

## Efecto de la calidad de agua del acuífero Valle de Guadalupe en la salinidad de suelos agrícolas\*

### Water quality effect on the Valle de Guadalupe aquifer in the agricultural soils salinity

Jorge Arturo Salgado Tránsito<sup>1§</sup>, Oscar Palacios Vélez<sup>1</sup>, Arturo Galvis Spínola<sup>1</sup>, Francisco Gavi Reyes<sup>1</sup> y Enrique Mejía Sáenz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 36.5. Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 01 595 9520200. Ext. 1154. (opalacio@colpos.mx), (galvis@colpos.mx), (gavi@colpos.mx), (mejiasae@colpos.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: jsalgado@colpos.mx.

#### Resumen

Para determinar el efecto de la calidad del agua en el Acuífero del Valle de Guadalupe, Baja California, México, en la salinidad de los suelos agrícolas se midió el pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y la concentración de los principales iones en las aguas de 66 pozos, de un total de 754 que se encontraban en operación en el acuífero durante 2009. Y se analizó en el extracto de pasta de saturación de muestras de suelo el pH, conductividad eléctrica, carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, boro, fósforo, nitrato, calcio, magnesio, sodio, potasio, amonio. El 74% de los suelos estudiados presenta una cantidad superior a 15 mg kg<sup>-1</sup> de nitratos, y por tratarse de suelos arenosos se atribuyen problemas de contaminación a las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados. La salinidad del agua está presente en todo acuífero del Valle de Guadalupe (clasificada como C3 y C4 en 85.9%), pero la salinidad del suelo ( $pH_{\text{promedio}} = 7.6$ ) no se presenta en el total de la superficie del valle; por lo tanto el agua del acuífero no es la única causante de dicho problema, el manejo del agua para riego y la aplicación de fertilizantes deben ser estudiados para cuantificar su contribución a la salinidad del suelo.

**Palabras clave:** análisis químico, pozos, riego.

#### Abstract

In order to determine the effect of water quality in the Valle de Guadalupe aquifer, Baja California, Mexico, in the agricultural soils salinity the pH, electrical conductivity, total dissolved solids and the concentration of major ions in water of 66 wells were measured, from 754 that were in operation in the aquifer during 2009. The pH, electrical conductivity, carbonate, bicarbonate, chloride, sulfate, boron, phosphorus, nitrate, calcium, magnesium, sodium, potassium, and ammonium were analyzed in the paste extract saturation of the soil samples. 74% of the soils studied presented an amount higher than 15 mg kg<sup>-1</sup> of nitrate, and due to sandy soils, contamination problems are attributed to nitrogen fertilizer applications. Water salinity is present throughout Valle de Guadalupe aquifer (classified as C3 and C4 in 85.9%), but soil salinity ( $pH_{\text{mean}} = 7.6$ ) is not present in the total area of the valley, so the aquifer water is not the only cause of the problem, water management for irrigation and fertilizer application should be studied to quantify their contribution to the soil salinity.

**Key words:** chemical analysis, wells, irrigation.

\* Recibido: marzo de 2011  
Aceptado: noviembre de 2011

## Introducción

El acuífero del Valle de Guadalupe constituye la única fuente de agua, para la industria vinícola más importante de México (Daesslé *et al.*, 2006). En la región se encuentran al menos 27 bodegas establecidas, que producen alrededor de 50 marcas de vino reconocidas, a las que se suman más de 80 vinos artesanales elaborados por productores menores. Dicho acuífero constituye además la principal fuente de abastecimiento de agua para uso público en la ciudad de Ensenada (Campos y Kretzschmar, 2008).

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) tiene como una de sus funciones realizar estudios técnicos, para determinar la disponibilidad de agua en los diferentes acuíferos. Los principales usos del suelo en la zona del acuífero Valle de Guadalupe son el chaparral (76.1%), asentamientos humanos (10.5%) y agrícola (6.5%), con menos superficie (6.9%) se encuentran bosques y otro tipo de vegetación (IMIT, 2009).

El acuífero está compuesto de tres principales secciones litológicas de distinto grosor y permeabilidad, constituyendo dos reservorios de aguas subterráneas formadas por dos fosas de origen tectónico de diferente profundidad y extensión: Calafia, ubicada al noreste es la más profunda (350 m), pero de menor superficie, y El Porvenir de 100 m de profundidad (CONAGUA, 2002). Las fosas están delimitadas por una serie de fallas estructurales y la capacidad total de almacenaje del acuífero de Guadalupe es de 218 Mm<sup>3</sup> (Andrade, 1997). Según Daesslé *et al.* (2006), el balance hídrico se alteró de manera significativa a partir de 1998 debido a un extenso período de sequía, a la continua extracción de agua y a la minería de arena del acuífero ocasionando una sobreexplotación.

De acuerdo con Kurczyn *et al.* (2007), una de las corrientes principales que cruza la parte alta es el arroyo El Barbón. Este arroyo nace en las estribaciones de la Sierra de Juárez y dentro de su cuenca se presentan las mayores precipitaciones, lo que provoca escurrimientos superficiales provenientes de los arroyos Jamatay, Las Bellotas y El Burro (Ponce, 2009). Hay pocos estudios de hidrogeología o geoquímica de los acuíferos en esta región.

Ponce (2009a) publicó un artículo sobre la hidrogeología del acuífero de Ojos Negros, Daesslé *et al.* (2006) realizaron un estudio de la hidrogeoquímica del acuífero del Valle de

## Introduction

The Valle de Guadalupe aquifer is the sole source of water for the most important wine industries in Mexico (Daesslé *et al.*, 2006). In this region, there are at least 27 established wineries, which produce about 50 recognized wine brands, a total of more than 80 handcrafted wines made by smaller producers. This aquifer is also the main source of water for public use in the city of Ensenada (Campos and Kretzschmar, 2008).

The National Water Commission (CONAGUA) in one of its functions is to conduct technical studies to determine the availability of water in different aquifers. The main land uses in the area of the Valle de Guadalupe aquifer are the chaparral (76.1%), human settlements (10.5%) and agriculture (6.5%), with less surface area (6.9%) for the forest and other vegetation (IMIT, 2009).

The aquifer is composed of three main lithological sections of different thickness and permeability, constituting two groundwater reservoirs formed by two tectonic trenches of varying depth and length: Calafia, located to the northeast is the deepest (350 m), but lower surface, and El Porvenir of 100 m depth (CONAGUA, 2002). The pits are bounded by a series of structural failures and the total storage capacity of Guadalupe aquifer is 218 Mm<sup>3</sup> (Andrade, 1997). According to Daesslé *et al.* (2006), the water balance is altered significantly since 1998 due to an extended period of drought, the continued extraction of water and sand mining of the aquifer causing overexploitation.

According to Kurczyn *et al.* (2007), one of the main streams across the top is El Barbón. This stream rises in the foothills of the Sierra de Juárez and within its basin have the greatest rainfall, resulting in surface runoff from the streams Jamatay, Las Bellotas y El Burro (Ponce, 2009). There only a few studies of hydrogeology and geochemistry of the aquifers in this region.

Ponce (2009a) published an article on the hydrogeology of the aquifer in Ojos Negros, Daesslé *et al.* (2006) conducted a study of the hydro-geochemistry of the Guadalupe Valley aquifer wells found that closest to the recharge area in the eastern aquifer show a small but steady increase in the total dissolved solids over time, probably as a result of the high extraction (~ 200 Ls<sup>-1</sup>) uninterrupted water recharge in this specific site. In various forums and through the media,

Guadalupe encontrando que los pozos más cercanos al área de recarga en el oriente del acuífero, muestran un pequeño pero constante incremento en sólidos disueltos totales con el tiempo, probablemente como resultado de la alta extracción ( $\sim 200 \text{ L s}^{-1}$ ) ininterrumpida de agua en este sitio específico de recarga. En diversos foros y a través de los medios de comunicación, los productores agrícolas han manifestado su percepción de que en los suelos del Valle de Guadalupe, se está incrementando la concentración de sales como resultado de la calidad del agua del acuífero.

La extracción de agua actual se divide en tres partes similares: a) uso urbano para la ciudad de Ensenada; b) uso agrícola, para los viñedos intensivos; y c) uso pecuario, industrial y otros cultivos (cítricos, pastos, etc.). Cualquiera de ellas contribuye a la sobre extracción del acuífero, por lo cual la suspensión de una de ellas restablecería el equilibrio del acuífero (Waller *et al.*, 2009). Es necesario ordenar el crecimiento urbano y establecer un programa de ordenamiento territorial en la región del vino, normando el uso de suelo (Monterrosas, 2009).

La extracción y el aprovechamiento de los materiales pétreos de los cauces de los arroyos del Municipio, se ha incrementado de manera importante en los últimos años (Vázquez, 2000). Al respecto, Lammers (2009) menciona que en Estados Unidos de América, se prohibió este tipo de operaciones dentro de su territorio por el daño ecológico que causa, hecho que generó un mercado lucrativo en México, por lo que se considera necesario controlar su aprovechamiento con base en tres objetivos: a) mantener la disponibilidad del material pétreo; b) no afectar la recarga de los mantos acuíferos del municipio; y c) mantener el aporte terrígeno hacia las costas (López, 2008).

Dentro del área de este acuífero, específicamente sobre el cauce del Arroyo Guadalupe, se encuentran explotando bancos de arena, los cuales están localizados hacia las inmediaciones de Francisco Zarco (SEMARNAT, 2001). Badán (2006) considera indispensable suspender la extracción de pétreos y arenas dentro de la cuenca del Valle de Guadalupe, en tanto no se recupere el equilibrio de su acuífero. Una investigación reciente del acuífero del Valle de Guadalupe es de Campos y Kretzschmar (2008), quienes desarrollaron un modelo del flujo de agua subterránea, para estudiar el comportamiento del nivel freático y evaluar distintas alternativas de manejo del agua subterránea a futuro en el acuífero del Valle de Guadalupe, Baja California, México.

farmers have expressed their perception that in the soils of the Valle de Guadalupe is increasing the salt concentration as a result of the aquifer's water quality.

The current water extraction is divided into three similar parts: a) urban use for the city of Ensenada, b) agricultural use for intensive vineyards and c) use for livestock, industrial and other crops (citrus, pasture, etc.). Any of them contribute to the extraction of the aquifer, whereby the suspension of one of them would help to restore the balance of the aquifer (Waller *et al.*, 2009). It is necessary to order urban growth and establish a program of land in the wine region, regulating land use (Monterrosas, 2009).

The extraction and use of stone materials in the streambeds of the Municipality has increased significantly in the recent years (Vázquez, 2000). In this regard, Lammers (2009) mentions that in the United States was banned such operations within its territory that causes environmental damage, which triggered a lucrative market in Mexico, so it is considered necessary to control its use based on three main objectives: a) to maintain the availability of stone material, b) to not affect the recharge of the aquifers of the municipality, and c) maintaining the terrigenous contribution towards the costs (López, 2008).

Within the area of this aquifer, specifically on the banks of the Guadalupe creeks are the exploiting sand banks, which are located towards the outskirts of Francisco Zarco (SEMARNAT, 2001). Badan (2006) considers essential to stop the extraction of stone and sand in the Valle de Guadalupe watershed, while not recovering the balance. A recent survey by the Valle de Guadalupe aquifer was made by Campos and Kretzschmar (2008) who developed a model of groundwater flow, to study the behavior of the water table and evaluate various options for managing groundwater for the future in the Valle de Guadalupe aquifer, Baja California, Mexico.

The aim of this study was to reassess the hydro-geochemical conditions of the aquifer, under the assumption that the quality of water used for irrigation directly affects the problem of salinity in soils of the Valle de Guadalupe.

## Materials and methods

The Valle de Guadalupe aquifer is located 37 km from the city of Ensenada, Baja California, between  $31^{\circ} 58'$  and  $32^{\circ} 15'$  north latitude and  $116^{\circ} 04'$  and  $116^{\circ} 45'$  west longitude.

El objetivo del presente estudio fue evaluar nuevamente las condiciones hidrogeoquímicas del acuífero, bajo la hipótesis de que la calidad del agua que se emplea para riego incide de manera directa en el problema de salinidad presente en los suelos del Valle de Guadalupe.

## Materiales y métodos

El Acuífero del Valle de Guadalupe se localiza a 37 km de la ciudad de Ensenada, Baja California, entre 31° 58' y 32° 15' latitud norte y 116° 04' y 116° 45' longitud oeste. Según la CONAGUA (2001) colinda al norte con el acuífero de Las Palmas, al sur con el Acuífero de Ensenada, al este con los Acuíferos de Real Del Castillo y Ojos Negros, y al oeste con el Acuífero de La Misión; la extensión territorial es 963.3 km<sup>2</sup>. En él se ubican las localidades de Francisco Zarco, Ejido El Porvenir y Ejido Ignacio Zaragoza. El acuífero capta y almacena más de 25 Mm<sup>3</sup> anuales de agua, pero la extracción para la agricultura y para abastecer a la ciudad de Ensenada supera esa cantidad (Badán *et al.*, 2005). De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL, 2006), la "Región del Vino del Valle de Guadalupe", específicamente la superficie agrícola, abarca 12 114 hectáreas, de las cuales 7 977 son de temporal y 4 137 de riego.

### Muestreo de suelos

El método de muestreo utilizado, en el total de la superficie, que abarca el acuífero del Valle de Guadalupe, fue el muestreo aleatorio estratificado, el cual consistió en considerar como estratos las parcelas de uso agrícola, las parcelas de uso no agrícola y en el cauce del Arroyo Guadalupe. Se recolectaron tres grupos de muestras a la profundidad de la zona radicular (0-20 cm): a) el primero en julio de 2009, que constó de 29 muestras de suelo compuestas (cinco submuestras por muestra compuesta), a lo largo del cauce del arroyo de Guadalupe con una separación aproximada de 1 km entre cada una de ellas; b) el segundo estuvo integrado por 115 muestras compuestas de suelo (cinco submuestras por muestra compuesta), en sitios con actividad agropecuaria (agostaderos y producción de cultivos), dentro del Valle de Guadalupe, aproximadamente una muestra por kilómetro cuadrado; y c) el tercero con 20 muestras compuestas de suelo (cinco submuestras por muestra compuesta) en sitios sin actividad agropecuaria.

According to the CONAGUA (2001) adjacent to the aquifer north of Las Palmas, south to Ensenada Aquifer, the Aquifer east of Real Del Castillo and Ojos Negros, and west to the aquifer of La Misión, the territorial is 963.3 km<sup>2</sup>. In it, the villages Francisco Zarco, Ejido El Porvenir and Ignacio Zaragoza are located. The aquifer captures and stores more than 25 Mm<sup>3</sup> of water annually, but extraction for agriculture and to supply the city of Ensenada exceeds that amount (Badán *et al.*, 2005). According to the Ministry of Social Development (SEDESOL, 2006), "Wine Region of Valle de Guadalupe", specifically the agricultural area covers 12 114 hectares, out of which 7 977 are rainfed and 4 137 with irrigation.

### Soil sample

The sampling method used, for the total area, covering the Valle de Guadalupe aquifer was the stratified random sampling, which was to consider as strata agricultural plots, plots of non-agricultural use and the Guadalupe Creek channel. We collected three sets of samples to the depth of the root zone (0-20 cm): a) the first in July 2009, which consisted of 29 composite soil samples (five subsamples per composite sample) along the channel, the stream of Guadalupe with a separation of about 1 km between each of them; b) the second one was composed of 115 composite soil samples (five subsamples per composite sample), at sites with agriculture (rangeland and crop production), in the Valle de Guadalupe, approximately one sample per square kilometer; and c) the third one with 20 composite soil samples (five subsamples per composite sample) in sites without any farming.

Soil samples were air-dried in the shade for grinding and then passing them through a 2 mm sieve opening. The chemical and physical analysis of each sample were made in the laboratory of environmental science at the Graduate School of Agricultural Sciences, determining the following variables: texture (Bouyoucos), field capacity and wilting point (membrane and pressure cooker); pH (ratio soil: water 2:1), electrical conductivity (ratio soil: water 5:1), exchangeable bases (calcium, magnesium, sodium and potassium) cation exchange capacity (ammonium acetate pH 7, 1 N), organic matter (Walkley and Black); and ammonium nitrate (KCl 2N), phosphorus (Olsen); iron, zinc, manganese and copper (DTPA), boron. In the saturation paste extract, the pH, electrical conductivity, carbonates, bicarbonates, chlorides, sulfates, boron, phosphorus, nitrates, calcium, magnesium, sodium, potassium and ammonium were analyzed.

Las muestras de suelo fueron secadas al aire y a la sombra para posteriormente molerlas y pasarlas por un tamiz de 2 mm de abertura. Los análisis químicos y físicos de cada muestra se efectuaron en el laboratorio de ciencias ambientales del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, determinando las siguientes variables: textura (bouyoucos); capacidad de campo y punto de marchitez permanente (membrana y olla de presión); pH (relación suelo:agua 2:1); conductividad eléctrica (relación suelo:agua 5:1); bases intercambiables (calcio, magnesio, sodio y potasio); capacidad de intercambio catiónico (acetato de amonio pH 7, 1 N), materia orgánica (Walkley y Black); nitrato y amonio (KCl 2N); fósforo (Olsen); hierro, zinc, manganeso y cobre (DTPA), boro. En el extracto de pasta de saturación se analizó pH, conductividad eléctrica, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, boro, fósforo, nitratos, calcio, magnesio, sodio, potasio y amonios.

### Muestreo de aguas

Se recolectaron muestras de agua subterránea en 66 pozos agrícolas y de abastecimiento urbano de un total de 754 que se encuentran en operación en el acuífero, con longitud de exploración entre 3 y 90 m de profundidad. Debido que la tubería presenta ranuras, la muestra obtenida está integrada de todo el espesor ranurado. En los sitios donde el pozo de muestreo no se ha usado recientemente, se recolectó la muestra después de haber bombeado un volumen de agua triple del almacenado en el sondeo (volumen contenido en la bomba y conducciones).

Se usaron recipientes de polietileno para la toma de muestras de agua, los cuales se eligieron de acuerdo con las variables que se determinaron en el laboratorio. Se evitó que hubiese pérdidas por evaporación en los envases para que no disminuyera la concentración de determinados constituyentes por adsorción. Los recipientes se limpiaron previos al muestreo enjuagándolos tres veces y luego llenándolos con una solución de ácido clorhídrico 1 M (10% en volumen), dejándolos entre 10 y 12 h y se enjuagaron con agua destilada, usando aproximadamente  $\frac{1}{3}$  del volumen de la botella en cada enjuagada, hasta eliminar el ácido. No se usaron detergentes para evitar que quedaran adsorbidos en las paredes de la botella.

Para recolectar la muestra se enjuagó varias veces cada botella con el agua de muestreo para eliminar posibles residuos en la botella, evitando burbujas de aire en la muestra para que no se modificara la concentración de iones como el

### Water sampling

Samples were collected from 66 groundwater wells, agricultural and urban water supply of a total of 754 that are operating in the aquifer, with a scan length between 3 and 90 m deep. Because the pipe has grooves, the sample obtained is integrated across the thickness grooving. In places where the well sampling has not been used recently, the sample was collected after a volume of water pumped triple stored in the survey (volume in the pump and tubing).

Polyethylene containers were used for taking water samples, chosen in accordance with the variables determined in the laboratory. It had prevented evaporation losses in containers not to diminish the concentration of certain constituents by adsorption. The containers were cleaned prior to sampling and then rinsed three times by filling them with a solution of 1 M hydrochloric acid (10% in volume), leaving between 10 and 12 h were rinsed with distilled water, using approximately  $\frac{1}{3}$  of the volume of the bottle in each rinsed to remove the acid. Detergents were not used to prevent remain adsorbed on the walls of the bottle.

In order to collect the sample, each bottle was rinsed several times with the sample water to remove any residue in the bottle, preventing air bubbles in the sample so it does not modify the concentration of ions such as calcium or bicarbonate. This was achieved by filling the bottle completely to obtain a meniscus, and close tightly against the stopper filled with water.

Chemical analyzes were performed on each sample: pH, conductivity, total dissolved solids, chloride, sulfate, carbonate, bicarbonate, calcium, magnesium, sodium, potassium, phosphorus, copper, iron, manganese, zinc, boron, cadmium, arsenic, lead, nitrate and ammonium. We also determined the sodium adsorption ratio (SAR), from sodium, calcium and magnesium in  $\text{meq L}^{-1}$ , as indicated by Ayers and Westcot (1987).

### Sampling at vineyards

To evaluate the effect of irrigation on the accumulation of salts in the soil, in three grape plantations in the Valle de Guadalupe soil samples were collected at 0, 50 and 100 cm from the issuer and each at three different depths (0 to 30, 30 to 60 and 60 to 90 cm) and analyzed in the same way that the soil samples listed above.

calcio o los bicarbonatos. Esto se logró llenando la botella totalmente hasta conseguir un menisco, y cerrar fuertemente con el tapón lleno de agua.

Los análisis químicos que se efectuaron en cada muestra fueron: pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, cloruro, sulfato, carbonato, bicarbonato, calcio, magnesio, sodio, potasio, fósforo, cobre, hierro, manganeso, zinc, boro, cadmio, arsénico, plomo, nitrato y amonio. También se determinó la relación de adsorción de sodio (RAS), a partir del contenido de sodio, calcio y magnesio en  $\text{meq L}^{-1}$ , según lo indican Ayers y Westcot (1987).

### Muestreo en viñedos

Para evaluar el efecto del riego sobre la acumulación de sales en el suelo, en tres plantaciones de uva del Valle de Guadalupe se recolectaron muestras de suelo a 0, 50 y 100 cm de distancia al emisor y cada una a tres profundidades distintas (0 a 30, 30 a 60 y 60 a 90 cm) y se analizaron de la misma forma que las muestras de suelo mencionadas anteriormente.

## Resultados y discusión

La distribución de frecuencia del contenido de arena en los suelos con tamaños de entre 50  $\mu\text{m}$  y 2 mm en el área de estudio se presenta en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Distribución de frecuencia del contenido de arena (%) en los suelos.**

**Table 1. Frequency distribution of the sand content (%) in the soil.**

Arena (%)	Todos los suelos	Suelos agrícolas	Cauce del arroyo	No agrícolas
<30	0	0	0	1
30 a 60	40	45	8	49
60 a 90	51	53	59	44
>90	9	2	32	6

Las clases texturales permiten ver que los suelos de la región tienen una capacidad amortiguadora muy baja, entre más arenosos sean los suelos, la capacidad amortiguadora es menor (López y Silva, 1999), de tal manera que el medio de cultivo es totalmente vulnerable a las modificaciones que se realicen a través del manejo, haciendo a las plantas más susceptibles al efecto de los insumos aplicados. En la zona de estudio se aprecia un severo problema de erosión

## Results and discussion

The frequency distribution of sand content in soils with sizes between 50 microns and 2 mm in the study area is presented in Table 1.

Textural classes allow seeing that, the soils of the region have a very low buffering capacity, the more sandy soils are, its buffering capacity decreases (López and Silva, 1999), so that the culture medium is quite vulnerable to the modifications made by management, making plants more susceptible to the effect of the inputs applied. In the study area, it's shown a severe problem of erosion due to the wind effect, which has been evaluated by the National Commission of Arid Zones (Government of BC, 2007), who estimates that 200 tons of soil per hectare are lost each year.

The Table 2 shows the frequency distribution of pH and electrical conductivity, as indicators of soil chemical environment in soil samples collected in the study area and stream channel of Guadalupe.

Considering all the studied soils (agricultural, farm and stream channel), the median value of EC was  $0.58 \text{ dS m}^{-1}$ , indicating that the soils of the region should not be considered as saline. If this information is analyzed with more detail, we can see that 83% of the soils that do not have any human activities were detected at low values of EC (less than  $1 \text{ dS m}^{-1}$ ). In contrast, agricultural land where soil samples were collected on

average present values of  $1.75 \text{ dS m}^{-1}$ , although this is distorted by the effect of some sites where there is excessive accumulation of salts because the median is  $0.72 \text{ dS m}^{-1}$ , almost 40% of the agricultural land values have more than  $1 \text{ dS m}^{-1}$ .

To display this situation more clearly we assessed the concentration of the total dissolved solids in the soil solution and its distribution is shown in Figure 1.

a causa del efecto del viento, el cual ha sido evaluado por la Comisión Nacional de Zonas Áridas (Gobierno de B. C., 2007), quienes calculan que se pierden al año 200 toneladas de suelo por hectárea.

En el Cuadro 2 se presenta la distribución de frecuencia del pH y conductividad eléctrica, como indicadores del ambiente químico edáfico en las muestras de suelo recolectadas en el área de estudio y cauce del arroyo de Guadalupe.

**Cuadro 2. Distribución de frecuencia de indicadores del ambiente químico edáfico.**  
**Table 2. Frequency distribution of soil chemical environment indicators.**

pH	TS	SA	SCA	SNA	C <sub>E</sub>	TS	SA	SCA	SNA
	(%)				(dS m <sup>-1</sup> )	(%)			
<7	14	15	0	19	<0.5	39	31	46	47
7 a 7.5	24	30	3	27	0.5 a 1	35	30	46	36
7.5 a 8	35	36	30	37	1 a 1.5	9	14	0	5
>8	27	20	68	17	>1.5	18	25	8	12

TS= todos los suelos; SA= suelos agrícolas; SCA= suelos del cauce del Arroyo; SNA= suelos no agrícolas; C<sub>E</sub>= conductividad eléctrica.

Considerando a todos los suelos estudiados (agrícolas, no agrícolas y del cauce del arroyo), el valor de la mediana de la C<sub>E</sub> fue de 0.58 dS m<sup>-1</sup>, lo cual indica que los suelos de la región no deben considerarse como salinos. Si esta información la analizamos con mayor detalle, apreciamos que 83% de los suelos donde no se tienen actividades humanas de ningún tipo se detectaron valores bajos de C<sub>E</sub> (menores a 1 dS m<sup>-1</sup>). En contraste, los terrenos agrícolas en que se recolectaron muestras de suelo presentan en promedio valores de 1.75 dS m<sup>-1</sup>, aunque esto se distorsiona por el efecto de algunos sitios, donde hay una excesiva acumulación de sales porque la mediana es de 0.72 dS m<sup>-1</sup>, prácticamente 40% de los terrenos agrícolas presentan valores con más de 1 dS m<sup>-1</sup>.

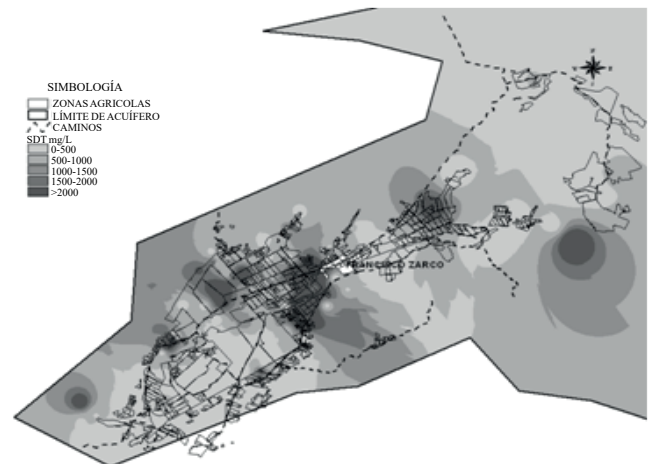
Para visualizar con mayor claridad esta situación, se evaluó la concentración de los sólidos disueltos totales en la solución del suelo y se muestra su distribución en la Figura 1.

Más de 50% de las muestras recolectadas en los terrenos agrícolas presentan valores de S<sub>DT</sub> mayores a 500 mg kg<sup>-1</sup>, porcentaje superior a la detectada tanto en el cauce del arroyo de Guadalupe, como en los suelos que no están afectados de manera directa por actividades humanas (8% y 23%, respectivamente).

En el Cuadro 3 se presenta la distribución de frecuencia de la conductividad eléctrica (C<sub>E</sub>) y del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de las muestras de suelo, observando

Over 50% of the samples collected from agricultural land have T<sub>DS</sub> values greater than 500 mg kg<sup>-1</sup>, higher than that detected in both the bed of the stream of Guadalupe, and in the soils that are not directly affected by human activities (8% and 23% respectively).

The Table 3 shows the frequency distribution of electrical conductivity (EC) and exchangeable sodium percentage (ESP) of soil samples, noting that approximately 10.37% have problems of salinity (EC > 4 dS m<sup>-1</sup>) and only 2.44% of sodicity (ESP > 15%).



**Figura 1. Distribución de la concentración de los sólidos disueltos totales (S<sub>DT</sub>) en la solución del suelo.**

**Figure 1. Distribution of the concentration of the total dissolved solids (T<sub>DS</sub>) in the soil solution.**

The spatial distribution of both parameters (EC and PSI) is shown in Figure 2, showing that the salinity-affected region covers an approximate area of 333 km<sup>2</sup>, affecting fruit and vine (EC > 4 dS m<sup>-1</sup>), and the saline region covers 2.72 km<sup>2</sup> sodicity, intended for the cultivation of grapes (EC > 4 dS m<sup>-1</sup> and PSI > 15%). According to the results, soil sodicity problems not only occur in the study area.

que aproximadamente 10.37% presentan problemas de salinidad ( $C_E > 4 \text{ dS m}^{-1}$ ) y sólo 2.44% de sodicidad (PSI > 15%).

**Cuadro 3. Distribución de frecuencia de  $C_E$  y PSI.**  
**Table 3. Frequency distribution of EC and PSI.**

$C_E$ ( $\text{dS m}^{-1}$ )	TS (%)	PSI (%)	TS (%)
< 2	83.54	< 4	73.17
2 a 4	6.1	4 a 7	15.85
4 a 8	7.93	7 a 15	8.54
8 a 16	1.83	> 15	2.44
> 16	0.61		

TS= todos los suelos;  $C_E$ = conductividad eléctrica; PSI= porcentaje de sodio intercambiable.

La distribución espacial de ambos parámetros ( $C_E$  y PSI) se muestra en la Figura 2, donde se aprecia que la región afectada por salinidad se extiende en una superficie aproximada de 333 km<sup>2</sup>, afectando frutales y vid ( $C_E > 4 \text{ dS m}^{-1}$ ); y la región de salino-sodicidad cubre 2.72 km<sup>2</sup>, destinada únicamente al cultivo de uva ( $C_E > 4 \text{ dS m}^{-1}$  y PSI > 15%). De acuerdo con los resultados, suelos con problemas únicamente de sodicidad no se presentan en la zona estudiada.

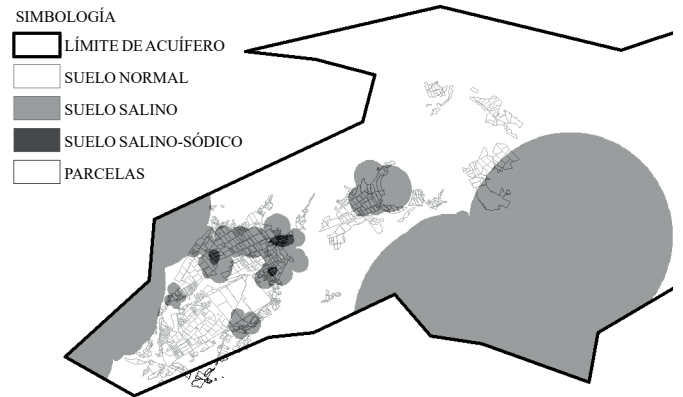
En lo que se refiere a los aniones, sólo en casos muy puntuales se detectó presencia de carbonato en la solución del suelo, mientras que el bicarbonato varió de manera similar sin distinción del tipo u condición del suelo recolectado. En contraste, hubo diferencias notorias en la acumulación de cloruro y sulfato entre los suelos, siendo los terrenos agrícolas en donde se detectó la mayor concentración de ambos aniones y en particular la del cloruro (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Distribución de frecuencia de la concentración de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), cloruro (Cl) y sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en la solución del suelo.**

**Table 4. Frequency distribution of the concentration of carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ), chloride (Cl) and sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) in the soil solution.**

$\text{CO}_3^{2-}$ ( $\text{g L}^{-1}$ )	TS	SA (%)	SCA	SNA	$\text{HCO}_3^-$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	TS	SA (%)	SCA	SNA
<30	99	97	100	100	<50	3	3	3	4
30 a 60	0	1	0	0	50 a 100	27	25	32	26
60 a 90	1	2	0	0	100 a 150	29	26	35	30
>90	0	0	0	0	>150	41	46	30	39
Cl ( $\text{mg L}^{-1}$ )					$\text{SO}_4^{2-}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
<50	41	28	65	48	<30	75	66	88	78
50 a 100	22	17	24	28	30 a 60	10	12	6	10
100 a 150	11	13	5	12	60 a 90	2	1	3	2
>150	26	42	5	13	>90	13	21	3	10

TS= todos los suelos; SA= suelos Agrícolas; SCA= suelos del cauce del arroyo; SNA= suelos no agrícolas.



**Figura 2. Distribución espacial de  $C_E$  y PSI en los suelos del Valle de Guadalupe.**

**Figure 2. Spatial distribution of  $C_E$  and PSI in the soils of the Valle de Guadalupe.**

In regard to anions, only in very specific cases showed presence of carbonate in the soil solution, while bicarbonate similarly varied without distinguish the type or condition of the soil collected. In contrast, there were marked differences in the accumulation of chloride and sulfate from the soil, being in the agricultural land where they found the highest concentration of both anions and in particular the chloride (Table 4).

There was a close relationship between calcium and magnesium from the soil solution, regardless of the origin of each of the samples ( $R^2 = 0.97$  for agricultural soils,  $R^2 = 0.76$  in non-agricultural land), Table 5. In the case of potassium there is some tendency to be relatively high on this element in agricultural areas, but slightly lower than 80% on



Hubo una relación estrecha entre el calcio y magnesio de la solución del suelo, sin importar la procedencia de cada una de las muestras analizadas ( $R^2=0.97$  para suelos agrícolas,  $R^2=0.76$  en suelos no agrícolas), Cuadro 5. En el caso del potasio hay una cierta tendencia a mostrarse valores relativamente altos de este elemento en áreas agrícolas, pero poco menos de 80% de las muestras tienen valores inferiores a  $30 \text{ mg L}^{-1}$ . En donde sí se detectó un contraste notorio fue en el caso de la concentración de sodio, cuya acumulación es altamente significativa en los terrenos agrícolas en comparación con los demás sitios evaluados y en particular aquellos que se ubican en el Valle de Guadalupe como se observa en la Figura 3.

the samples have values below  $30 \text{ mg L}^{-1}$ . A marked contrast was the case of the sodium concentration, which is highly significant accumulation in agricultural land compared to the other evaluated sites, particularly those located in the Valle de Guadalupe, Figure 3.

Chloride and sodium are the most abundant ions in soil solution, regardless of the origin of the sample, but the amount present in the medium differs significantly between each of the cases studied, suggesting that probably exist a direct effect caused by the use of irrigation water.

**Cuadro 5. Distribución de frecuencia de la concentración de carbonato ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) en la solución del suelo.**  
**Table 5. Frequency distribution of the carbonate concentration ( $\text{Ca}^{2+}$ ) and magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) in the soil solution.**

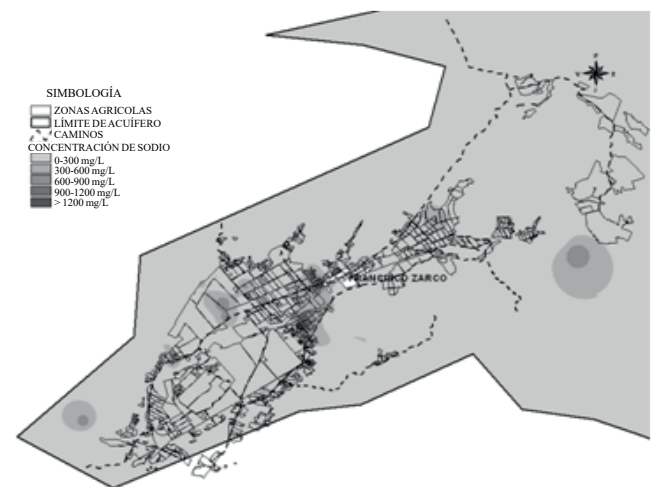
$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	TS	SA (%)	SCA	SNA	$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	TS	SA (%)	SCA	SNA
< 30	32	33	32	32	<15	46	37	78	42
30 a 60	31	30	41	28	15 a 30	30	29	14	41
60 a 90	17	15	14	23	30 a 45	8	11	3	7
>90	19	22	14	17	>45	15	22	5	10

TS= todos los suelos; SA= suelos Agrícolas; SCA= suelos del cauce del arroyo; SNA= suelos no agrícolas.

El cloruro y el sodio son los iones más abundantes en la solución del suelo, sin importar el origen de la muestra analizada; sin embargo, la cantidad presente en el medio difiere de manera significativa entre cada uno de los casos estudiados, lo cual sugiere que probablemente exista un efecto directo causado por el uso del agua de riego.

La información en discusión apunta que la salinidad presentada en el Valle de Guadalupe, sólo ocurre en algunos de los terrenos agrícolas, la cual incluso llega a valores excesivamente altos y que la cantidad de sales en el medio edáfico, se encuentra en tal magnitud que muy probablemente incidirá de manera negativa sobre la calidad y cantidad de los productos agrícolas que ahí se cultivan.

En el Cuadro 6 se observa la distribución de frecuencias de conductividad eléctrica ( $C_E$ ) y relación de adsorción de sodio (RAS), parámetros utilizados en la clasificación de salinidad y sodicidad del agua del acuífero, según lo indica Richards (1985).



**Figura 3. Concentración de sodio (Na) en la solución del suelo en el área de estudio.**

**Figure 3. Sodium concentration (Na) in the soil solution in the study area.**

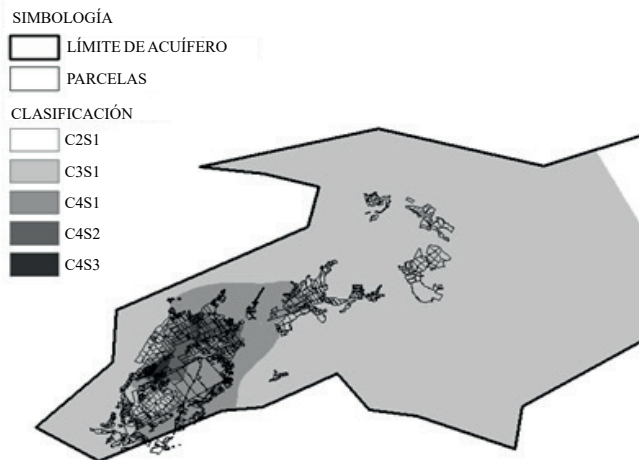
The information in discussion suggests that salinity presented in the Valle de Guadalupe, just as in some of the agricultural land, even reaches excessively high

**Cuadro 6. Distribución de frecuencias de  $C_E$  y RAS.**  
**Table 6. EC and SAR frequency distribution.**

$C_E$	TMA	CLASE	RAS	TMA	CLASE
(mmhos $cm^{-1}$ )	(%)			(%)	
< 250	0	C1	<4	76.92	S1
250 a 750	14.1	C2	4 a 7	20.51	S2
750 a 2250	50	C3	7 a 15	2.56	S3
>2250	35.9	C4	>15	0	S4

TMA= todas las muestras de agua;  $C_E$ = conductividad eléctrica; RAS= relación de adsorción de sodio (Richards, 1985).

Como se observa en la Figura 4, el tipo de agua predominante es de salinidad alta-sodicidad baja (C3S1, 48.72%), seguida de aquella que presenta salinidad muy alta-sodicidad media (C4S2, 19.23%), salinidad media-sodicidad baja (C2S1, 15.38%), salinidad muy alta-sodicidad baja (C4S1, 14.10%) y salinidad muy alta-sodicidad alta (C4S3, 2.56%). En la misma figura se observa también que la calidad del agua en todo el acuífero no es la óptima (todas las muestras presentaron clasificación C2 o superior), afectando principalmente la superficie agrícola donde se tienen cultivos como vid, forrajes, frutales y olivo.



**Figura 4. Distribución espacial por clasificación del agua en el Valle de Guadalupe.**

**Figure 4. Spatial distribution per classification of water in Valle de Guadalupe.**

Con la finalidad de evaluar la evolución de los parámetros hidroquímicos del acuífero, se elaboró el Cuadro 7 donde se compara el valor de pH y los sólidos disueltos totales determinados en septiembre de 2001 por Daeslé *et al.* (2006) y los analizados en el presente estudio en noviembre de 2009.

values and that the amount of salts in the soil environment is so large that very probably will impact negatively on the quality and quantity of agricultural products grown there.

The Table 6 shows the frequency distribution of electrical conductivity (EC) and sodium adsorption ratio (SAR), parameters used in the classification of salinity and sodicity of water from the aquifer, as indicated by Richards (1985).

As shown in Figure 4, the predominant type of water of high salinity, low sodicity (C3S1, 48.72%), followed by one which presents very high-salinity, medium sodicity (C4S2, 19.23%), low salinity, medium-sodicity (C2S1, 15.38%), high salinity, low sodicity (C4S1, 14.10%) and high-salinity, high-sodicity (C4S3, 2.56%). The same figure also shows that water quality throughout the aquifer is not optimal (all samples showed classification C<sup>2</sup> or higher), mainly affecting agricultural areas with crops such as grapes, fodder, fruit and olive.

In order to evaluate the evolution of the hydro-chemical parameters of the aquifer, Table 7 was made, which compares the value of pH and the total dissolved solids determined in September 2001 by Daeslé *et al.* (2006) and analyzed in this study in November 2009.

The exploration area analyzed in the pH and  $T_{DS}$  are quite similar between the studies conducted in 2001 by Daeslé *et al.* (2006) and those conducted in 2009, although in this case, slightly more alkaline values and a higher salt concentration were detected.

The Figure 5 shows the concentration of the total dissolved solids ( $T_{DS}$ ) in water from wells sampled in the Valle de Guadalupe, B. C.

**Cuadro 7. Comparación de la variación del pH y sólidos disueltos totales ( $S_{DT}$ ) en el acuífero de Guadalupe entre septiembre de 2001. (Daesslé et al., 2006) y noviembre de 2009. (Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas).**

**Table 7. Comparison on the variation in pH and the total dissolved solids (TDS) in the Guadalupe aquifer between September 2001. (Daesslé et al., 2006) and November 2009 (Graduate College).**

Parámetro	pH		$S_{DT}$ (mg L <sup>-1</sup> )	
	2001	2009	2001	2009
Mínimo	6.7	6.57	410	350
Promedio	7.2	7.6	1042	1195
Mediana	7.2	7.61	840	1095
Máximo	7.7	8.06	2720	3832

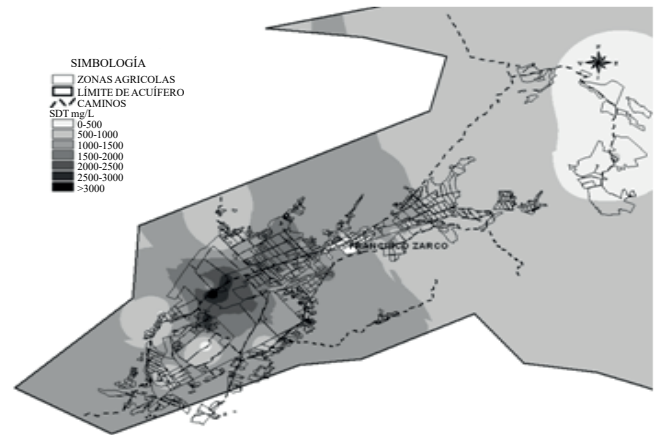
El ámbito de exploración analizado en los valores de pH y  $S_{DT}$  son similares entre los estudios realizados en 2001 por Daesslé *et al.* (2006) y el que llevamos a cabo en 2009, aunque en este caso detectamos valores ligeramente más alcalinos y una concentración de sales mayor.

En la Figura 5 se muestra la concentración de sólidos disueltos totales ( $S_{DT}$ ) en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, B. C.

Al comparar la Figura 5 con la Figura 1, se nota que no existe relación entre la concentración de los sólidos disueltos totales presentes en el agua de los pozos, con la concentración de los mismos en el suelo. Lo anterior sugiere que la concentración de sales se debe tanto a la calidad del agua de riego como diferencias en el manejo de la misma.

En el caso del acuífero del Valle de Guadalupe, se detectó que la relación entre cationes analizados indica que el agua proviene de un ambiente calcáreo y tiene un gran tiempo de residencia, porque la concentración de sodio fue mayor que los demás cationes. En el caso de los aniones, detectamos que en el Acuífero de Guadalupe coincide con aguas que llevan un tiempo de residencia considerable, ya que los cloruros superaron al resto de los aniones analizados. La suma de las tres especies iónicas principales (cloruro, bicarbonato y sodio) por su abundancia respecto a los sólidos disueltos totales, representa como mínimo 62.8%, en promedio 75.1% y como valor máximo 84.1%. De modo que la calidad del agua de este acuífero si incide en la salinidad de los suelos agrícolas.

By comparing Figure 5 with Figure 1, it's noted that there is no relationship between the concentrations from the total dissolved solids in water wells, with the concentration thereof in the ground. This suggests that the concentration of salts is due to both the irrigation water quality as well as the differences for handling thereof.



**Figura 5. Concentración de sólidos disueltos totales ( $S_{DT}$ ) en el agua de los pozos muestreados.**

**Figure 5. Concentration of the total dissolved solids ( $T_{DS}$ ) in water from wells sampled.**

For the Guadalupe Valley aquifer, it was found that the relationship between the analyzed cations indicated that, the water comes from a limestone and has a large residence time, because the sodium concentration was higher than other cations. In the case of anions, we found that in the aquifer Guadalupe water bearing coincides with a substantial residence time, since chlorides beat all the anions analyzed. The sum of the three main ionic species (chloride, bicarbonate and sodium) for its abundance with respect to the total dissolved solids, representing at least 62.8%, on average 75.1% and 84.1% for the maximum value. So, the water quality from this aquifer does affect the agricultural soils salinity.

In regard to the ammonium ion ( $NH_4^+$ ) or free ammonia ( $NH_3$ ), more than 24% of the wells studied reported values above  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , indicating that they are having problems of contamination of the leachate product of nitrogen fertilizer applications. A similar situation was reported by Daesslé *et al.* (2006), who in three wells in the Valle de Guadalupe found high concentrations of nitrates.

The Table 8 presents statistical indicators of the concentration of heavy metals and micronutrients in the water samples collected from wells in the Valle

En lo que se refiere al ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) o el amoniaco libre ( $\text{NH}_3$ ), más de 24% de los pozos estudiados reportaron valores superiores a  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , lo que indica que se están teniendo problemas de contaminación de los lixiviados, producto de las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados. Una situación similar fue reportada por Daesslé *et al.* (2006), quienes en tres pozos del Valle de Guadalupe encontraron altas concentraciones de nitratos.

En el Cuadro 8 se presentan los indicadores estadísticos de la concentración de metales pesados y micronutrientes en las muestras de agua, recolectada en pozos del Valle de Guadalupe, B. C. Se observa que no existen problemas de contaminación por metales pesados en el acuífero del Valle de Guadalupe.

**Cuadro 8. Indicadores estadísticos de la concentración de metales pesados y micronutrientes en las muestras de agua recolectada en pozos del Valle de Guadalupe.**

**Table 8. Statistical indicators of the concentration of heavy metals and micronutrients in the water samples collected from wells in the Valle de Guadalupe.**

Indicador	Cd	As	Pb	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	( $\text{mg L}^{-1}$ )							
Mínimo	0	0	0	0.026	0	0	0	0
Promedio	0.001	0.009	0.001	0.116	0.003	0.17	0.134	0.075
Mediana	0	0.009	0	0.101	0	0.008	0.011	0.002
Máximo	0.004	0.023	0.008	0.844	0.059	9.791	3.618	1.09
*LI	0.01	0.05	1	1	0.2	5	0.2	2
**LS	0.1	0.1	5	3	1	10	4	4

\*=no existe ningún tipo de restricción cuando la concentración del elemento es igual o menor al límite inferior (LI); \*\*= si la concentración del elemento en el agua es mayor que el límite superior (LS), se incrementará la probabilidad de un posible efecto tóxico.

Con el propósito de evaluar si hay diferencias en la concentración de sólidos disueltos totales en la profundidad del acuífero, se evaluó la relación entre ambas variables en los pozos muestreados, los resultados se muestran en la Figura 6.

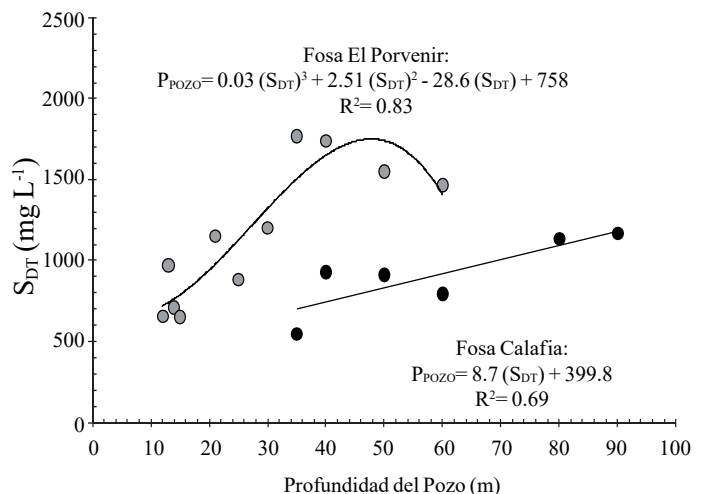
En la fosa El Porvenir a partir de los 20 m de profundidad se incrementa la cantidad de sales a medida que se incrementa la profundidad de extracción al menos hasta 60 m. Esta misma valoración se observó para la fosa Calafia. La relación que existe entre la concentración de sólidos disueltos totales del agua y la profundidad de su extracción es 83% en la fosa El Porvenir y 69% en la fosa Calafia.

Los resultados obtenidos del muestreo en tres plantaciones de uva se presentan en el Cuadro 9. En el sitio 1 se riega con agua que contiene una alta concentración de sales, las sales se están desplazando y acumulando de manera significativa tanto en sentido vertical como horizontal. En el sitio 2 en donde también se emplea agua con alta conductividad eléctrica, se hace un correcto manejo de la frecuencia e

de Guadalupe, B. C. It is noted that there are no heavy metal contamination in the Guadalupe Valley aquifer.

In order to assess whether there are differences in the total dissolved solids concentration in the depth of the aquifer we evaluated the relationship between two variables in the wells sampled, the results are shown in Figure 6.

At the fosa El Porvenir, from 20 m depth increases the amount of salts as it increases the depth of removal at least 60 m. A similar consideration was observed for the pit Calafia. The relationship between the concentration of the total dissolved solids and water depth is 83% removal in the pit El Porvenir and 69% in Calafia.



**Figura 6. Tendencia entre la concentración de sólidos disueltos totales ( $S_{DT}$ ) y la profundidad de extracción ( $P_{POZO}$ ) de los pozos agrícolas estudiados en el Valle de Guadalupe.**  
**Figure 6. Trend between the concentration of the total dissolved solids ( $T_{DS}$ ) and the depth of mining ( $P_{POZO}$ ) at the studied agricultural wells in the Valle de Guadalupe.**

intensidad del riego, de tal manera que se consigue desplazar eficientemente a las sales de la zona de exploración de las raíces. En contraste, en el sitio 3 el agua de riego que se está empleando es de buena calidad, por lo que no tienen problemas en la acumulación de sales en el perfil del área de influencia del crecimiento y desarrollo del parronal (sistema de plantación del viñedo). Estos resultados indican que la concentración de sales en el suelo, depende tanto de la calidad y del manejo del agua con que se riega.

The results of sampling in three plantations of grapes are presented in Table 9. In site 1 is irrigated with water containing a high concentration of salts, the salts are moving and accumulating significantly both vertically and horizontally. At site 2, where the water is also used with high electrical conductivity, it becomes a correct handling of the frequency and intensity of irrigation, such that salts' shifting is achieved efficiently of the scanning area of the roots. In contrast, site 3 good quality irrigation water is being used, so

**Cuadro 9. Variación de la concentración de sólidos disueltos totales en tres viñedos del Valle de Guadalupe.**

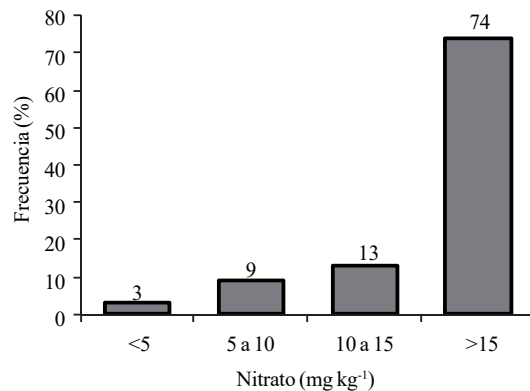
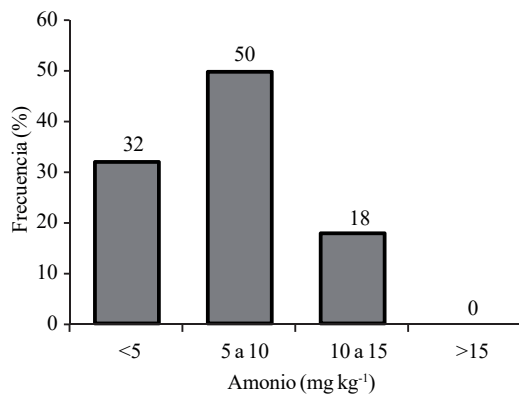
**Table 9. Variation of the concentration of the total dissolved solids in three vineyards in the Valle de Guadalupe.**

Distancia a la cepa (cm)	Profundidad (cm)	S <sub>DT</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )		
		Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
0	0 a 30	364	246	685
0	30 a 60	1039	488	456
0	60 a 90	2432	1146	787
50	0 a 30	241	260	636
50	30 a 60	868	290	792
50	60 a 90	2765	1349	762
100	0 a 30	139	481	536
100	30 a 60	1478	292	275
100	60 a 90	3936	404	420

La aplicación de fertilizantes también tiene un efecto acumulativo de sales en el suelo, a pesar de que el medio edáfico presenta una capacidad amortiguadora muy baja, puesto que las condiciones climáticas no favorecen un rápido desplazamiento de los nutrientes adicionados. Como ejemplo de lo anterior en la Figura 7. se muestra la distribución de frecuencia de la concentración de nitrógeno en el suelo de los terrenos agrícolas muestreados en Valle de Guadalupe.

no problems in the accumulation of salts in the profile area of influence of the growth and development of the vineyard. These results indicate that the concentration of salts in the ground depends on both the quality and handling of the water.

Fertilizer application also has a cumulative effect of salts in the soil, although the soil environment has a very low buffering capacity, since weather conditions do not favor



**Figura 7. Distribución de frecuencia de la concentración de nitrógeno en el suelo en forma de amonio y nitrato detectada en muestras recolectadas de terrenos agrícolas.**

**Figure 7. Frequency distribution of the concentration of nitrogen in the soil as ammonium and nitrate detected in samples collected from agricultural land.**

La concentración de amonio es muy baja porque se trata de un medio suficientemente aireado y el agua de riego es suficiente como para activar los procesos biológicos, que permiten la oxidación de este catión hasta la formación de nitratos. En contraste, 74% de los suelos estudiados presentan una cantidad superior a 15 mg kg<sup>-1</sup> de nitratos. Desde luego, dicho valor pudiese ser catalogado como una oferta muy baja de nitrógeno, pero hay que considerar que se trata de suelos muy arenosos, donde se esperaría que el nitrógeno, y sobre todo en forma de nitratos, se moviese rápidamente, y no fue así.

Más aún, en 61% de los casos evaluados se cuantificaron valores de 40 mg kg<sup>-1</sup> de suelo ó más concentración de de nitratos. La situación anterior también se apreció para el fósforo, cuya distribución de frecuencia se presenta en la Figura 8. En general, el contenido total de fósforo en los suelos de América Latina es relativamente bajo, por ejemplo en áreas templadas, el contenido total de fósforo varía entre 0.02 y 0.08% y en promedio varía alrededor de 0.05% (Fassbender, 1975). Por ello, es muy frecuente que se detecten concentraciones inferiores a 0.2 mg L<sup>-1</sup> en la solución del suelo.

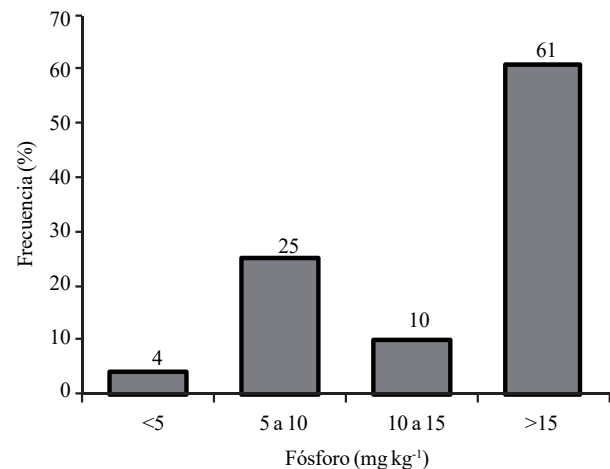
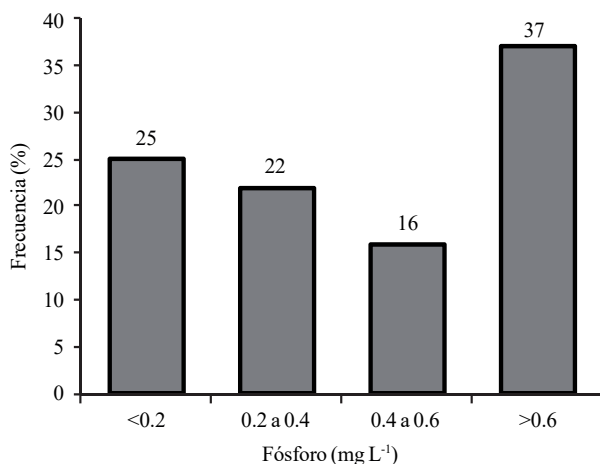
En este caso ocurrió lo contrario (Figura 8 izquierda), que implica que existe una alta concentración de fósforo en el medio edáfico como se muestra en la Figura 8 derecha, donde se observa que 61% de los suelos dicha concentración supera el valor de 15 mg kg<sup>-1</sup>. Cabe señalar que en algunos casos extremos las altas concentraciones de fosforo, pueden llegar a afectar el crecimiento y desarrollo del cultivo al inducir reacciones de antagonismo con micronutrientes metálicos, pero en la mayoría sólo se logrará elevar los costos innecesariamente.

a rapid movement of the nutrients added. As an example of the above, Figure 7 shows the frequency distribution of the concentration of nitrogen in the soil of agricultural land sampled in Valle de Guadalupe.

The ammonium concentration is quite low because it is sufficiently airy, half the irrigation water is sufficient to activate the biological processes that allow oxidation of this cation to the formation of nitrates. In contrast, 74% of the soils studied show an amount higher than 15 mg kg<sup>-1</sup> of nitrate. Of course, this value could be classified as a low bid of nitrogen, but considering the very sandy soils, where the nitrogen, particularly in the form of nitrates, were expected to moving rapidly.

Moreover, in 61% of the cases studied were quantified values of 40 mg kg<sup>-1</sup> soil or higher concentration of nitrates. This situation is also appreciated for phosphorus, whose frequency distribution is presented in Figure 8. In general, the total content of phosphorus in the soils of Latin America is relatively low, e.g. in mild weather regions, the total phosphorus content ranges between 0.02 and 0.08% on average and varies around 0.05% (Fassbender, 1975). Therefore it is very common to detect concentrations below 0.2 mg L<sup>-1</sup> in soil solution.

In this case the opposite occurred (Figure 8 left), which implies that there is a high concentration of phosphorus in the soil's environment as shown in Figure 8 right, showing that 61% of the soils concentration exceeds the value of 15 mg kg<sup>-1</sup>. Note that in some extreme cases, high



**Figura 8. Distribución de frecuencia de la concentración de fósforo en muestras recolectadas de terrenos agrícolas: fase líquida edáfica (izquierda); suelo (derecha).**

**Figure 8. Frequency distribution of phosphorus concentrations in samples collected from agricultural land: soil liquid phase (left), soil (right).**

En lo que se refiere al potasio, se encontraron valores mayores que  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  e incluso 43% de los casos muestran cantidades superiores a  $200 \text{ mg L}^{-1}$ . Esto es frecuente en sistemas de producción de alta rentabilidad, puesto que se cree que mientras más potasio se adicione mejor responderá el cultivo; sin embargo, cuando la demanda de potasio del cultivo queda satisfecha, una aplicación mayor no tendrá ningún beneficio para el cultivo en rendimiento y calidad, sino sólo ocasionará incrementar los costos de producción de manera infructuosa.

Aunque para este trabajo no se midieron las aplicaciones de fertilizantes, las altas concentraciones de los nutrientes mayores (NPK) presentes en el suelo, pueden indicar que se está aplicando mayor cantidad de fertilizante que la que requieren los cultivos. Por otro lado, la variación de todos los micronutrientes en los suelos estudiados no presenta valores anormalmente altos; sin embargo, se aprecia que en algunos sitios su disponibilidad en el medio edáfico es posible que no satisfaga la demanda de cultivos de alto rendimiento como la vid.

## Conclusiones

La salinidad en el Valle de Guadalupe sólo ocurre en algunos terrenos agrícolas, cultivados con vid principalmente, la cual incluso llega a valores excesivamente altos ( $C_{Emax} = 17.24 \text{ dS m}^{-1}$ ), por lo que muy probablemente incidirá de manera negativa sobre la calidad y rendimiento de los productos agrícolas que ahí se cultivan. El 74% de los suelos estudiados presenta una cantidad superior a  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  de nitratos, y por tratarse de suelos arenosos se atribuyen problemas de contaminación a las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados. No se tienen problemas de contaminación por metales pesados.

En las fosas Calafia y El Porvenir, a partir de los 20 m de profundidad se incrementa la cantidad de sales a medida que se incrementa la profundidad de extracción o al menos hasta 60 m. En la mayoría de las muestras de suelos agrícolas analizadas se encontró valores altos de los principales macronutrientes, por lo que se estima que hay exceso de aplicación de fertilizantes.

En terrenos con viñedos, las sales se están desplazando y acumulando de manera significativa tanto en sentido vertical como horizontal, esto es atribuido a un mal manejo del agua de riego que contiene una alta concentración de sales ( $C_{Epromedio} = 2124 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ ). La salinidad del agua está presente en todo acuífero del Valle de Guadalupe (clasificada como C3 y C4

concentrations of phosphorus, may affect growth and development of the crop by inducing antagonistic micronutrient reactions of metal, but most of them only come up with unnecessarily costs.

In regard to the potassium levels, above  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  and even 43% of the cases showed amounts greater than  $200 \text{ mg L}^{-1}$ . This is normal in production systems, high yield, since it is believed that the more potassium, the better respond for cultivation; However, when the growing demand for potassium is satisfied, a major application will not benefit the crop's yield and quality, but only causing increased costs of production.

Although, this work does not measured fertilizer applications, high concentrations of major nutrients (NPK) in the soil, applying more fertilizer than the crops actually require. Furthermore, the variation of all soils studied micronutrients no abnormally high values, but it is appreciated that in some places their availability in the soil environment may not satisfy the demand for high-yielding crops such as vines.

## Conclusions

Salinity in the Valle de Guadalupe occurs only in some agricultural lands, mainly cultivated with vines, which even reaches excessively high values ( $C_{Emax} = 17.24 \text{ dS m}^{-1}$ ), so most likely will impact negatively on the quality and performance of agricultural products that are grown there. 74% of the soils studied presented an amount higher than  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  of nitrate, and due to a sandy soil contamination problems are attributed to nitrogen fertilizer applications. There are no problems of contamination by heavy metals.

In the pits Calafia and El Porvenir, from 20 m depth is increased the amount of salt as it increases the depth of extraction up to 60 meters. In most agricultural soils samples analyzed were found higher values of the main macronutrients, so it is estimated that there is excessive application of fertilizers.


In areas with vineyards, the salts are moving and accumulating significantly both vertically and horizontally, that is attributed to poor management of irrigation water containing a high concentration of salts

en 85.9%), pero la salinidad del suelo ( $\text{pH}_{\text{promedio}} = 7.6$ ) no se presenta en el total de la superficie del valle; por lo tanto, el agua del acuífero no es la única causante de dicho problema, el manejo del agua para riego y la aplicación de fertilizantes también contribuyen a la salinidad.

( $C_{\text{Epromedio}} = 2\ 124\ \mu\text{mhos cm}^{-1}$ ). Water salinity is present throughout the Valle de Guadalupe aquifer (classified as C3 and C4 in 85.9%), but soil salinity ( $\text{pH}_{\text{mean}} = 7.6$ ) did not presented in the total area of the valley, therefore, aquifer water is not the only cause of the problem; water management for irrigation and fertilizer application also contribute to salinity.

## Literatura citada

*End of the English version*

- 
- 
- Ayers, R. S. y Westcot, D. W. 1987. La calidad del agua en la agricultura. FAO. Riego y drenaje. Núm. 29, Rev. 1, Roma, Italia.
- Andrade, B. M. 1997. Actualización geohidrológica del Valle de Guadalupe, Ensenada, Baja California. Grupo Agroindustrial del Valle de Guadalupe. 60 p.
- Badan, A. 2006. Balance del agua en el acuífero Valle de Guadalupe. Oceanografía física. CICESE. AAAS, San Diego, California. EE.UU.
- Badan, A.; Kretzschmar, T.; Espejel, I.; Cavazos, T.; D'Acosta, H.; Vargas, P.; Mendoza, L.; Leyva, C.; Arámburo, G.; Daesslé, W. y Ahumada, B. 2005. Hacia un plan de manejo del agua en Valle de Guadalupe, Baja California. *Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*. 1-13 p.
- Campos, G. J. R. y Kretzschmar, T. 2008. Simulación de flujo y escenarios de la explotación a futuro del agua subterránea en el acuífero del Valle de Guadalupe, Baja California, México. *GEOS* 28(2).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Guadalupe, estado de Baja California. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subdirección General Técnica. Comisión Nacional del Agua. D. F., México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2001. Acuerdo por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos. D. F., México. 88 p.
- Daesslé, L. W.; Mendoza-Espinosa, L. G.; Camacho-Ibar, V. F.; Rozier, W.; Morton, O.; Van Dorst, L.; Lugo-Ibarra, K. C.; Quintanilla-Montoya, A. L. and Rodríguez-Pinal, A. 2006. The hydrogeochemistry of a heavily used aquifer in the Mexican wine-producing Guadalupe Valley, Baja California. *Environ*. 51(1):151-159.
- Fassbender, H. W. 1975. Química de suelos. Con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica. 396 p.
- Gobierno de Baja California. 2007. Diagnóstico ambiental. Baja California, México. URL: <http://www.bajacalifornia.gob.mx/spa/problematika/diagnosticoA.html>.
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada, B. C. (IMIT). 2009. Programa sectorial de desarrollo urbano-turístico de los valles vitivinícolas de la zona norte del municipio de Ensenada (región del vino). Ensenada, B. C. 33 p.
- Kurczyn, R. J. A.; Kretzschmar, T. e Hinojosa, C. A. 2007. 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):1-14.
- Lammers, G. 2009. Entrevista con Antonio Badán (*In Memoriam*). Historias del vino. URL: <http://74.125.95.132/search?q=cache:rfsUvs2acFQJwww.vinifera.com>.
- López, R. M. y Silva, Z. M. 1999. Sistema experto para recomendaciones de cal en los suelos de Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Serie D-No. 3. Maracay, Venezuela. 47 p.
- López, N. P. A. 2008. Plan municipal de desarrollo 2008-2010. Gobierno municipal de Ensenada, Baja California. México. 152 p.
- Monterrosas, F. J. A. 2009. Diversas intervenciones en la entrega de las instalaciones de la Escuela de Enología y Gastronomía. Presidencia de la República. D. F., México. URL: <http://www.presidencia.gob.mx/prensa/discursos/?contenido=42824>.



- Ponce, V. M. 2009. Hidrología del arroyo El Barbón-Cuenca Guadalupe. *In*: coloquio para fortalecer el desarrollo del plan integral para la sustentabilidad del acuífero del Valle de Guadalupe. Universidad Estatal de San Diego. San Diego, California, EE.UU.
- Ponce, V. M. 2009a. Manejo sustentable del agua en el Valle de Ojos Negros, Baja California, México. San Diego SU, UABC, INIFAP. 50 p.
- Richards, L. A. 1985. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6<sup>ta</sup> edición. Editorial Limusa. D. F., México. 172 p.
- Secretaría de Desarrollo Rural (SEDESOL). 2006. Programa de desarrollo regional. Región del vino. Ensenada, Baja California, México. 138 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2001. Aprovechamiento de arena en el arroyo El Barbón. Estudio de impacto ambiental. URL: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/bc/resumenes/2001/02BC2001M0015.html>.
- Vázquez, G. R. 2000. Posibles efectos en los recursos hidráulicos subterráneos de los aprovechamientos de materiales pétreos en los cauces de arroyos. Gaceta electrónica del CICESE. Ensenada, Baja California, México. 7 p.
- Waller, B. C.; Mendoza, E. L.; Medellín, A. J. y Lund, J. R. 2009. Optimización económico-ingenieril del suministro agrícola y urbano: una aplicación de reúso del agua en Ensenada, Baja California, México. Ingeniería hidráulica en México. 4:87-103.