vitivinicultores ante el uso de agua residual tratada para el riego de cultivos de vid. Se realizaron 15 entrevistas a diversas casas vinícolas presentes en el valle, durante los meses de agosto 2012 a junio 2013. Los resultados demuestran que aproximadamente el 84% de los encuestados está dispuesta a consumir un producto (vino) donde el cultivo hubiese sido regado con aguas residuales tratadas, aún sin tener información sobre la

calidad de las aguas residuales procedentes de las plantas de tratamiento. El 80% de los productores vitivinícolas entrevistados aceptó la práctica de reuso de agua, y debido a la escasez del recurso estarían dispuestos a utilizar agua residual tratada como una alternativa. Por lo tanto, los resultados sugieren que las ART se podrían usar para reducir el estrés hídrico de cultivos de vid en Baja California sin que exista una percepción negativa por parte de los consumidores o de los productores de vino de mesa

## INTRODUCCIÓN

A pesar de los avances científicos en el mundo en áreas como la biotecnología y la ingeniería ambiental y, particularmente en el tratamiento avanzado de aguas residuales (tratamiento terciario, nanofiltración, ósmosis inversa, etc.), la reutilización de las aguas residuales tratadas no es una práctica común en la mayoría de los países del mundo (Seguí, 2004). El agua ha sido considerado hasta hace unos años como un recurso prácticamente ilimitado. Sin embargo, el continuo aumento de la demanda de agua por encima de la cantidad disponible ha causado desabasto en ciudades y zonas agrícolas (Pinilla *et al.*, 2011). Una solución para las zonas que presentan un déficit hídrico sería utilizar el recurso de una forma más racional. Por lo anterior, la utilización planificada del recurso hídrico por los usuarios está cobrando cada vez más importancia en zonas áridas y semiáridas, con una pluviometría irregular y una demanda creciente de agua (Baeza, 2007).

En la actualidad, muchos países tienen un serio problema de desabasto y suministro de agua. Este desequilibrio entre la disponibilidad y demanda de agua se debe principalmente a los cambios recientes en los patrones de precipitación, a la alta demanda de agua para riego y el impacto del crecimiento demográfico (INEGI, 2010). En Europa, por ejemplo, la disponibilidad de los recursos hídricos es del 8% con respecto a la población que es del 13% (Fernández, 2007). De igual manera, en el Medio Oriente la población va en aumento y la disponibilidad del recurso va disminuyendo, por lo que la

Organización de las Naciones Unidas cataloga al territorio con un alarmante estrés hídrico (UNESCO 2007). Para aliviar esta escasez, una práctica que se debe tomar seriamente en consideración es el tratamiento y la reutilización de aguas residuales tratadas (Celis-Hidalgo, 2010).

Estudios como el de Bickerton *et al.*, (2011) en donde se hace una revisión de la literatura sobre temas relacionados con la reutilización de aguas residuales tratadas, abordando temas sobre las nuevas tecnologías de tratamiento de agua, efectos sobre la salud y sobre todo de aceptación social, han concluido que la gestión de los recursos aunado a la percepción social juegan un papel fundamental en su reutilización. De esta manera, Bautista *et al.*, (2011) en su investigación sobre la percepción social de los problemas ambientales en Yucatán, México, hace uso de las herramientas de percepción social como la encuesta y el grupo focal para conocer los problemas ambientales percibidos por la sociedad, sus resultados indican que los principales problemas ambientales percibidos por la sociedad fueron, contaminación del acuífero, erosión de las playas y pérdida de la biodiversidad.

Actualmente, la percepción se define como la manera en que los individuos conocen y entienden su entorno natural (Durand, 2008). La base de la percepción son las sensaciones como resultado de la estimulación de los órganos del sistema nervioso (Viqueira, 1977). Es así como la percepción social se entiende como el estudio de las influencias sociales sobre la percepción, el proceso de conocer y entender el entorno a

partir de la estimulación sensorial en un determinado grupo de personas. Por lo tanto, la percepción es una interpretación de lo desconocido, aunque por ser la única que el hombre puede dar, ésta le sirve para su desenvolvimiento en el mundo.

Para el estudio de las percepciones se pueden recurrir a distintos métodos. La investigación cualitativa o metodología cualitativa, que es un método de investigación usado principalmente en las ciencias sociales, se basa en principios teóricos tales como la interacción social empleando métodos de recolección de datos que no son cuantitativos, con el propósito de explorar las relaciones sociales y describir la realidad tal como la experimentan sus actores (Vargas, 2001). Por lo tanto, la investigación cualitativa también es llamada interpretativa ya que requiere de entender e interpretar la realidad como la aprecian los seres humanos.

A diferencia de la investigación cuantitativa, la investigación cualitativa busca comprender y explicar las razones de los diferentes aspectos de tal o cual comportamiento (Cauché, 1997). En otras palabras, investiga el por qué y el cómo se tomó una decisión, en contraste con la investigación cuantitativa, por lo que ha sido una manera de abordar el estudio de las percepciones sociales. A partir de este panorama, atender el problema del agua requiere de una visión conjunta que no sólo se enfoque a la problemática de la distribución y la equidad, sino que evalúe la posibilidad de implementación de las aguas residuales tratadas, especialmente en las grandes cantidades de hectáreas cultivables de las zonas semiáridas del país, como el valle de Guadalupe,

que cuenta con aproximadamente 6,409 hectáreas de cultivo entre las que se encuentra el olivo, tomate, cebollín, avena, cebada forrajera y vid siendo este último, el de mayor importancia a nivel nacional con 2,266 hectáreas cultivadas (SEFOA, 2012). En los últimos años el desarrollo y la producción de este cultivo se ha visto en riesgo como consecuencia de la sobreexplotación de los acuíferos (Meraz *et al.*, 2009).

Debido al acelerado crecimiento de la mancha urbana, el abastecimiento de agua en la región es cada vez más escaso, por lo tanto tener acceso a una fuente de abastecimiento de agua potable en ocasiones resulta una tarea difícil, y además la agroindustria del vino en el Valle de Guadalupe se ve amenazada (Badan *et al.*, 2005). De continuar así, se avizora un conflicto por el recurso hídrico, en la zona agrícola de Guadalupe, debido a que miles de hectáreas de cultivo están en riesgo de perderse por el estrés hídrico en el que se encuentra. El empleo de aguas residuales tratadas pudiera ser una medida exitosa para regar cultivos de vid en el valle de Guadalupe. Sin embargo, seguramente esta medida podría afectar el grado de aceptación de los consumidores de vino producido con uvas regadas con aguas residuales tratadas. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue el evaluar la percepción social de una parte de la población, en particular la consumidora de vino, en torno a la reutilización de agua residual tratada para la irrigación de cultivos de vid, que posteriormente serán utilizadas para la elaboración de vinos en la región. Lo anterior busca generar un primer diagnóstico a través de un ejercicio exploratorio que permita conocer la aceptación del producto bajo las condiciones anteriormente mencionadas.

## **METODOLOGÍA**

Esta investigación se desarrolla en el campo del estudio de las percepciones ambientales, que son entendidas como la forma en que los individuos aprecian y valoran su entorno y aportan elementos que potencialmente pueden contribuir a la conservación (Arizpe *et al.* 1993; Padilla-Sotelo y Luna 2003). Existen técnicas de investigación para obtener información desde un enfoque cualitativo y cuantitativo para comprender aspectos sociales de interés. En este estudio el uso de métodos cualitativos de investigación fue la base para obtener datos sobre la información, el conocimiento, las actitudes y, por lo tanto, la percepción de la población consumidora de vino, en torno al uso del agua residual tratada en la irrigación de cultivos de vid, que posteriormente serán utilizadas en el proceso de vinificación.

Para conocer la percepción de la población, se recurrió a dos técnicas de investigación social: la encuesta y la entrevista. La encuesta se diseñó para ser aplicada a la ciudadanía en los eventos sociales y lugares (Museo del Vino) más representativos de la cultura y apreciación del vino en la región, con el fin de conocer la percepción social sobre la utilización de las aguas residuales tratadas en el riego agrícola. Fueron aplicadas 120 encuestas a mayores de 18 años, en la ciudad de Ensenada y el valle de Guadalupe, Baja California, durante los meses de agosto a diciembre de 2012. Las preguntas que conformaron la encuesta fueron sujetas a una serie de pruebas con el fin de ajustar el instrumento (piloteo), y a una serie de correcciones para su aplicación formal. La

encuesta fue aplicada por estudiantes de la licenciatura de Ciencias de la Comunicación de la Universidad Autónoma de Baja California, que recibieron capacitación antes de llevar a cabo las encuestas.

Por otro lado, la entrevista se utilizó como una herramienta para obtener información de los vitivinicultores del Valle de Guadalupe, y conocer su percepción ante el uso de agua residual tratada para ser utilizada en el riego de cultivos de vid. Esta técnica de investigación se realiza para descubrir o plantear preguntas que ayuden a reconstruir la realidad tal como la observan los sujetos de un sistema social definido (Sampieri y Cols, 2003). Se realizaron 15 entrevistas a los vitivinicultores de diversas casas vinícolas presentes en el valle, durante los meses de agosto 2012 a junio 2013. Hasta junio de 2013 se tenían registradas aproximadamente 80 casa vinícolas (SEDECO, 2013), por lo que la encuesta incluyó el 18.75% de las casas productoras. Para la realización de las entrevistas se partió de un guión previamente elaborado, el cual estuvo sujeto a una serie de cambios con el fin de ajustar el instrumento (piloteo) y correcciones para su aplicación final. Las entrevistas fueron realizadas por la autora de esta investigación.

En la encuesta a los consumidores se utilizó un muestreo al azar. Los reactivos del cuestionario aplicados a la población consumidora de vino se dividieron en descriptivos o de identificación (edad, profesión, lugar de procedencia), y en preguntas cerradas para

identificar el conocimiento formal sobre abastecimiento y escasez de agua potable en la región categorizando las respuestas de acuerdo a su connotación positiva (sí) o negativa (no), para identificar las actitudes en torno al uso de las aguas residuales tratadas, así como preguntas abiertas para conocer la percepción y actitud de los encuestados.

En la encuesta se solicitó información sobre, a) edad, ocupación, género y procedencia de la población encuestada, b) frecuencia en el consumo de vino para identificar si el encuestado es un frecuente consumidor de vino, c) aspectos a tomar en cuenta cuando se compra un vino con preguntas dirigidas con el fin de saber si el encuestado estaría dispuesto a consumir un producto que hubiese sido regado con aguas residuales tratadas , d) conocimiento sobre el abastecimiento de agua en la región, e) conocimiento sobre la existencia de plantas de tratamiento de aguas residuales en la región y f) conocimiento sobre el uso de las aguas residuales tratadas con el fin de saber si el encuestado está consciente de los mecanismos para el abastecimiento de agua en la región . A continuación se presenta la encuesta (Figura 4.1).

- 
- a) Profesión/Ocupación: \_\_\_\_\_
- b) Lugar de procedencia \_\_\_\_\_
- c) Edad \_\_\_\_\_ Sexo \_\_\_\_\_
1. ¿Con qué frecuencia toma vino?
  2. ¿Cuándo compra un vino qué aspectos toma en cuenta?
  3. ¿Conoce de qué manera se abastece de agua la ciudad de Ensenada?  
A) Si B) No C) No sé
  4. Si es así, explique por favor cómo se abastece:
  5. ¿Conoce de qué manera se abastece de agua el Valle de Guadalupe?  
A) Si B) No C) No se
  6. Si es así, explique por favor cómo se abastece:
  7. ¿Considera que Ensenada enfrenta problemas de escasez de agua?  
A) Si B) No C) No sé
  8. ¿Cómo se percata de esta situación?
  9. ¿Considera que el Valle de Guadalupe enfrenta problemas de escasez de agua?  
A) Si B) No C) No sé
  10. ¿Sabe si Ensenada cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales?  
A) Si B) No C) No se
  11. ¿Cómo evaluaría la calidad de las aguas residuales tratadas?
  12. ¿Cuáles son los usos que identifica para las aguas residuales tratadas?
  13. ¿Qué opina sobre el reuso de aguas residuales tratadas?
  14. ¿Sabe usted si las aguas residuales tratadas son o pueden ser utilizadas para regar cultivos agrícolas comestibles?
  15. ¿Y sobre su uso para el riego de la vid en particular, qué es lo que ha escuchado?
  16. ¿Estaría dispuesto a tomar vino, cuyas vides fueron regadas con agua residual tratada?, ¿Porque?
  18. ¿Y si existiera evidencia científica de que las vides regadas con agua residual tratada no representan un riesgo a la salud?
- 

Figura 4.1. Preguntas de la encuesta

Una vez aplicadas las encuestas, las respuestas se capturaron y depuraron en una hoja de cálculo. La base de datos estuvo conformada por los 120 encuestados y 19 variables. El análisis de datos se llevó a cabo mediante el programa SPSS 15.0 (SPSS, 2006) para obtener frecuencias y relaciones entre reactivos.

Por otra parte, la entrevista a los productores de vino se utilizó para obtener información verbal de los vitivinicultores a partir de un cuestionario o guión, y registrados mediante una grabadora de mano para facilitar la redacción de la entrevista y recoger de forma más fiable la información obtenida. La información solicitada consistió en: a) tiempo dedicado a la vitivinicultura, b) retos presentes y futuros en cuanto al desarrollo de la práctica vitivinícola, c) conocimiento acerca del abastecimiento y escasez de agua en la región y d) percepción y conocimiento sobre el uso de aguas residuales tratadas. Los temas y preguntas abordadas en la entrevista se presentan en la Figura 4.2. Una vez obtenidas las entrevistas se llevó a cabo la transcripción de la información, evaluando cada una de las entrevistas en un documento escrito para tomar las ideas más relevantes de cada uno de los entrevistados y para su posterior análisis.

1. ¿Cuánto tiempo tiene dedicado a la vitivinicultura?
  2. ¿Cómo observa el desarrollo de la industria y de la práctica vitivinícola hoy en día?
  3. En su trabajo como vitivinicultor ¿Cuáles son los principales retos o problemas que enfrenta actualmente para cultivar la vid?
  4. ¿En el futuro, cuáles son los principales retos o problemas que visualiza para el cultivo de vid?
  5. Si es así, explique por favor en qué consiste este reto o dificultad
  6. ¿Cuentan actualmente con algunas medidas para afrontarlo? ¿Si es así cuáles son?
  7. Y en relación al recurso agua.
  8. ¿Conoce de qué manera se abastece de agua la ciudad de Ensenada? (explicar)
  9. ¿Considera que Ensenada enfrenta problemas de abastecimiento de agua?
  10. ¿Qué estrategias visualiza para enfrentar el riesgo de escasez de agua en el futuro?
  11. ¿Ensenada cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales?
  12. ¿Identifica los usos que se le dan a las aguas residuales tratadas? ¿Si es así, cuáles son?
  13. ¿Qué opina sobre el uso de aguas residuales tratadas?
  14. ¿Cómo considera la calidad de las aguas residuales tratadas en Ensenada?
  15. ¿Ha escuchado hablar sobre el riego de los cultivos con aguas residuales tratadas?
  16. ¿Qué es lo que ha escuchado sobre la posibilidad de regar los cultivos de la vid con aguas residuales tratadas?
  17. ¿Si fue así, de quién lo ha escuchado?
  18. ¿Estaría dispuesto a utilizar aguas residuales tratadas para el riego de su viñedo? ¿Por qué?
  19. ¿Qué desventajas visualiza en cuanto a la posibilidad de utilizar las aguas residuales tratadas?
  20. ¿Qué beneficios visualiza en cuanto a la posibilidad de utilizar las aguas residuales tratadas?
  21. Algo más que desee agregar a este tema.
- 

Figura 4.2. Preguntas de la entrevista

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### **Análisis de la población encuestada**

El presente estudio buscó incorporar el interés y la información de la población ante la alternativa de reutilización de aguas residuales tratadas. Los resultados están desglosados en sus componentes de abastecimiento y escasez de agua potable, conocimiento sobre aguas residuales tratadas y actitud ante el uso de las mismas. El 63% de los encuestados tuvieron entre 20 y 40 años de edad y el grupo más representado fue el de los estudiantes (Tabla 4.1). Además, la gran mayoría de los encuestados con 45% resultaron ser del norte del país. El 29.2% son estudiantes de licenciatura, seguido por los profesionistas de ciencias exactas y de la salud con 22.5%.

### **Abastecimiento y escasez de agua potable en la ciudad de Ensenada y el Valle de Guadalupe.**

Uno de los aspectos que se buscó comprender en este estudio, fue identificar en qué medida la población conoce cómo se abastece de agua potable la ciudad de Ensenada y el valle de Guadalupe. Por lo anterior, se planteó a los encuestados la siguiente pregunta *¿Conoce de qué manera se abastece de agua la ciudad de Ensenada?* Los resultados mostraron que el 51% de la población encuestada mencionó conocer de qué manera se abastece de agua potable la región y el 49% contestó que “No” es de su conocimiento cómo se abastece de agua la ciudad (Figura 4.3).

Tabla 4.1 Caracterización de la población encuestada

<b>Edad (años)</b>	<b>%</b>
20-30	30
31-40	33.3
41-50	26.7
51 +	10
<b>Profesión</b>	<b>%</b>
Estudiante	29.2
Trabajador	19.2
Ciencias Sociales y Administrativas	11.7
Ciencias Exactas y de la Salud	22.5
Ingeniería	17.5
<b>Procedencia</b>	<b>%</b>
México Norte	45
México Centro	26.7
México Sur	16.7
Otros Países	11.7

México norte comprende Chihuahua, Durango, Ensenada, Mexicali, Monterrey, Nayarit, Rosarito, Tijuana, Sinaloa y Sonora. México centro comprende el Distrito federal, Estado de México, Morelia, Puebla y Querétaro. México sur comprende Campeche, Guerrero, Oaxaca y Tabasco. Otros países, comprende Ecuador, España, Chile, Francia, Panamá y Perú.

Con respecto al abastecimiento de agua en el valle de Guadalupe, donde el acuífero del mismo nombre, además de abastecer el valle provee a la ciudad de Ensenada con el vital líquido (Salgado et al., 2012), la pregunta fue: *¿Conoce de qué manera se abastece de agua el Valle de Guadalupe?* El 46% de la población encuestada respondió que sí conoce cómo se abastece el valle y el 54% que no (Figura 4.3).

Además, se preguntó si conocen la manera en que se lleva a cabo el abastecimiento de agua en la ciudad de Ensenada. El 49% de los encuestados no respondió a la pregunta, el 20% señaló que el abastecimiento es por medio de pozos y ríos, el 18% por medio de presas y ríos y finalmente el 13% a través de la presa. Asimismo, se preguntó si conocen de qué manera se abastece de agua el valle de Guadalupe, y el 54% de los encuestados no respondió a la pregunta, mientras que el 46% contestó que lo hace por medio de pozos (Figura 4.4).

Por otra parte, el 47.5% de la población encuestada manifestó tener conocimiento de que hay un problema de escasez de agua potable en la ciudad; tal problemática es conocida mediante artículos en periódicos, y en menor proporción por sesiones públicas. La falta (o escasez) de agua es otra manera por la cual la población se percata de la problemática, así como por los medios de comunicación como la radio y la televisión y, sobre todo, por la interacción de la ciudadanía que resienten este problema en sus colonias. Por otra parte, el 27% de la población encuestada mencionó que no estaba al

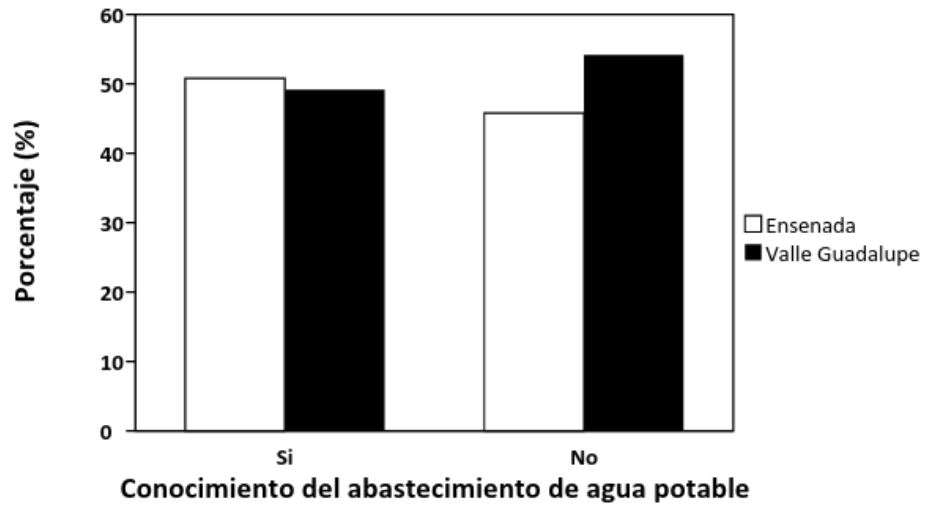


Figura 4.3. Porcentaje de encuestados que conocen de qué manera se abastece de agua potable la ciudad de Ensenada y el Valle de Guadalupe.

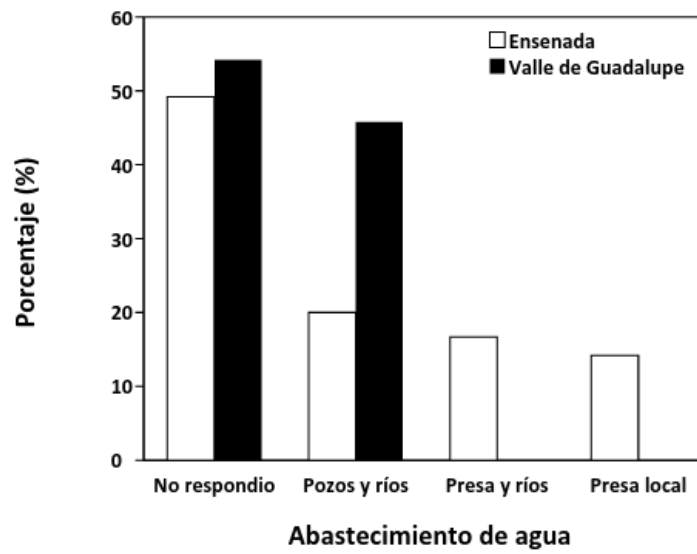


Figura 4.4. Categorías sobre la manera de abastecimiento de agua potable la ciudad de Ensenada y el Valle de Guadalupe.

tanto del problema de escasez de agua, el 24% dijo desconocer si en la región existe tal problema y el 1.7% no contestó la pregunta.

En relación a su conocimiento del problemas de escasez de agua en el valle de Guadalupe, el 39% de la población encuestada consideró que sí existe un problema de escasez de agua, pero el 26% consideró que no hay tal problema en la región, y un considerable porcentaje de la sociedad (35%) dijo desconocer sobre problemas escasez del recurso (Figura 4.5).

### **Conocimiento de los entrevistados sobre el reuso de agua residual tratada**

Al analizar la información con la que cuenta la población encuestada referente al abastecimiento y escasez del recurso hídrico en la región es evidente la desinformación que existe entre la población y a partir de ello es posible identificar estrategias para afrontar el problema.

En la presente investigación, el 80% de la población encuestada desconoce la práctica de riego con agua residual tratada en cultivos. Cabe destacar el estudio que llevaron a cabo Rawnsley *et al.*, (2009), donde evaluaron la viabilidad del empleo de agua residual tratada para la irrigación de cultivos de vid como una alternativa frente a la escasez, dando como resultado la identificación de aspectos que se deben tomar en cuenta para poner en marcha este tipo de proyectos, como regulación gubernamental, riesgo a la salud pública y, sobre todo, aceptación y percepción social.

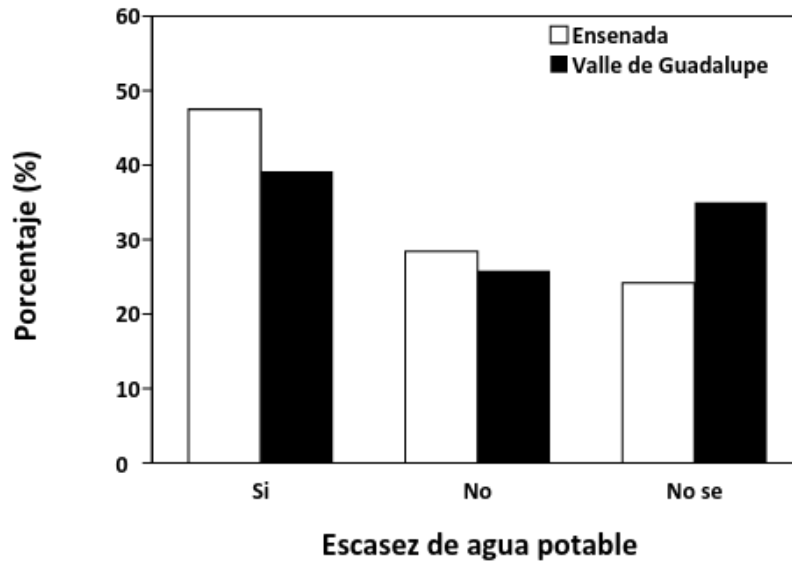


Figura 4.5. Porcentaje de encuestados que tiene conocimiento sobre el problema de escasez de agua potable en la ciudad de Ensenada y el Valle de Guadalupe.

Para conocer la percepción de la población encuestada sobre la utilización de agua residual tratada para la irrigación de cultivos de vid como una alternativa frente a la escasez, el cuestionamiento fue *¿Estarían dispuestos a consumir un producto (vino) cuyo cultivo (vid) se ha regado con aguas residuales tratadas?*, donde el 84% de los encuestados respondió afirmativamente, mientras que solamente un 16% respondió que no lo consumiría.

Dado que un considerable porcentaje de la población encuestada respondió que sí consumiría vino procedente de vides regadas con aguas residuales tratadas, fue importante conocer la frecuencia de consumo de vino. El 53% de los encuestados tienen un consumo de 1 a 2 botellas por mes, el 33% tiene un consumo de 1 a 2 botellas por semana, y el restante 28% tiene un consumo de vino de 1 a 2 botellas por año (Figura 4.6).

Por otra parte, se preguntó sobre los criterios que los encuestados toma en consideración para la selección del vino que consumen, identificándose siete criterios (Figura 4.7). El lugar de procedencia (origen) del producto fue el criterio que consideran los consumidores como más importante (26%) a la hora de elegir un vino. Los encuestados consideraron que el aspecto regional es de suma importancia, y mencionaron que era preferible consumir productos procedentes de la localidad (24%). El varietal del vino es otro de los motivos importantes a la hora de elegir un vino según el 20% de los

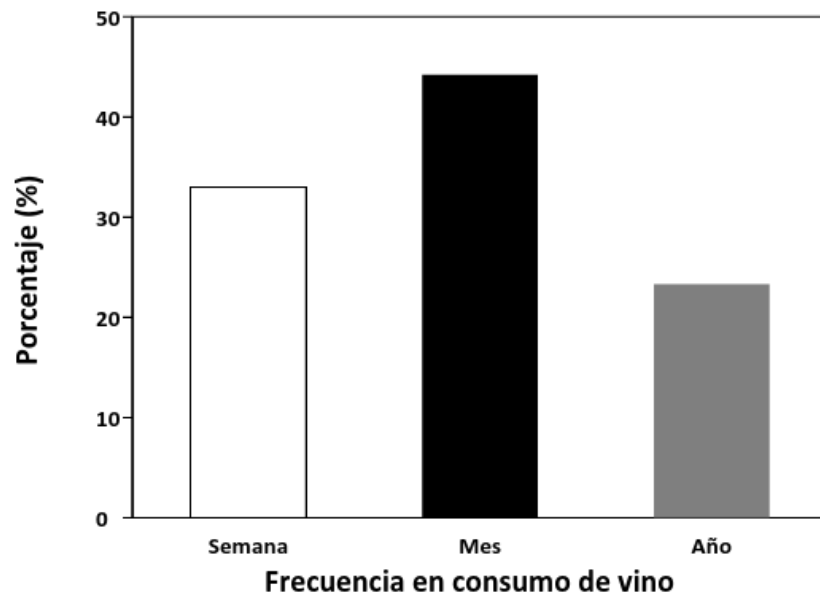


Figura 4.6. Porcentaje en consumo de vino, en relación a la cantidad de botellas (de una a dos) adquirida por los encuestados.

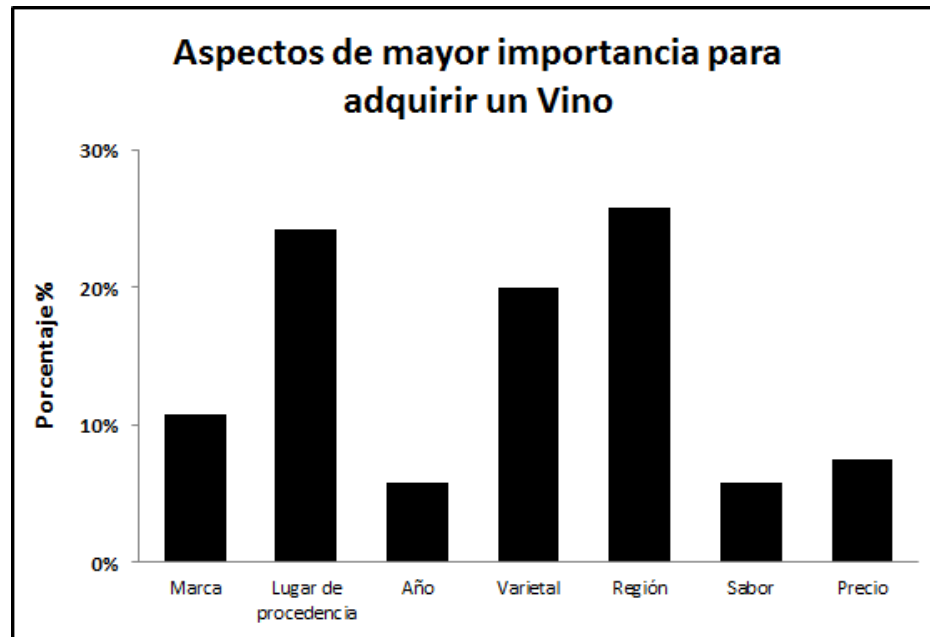


Figura 4.7. Categorías sobre los aspectos de mayor importancia al momento de adquirir un vino.

encuestados, mientras que el 11% le dio importancia a la marca, el 7.5% el precio y el 6% al sabor y el año.

### **Percepción sobre la reutilización de aguas residuales tratadas para riego de cultivos**

Las aguas residuales tratadas, consideradas como un serio problema de contaminación ambiental y además de salud pública, pueden transformarse en un valioso recurso económico mediante su uso en actividades agropecuarias. La experiencia documentada a nivel mundial mediante los diversos estudios, demuestran la posibilidad de reuso de las aguas residuales, además de contribuir a proteger el recurso en escasez. Sin embargo, es necesario tener presente que se trata de procesos que implican riesgos tanto al ambiente como a la sociedad (Rawnsley, 2009). La reutilización de agua residual tratada no siempre se maneja de una manera responsable, y el proceso requiere cumplir con varios requisitos. Por un lado, debe satisfacer la calidad de agua para el uso que se le intenta dar, sin que deteriore o afecte adversamente el entorno y por otro, que no cause problemas a los seres vivos que están en contacto con la actividad a la que se pretende satisfacer (Seguí, 2004).

Para evaluar el conocimiento que la población tiene sobre el tema de la agua residual tratada en Ensenada, se le preguntó a la población: *¿Ensenada cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales?* a lo que el 69% de los encuestados contestó que no y desconoce que en la región se cuenta con plantas de tratamiento de agua residual donde se tratan en su totalidad el agua recolectada en el sistema de alcantarillado de la ciudad.

Por otra parte, el 31% respondió que sí conocían la existencia de plantas de tratamiento en la ciudad y, a pregunta expresa sobre la calidad de las aguas tratadas, el 16% la considera “Buena” y el 15% la considera como de calidad “Regular” (Figura 4.8).

Se indagó en la disposición de los encuestados a consumir vino cuyo riego haya sido con aguas residuales tratadas. Cabe destacar que aun cuando sólo el 16% de los encuestados consideraron que la calidad del agua tratada es “Buena”, el 15% mencionó que la calidad es “Regular” y el 1% la calificó como “Mala”, el 84% está dispuesto a consumir el producto (vino) cuyas vides hayan sido regados con agua residual tratada. El 26% que expresó no consumiría un producto de tales características, mencionó como razón principal el riesgo a enfermedades asociadas al uso de agua residual tratada

De los encuestados que priorizan el año del vino como uno de los aspectos de mayor importancia al momento de adquirirlo, el 100% respondió que sí estarían dispuestos a tomar vino que hubiese sido regado con aguas tratadas, seguido de los que toman en cuenta la marca del producto con 92% y el lugar de origen con 90%.

Referente a la profesión del encuestado y a su disposición de consumir vino cuyas vides hayan sido regadas con aguas residuales tratadas, el 96% de los profesionistas de las ciencias exactas y de la salud están a favor de esta alternativa ya que la encuentran amigable con el ambiente al estar reutilizando un recurso tan importante como el agua. Asimismo, el 91% de los estudiantes consultados concuerdan con la idea ya que ven

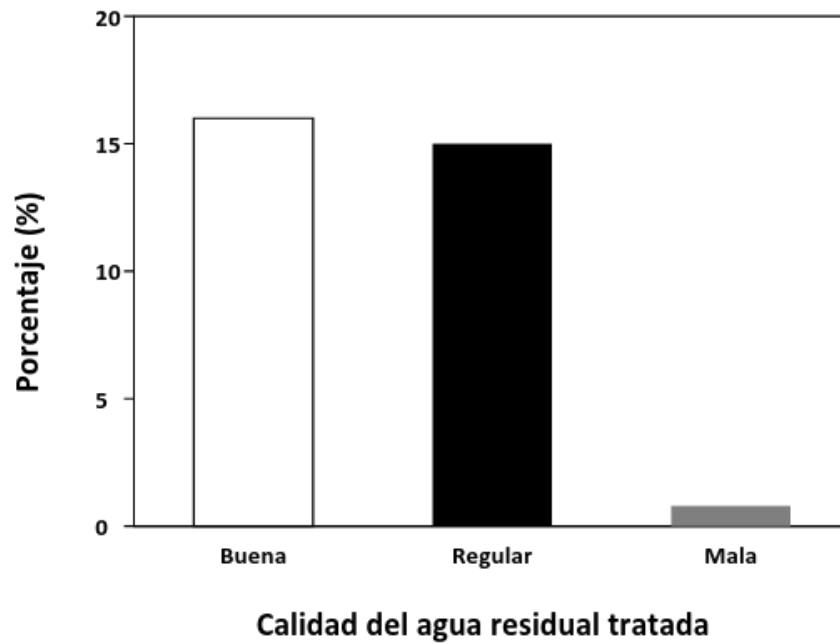


Figura 4.8. Porcentaje de la población encuestada y la percepción sobre la calidad del agua tratada de las plantas de tratamiento de la ciudad de Ensenada, Baja California.

como una alternativa el reuso de las aguas residuales tratadas. Los profesionistas de ciencias sociales y administrativas así como los trabajadores de diversas áreas, respondieron afirmativamente en un 86% y 83% respectivamente. Finalmente los entrevistados de las áreas de ingenierías respondieron positivamente en un 71% (Figura 4.9).

Al relacionar la procedencia de los encuestados y su disposición a adquirir el producto vino que haya sido regado con agua residual tratada, el 93% de la población encuestada proveniente de otros países (Chile, Ecuador, España, Francia, Panamá y Perú) respondieron positivamente, y la razón principal argumentada fue por considerarla una alternativa frente a la escasez del recurso. Asimismo, el 91% de los encuestados procedentes del norte de México (que para fines de este estudio comprendieron personas de Ensenada, Tijuana, Mexicali, Rosarito, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Durango, Nayarit y Monterrey) respondieron que sí estarían dispuestos adquirir un producto de esta naturaleza. Por su parte, la población proveniente del centro y sur de México respondieron afirmativamente en un 81% y 80% respectivamente (Figura 4.10).

En cuanto a la relación entre la edad de los encuestados y su disponibilidad a consumir el producto, en todos los grupos de edad se observó la aceptación a consumir un producto de tal naturaleza. La disposición a consumir el producto fue más frecuente en las edades de 20-30 años con un 92%, mientras que los encuestados de edades entre 41-50 años mostraron una mayor reticencia a esta opción (aceptación del 78%) (Figura 4.11).

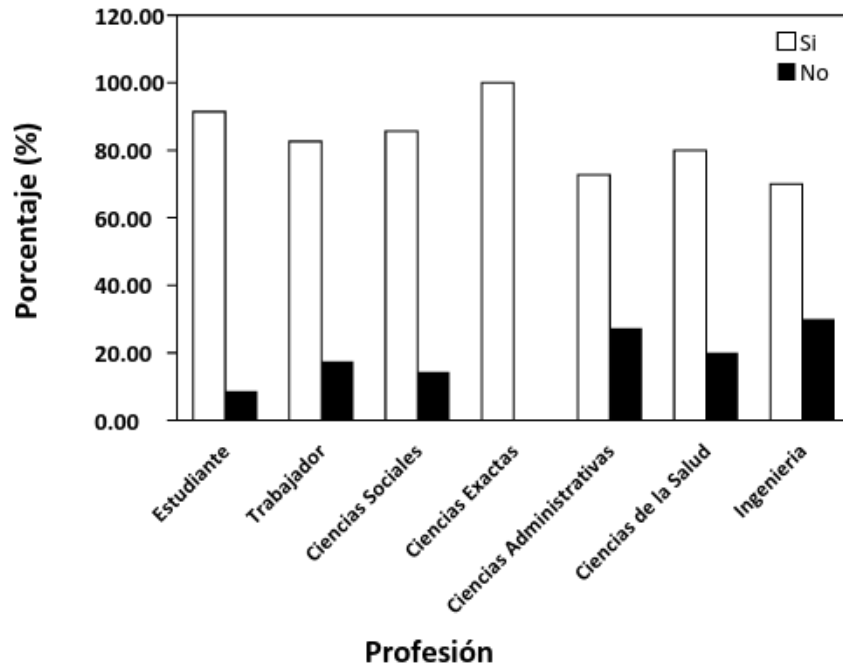


Figura 4.9. Categorías de acuerdo a la profesión sobre la disposición a consumir un producto (vino) cuyas vides fueron regadas con aguas residuales tratadas.

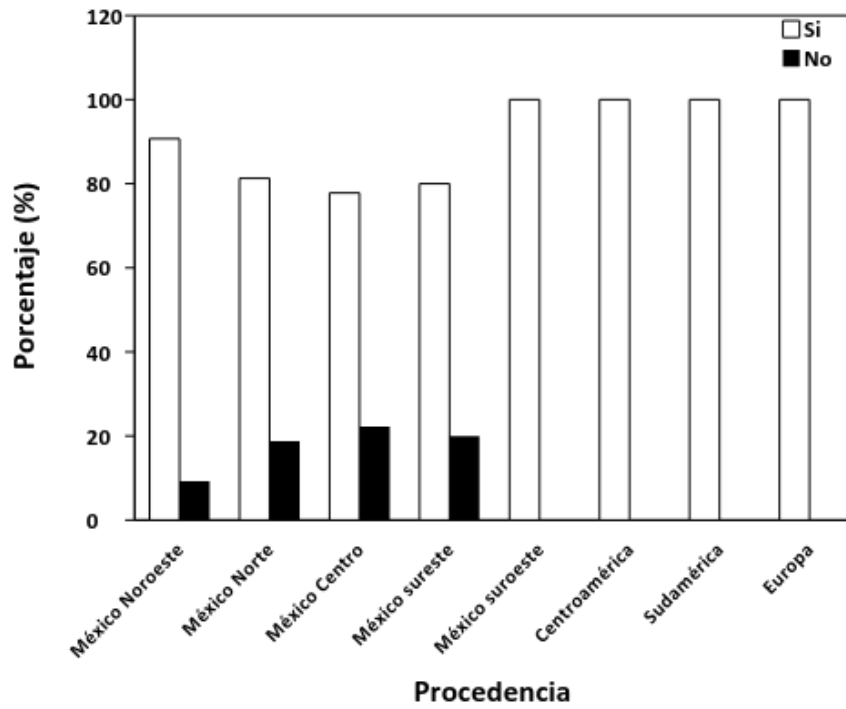


Figura 4.10. Categorías en cuanto a la procedencia de los encuestados a consumir un producto (vino) cuyas vides fueron regadas con aguas residuales tratadas.

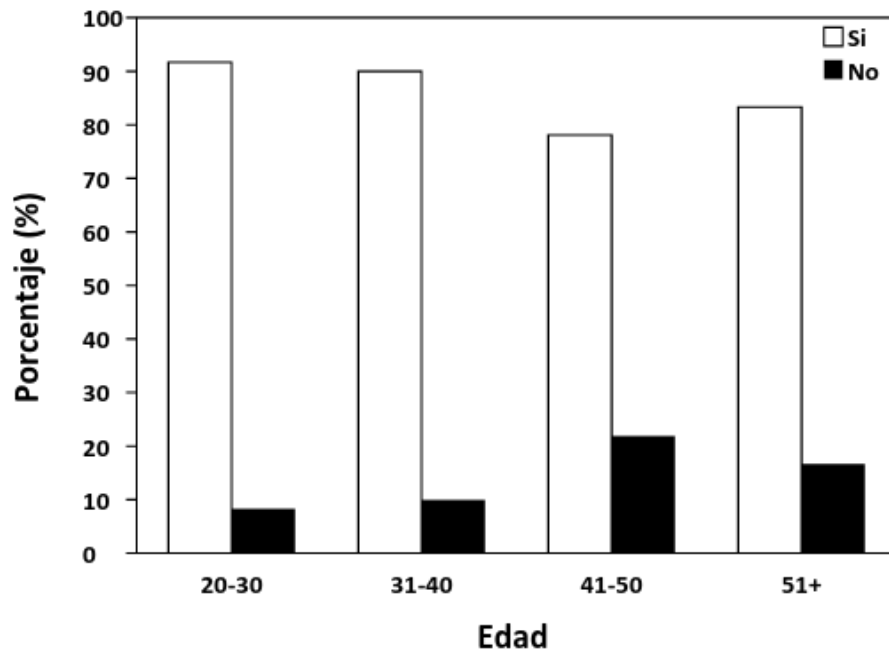


Figura 4.11. Categorías de acuerdo a la edad de los encuestados y su disposición a consumir vino cuyas vides fueron regadas con aguas residuales tratadas.

### **La perspectiva de los vitivinicultores**

Con el fin de conocer la percepción que tienen los vitivinicultores ante el uso de las aguas residuales tratadas para la irrigación de los cultivos de vid, la entrevista como método de investigación estuvo conformada por 15 diálogos con los vitivinicultores de diversas casas vinícolas del valle de Guadalupe y San Antonio de las Minas. El contenido de las preguntas se planteó de tal manera que permitiera conocer los retos a los que se enfrenta la vitivinicultura en el presente y futuro, el valor del recurso agua y la actitud frente a la posibilidad del reuso de agua tratada.

En la realización de la entrevista se comenzó por generar interés en el tema para luego indagar en aspectos como *el tiempo que se tiene dedicado a la práctica vitivinícola*. También se abordaron preguntas para conocer la cantidad y calidad de información con la que cuentan sobre el recurso agua y su aprovechamiento, hasta llegar a tópicos para conocer su percepción ante el uso del agua residual tratada para el riego de cultivos de vid.

Se encontró que el 70% de los encuestados tiene más de 10 años en la práctica del cultivo de la vid y la producción de vino y el 30% restante varía entre los 5 y 10 años. Con respecto al desarrollo de la vitivinicultura, al preguntarles cómo observan esta práctica hoy en día, la respuesta de los vitivinicultores coincidió en la rápida expansión de la práctica vitivinícola, por ser considerada como una segunda actividad o por ser el trabajo familiar que data de muchos años. A su vez, consideran que en muchos casos esta

práctica es desordenada, es decir, que no toman en cuenta la situación actual de la región como por ejemplo, la falta de lluvias, sobreexplotación de los acuíferos, etc; y se lleva a cabo sin saber con certeza los resultados que se obtendrán.

Con respecto al desarrollo de la vitivinicultura en los últimos años, la cual se ha venido dando rápidamente, nos interesó saber qué problemas o retos han enfrentado con el tiempo los vitivinicultores. Algunas de las ideas externadas fueron la competencia con otros países por la venta del producto, los altos impuestos establecidos para la venta de licores y por último, pero no menos importante, la competencia por agua, como lo expresaron algunos productores al decir:

*“La limitante principal es el agua; el agua y la tierra en Baja California, es un problema grave, además de la competencia fuerte con productos que provienen de otros países, que son productos de bajo costo y no necesariamente de menor calidad, más que nada, más accesibles para los consumidores”*

A pesar que los vitivinicultores conocen los retos a los que se enfrentan en el desarrollo de la práctica, y siendo uno de ellos la escasez de agua en la región, los resultados de la encuesta indican que no cuentan con medidas para afrontar el problema argumentando que el gobierno es quien debe de solucionar la problemática sobre la falta de agua así como llevar a cabo su distribución equitativa entre los diversos sectores. En este sentido se coincide con lo indicado por Jiménez *et al.*, (2001), que señala que el estado debe lograr la participación efectiva de los municipios, las empresas de agua, los

agricultores y la comunidad en general, sobre la distribución equitativa del recurso hídrico.

En cuanto al abastecimiento y escasez de agua tanto en el valle de Guadalupe como en la ciudad de Ensenada, el 100% de los entrevistados están al tanto de la problemática de agua en la región, ya que todos manifestaron estar en una zona árida con pocas lluvias.

Al indagar sobre las plantas de tratamiento de aguas residuales presentes en la ciudad, el 100% de los entrevistados conoce su existencia, pero no conocen la calidad del agua después de ser tratada, por lo cual expresaron un rechazo a la información sobre la calidad del agua que se genera en las plantas de tratamiento de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE). Por otra parte, están bien informados acerca de lo se hace con el agua residual tratada una vez que sale de la planta de tratamiento.

Algunos de los testimonios externados, fueron:

*“Se utiliza para el riego de jardines y camellones de la ciudad, pero sólo una pequeña parte, es una lástima que el resto del agua sea desperdiciada en el mar, con tanta falta que hace en esta zona el agua”*

*“El agua que sale de las plantas de tratamiento se utiliza para regar jardines de la ciudad, pero sólo se utiliza una pequeña parte, el resto es tirado al mar, en vez de utilizarla para regar más áreas verdes en ciudad. Si tenemos tanta agua que se desperdicia al mar, deberían de pensar en plantar más árboles y tener más áreas verdes, más pulmones en la ciudad”*

Al explorar el nivel de conocimiento que tienen los entrevistados sobre el riego de cultivos con agua residual tratada en México o en otras partes del mundo, cabe destacar

que el 100% de los entrevistados está al tanto de la práctica del reuso de agua, incluso en otras partes del mundo. La percepción que tienen los productores de las casas vinícolas sobre el reuso de aguas tratadas es favorable donde el 80% de los entrevistados aprueban esta práctica del reuso y el restante 20% la rechaza. Para algunos vitivinicultores establecidos la simple idea de utilizar aguas residuales, aunque sean tratadas, no es una opción. Entre las razones que estos expresaron es por el rechazo de sus productos principalmente en el mercado extranjero, así como por el alto costo que pagarían por el agua tratada.

A pesar de que el 80% de los entrevistados aceptan la idea y están dispuestos a utilizar aguas residuales tratadas para el riego de las vides, coinciden en que las emplearían siempre y cuando hubiese otra dependencia (laboratorio independiente), además de la dependencia oficial (CESPE), que diera a conocer los resultados de las pruebas analíticas a las aguas residuales tratadas en una gaceta oficial o se les hiciera llegar de manera exclusiva a cada uno de los vitivinicultores de la zona para corroborar los resultados.

La percepción de los usuarios en torno a la aceptación y uso de agua residual tratada, proviene desde la década de los años 70, con investigaciones que evalúan los niveles de aceptación pública para los diferentes usos del agua residual tratada, donde la mayoría de los estudios llegan a la misma conclusión: los usuarios están dispuestos a utilizar agua residual tratada para riego de jardines y usos en donde la gente no tenga

contacto directo (Dolnicar *et al.*, 2009). Estudios recientes (Dolnicar y Hurlimann, 2011) identifican el mismo patrón que en la década de los años setenta, puesto que en su estudio en Australia el 92% de los usuarios usaría agua residual tratada para riego de jardines.

Si bien la reutilización de agua tratada es empleada en varios países para suplir las demandas de agua total o parcialmente, además de utilizar tecnologías de punta para este fin, aún no es una práctica generalizada debido a que el origen del agua y su impacto sobre la salud pública sigue siendo la mayor preocupación de los usuarios (Higgins *et al.*, 2002). Pocos estudios identifican las ventajas de utilizar agua residual tratada, sin embargo Marks *et al.*, (2002) identificó en Australia tres beneficios que percibieron los usuarios al utilizar las aguas residuales tratadas: beneficio económico, efecto sobre el medio ambiente y valor nutricional.

La aceptación pública sobre el uso de aguas residuales tratadas depende en gran medida de la información con la que cuenta la población con respecto a la situación actual del recurso hídrico en la región. Tal es el caso de la investigación realizada por Ching (2010), donde encontró una correlación entre la cobertura mediática sobre propuestas de reutilización de agua, combinado con una sensación de crisis y la aceptación del público en Australia y Singapur. Los resultados en Singapur, debido al enfoque positivo de los medios, contribuyó a la aceptación de la reutilización de agua residual tratada. Caso contrario en Australia donde el enfoque negativo de los medios de comunicación contribuyó al rechazo de utilizar aguas residuales. De igual manera,

Doménech y Saurí (2010) evaluaron la percepción de la población sobre el riesgo a la salud humana al utilizar aguas residuales tratadas, encontrando que la población es muy vulnerable a las fallas en los sistemas de regeneración de aguas residuales, pero esto se compensa con los beneficios ambientales obtenidos.

## **CONCLUSIONES**

Ante el posible escenario de considerar la reutilización de las aguas residuales tratadas como una alternativa frente a la escasez, el grado de aceptación de la población encuestada frente a esta posibilidad de reuso es favorable, el 84% de los encuestados está dispuesta a consumir un producto (vino) donde el cultivo hubiese sido regado con aguas residuales tratadas, aún sin tener información sobre la calidad de las aguas residuales procedentes de las plantas de tratamiento y, lo más importante, sin saber si en otras partes del mundo se lleva a cabo esta práctica. Esta percepción sobre el uso de agua residual tratada puede ser empleada, hoy en día, como una herramienta potencial para desarrollar estrategias que sean favorables para los vitivinicultores.

Debido al estrés hídrico en el que se encuentra la zona del Valle de Guadalupe, miles de hectáreas de cultivo están en peligro de perderse, por esta razón el 80% de los productores vitivinícolas entrevistados acepta la práctica de reuso de agua, debido a la escasez del recurso estarían dispuestos a utilizar agua residual tratada como una alternativa, siempre y cuando se tenga un control estricto de la calidad del agua tratadas.

**CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE COSTOS PARA EVALUAR LA FACTIBILIDAD  
ECONOMICA DEL RIEGO DE CULTIVOS DE VID CON AGUA RESIDUAL  
TRATADA EN EL VALLE DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO**

**RESUMEN**

La reducción de agua proveniente de ríos, lagos o mantos acuíferos ha causado que los países implementen programas para la re-utilización del recurso hídrico. Al igual que otros países, México utiliza el agua residual urbana tratada para suplementar el riego agrícola en algunos estados. Sin embargo, no se tiene información sobre el uso potencial de esta agua residual tratada para la irrigación de viñedos en México. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar la viabilidad económica de implementar la reutilización de las aguas residuales tratadas proveniente de la planta de tratamiento de El Sauzal, para el riego de cultivos de vid en la zona agrícola del Valle de Guadalupe, Baja California, México. Se plantearon 11 esquemas para el reuso de aguas residuales tratadas en la irrigación de viñedos en el valle de Guadalupe, que incluyen la compra de 1ha de terreno y camión pipa, o bien, renta de 1ha de terreno, renta de camión pipa, y por último, un esquema de un vitivinicultor que posea un viñedo produciendo pero con problemas de suministro de agua para el riego, con y sin endeudamiento financiero. De las 11 alternativas propuesta solo se consideran rentables cinco de ellas en donde, el establecimiento de 1ha de viñedo sin financiamiento proveniente de los bancos y generando ingresos extras por la renta de una pipa, resultan en un costo-beneficio aceptable. Para un vitivinicultor que ya está establecido, el análisis costo-beneficio resulta en un proyecto aceptable, obteniendo valores mayores a 1%. Un escenario futuro

para los vitivinicultores actuales, podría ser el uso de las aguas residuales tratadas, siempre y cuando se tenga un control estricto de la calidad del agua.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura, principalmente la producción de alimentos y fibras representa alrededor del 78% del uso de agua a nivel mundial. En la actualidad alarmantemente esta situación ha llevado a una extremada escasez del recurso; aunado a esto, la falta de lluvias en algunas zonas áridas o semiáridas del mundo, hace que el agua sea insuficiente para mantener los cultivos, lo que deriva en el aumento del costo en las operaciones agrícolas. En algunas zonas del mundo, el agua se ha convertido en una limitante, principalmente para el desarrollo agrícola e industrial (FAO, 2013). Debido a esto, es necesario el empleo de fuentes adicionales o no convencionales para suplir las necesidades de abastecimiento de agua. Por ello, la reutilización de las aguas residuales tratadas se perfila como una alternativa de gran futuro ya que realiza funciones fundamentales, por una parte aumenta la oferta de recursos hídricos disminuyendo así la presión sobre los recursos naturales convencionales, y por otra la contaminación de los cuerpos de agua (Bixio *et al.*, 2006).

En algunos países, la falta de agua provenientes de acuíferos, ríos y lagos ha llevado al creciente reuso de las aguas residuales (ya sea tratadas o sin tratar) para ser utilizada en el riego de cultivos; en algunos casos esto ha ocurrido de manera espontánea y no planificada (Silva *et al.*, 2008). En los últimos años, el avance de la tecnología en materia de regeneración de aguas residuales ha ido en aumento y, en la actualidad, la viabilidad de los proyectos de reutilización de aguas residuales debe tomar en cuenta

aspectos económicos y de aceptación social (Molinos *et al.*, 2010). En este sentido, disponer de un detallado análisis de costos resulta esencial a la hora de valorar la potencialidad de los proyectos de reutilización del agua regenerada (Asano, 2007).

El aspecto económico suele ser el menos abordado en las investigaciones sobre la regeneración y reutilización de las aguas residuales, debido a que en general sólo se consideran los costos de regenerar el agua, mientras que los efectos externos (positivos y negativos) se relegan a un segundo plano (Seguí 2004). A pesar de las dificultades que conlleva la cuantificación de los efectos externos, debido a la ausencia de mercado que regule el precio del agua, en el contexto de la reutilización de aguas residuales, hay un interés creciente en la valoración monetaria de las mismas. Un ejemplo de ello lo encontramos en el trabajo de Godfrey *et al.*, (2009) quienes realizan un análisis costo beneficio (ACB) aplicado a un sistema de reutilización de aguas grises en India. En general, estos estudios utilizan métodos de valoración económica convencionales como la disposición a pagar. Por otra parte, Seguí *et al.*, (2009) usan la técnica del costo-beneficio para determinar los beneficios ambientales derivados de un proyecto de reutilización de aguas residuales en el contexto de la restauración de un humedal. Cheng & Wang (2009) obtienen el beneficio neto de un proyecto de reutilización de aguas residuales en un zona residencial de China. Para ello, los beneficios ambientales son cuantificados mediante la aplicación de una ecuación matemática desarrollada por el Ministerio de Medio Ambiente Chino.

Un proyecto de inversión establece de manera anticipada la manera en que debe realizarse alguna obra o la generación de algún servicio con la finalidad principal de satisfacer necesidades humanas (Morales-Castro 2009). De acuerdo con Lledó y Rivarola (2005), un proyecto es “un desafío temporal que se enfrenta para crear un único producto o servicio, todo proyecto tiene un resultado deseado, una fecha límite y un presupuesto limitado”. Por lo tanto, se puede resumir que una evaluación de proyectos es un documento que especifica un negocio que se pretende iniciar o que ya se ha iniciado y en él se expone el propósito general de una empresa y los estudios de mercado, técnico y financiero, incluyendo temas como el precio, la distribución, el modelo de negocio, la estructura de capital, la evaluación financiera y las fuentes de financiamiento.

Es importante destacar que no se encuentra una estructura única para elaborar una evaluación de proyectos, sino que se puede adoptar aquella que se considere la más conveniente de acuerdo con los objetivos planteados (Hernández, 2001). La viabilidad de utilización de ART depende en gran medida de los costos y los beneficios que se tengan al implementarlas (FAO, 2004). Probablemente el principal beneficio en la mayoría de los casos sea el valor del agua dulce que se intercambia por un uso urbano o industrial de mayor valor. Esto podría reducir el costo para las autoridades municipales de buscar suministros a través de medios más costosos.

La reutilización de las aguas residuales tratadas en la agricultura se ha estudiado desde hace décadas, especialmente en regiones semi-desérticas o con problemas recientes de déficit hídrico (SEMARNAT 2012). El noroeste de México, por ejemplo, se

caracteriza por presentar lluvias que oscilan entre los 200 y 250 mm de agua anualmente, en contraste con los 2,400 mm de agua que se captan en la parte sureste de México (CONAGUA, 2008). A pesar de las escasas precipitaciones en Baja California, este estado se destaca por su importancia económica centrada en la agricultura que se sostiene en gran medida de los escurrimientos del Río Colorado (SEMARNAT, 2012). En consecuencia, el acceso al agua dulce de primera calidad es primordial para el desarrollo agrícola y económico del estado.

En el estado de Baja California se encuentra la zona productora de aproximadamente el 90% de los vinos nacionales, y comprende 2,266 hectáreas de cultivo de uva para vino (SEFOA, 2012). El valle de Guadalupe es una las zonas de mayor producción y reconocimiento y en ella se encuentra el acuífero del mismo nombre que abastece la agricultura del valle, así como parcialmente a la ciudad de Ensenada (Campos y Kretschmar, 2008). Esta actividad agroindustrial ha logrado posicionarse en el mercado de calidad con productos diferenciados por su alto valor agregado. Sin embargo, en los últimos años, la superficie destinada al cultivo y crecimiento de la industria en general, se ha visto modificada de forma negativa, principalmente en lo referente a la escasez de agua y al crecimiento poblacional (Venegas, 2012).

La escasez de agua tiene altos costos económicos, sociales y políticos en todos los países. El alto costo de mitigar la crisis hídrica trae consigo altas sumas de dinero en regiones áridas y semiáridas (Fare *et al.*, 2006). Así como la escasez produce altos costos, los proyectos para evaluar la reutilización de agua pueden ofrecer una doble ganancia

---

tanto para los agricultores como para el medio ambiente. Por esta razón es necesario plantear estrategias que ayuden a optimizar el recurso hídrico, así como también buscar nuevas fuentes de abastecimiento de agua que sean económicamente viables y que ayuden a minimizar la escasez, siendo las aguas residuales tratadas una alternativa para el riego de cultivos de vid en el valle de Guadalupe.

Las aguas residuales tratadas pueden ser una alternativa para suplir las necesidades hídricas en el valle, además de encontrarse disponibles todo el año (Acosta Zamorano *et al.*, 2013a,b). Sin embargo, se desconoce si el uso de estas aguas residuales es económicamente rentable después de transportarlas a la zona de cultivos en el Valle de Guadalupe. Por tal motivo, el objetivo de este capítulo fue determinar la viabilidad económica mediante un proyecto de inversión, de implementar la reutilización de las aguas residuales tratadas proveniente de la planta de tratamiento de El Sauzal, para el riego de cultivos de vid en la zona agrícola del Valle de Guadalupe, Baja California, México.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Este estudio se llevó a cabo durante los meses de junio a diciembre del año 2013, en la región del Valle de Guadalupe, la cual está situada a 30 kilómetros al noreste de la ciudad de Ensenada, en el estado de Baja California. El clima en esta zona es de tipo Mediterráneo, con temporada de estiaje en verano y pocas lluvias durante los meses de

noviembre a marzo. Estas características la hacen única en México por su excelente estado de conservación y tradición agrícola basada en el cultivo de la vid y la producción de vino de mesa (Gaeta, 2006). Al respecto de la actividad vitivinícola desarrollada en este valle, actualmente se utiliza una superficie de 2,266 hectáreas de uva que, representan el 51% del total del estado y el 56% del municipio, produciéndose 41 variedades de uvas (varietales) que son utilizadas para producir vino y uva de mesa. (Sepúlveda-Betancourt, 2009).

### **Descripción del proyecto**

Se utilizó la metodología de “Proyecto de Inversión” para evaluar la alternativa de reutilización de agua residual tratada para el riego de cultivos. Se consideró emplear como recurso principal el agua residual tratada proveniente de la planta de tratamiento de El Sauzal, situada a 30 km de la zona de estudio (y siendo la más cercana a la zona de estudio) donde el agua residual recibe un tratamiento secundario y desinfección.

El agua residual tratada se consideró sería llevada mediante un camión (pipa) para su uso en la irrigación de 1 ha de cultivo de vid (*Vitis vinifera* var. Tempranillo) utilizando un sistema de riego por goteo. Se analizaron dos opciones para determinar la más redituable para el proyecto, rentando la pipa a un tercero, bajo el siguiente precio de renta \$1,500 pesos (por día de renta) o bien, comprando un camión para uso del propio viñedo y posteriormente rentándolo para obtener ingresos extras, bajo el precio de renta antes mencionado.

Debido a los altos costos de los terrenos ubicados en la zona de estudio, autodenominada comúnmente como “La Ruta del Vino en el Valle de Guadalupe” se analizaron las siguientes opciones: a) Comprando una hectárea de terreno, b) Rentando una hectárea de terreno y finalmente c) Sin necesidad de rentar ni comprar terreno y contando con viñas plantadas y maduras (situación actual de un vitivicultor en producción pero con problemas de escasez de agua en su viñedo). Además, se analizó la alternativa de un financiamiento externo, para el caso que fuera necesario obtenerlo de una institución financiera. En total se analizaron 11 alternativas en tres diferentes escenarios, representados en la Tabla 5.1.

### **Desarrollo de la evaluación económico-financiera del proyecto**

Se llevó a cabo la evaluación con una proyección a 10 años a partir de enero 2013 para determinar la rentabilidad del proyecto de inversión. Para ello se obtuvo información sobre la inversión inicial y total, los ingresos, gastos de utilidad, etc., a fin de identificar con precisión el monto de la inversión y la utilidad que producirá el proyecto. El proyecto integró los cálculos y planes, así como la proyección de asignación de recursos financieros, humanos y materiales, para finalmente evaluar su rentabilidad.

Para determinar la inversión inicial, primeramente se hizo un análisis de costo, para evaluar el costo de los insumos, materiales y equipos necesarios para el proyecto, para establecer que se requiere para iniciar con el proyecto en los diferentes escenarios. La información financiera que se presenta a continuación fue realizada con base en un

análisis minucioso sobre costos de los activos basándose en la Tabla 5.2. A partir del establecimiento del horizonte de planeamiento (tiempo) y de algunos supuestos, se determinó la inversión inicial del proyecto (Tabla 5.3).

Una de las etapas más críticas al inicio de un negocio, es establecer un precio de venta razonable al producto. Para su determinación se trabajó con proyecciones basadas en el precio de uva tempranillo de los vitivinicultores locales. Sin embargo, la uva es una materia prima de origen agropecuario, por lo que su precio no se forma en mercados de libre acceso, sino que el mercado se encuentra muy segmentado por gamas de precio en función de los gustos de los consumidores (Álvarez, 2011). El estándar de calidad y el precio de la uva se adaptan a cada nivel de precio/calidad del vino programado y por lo tanto se puede llegar a distinguir no menos de cinco niveles de precio para este varietal, además de otro factor tomado en cuenta, el efecto inflacionario de todos los rubros involucrados en el flujo financiero. Todo esto presenta dificultades a la hora de determinar un precio de venta.

A continuación se exponen los precios que se usaron como referencia para el cálculo de los ingresos; se trata de precios de uva puesta en bodega. Para el flujo de ingresos se ha trabajado con estos precios de referencia tomando especial consideración en la calidad de la uva, de esta manera se ha estimado un precio de venta de la uva por hectárea Tabla 5.4.

Tabla 5.1. Descripción de las alternativas propuestas para el desarrollo del proyecto

<b>No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Financiamiento</b>	<b>Alternativa</b>
1	Vitivicultor actual	Sin Financiamiento	Rentando una pipa a tercero \$1 500
2	Vitivicultor actual	Sin Financiamiento	Comprando pipa para usos propios
3	Vitivicultor actual	Sin Financiamiento	Comprando pipa para usos propios + rentarla \$1 500
4	Arrendando terreno	Sin Financiamiento	Comprando pipa para usos propios + rentarla \$1 500
5	Arrendando terreno	Sin Financiamiento	Comprando pipa para usos propios
6	Comprando terreno	Sin Financiamiento	Comprando pipa para usos propios + rentarla \$1 500
7	Comprando terreno	Sin Financiamiento	Comprando pipa para usos propios
8	Comprando terreno	Con financiamiento	Comprando pipa para usos propios
9	Comprando terreno	Con financiamiento	Comprando pipa para usos propios + rentarla \$1 500
10	Arrendando terreno	Con financiamiento	Comprando pipa para usos propios
11	Arrendando terreno	Con financiamiento	Comprando pipa para usos propios + rentarla \$1 500

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.2. Costos de inversión (en pesos) de mobiliario, maquinarias, equipos de producción y oficina para la realización del proyecto.

<b>Activos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio unitario</b>
Terreno		\$780,000.00
Construcción planta, bodega y almacén	1	\$70,000.00
Instalación del riego según normativa vigente	1	\$10,000.00
Electrificación		\$30,000.00
<b>Precios de maquinaria y equipo de producción</b>		
Pickup usos múltiples	1	\$235,000.00
Preparación del terreno	1	\$20,000.00
Carburantes y lubricantes (mensuales)	1	\$33,000.00
Manguera de 16mm goteo integrado 4L/h incluido accesorios	1	\$2,000.00
Manguera de 63mm polietileno general 0.4 ATM incluido	3000	\$27,000.00
Accesorios	200	\$2,600.00
Pipa de agua	1	\$500,000.00
Tanque rotoplas	1	\$20,949.00
<b>Mobiliario y equipo de oficina</b>		
Escritorio	1	\$3,000.00
Sillas	4	\$1,600.00
Computadora con impresora	1	\$4,500.00
Archivero	1	\$4,000.00
Cafetera	1	\$480.00
Mesa de trabajo	1	\$250.00

Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos directamente de los proveedores

Tabla 5.3. Costo de los activos (en pesos) para determinar la inversión inicial en los diferentes escenarios.

<b>Concepto Vitivinicultor Rentando pipa</b>	<b>Precio en pesos</b>
Construcción	\$0
Precios de maquinaria, mobiliario y equipo para producción	\$20,949.00
Mobiliario y equipo de oficina	\$0
Permisos y licencias para el establecimiento de viñedo	\$0
<b>Total Activos Inversión Inicial</b>	<b>\$20,949.00</b>
<b>Concepto Vitivinicultor actual comprando pipa</b>	
Construcción	\$0
Precios de maquinaria, mobiliario y equipo para producción	\$520,949.00
Mobiliario y equipo de oficina	\$0
Permisos y licencias para el establecimiento de viñedo	\$0
<b>Total Activos Inversión Inicial</b>	<b>\$520,949.00</b>
<b>Concepto Arrendando terreno y comprando pipa</b>	
Construcción	\$110,000.00
Precios de maquinaria, mobiliario y equipo para producción	\$820,549.00
Mobiliario y equipo de oficina	\$13,830.00
Permisos y licencias para el establecimiento de viñedo	\$31,500.00
<b>Total Activos Inversión Inicial</b>	<b>\$975,879.00</b>
<b>Concepto Comprando terreno y pipa</b>	
Construcción	\$890,000.00
Precios de maquinaria, mobiliario y equipo para producción	\$820,549.00
Mobiliario y equipo de oficina	\$13,830.00
Permisos y licencias para el establecimiento de viñedo	\$31,500.00
<b>Total Activos Inversión Inicial</b>	<b>\$1,775,879.00</b>

Fuente: Elaboración propia con datos actuales obtenidos de los proveedores

Tabla 5.4. Precio reales de la tonelada de uva Tempranillo, para determinar los ingresos por venta.

<b>Conceptos</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
<b>Ing.xVta.uva</b>	-	-	\$67,910.40	\$164,086.62	\$248,620.88	\$260,554.68	\$273,061.31	\$286,168.25	\$299,904.33	\$314,299.73
<b>\$/Ton</b>	\$18 000	\$18 000	\$18,864.00	\$ 19,769.47	\$20,718.41	\$21,712.89	\$22,755.11	\$23,847.35	\$24,992.03	\$26,191.64
<b>Inflación</b>	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%

Fuente: Elaboración propia con datos de vitivinicultores locales

La evaluación de costos de producción fue realizada con datos ciertos y actuales consultados a distintos proveedores y a productores de la zona. También se pidieron cotizaciones a la inmobiliaria Re/Max de Ensenada, B. C., para determinar la zona más conveniente donde situar el proyecto debido al precio del terreno. Por último, también se trabajó con datos obtenidos de organismos tales como la Secretaria de Desarrollo Económico, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Facultad de Economía y Relaciones Internacionales de la UABC. De igual manera los costos de producción y mano de obra se presentan en la Tabla 5.5.

Se realizaron modelos de ingresos, egresos y capital. Para cada una de las alternativas se determinó el costo de oportunidad o costo capital ( $K_o$ ), para los casos en que no se obtuvo financiamiento se determinó un  $K_o=18\%$  y para los casos en que se obtuvo financiamiento externo se estableció una  $K_o=26.88\%$  y  $31.30\%$ , dependiendo el monto de la inversión inicial. La relación de los mismos produce el estado de resultados y posteriormente el flujo de caja del proyecto (Tabla 5.6).

### **Indicadores económicos de la evaluación del proyecto**

Con la información obtenida de la evaluación financiera del proyecto, se calcularon los indicadores económicos, valor presente neto (VPN), tasa interna de rendimiento (TIR) e índice de rendimiento (IR), para evaluar las utilidades generadas del proyecto, y finalmente obtener el análisis costo-beneficio (CB) para aceptar o rechazar la puesta en marcha del proyecto.

Tabla 5.5. Costos (en pesos) de producción y mano de obra mensuales.

<b>Conceptos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>
Plantas Variedad Tempranillo	4000	\$15.00
Fertilizantes	1	\$800.00
Herbicidas y fungicidas	1	\$800.00
limpieza del terreno	1	\$2 000.00
Preparación del terreno	1	\$3 000.00
Tierra de abono	1	\$500.00
Tractor viñatero (renta x mes)	1	\$3 000.00
Cinzel (renta x mes)	1	\$2 200.00
Diésel (litros)	144	\$122.20
Agua (litros)	1440	\$4.04
Sueldos y salarios (mensual)	1	\$30 400.00

Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos directamente de los proveedores

Tabla 5.6. Establecimiento del Costo de oportunidad (Ko) para las alternativas con financiamiento y sin financiamiento.

Inversión Requerida	Capital Social	Financiamiento Bancario	Capital Privado
\$ 1,775,879.00	\$ 956,279.00	\$ 799,600.00	\$ -

Sin Financiamiento	
Ko=	8.00%
Inflación =	0
Riesgo de invertir =	10%
<b>TREMA</b>	<b>18.00%</b>

Con Financiamiento	
Ko=	11.88%
Inflación =	0.00%
Riesgo de invertir =	15.00%
<b>TREMA</b>	<b>26.88%</b>

Ko=	11.88%
Inflación =	0.00%
Riesgo de invertir =	15.00%
<b>TREMA</b>	<b>31.30%</b>

## 1. La Tasa Interna de Rendimiento

La tasa interna de rendimiento es un indicador que presenta la tasa de descuento a la que el VPN de una inversión arroja un resultado de cero, como se muestra en la ecuación 1 (Morales-Castro et al 2009).

$$VPN = VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FNE}{(1+TIR)^t} - \left[ IIN - \frac{VS}{(1+TIR)^n} \right] = 0$$

Donde: VPN, es el valor presente neto, VAN, valor actual neto, FNE, flujos netos de efectivo, TIR, tasa interna de retorno.

Esta tasa es un criterio de rentabilidad y no de ingreso monetario neto como lo es el VAN y ayuda a medir en términos relativos la rentabilidad de una inversión. La misma toma en cuenta tanto la magnitud como la periodicidad de los flujos de efectivos esperados en cada período de la duración de un proyecto. Es por ello que se dice que es una tasa propia del proyecto, esto significa que no lo fija el inversor, sino que está implícito en el Flujo de fondos (Van Horne, 2000).

## 2. Valor presente neto

El indicador valor presente neto (VPN) se utiliza como una medida de desempeño en términos del valor económico del proyecto. Este indicador se define como la

diferencia entre los beneficios de descuento totales y los costos totales de descuento, como se muestra en la ecuación 2 (Morales-Castro et al 2009)

$$VPN = \sum \frac{FNE}{(1+i)^n} - \left[ IIN - \frac{VS}{(1+i)^n} \right]$$

Donde VPN, valor presente neto, FNE, flujo neto de efectivo, IIN, inversión inicial neta, i, tasa de interés a la se descuentan los flujos de efectivo (Ponderada) y n, corresponde al año en que se genera el flujo de efectivo de que se trate.

El Valor actual neto o VAN es la suma de todos los flujos de fondos del proyecto descontados al mismo momento con la tasa interna de rendimiento menos la suma de las inversiones del proyecto, valuadas a ese mismo momento. Analíticamente, es la diferencia entre el flujo de beneficios netos incrementales y el perfil de desembolsos de capital que están asociados al proyecto, cuando ambos son descontados a una tasa que mide o expresa el costo de capital de la firma (Thompson y Strickland, 2001).

Cuando el VPN es positivo, se recupera la inversión neta y la tasa mínima de rendimiento. Cuando  $VPN = 0$ , sólo se recupera la tasa mínima de rendimiento exigida por el proyecto de inversión y cuando VPN es negativo no se recupera ni la tasa mínima de rendimiento ni la inversión del proyecto (Morales-Castro et al 2009).

### 3. Índice de Rendimiento

El índice de rendimiento (IR) representa el valor actual de los flujos de efectivo, dividido entre la inversión inicial neta, como se muestra en la ecuación 3.

$$IR = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{FNE}{(1+i)^t}}{IIN - \left[ \frac{VS}{(1+i)^n} \right]}$$

Donde IR es el índice de rendimiento, FNE, flujo Neto de efectivo, IIN, inversión inicial neta, VS, valor de salvamento, i, tasa de interés y n, período de tiempo.

Cuando el  $IR < 1$ , no se recupera la tasa mínima de rendimiento y la inversión neta. Sin embargo cuando el  $IR = 1$  se logra recuperar la tasa mínima de rendimiento y la inversión neta, caso contrario, cuando el  $IR > 1$  se recupera, la tasa mínima de rendimiento, la inversión inicial además del excedente (Morales-Castro et al 2009).

### 4. Costo-beneficio

El análisis de costo-beneficio es un indicador que mide la cantidad de los flujos netos de efectivo. El costo-beneficio de una inversión señala la cantidad de recursos que se pierden o se ganan con respecto al monto de la inversión. Cuando el índice es igual o

mayor a 1, se acepta la inversión, y el proyecto se considera que vale la pena y puede ser implementado, ecuación 4. (Morales-Castro et al 2009).

$$C / B = \left[ \frac{\sum_{t=1}^n \frac{FNE}{(1+i)^t}}{IIN - \left[ \frac{VS}{(1+i)^n} \right]} - 1 \right] \times 100$$

Donde C/B, costo beneficio, FNE, flujo neto de efectivo, i, tasa de interés, VS, valor de salvamento, IIN, inversión inicial neta y n, periodos de tiempo.

Finalmente, se realizó un análisis del Flujo de caja a partir de una serie de herramientas financieras y criterios de evaluación de los proyectos de inversión. Una vez procesados los estados financieros, se elaboró la evaluación financiera, mediante los indicadores económicos antes descritos para optimizar el proceso de toma de decisión.

## **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

El reto para la actividad económica y social de la región, es la búsqueda de un mejor aprovechamiento de los recursos existentes, particularmente en el uso del agua. Aprovechando las aguas residuales tratadas se optimizaría el uso del recurso hídrico y se obtendrían beneficios como la conservación de los acuíferos, disminución de la extracción de agua para riego y el mejoramiento de las prácticas agrícolas. A su vez,

servirá para mejorar los índices de producción y calidad de los vinos, así como la situación de escasez que se vive en los valles y viñedos de la región (Venegas, 2012).

De las 11 alternativas proyectadas solamente cinco de ellas resultan en una inversión rentable. De acuerdo con Álvarez-Gei (2011), el Valor Presente Neto o VPN es la suma de todos los flujos de efectivo del proyecto descontados al mismo momento con la tasa interna de rendimiento (TIR) menos la suma de las inversiones del proyecto. Si bien la inversión inicial es de **\$20,949.00**, **\$520,949.00**, **\$975,879.00** y **\$1, 775,879.00** según sea el caso, el VPN en la mayoría resulta negativo, debido a que los costos de producción son demasiado elevados que sobrepasan los ingresos obtenidos por la ventas del producto, aun considerado el obtener ingresos extras con la renta de una pipa que se obtendrá en los activos. Por ello, el costo-beneficio en la mayoría de los escenarios proyectados es -1% (Tabla 5.7).

De acuerdo con Galván et al (1995) el valor Costo-Beneficio debe ser mayor a cero para que se considere aceptable la inversión, aunque si se obtiene un valor de cero, de igual manera es aceptable, ya que se recupera al menos la inversión inicial del proyecto. Por lo tanto se rechazan las propuestas con valores negativos, ya que no se alcanza a cubrir ni siquiera la inversión inicial, de los diferentes escenarios, por lo que nos concentraremos en los cinco escenarios factibles. Además analizando el proyecto a través de la tasa interna de retorno (TIR), se observa en las diferentes alternativas una TIR pobremente desarrollada, ya que esta tasa es un criterio de rentabilidad y ayuda a

Tabla 5.7. Indicadores económicos.

No.	Descripción	I <sub>0</sub>	VPN	TREMA	TIR	PR	IR	Costo-Beneficio
1	Vitivinicultor actual rentando pipa a 1500 Sin financiamiento	\$20,949.00	\$611,848.80	18%	564%	1	29.21	28%
2	Vitivinicultor actual comprando pipa usos propios Sin financiamiento	\$520,949.00	\$592,539.82	18%	22%	8	1.14	14%
3	Vitivinicultor actual comprando pipa usos propios + renta 1500 Sin financiamiento	\$520,949.00	\$1,402,601.95	18%	57%	3	2.69	2%
4	Arrendando terreno y comprando pipa uso propio + renta1500 CIE Sin financiamiento	\$975,879.00	\$1,382,539.34	18%	30%	0	1.42	42%
5	Comprando terreno y pipa usos propios + renta 1500 CIE Sin financiamiento	\$1,775,879.00	\$2,520,565.11	18%	29%	5	1.42	42%
6	Comprando terreno y pipa para usos propios Sin financiamiento	\$1,775,879.00	\$932,033.28	18%	0%	0	0.52	-48%
7	Comprando terreno y pipa para usos propios Con financiamiento	\$1,775,879.00	\$91,243.59	26.88%	0%	0	0.05	-94%
8	Comprando terreno y pipa para usos propios + renta 1500 CIE Con financiamiento	\$1,775,879.00	\$419,866.87	26.88%	1%	0	0.24	-76%
9	Arrendando terreno y comprando pipa para usos propios Con financiamiento	\$975,879.00	\$(267,803.07)	18%	0%	0	-0.27	-1%
10	Arrendando terreno y comprando pipa para usos propios Con financiamiento	\$975,879.00	\$(1,331,028.36)	31.30%	0%	0	-1.36	-2%
11	Arrendando terreno y comprando pipa para uso propio + renta1500 CIE Con financiamiento	\$975,879.00	\$(412,753.38)	31.30%	-14%	0	-0.42	-142%

Fuente: Elaboración propia

medir en términos relativos la rentabilidad de una inversión (Hitt *et al.*, 2004). En seis de las once alternativas propuestas se obtienen valores negativos, en la mayoría de los casos esto se debe a que el VPN es negativo, lo que quiere decir que el proyecto no está generando los suficientes ingresos por ventas del producto (aun cuando se obtengan ingresos extras por la renta de una pipa) y no es suficiente para solventar los gastos de producción (Tabla 5.7). Cabe mencionar que aun cuando el VPN arroja valores positivos estos no son suficientes para obtener una TIR positiva. Esto se debe en gran medida, por el financiamiento externo que se obtiene del banco, debido a que los interés generados por un préstamo, la compra de un terreno y la compra de un camión pipa donde finalmente resulta en un alto costo de inversión inicial (Tabla 5.7, alternativas 7, 8, 10 y 11).

Por otra parte, las alternativas 1, 2, 3, 4, y 5 (Tabla 5.7) obtiene una TIR positivamente favorable ya que las alternativas propuestas, “contar con terreno propio (vitivinicultor actual)” y “no obtienen financiamiento externo”, hacen que se recupere la inversión inicial, además de que se están generando ingresos extras por la adquisición de una pipa para usos propios y situándola a la renta, lo que resulta en un VPN positivo.

El índice de rendimiento (IR) según Morales-Castro (2009) representa el valor actual de los flujos de efectivo dividido entre la inversión inicial, y tiene dos criterios de evaluación, valores mayores a uno que significa que los flujos de efectivo fueron suficientes para recuperar la inversión inicial y la tasa mínima de rendimiento que se

deseaba en el proyecto, y valores menores a uno, donde no se logra recuperar la totalidad de la inversión. Se observa en la tabla 5.7, en la mayoría de las alternativas (6 a la 11) se obtienen valores muy por debajo de 1 (valores negativos), esto se debe a varios factores tomados en cuenta para el desarrollo de las alternativas propuestas, una de las más importantes, es la alta inversión inicial, que comprende la compra de terreno, la compra de un camión pipa con y sin endeudamiento bancario. Por otro lado, una IR positiva se observa en las alternativas (1 al 5) donde se cuenta con un terreno propio (vitivinicultor actual), no se obtiene financiamiento externo y se obtienen ingresos extras, así como para la alternativa en que se considera a un vitivinicultor en la actualidad, donde la renta de una pipa resulta ser una excelente inversión.

Así mismo, el análisis costo-beneficio arrojó valores mayores a 1% para "vitivinicultor ya establecido", donde la alternativa (1, 2 y 3) de rentar una pipa que lleve agua para irrigar los cultivos resulta en un proyecto viable, al igual que las alternativas (4 y 5) donde no se obtenga financiamiento externos y se adquiera una pipa para usos propios y además ingresos extras resultan en proyectos económicamente viables (Tabla 5.7). Por lo tanto, en algunos escenarios recupera la tasa mínima de rendimiento, y los beneficios en términos ambientales, son mayores. Al utilizar el agua residual tratada para irrigar los cultivos, especialmente en zonas con alta densidad de población o en las que los acuíferos han sido reducidos o agotados ayudaría a restablecer su equilibrio (Scott *et al.*, 2004). Según la FAO (2013) para todo proyecto de inversión en regeneración y

reutilización de agua se requieren de una justificación económica, además de tener que ser financieramente viable. En este contexto utilizar las aguas residuales tratadas provenientes de la planta de tratamiento de El Sauzal, resulta en algunos escenarios propuestos como el 1, 2, 3, 4 y 5 (Tabla 5.7) en una alternativa económicamente viable.

En Asia, al igual que en México, existen regiones en donde los recursos hídricos son cada vez más escasos. Así los agricultores en Filipinas se han visto en la necesidad de irrigar zonas de cultivo de arroz con diversas alternativas. La investigación realizada por Hafeez *et al.*, (2008), cuantifica el volumen de agua y la relación costo-beneficio de cuatro principales fuentes de abastecimiento: el bombeo de las aguas subterráneas, bombeo de arroyos, combinación de las dos y diques de contención, para medir el valor económico del bombeo de agua. Los resultado no mostraron diferencias en los costos de bombeo entre el arroyo y las aguas subterráneas; sin embargo, la productividad del arroyo fue ligeramente superior comparada con el bombeo de las aguas subterráneas. Además, los resultados demuestran que los sistemas de producción de arroz siguen siendo rentables a pesar de los altos costos de bombeo y otros gastos asociados.

De acuerdo con Godfrey *et al.*, (2009), el análisis costo-beneficio utilizado para determinar la viabilidad de reutilización de aguas grises en escuelas, en el estado de Madhya Pradesh, India, indicó que los beneficios de la reutilización de aguas grises son sustancialmente más altos que los costos, los beneficios mayormente obtenidos son en

términos ambientales y de salud pública. De igual manera, otro estudio realizado por Bahri (2009) señala que en la provincia de Llagostera (España), propietarios de las tierras de cultivo decidieron hacer uso de las aguas residuales proveniente de la planta de tratamiento e invirtieron en infraestructura para trasladar desde la planta de tratamiento hasta la zona de cultivo, lo que resultó en una inversión satisfactoria, aumentando las hectáreas de cultivos de 35 a 41 ha.

Por su parte Xu *et al.*, (2001) expone que la reutilización de las aguas residuales tratadas de la Isla de Noirmoutier en Francia, no sólo incrementa la disponibilidad de agua, sino que también previene la contaminación de las zonas costeras, al lograrse “el vertido cero”. La demanda agrícola de la zona es de 350,000 m<sup>3</sup>/año y es cubierta al 100% con aguas regeneradas. De esta manera, la evaluación técnico-económica demostró que la reutilización del agua residual en el riego agrícola y de jardinería es la solución más atractiva y económica para solucionar la escasez de agua y mejorar la calidad ambiental de la isla.

## CONCLUSIONES

Los resultados del proyecto de inversión para el establecimiento de un viñedo cuyas vides serán regadas con agua residual tratada, indican que es una inversión atractivamente viable para cinco de las 11 alternativas propuestas analizadas, donde:

1. No se cuenta con un endeudamiento externo, esto quiere decir, no se solicitan préstamos a instituciones financieras, ya que finalmente los intereses generados por un préstamo impactarían de manera negativa en los ingresos obtenidos a lo largo del proyecto.
2. Se obtienen ingresos extras con la adquisición de una pipa de agua que posteriormente sería rentada a otros interesados en trasladar agua, lo que ayudaría a aumentar las ganancias netas.
3. Se cuenta con un terreno propio, para evitar comprar o arrendar.

De igual manera para un vitivinicultor instalado, resulta sumamente atractiva la posibilidad de reutilización de agua, debido a que la renta de una pipa no impactaría de manera negativa sus egresos.

Por otro lado, la mayoría de los proyectos resultaron no viables debido a que los costos de producción en 1ha de viñedo son demasiado elevados y esto da como resultado que los ingresos que se obtienen por la venta del producto principal (uva) no sean lo

suficientemente altos como para solventar en su totalidad los gastos generados por la inversión.

## **CAPÍTULO 6**

## DISCUSIONES GENERALES

En este trabajo se abordan cuatro temáticas relacionadas al uso de las aguas residuales tratadas en la irrigación de cultivos de vid en la zona del valle de Guadalupe. En este estudio se evaluó 1) el efecto de las aguas residuales tratadas sobre la fotosíntesis y crecimiento de la vid, 2) el efecto del riego con aguas residuales tratadas sobre la composición química de las uvas durante la maduración, 3) la percepción de los consumidores de vino y las expectativas de los productores de uva ante el uso del agua residual tratada en la irrigación de vides y 4) la factibilidad económica de un proyecto para la irrigación de un viñedo utilizando agua residual tratada.

La reutilización de agua residual tratada no es una práctica nueva y en la actualidad ya son muchos los países en donde se realizan proyectos de reutilización de las aguas residuales tratadas (Manrique *et al.*, 2002). México, por ejemplo, tiene el distrito de riego más grande de Latinoamérica situado en el estado de Hidalgo con más de 90,000 has de cultivos regados con aguas residuales provenientes de la ciudad de México. Este distrito de riego surgió como consecuencia de las obras de desagüe del Valle de México iniciadas hace más de 100 años y que sigue en construcción continua hasta la actualidad (FAO, 2012).

Baja California es una región semi-árida que cuenta con 370,721 hectáreas cultivables, principalmente en el valle de Mexicali. En este valle se utilizan las aguas del río Colorado para la irrigación de la gran mayoría de los cultivos (SAGARPA 2011,

INIFAP 2011). En el municipio de Ensenada, sin embargo, todos los cultivos agrícolas, además de los requerimientos hídricos de las poblaciones, son suplementadas mediante la extracción de agua de los mantos acuíferos. No obstante que el promedio histórico de precipitación en Ensenada es de aproximadamente 285 mm, en las últimas dos décadas las precipitaciones se han reducido a aproximadamente 200 mm (Reyes-Coca y Troncoso-Gaytan, 2004). Lo anterior ha causado que haya sido necesario la búsqueda de alternativas para mitigar la falta de agua en la zona.

Ensenada es una de las pocas ciudades en México que tratan el 100% de las aguas que son capturadas en el sistema de drenaje de la ciudad (Medellín-Azuara, *et al.*, 2008). Sin embargo, en la actualidad, la gran mayoría de esta agua es vertida al mar. En este trabajo se analizó la variación anual de la calidad del agua residual tratada de la planta de tratamiento de El Sauzal de Rodríguez localizada al norte de la ciudad de Ensenada. Los resultados indicaron que el agua tratada en esta planta cumple con las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 para irrigación de productos agrícolas y NOM-003-SEMARNAT-1997 para el contacto indirecto y directo con la población. A pesar de que la concentración de sólidos disueltos totales (sales) fue superior a la del agua del acuífero, la calidad es lo suficientemente buena como para poder ser utilizada en la irrigación de algunos cultivos. Por otro lado, la concentración de nitrógeno del agua residual tratado podría aportar nutrientes a los cultivos lo cual reduciría el aporte de fertilizantes por los agricultores.

La exposición a niveles bajos o altos 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  $13 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  y con un riego de  $3,000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . 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.

En este estudio, la fisiología de las vides no fue impactada negativamente al ser irrigadas con agua residual tratada. La fotosíntesis y el crecimiento de las vides irrigadas con agua residual tratada no fue diferente al de los controles irrigados con agua del acuífero. No obstante que estos estudios se realizaron en dos temporadas de crecimiento, los resultados sugieren que el agua residual tratada podría ser utilizada, cuando menos a corto plazo, para reducir el estrés hídrico en cultivos de vid. Además, este estudio demostró que el agua residual tratada no impacta negativamente el crecimiento de vides. Por lo anterior, sugiere que el agua residual tratada, que en este momento es vertida al mar, podría ser utilizada parcial o totalmente para reducir el estrés hídrico de cultivos de vid ya establecidos o podrían ser utilizadas para establecer nuevos viñedos en la zona.

La calidad de las uvas utilizadas para la producción de vinos se determina como el balance de los componentes químicos en el momento de la maduración (Bolton *et al.*, 1995). La composición bioquímica de las uvas puede variar en relación al clima, el método de cultivo, a la calidad del agua de irrigación, etc. En este estudio, las características bioquímicas de las uvas no se vieron modificadas al ser irrigadas con agua residual tratada o con agua del acuífero. 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, plaguicidas, etc., que potencialmente se pudieran encontrar en el ART, sobre la fisiología de vid o sobre la calidad de la fruta.

Al mismo tiempo, la percepción social de un producto alimenticio juega un papel crítico en su éxito comercial (Álvarez-Gei, 2011). En este estudio se realizó una encuesta entre consumidores de vino para evaluar la percepción que tienen sobre el consumir un vino producido con uvas irrigadas con aguas residuales tratadas. El 84% de los encuestados manifestaron que sí consumirían un vino regado con esta agua. Los resultados de este estudio se contraponen con la percepción de los productores que han manifestado preocupación ante un rechazo de los consumidores a los vinos producidos con uvas irrigadas con agua residual tratada. No obstante que la muestra es relativamente baja, la información vertida en este estudio sugiere que el consumidor está más enfocado en conocer la procedencia y las variedades de las uvas utilizadas en la producción del vino y no percibe negativamente el método de riego utilizado. Por otro lado, en el

momento de la realización de las encuestas, se demuestra un gran desconocimiento por parte de la población en relación a la disponibilidad de agua en Ensenada y el Valle de Guadalupe, en relación al uso de agua residual tratada en la agricultura y en la industria y finalmente, un gran desconocimiento de la población encuestada sobre el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad.

Al igual que entre los consumidores, la percepción de los productores de uva y vino sobre el uso de las aguas es mayoritariamente positiva. El 80% de los productores encuestados ven como positivo y una buena alternativa el uso de aguas residuales tratadas para mitigar el estrés hídrico de las vides en esta zona. Sin embargo, consideran que la calidad del agua debe estar monitoreada por alguna institución ajena al gobierno local para garantizar imparcialidad de la información. Lo anterior sugiere que existe una desconfianza de los productores en relación a las autoridades de gobierno. La aceptación de los productores hacia el uso de las aguas residuales tratadas se debe en gran medida a que este sector está muy consciente de la falta de agua en la zona, especialmente en las últimas décadas.

De acuerdo con Sánchez (2011) en tiempos de escasez extrema las autoridades suelen optar por desviar el agua de los agricultores hacia las ciudades, dado que el agua tiene mayor valor económico en el uso industrial y urbano que en la mayoría de los usos agrícolas. El intercambio de agua entre ciudades y campo, es decir, el uso de ART en agricultura permitiría conservar agua dulce para un fin de mayor valor económico y social cuando, al mismo tiempo, los agricultores recibirían un suministro de agua fiable

(disponible todo el año) y rico en nutrientes. Además, la escasez de agua tiene altos costos económicos, como la sequía en Kenia entre el año 1998 y 2000 que redujo el PIB en un 16%, lo que afectó especialmente a los productores industriales, ganaderos y especialmente la agricultura (Cervantes, 2010). Es por eso que los proyectos de reutilización del agua pueden ofrecer un triple beneficio, para los usuarios urbanos, agricultores y el medio ambiente (FAO, 2013). En situaciones críticas de escasez, el uso de agua residual tratada debe considerarse como una opción, y debe ser evaluada económicamente para lograr una reutilización eficiente y sostenible. En los países desarrollados el uso de agua residual tratada es más común, como en Israel, Australia, Alemania y los Estados Unidos. Israel es el país que está a la vanguardia en el uso planificado de aguas residuales, se plantea que un 70% del agua que demandará la agricultura en 2040 va a ser obtenida mediante el tratamiento de efluentes (Veliz *et al.*, 2009). Se estima que una décima parte o más de toda la población mundial consumen actualmente alimentos que se producen con aguas residuales, aunque no siempre de una manera segura (FAO, 2013).

Así mismo, en zonas áridas y semiáridas es necesario que el agua residual tratada sea utilizada y tomada en cuenta en la gestión global de los recursos hídricos, ya que, por una parte añade minerales los cuales puede favorecer al suelo y a los productores agrícolas y, por otra, la reutilización favorece a la disminución de la contaminación hídrica, ya que evita el vertido de efluentes en cuerpos de agua naturales (Magaña, 2009).

Por otro lado, la reutilización de agua es una alternativa económicamente viable para un vitivinicultor, siempre y cuando cuente con un terreno propio, rente un camión pipa para transportar el ART y no adquiera endeudamiento externo (préstamo bancario), resultando esta alternativa en un costo-beneficio favorable. De igual manera para un vitivinicultor actual, la alternativa de reutilización resulta en un costo-beneficio favorable, y más aún, debido a la situación actual de escasez del recurso hídrico que se vive en los valles de la ciudad. De ahí que estudios de viabilidad de proyectos de reutilización de agua resultan en una opción favorable, se espera que en tiempos y regiones donde exista escasez de agua los agricultores opten por las aguas residuales tratadas como una fuente de suministro total o parcial para suplir las necesidades hídricas.

## CONCLUSIONES GENERALES

En el crecimiento de las plantas de vid, no se observaron diferencias significativas en las tasas de crecimiento en relación al tipo de agua aplicada. El mayor rendimiento de madera y de fruta ocurrió en las plantas regadas con ART.

En relación a los parámetros bioquímicos de la uva, 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. Por otra parte, las concentraciones de los iones de calcio, magnesio, sodio y potasio, no fueron afectadas por los distintos tratamientos de riego aplicados ( $p > 0.05$ ) de tal manera que este estudio demuestra que las ART de las planta de tratamiento del Sauzal no afectan a corto plazo el crecimiento, la fotosíntesis de las vides, la composición bioquímica y aumentan el rendimiento de uva.

Luego de la encuesta aplicada a consumidores de vino y vitivinicultores, se estableció que el 84% de los encuestados está dispuesto a consumir un producto (vino) donde el cultivo hubiese sido regado con aguas residuales tratadas, aún sin tener información sobre la calidad de las aguas residuales procedentes de las plantas de tratamiento. El 80% de los productores vitivinícolas entrevistados acepta la práctica de reuso de agua, debido a la escasez del recurso estarían dispuestos a utilizar agua residual tratada como una alternativa.

Con el fin de analizar los costos de utilizar agua residual tratada se determinó la evaluación económica de acuerdo al método costo-beneficio, donde se plantearon varios esquemas para el reuso de aguas residuales tratadas en la irrigación de viñedos en el valle de Guadalupe, incluyendo la compra de terreno de cultivo, adquisición de un tanque para el transporte del agua, renta parcial o total del equipo de riego, etc.

Fueron rentables cinco alternativas, aquellas en donde se lleve a cabo el establecimiento de 1 ha de viñedo sin financiamiento proveniente de los bancos y generando ingresos extras por la renta de una pipa para el acarreo de agua residual tratada. Para vitivinicultores ya establecidos resulta viable económicamente el emplear aguas residuales tratadas para la irrigación de sus viñedos. En todos los casos, los vitivinicultores solicitan el establecimiento de un monitoreo estricto de la calidad del agua residual tratada por parte de terceros para tener garantía de su calidad con el fin de que las propuestas resulten en atractivas inversiones.

## LITERATURA CITADA

- Acosta-Zamorano, D., Macías-Carranza, V., Mendoza-Espinosa, L. y Cabello-Pasini, A. 2013. Efecto de las aguas residuales tratadas sobre el crecimiento, fotosíntesis y rendimiento en vides Tempranillo (*Vitis vinifera*) en Baja California, México. Revista Agrociencia. 47:753-766.
- Ahmed M., Kennedy, I., Choudhury, A., Kecskes, M. y Deaker, R. 2008. Phosphorus adsorption in some Australian soils and influence of bacteria on the desorption of phosphorus. Communications in Soil Science and Plant Analysis 39:1269–1294.
- Alvarez-Gei, S. 2011. Proyecto de implantación de viñedos. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Cuyo.
- Ammary, B. 2007. Wastewater reuse in Jordan: Present status and future plans. Desalination 211:164-176.
- AOAC. 1999. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. AOAC International. Gaithersburg MD USA. 527 pp.
- APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association. Washington, DC. 456 pp.
- Arreguín, C. F. L., Moeller, C. G., Escalante, E. V. y Rivas, H. A. 2002. El Reuso del agua en México. Hacia la calidad: Necesidad para el Próximo Milenio. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

- Arizpe, P. L, y Velázquez, M., 1993. Cultura y cambio global: Percepciones sociales sobre la deforestación en la selva Lacandona, México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias/Universidad Nacional Autónoma de México/ Miguel Ángel Porrúa.
- Asano, T. y Levine A. 1996. Wasterwater Reclamation, Recycling and Reuse: Past, Present and Future. *Water Science and Technology*. 33:1-14.
- Asano T. 2001. Water from wastewater- The dependable water resource the dependable water resource. *Water Science and Technology*. 45:23-33.
- Asano, T. 2007. *Water Reuse: Issues, Technologies and Applications*, Metcalf & Eddy/AECOM.
- Badan, A., Kretzschmar, T., Espejel, I., Cavazos, T., D'Acosta, H., Leyva, C. y Arámbaro, G. 2005. Hacia un plan de manejo del agua en el Valle de Guadalupe, Baja California. México. *Memorias del II Seminario Internacional de Vitivinicultura*. Ensenada, B. C. México 45-64 pp..
- Baeza, J. R., 2007. Reutilización de aguas residuales para el riego. Tesis de maestría. Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales. Universidad de Alicante, España.
- Bahri, A. 2009. Irrigation with reclaimed water in Tunisia and in Middle Eastern countries. Comunicación presentada en *The 21st Century International Conference & Exhibition on Developing Strategy of Urban Wastewater Treatment and Reuse*. Noviembre 27-29.

- Bastias-Cantuarias, E. A. 2004. Efecto del riego con aguas servidas tratadas en especies vegetales ornamentales. Tesis de Licenciatura en Agronomía, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. 62 pp.
- Bauder, T. A., Waskom, R. M., Sutherland, P. L y Davis, J. G. 2011. Irrigation Water Quality Criteria. Colorado State University Extension. 4 pp.
- Bautista, F., Balancán, Z. A. M., Navarro, A. J y Bocco, G. 2011. Percepción social de los problemas ambientales en Yucatán, México. Una visión desde la geografía. *Teoría y Praxis*. 9:33-54.
- Becerra, P. M., Sáinz, S. J y Muñoz, P. C. 2006. Los conflictos por agua en México. Diagnóstico y análisis. *Gestión y política pública*. 1:111-143.
- Bickerton, B., Camara, E., McIlwain, B., Walsh, M.E. y Gagnon, G.A. 2011. Water Reclamation and Reuse. *Water Environment Research*. 83:1383-1369.
- Bixio, D., Thoeye, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T. y Melin, T. 2006. Wastewater reuse in Europe. *Desalination*. 187:89-101.
- Bouwer, H. y Idelovitch, E. 1987. Quality requirements for irrigation with sewage water. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 113:516-535.
- Brañes, R., 2002. Manual de derecho ambiental mexicano, México, Fondo de Cultura Económica. 55 pp.
- Cabello-Pasini A. y Figueroa, F. L. 2005. Effect of nitrate concentration on the relationship between photosynthetic oxygen evolution and electron transport rate in *Ulva rigida* (Chlorophyta). *Journal of Phycology*. 41:1169-1177.

- Cabello-Pasini A., Macías-Carranza, V., Abdala, R., Korbee, N y Figueroa, F. L. 2011. Effect of nitrate concentration and UVR on photosynthesis, respiration, nitrate reductase activity, and phenolic compounds in *Ulva rigida* (Chlorophyta). *Journal of Applied Phycology*. 23:363-369.
- Cabello-Pasini A., Macías-Carranza, V., Siqueiros-Valencia, A. y Huerta-Díaz, M. A. 2013. Concentration of Calcium, Magnesium, Potassium, and Sodium in Wines from Mexico. *American Journal Enology and Viticulture*. 64:280-284.
- Campos, G. J. R. y Kretschmar, T. 2008. Simulación de flujos y escenarios de la explotación a futuro del agua subterránea del acuífero del valle de Guadalupe. Baja California. México. *Unión Geofísica Mexicana GEOS* 28:2.
- Celis-Hidalgo J. E. 2010. Utilización de aguas residuales para riego en Chile ¿es posible? *Ciencia Ahora*. 25:51-68.
- Cervantes, J. O. A. 2010. Evaluación Financiera de Riesgo de una Plantación Forestal Comercial en la Región de Zihuateutla. Puebla. *Revista Chapingo. Ciencias Forestales y del Ambiente*. 16: 69-78.
- Chen, R. y Wang, C. 2009. Cost-benefit evaluation of a decentralized water system for wastewater reuse and environmental protection. *Water Science & Technology*. 8:1515-1522.
- Ching, L. 2010. Eliminating Yuck: A Simple Exposition of Media and Social Change in Water Reuse Policies. *Water Resources Development*. 26:111–124.
-

- Christensen P. 1984. Nutrient Level Comparisons of Leaf Petioles and Blades in Twenty-Six Grape Cultivars Over Three Years (1979 through 1981). *American Journal of Enology and Viticulture*. 35:124-133.
- Comisión Nacional del Agua. 1998. Balance de los recursos hidráulicos subterráneos acuífero BC-07, Guadalupe, Municipio. Ensenada, B.C. Comisión Nacional del Agua, Subgerencia Regional Técnica.
- Comisión Nacional del Agua. 2001. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero de Guadalupe estado de Baja California. México.
- Comisión Nacional del Agua. 2004. Modelo de Simulación Hidrodinámica del Acuífero del Valle de Guadalupe, B. C. México.
- Comisión Nacional del Agua. 2005. Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. Edición 2012. México. SEMARNAT. 280 pp.
- Comisión Nacional del Agua. 2008. Programa Nacional Hídrico 2007-2012. Subdirección general de programación de la comisión nacional del agua. Gobierno federal.
- Comisión Nacional del Agua. 2011. Agua en el Mundo. Estadísticas del agua en México.
- Comisión Nacional del Agua, 2012. Programa Nacional Hídrico 2007-2012. Gobierno Federal. SEMARNAT.
- Comisión Nacional del Agua. 2012. Programa Hídrico Regional Visión 2030. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf>
-

Comisión Nacional del Agua. 2013. Atlas digital del agua en México. <http://siga.cna.gob.mx/Atlas/>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2007. Biodiversidad Mexicana. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. 2011. Estudio de sistemas de bombeo agropecuarios en México. SENER. Gobierno Federal.

[http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7548/2/Informe\\_bombeo\\_AgricolaVF.pdf](http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7548/2/Informe_bombeo_AgricolaVF.pdf)

Consejo Nacional de Población. 2013. Indicadores demográficos básicos de la población de México. Consejo Nacional de Población. En <http://www.conapo.gob.mx/>

Daessle W., Sánchez, E. C., Camacho-Ibar, V. F., Mendoza-Espinoza, L. G., Carriquiry, J. D., Macías, V. A y Castro, P. G. 2004. Geochemical evolution of groundwater in the Maneadero coastal aquifer during a dry year in Baja California, México. *Journal Hydrogeology*. 13:584-595.

Daessle L., Mendoza-Espinosa, L., Camacho-Ibar, V. F., Rozier, W., Morton, O., Van-Dorst, L., Lugo-Ibarra, K., Quintanilla-Montoya, A y Rodriguez-Pinal, A. 2006. The hydrogeochemistry of a heavily used aquifer in the Mexican wine-producing Guadalupe Valley, Baja California. *Environmental Geology*. 51:151-159.

Dolnicar, S., y Schöfer, I. A., 2009. Desalinated versus recycled water: Public perceptions and profiles of the accepters. *Journal of Environmental Management*. 90:888–900.

- Dolnicar, S., Hurlimann, A., Grün, B., 2011. What affects public acceptance of recycled and desalinated water? *Water research*. 45:933-943.
- Doménech, L. y Saurí, D. 2010. Socio-Technical Transitions in Water Scarcity Contexts: Public Acceptance of Greywater Reuse Technologies in the Metropolitan Area of Barcelona. *Resources, Conservation and Recycling*. 55:53–62.
- Downton W. J. S. 1977. Salinity Effects on the Ion Composition of Fruiting Cabernet Sauvignon Vines. *American Journal Enology and Viticulture*. 28:210-214.
- Durand. L. 2008. De las percepciones a las perspectivas ambientales. Una reflexión teórica sobre la antropología y la temática ambiental. UAM. México. 103 pp.
- Esteban M., Villanueva, M y Lissarrague, J. 1999. Effect of irrigation on changes in berry composition of tempranillo during maturation. Sugar, organic acids, and mineral elements. *American Journal Enology and Viticulture*. 50:418-434.
- Fare, R., Grosskopf, S. y Weber, W. 2006. Shadow prices and pollution costs in U.S. agriculture. *Ecological Economics*.56, 89-103.
- FAO. 2004. Economic valuation of water resources in agriculture: From the sectoral to a functional perspective of natural resource management. *FAO Water Reports 27*, Rome.
- FAO, 2012. Water resource allocation strategies: opportunities for wastewater reuse in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma 2012.

- FAO. 2013. Reutilización de agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos? Informe sobre temas hídrico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. 144 pp.
- Fernández, J. C. 2007. El agua como fuentes de conflicto: repaso de los focos de conflictos en el mundo. Programa Hidrológico Internacional. Oficina regional de ciencia y tecnología de la UNESCO. 17 pp.
- Freeman B. M y Kliewer, W. M. 1983. Effect of Irrigation, Crop Level and Potassium Fertilization on Carignane Vines. II. Grape and Wine Quality. American Journal Enology and Viticulture. 34:197-207.
- Friedler, E. 1999. The Jeezrael Valley Project for Wastewater Reclamation and Reuse, Israel. Water Science and Technology. 40:347-354.
- Gaeta, L. A. 2006. Productividad de la vid en función del aprovechamiento de agua subterránea en el valle de Guadalupe 1994 -2004. Tesis de maestría. Colegio de la Frontera Norte. CICESE. 2006.
- Galván, L. R. R. 1995. Asignación de Precio a los Ecosistemas como Bienes Ambientales Únicos. Interciencia. 24: 14-16.
- Godfrey, S., Labhasetwar, P. y Wate, S. 2009. Greywater reuse in residential schools in Madhya Pradesh, India-A case study of cost-benefit analysis. Resources, Conservation and Recycling, 53, 287-293.

- Gomez-del-Campo M., Ruiz, C y Lissarrague, J. R. 2002. Effect of Water Stress on Leaf Area Development, Photosynthesis, and Productivity in Chardonnay and Airen Grapevines. *American Journal Enology and Viticulture*. 53:138-143.
- Hach-Company. 2002. *Water Analysis Handbook*. Hach Company. Loveland, CO. 1260 pp.
- Hernández, A. 2001. *Formulación y evaluación de proyectos de inversión*. Editorial ECAPSA. México. 430 pp.
- Higgins, J., Warnken, J., Sherman, P.P y Teasdale, P.R., 2002. Surveys of users and providers of recycled water: quality concerns and directions for applied research. *Water Research*. 36: 5045–5056.
- Eisenberg, D., Olivieri, A., Soller, J. y Gagliardo, P. 1998. Reliability Analysis of an Advanced water treatment Facility. *Environmental Engineering*. American Society of Civil Engineers, Chicago, E.U.A.
- Hitt, M., Ireland, R y Duane, R. E. 2004. *Administración estratégica. Competitividad y conceptos de globalización*. 5ª Edición. México, Ed. International Thomson. 555 pp.
- Hochstrat R., T. Wintgens and T. Melin. 2008. Development of integrated water reuses strategies. *Desalination* 218:208-217.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2007. *XII Censo general de Población y vivienda, 2000*.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2010. Estadísticas a propósito del día mundial del agua. Día mundial del agua 2013. Año internacional de la cooperación en la esfera del agua. 7 pp.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2011. Informe Anual de Actividades. Gobierno federal, México. Publicación No. 8. 92 pp.
- IRWD. 2013. Irvine Ranch Water District. <http://www.irwd.com/>
- Jiménez B., Chávez, A y Hernández, C. 1999. Alternative Treatment for Wastewater Destined for Agricultural Use. *Water Science and Technology* 40:355-362.
- Jiménez, B., Chávez, A., Barrios, E y Pérez, R., 2001. Reuso del agua en el valle del Mezquital, México. *Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. 59: 15-32.
- Kurczyn-Robledo J. A., Kretschmar, T. G y Hinojosa-Corona, A. 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. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24:1-14.
- Lahera, R. V. 2010. Infraestructura Sustentable: Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Quivera*. 12:58-69.
- Laurenson S., Bolan, N., Smith, E. y McCarthy, M. 2010. Winery wastewater irrigation: effects of sodium and potassium on soil structure. *CRC for Contamination Assessment and Remediation of the Environment*. 25 pp.

- Laurenson S., Bolan, N., E. y McCarthy M. 2012. Review: Use of recycled wastewater for irrigating grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 18:1-10.
- Lavee, D. 2010. The effect of water supply uncertainty on farmers choice of crop portfolio. *Agricultural Water Management* 97:1847–1854.
- Lazarova V. y Bahri, A. 2005. Water reuse for irrigation: agriculture, landscapes, and turf grass. CRC Press. Baton Rouge, Louisiana. 408 p.
- Lledó, P. y Rivarola, G. 2005. Claves para el éxito de los proyectos. Edición de Alta Dirección. Mendoza, España.
- Liu W. T., Pool, R., Wenkert, W. y Kriedemann, P. E. 1978. Changes in Photosynthesis, Stomatal Resistance and Abscisic Acid of *Vitis Labruscana* Through Drought and Irrigation Cycles. *American Journal Enology and Viticulture*. 29:239-246.
- López J., De Juana, I y Del Río, F. 1998. La reutilización integral de las aguas residuales urbanas en Vitoria-Gasteiz (España). *Ingeniería Civil*. 110:211-222.
- Lu, X., Liu, L., Liu, R. y Chen, J., 2010. Textile wastewater reuse as an alternative water source for dyeing and finishing processes: A case study. *Desalination*. 258:229-232.
- Magaña, R. N. 2009. Reutilización del agua residual tratada en la cervecería del Valle S.A. Tesis de Grado. Universidad Autónoma de occidente. Facultad de ciencias básicas. Departamento de ciencias ambientales. Santiago de Cali. Colombia.

- Manrique, R., Jiménez, H., Álvaro, H., Torralba, R. y Acosta, L. 2002. Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Reporte de Proyecto regional en San Agustín, Perú. 65 pp.
- Marks, J., Cromar, N., Fallowfield, H., Oemcke, D., y Zadoroznyj, M., 2002. Community experience and perceptions of water reuse. *Water Supply. Water Science and Technology*. **3:9–16**
- Maxwell K. y Johnson, G. N. 2000. Chlorophyll fluorescence a practical guide. *Journal of Experimental Botany*. 51:659-668.
- McCarthy M. 1981. Irrigation of grapevines with sewage effluent. I. Effects on Yield and petiole composition *American Journal Enology and Viticulture*.32:189-196.
- McCarthy M. y Downton, W. 1981. Irrigation of grapevines with sewage effluent. II. Effects on wine composition and quality. *American Journal Enology and Viticulture*.32:197-199.
- Medellín-Azuara J., Mendoza-Espinosa, L. G., Lund, J. R., Waller-Barrera, C. y Howitt, R. E. 2008. Water supply for Baja California; Economic-Engineering analysis for agricultural, environmental and urban demands. California Environmental Protection Agency. 99 pp.
- Mendoza-Espinosa L., Orosco-Borbón, M. V. y Silva-Nava, P. 2004. Quality assessment of reclaimed water for its possible use for crop irrigation and aquifer recharge in Ensenada, Baja California, Mexico. *Water Science & Technology*. 50:285-291.
- Mendoza-Espinosa L., Daessle, L., Orosco-Borbón, M. V., Espejel, I., Leyva, C. y Quintanilla-Montoya, A. 2005. Water quality and reclamation issue in the wine-

producing Guadalupe Valley, Baja California, Mexico. Presented at the International Water Association (IWA) 5<sup>th</sup> International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability , Jeju, Korea.

Mendoza-Espinosa L. G., Cabello-Pasini, A., Macías-Carranza, V., Daessle-Heuser, W., Orozco-Borbon, M. V. y Quintanilla-Montoya, A. L. 2008. The effect of reclaimed wastewater on the quality and growth of grapevines. *Water Science & Technology*. 57:1445-1450.

Meraz, R. L. 2009. Diseño de una estrategia de mercadotecnia para una pequeña empresa vitivinícola en Ensenada, Baja California. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C. México.

Meraz, R. L., Valderrama, M. J. A., y Maldonado, R. S. E., 2012. La Ruta del Vino en el Valle de Guadalupe, Baja California, México. Perspectiva frente al cambio climático: Una primera aproximación. *Globalización y agricultura. Nuevas perspectivas en la sociología rural*. Asociación latinoamericana de sociología rural. 25 pp.

Metcalf\_&\_Eddy\_Inc. 2004. *Wastewater engineering, treatment and reuse*. McGraw-Hill Companies Inc. New York. 545-1026 p.

Molinos, S. M., Fernández, S. F. y Sala, G. R. 2010. Estudio de viabilidad para proyectos de reutilización de aguas residuales: valoración económica de los beneficios ambientales. Reporte del Departamento de Economía Aplicada II, Universidad de Valencia. 134 pp.

Morales-Castro, J.A. 2009. Proyectos de inversión. Evaluación y formulación. México. Ed. McGraw Hill.

Morillo G., Monsalve, R., Mendoza, J., Isea, D., Araujo, I., Vargas, L. y Angulo, N. 2009. Chemical and microbiological evaluation of cucumber (*Cucumis sativus* L.) using wastewaters irrigation. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Zulia. 32:68-76.

MRWPCA (2003). Monterey Regional Water Pollution Control Agency.

<http://www.mrwPCA.org/>

Mujeriego, R. 2000. Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada, Edición de la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona (Traducción al español de Pettygrove and Asano, 1985).

NMX-AA-113-SCFI-1999. 1999. Análisis de Agua - Determinación de Huevos de Helminto - Método de Prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 12 pp.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Consultado en: <http://www.economia-noms.gob.mx/>

Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios. Consultado en: <http://www.economia-noms.gob.mx/>

- Norton J. M. y Stark, J. M. 2011. Regulation and measurement of nitrification in terrestrial systems. *Methods Enzymology*. 486:343-362.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 2013. Oficio regional de ciencia y tecnología de la UNESCO. Programa Hidrológico Internacional. 32 pp.
- Padilla y Sotelo L. S. y Luna, M. 2003. Percepción y conocimiento ambiental en la costa de Quintana Roo: una caracterización a través de encuestas. *Investigaciones Geográficas, Boletín número 52, UNAM, Distrito Federal*. pp. 99-116.
- Paranychianakis N. V., Nikolantonakis, M., Spanakis, Y. y Angelakis, A. N. 2006. The effect of recycled water on the nutrient status of Soultanina grapevines grafted on different rootstocks. *Agriculture Water Management*. 81:185-198.
- Peasey A, Blumenthal U, Mara D, y Ruiz-Palacios G. 2000. A Review of Policy and Standards for Wastewater Reuse in Agricultura: A Latin American Perspective. *London School of Hygiene & Tropical Medicine*. 74 pp.
- Pinilla, H. M. C., Barrera, B. N. y McHall, M. 2011. Gestión y cultura del agua desde la perspectiva del paisaje en la cuenca del río Huamito, Michoacán, México. *Perspectiva Geográfica*. 16:9-30.
- Porra R. J., Thomson, W. A. y Kriedemann, P. E. 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. *Biochemica et Biophysica Acta* 975:384-394.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2007. *Perspectivas del medio ambiente. GEO-3*. Madrid, España. 32 pp.

Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., McCornick, P. G., Drechsel, P., Bahri, A. y Minhas, P. S. 2010. The challenges of wastewater irrigation in developing countries. *Agricultural Water Management*. 97:561–568.

Rawnsley, B., 2009. Irrigating with reclaimed water. A scoping study to investigate feasibility for the wine industry. *Sustainable Systems-Viticulture South Australian Research and Development Institute (SARDI)*. Australia. 120 pp.

Reuter D. J. y. Robinson, J. B. 1986. *Plant Analysis: An Interpretation Manual*. Inkata Press Pty. Ltd. Melbourne, Australia. 237 p.

Reyes-Coca S. y Troncoso-Gaytan, R. 2004. Multidecadal variation of winter rainfall in the northwestern Baja California. *Ciencias Marinas* 30:99-108.

Rico-Amoros A. M. 1989. Depuración y reutilización de aguas residuales en el litoral Alicantino. *Papeles de Geografía* 23:245-261.

Salgado-Tránsito J., Palacios-Vélez, O., Galvis-Spinola, A., Gavi-Reyes, F. y Mejía-Saens, E. 2012. Efecto de la calidad de agua del acuífero Valle de Guadalupe en la salinidad de suelos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3:79-95.

Sampieri, H. y cols. 2003. *Metodología de investigación*. México: McGraw Hill. 689 pp.

- Sánchez-Gándara, A. 2011. Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable. México: S y G Editores S.A. de C.V. 335 pp.
- Schlemmer M. R., Francis, D. F., Shanahan, J. F. y Schepers, J. S. 2005. Remotely Measuring Chlorophyll Content in Corn Leaves with Differing Nitrogen Levels and Relative Water Content. *Agronomy Journal*. 97:106–112.
- Schreiber U., Bilger, W. y Neubauer, C. 1994. Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. *In*: Schulze E. and M. Caldwell (ed). *Ecophysiology of Photosynthesis*. pp: 49-70.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación .2011. Claridades Agropecuarias. México, D.F. Apoyo y Servicios a la Comercialización Agropecuaria. 37pp.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2013. Informe PROCAMPO productivo. Subsecretaría de agricultura. Dirección general de operaciones y explotación de padrones
- Secretaría de Desarrollo Económico. 2013. Plan Estratégico del Clúster Vitivinícola. México. 21 pp.
- Secretaría de Fomento Agropecuario. 2012. Panorama general del Valle de Guadalupe. Desarrollo rural sustentable. Baja California, México. 11 pp.
- Secretaría del Medio Ambiente. 2013. Intérmate en el agua de la ciudad de México. Gobierno del Distrito Federal. <http://www.df.gob.mx/index.php/ver-mas-dependencias>
-

- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2012. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental. [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/06\\_agua/cap6\\_2.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_2.html)
- Secretaria de Turismo del Estado de Baja California. 2011. Ruta del vino de Baja California. Informe de actividades del Gobierno del estado de Baja California. 19 pp.
- Scott C., Faruqui, N. y Raschid-Sally, L. 2004. Wastewater use in irrigated agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities. CAB International, Cambridge, MA, USA. 206 pp.
- Seguí-Amórtegui, L. A., 2004. Sistemas de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales. Tesis doctoral. Departamento de ingeniería agroalimentaria y biotecnología. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. 256 pp.
- Seguí, L., Alfranca, O. y García J. 2009. Techno-economical evaluation of wáter reuse for wetland restoration: a case study in a natural park in Catalonia, Northeastern Spain. *Desalination*. 246, 179-189.
- Sepúlveda, B. J. 2009. Distribución geográfica y estadística de los viñedos en Baja California. VI Seminario Internacional de Vitivinicultura, Ensenada, Baja California. INIFAP. 7-14 pp.
- Shani U. y Ben-Gal, A. 2005. Long-term Response of Grapevines to Salinity: Osmotic Effects and Ion Toxicity. *American Journal Enology and Viticulture*. 56:148-154.

- Silva, J., Torres, P. y Madera, C. 2008. Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión Agronomía Colombiana. 26: 347-359.
- Sokal R. R. y Rohlf, F. J. 1995. Biometry. W.H. Freeman and Company. New York. 887 p.
- Spayd S. E., Wample, R. L., Evans, R. G., Stevens, R. G., Seymour, B. J. y Nagel, C. W. 1994. Nitrogen Fertilization of White Riesling Grapes in Washington. Must and Wine Composition. American Journal Enology and Viticulture . 45:34-42.
- SPSS. 2006. SPSS 15.0 for Windows. Chicago.350 pp.
- Tejeda H., Sadzawka, M. y Araos, J. 2001. Análisis de suelo, foliar y de agua para el diagnóstico nutricional y de uso de fertilizantes y enmiendas. In: (ed). Agenda del Salitre. pp: 197-230.
- Thompson, A. y Strickland, A. 2001. Administración Estratégica Conceptos y Casos. México 11va. Edición. Ed. Mc Graw Hill. 91 pp.
- 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. Nexa 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.
- USGS 1995 USGS (1995). U.S. Geological Survey. Estimated Use of Water in the United States in 1995. <http://water.usgs.gov/watuse/pdf1995/html/>

- Van Horne, J. 2000. Administración financiera. Edición. 10ª. México, Ed. Prentice Hall Hispanoamericana. 39 pp.
- Vargas, E., 2001. Problemas urgentes de la educación ambiental: el caso de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) en el Caribe Costarricense. Tópicos en Educación Ambiental.7:9-21.
- Veliz, L. E., Llanes, O. J. G., Asela, F. L. y Bataller, V. M. 2009. Reuso de aguas residuales domesticas para riego agrícola. Valoración crítica. Ciencias Biológicas, 40:35-44.
- Venegas, D. 2012. Estudian disponibilidad de agua en regiones vinícolas. *TODoS@CICESE*.
- Viqueira, C. 1977. Percepción y cultura. Un Enfoque ecológico .Ed. Ciesas. México. 329 pp.
- Viso, R. A. 2005. Reutilización de aguas residuales para riego. Tendencias tecnológicas. Centro Tecnológico de la Energía y del Medio Ambiente. Jornadas sobre Tratamiento de Aguas Residuales Industriales conectadas a Redes Públicas de Alcantarillado. Murcia, España. 16 pp.
- Xu, P., Valette F., Brissaud F., Fazio A. y Lazarova V. 2001. Technical-economic modelling of integrated water management: wastewater reuse in a French island. *Water Science & Technology*, 43, 67–74.
- Yue Z. y Xingcan Z. 2001. Municipal Wastewater Reclamation and Reuse. An Important Way to Alleviation of Urban Water Shortage Crisis. Comunicación presentada en

The 21st Century International Conference & Exhibition on Developing Strategy of Urban Wastewater Treatment and Reuse. Beijing, China.

Zaheeruddin y Khurshid, S. 2004. Aquifer geometry and hydrochemical framework of the shallow alluvial aquifers in the western part of the Yamuna River Basin, India. *Water Quality Research Journal*. 39:129–139.

Zoecklein B. W., Fugelsang, K. C., Gump, B. H. y Nury, F. S. 1995. *Wine Analysis and Production*. Chapman-Hall. New York. 296 p.