

**CALIDAD AGRONÓMICA DE EFLUENTES DE PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

**[AGRONOMIC QUALITY OF EFFLUENTS FROM WATER RECLAMATION
PLANTS]**

**J. C. Rodríguez-Ortiz^{1*}, J. L. García-Hernández², R. D. Valdez-Cepeda^{3,4},
J. L. Lara-Mireles¹, H. Rodríguez-Fuentes⁵ and C. Loredo-Osti¹**

¹ *Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Fac. Agronomía. Carr. San Luis-Matehuala km. 14.5. Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México.*

² *Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Mar Bermejo Núm. 195, Col. Playa Palo Santa Rita, La Paz, Baja California Sur, México.*

³ *Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Centro Norte. Apdo. Postal 196, Calle Cruz del Sur Núm. 100. Col. Constelación. El Orito, Zacatecas, Zac., México.*

⁴ *Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Matemáticas. Paseo Solidaridad esq. Carr. a la Bufa, Zacatecas, Zac. México.*

⁵ *Universidad Autónoma de Nuevo León. Fac. Agronomía. Carretera Zuázua-Marín, km 7.5, Marín, Nuevo León, México.*

**Corresponding author*

RESUMEN

En la ciudad de San Luis Potosí, México, se encuentran en operación seis plantas de tratamiento de aguas residuales, los efluentes son usados en el riego agrícola, lo cual es conveniente tomando en cuenta el clima árido de esta ciudad. Para un mejor aprovechamiento de este recurso se realizó el presente estudio donde se evaluó su calidad agronómica a través de doce indicadores, los cuales no aparecen en la norma oficial mexicana NOM-003-ECOL-1997, la cual especifica la calidad de dichas aguas para su reutilización. Los resultados revelan que los efluentes son de buena calidad en cuanto a RAS ($< 10 \text{ me L}^{-1}$) y pH (6.5-8.4). El resto de los indicadores fueron: conductividad eléctrica, salinidad efectiva, salinidad potencial, carbonato de sodio residual, RAS ajustado, reducción de infiltración, cloro, boro, sodio y sólidos disueltos totales, todos ellos resultaron condicionados de manera general. El mejoramiento de estos indicadores, y por lo tanto, la reutilización sustentable de este recurso, es posible a través de diversas opciones tecnológicas que se exponen y que son accesibles a los productores. Una de las medidas relevantes es la adecuación de los instrumentos jurídicos relacionadas a la reutilización agrícola de los efluentes, para tal situación se deberá de crear una mayor evidencia a nivel nacional que refuerce esta propuesta.

Palabras clave: Irrigación; salinidad; sodicidad; aguas residuales.

SUMMARY

In San Luis Potosí City, México, there are in operation six water reclamation plants, the effluents are used in the agriculture irrigation, this is convenient considering the arid climate of this city. For the best use of this resource, we have done the present study evaluating the agronomic quality of effluents through twelve indicators that are not in the official Mexican norm NOM-003-ECOL-1997, which details the acceptable characteristics of this resource for public reuse. The results showed that the effluents have acceptable quality on SAR ($< 10 \text{ me L}^{-1}$) and pH (6.5-8.4). The rest of the indicators were: electrical conductivity, effective salinity, potential salinity, residual sodium carbonate, adjusted SAR, infiltration reduction, chlorine, boron and sodium, all of them resulted conditioned in general form. The improvement of this indicators, and therefore of this resource, is possible using several technological options exposed here and available to the producers. One of the relevant measures is the adaptation of juridical instruments linked to the residual water for agriculture reuse, on this sense, more evidence must be created on the national level that reinforce this proposal.

Key words: Irrigation; salinity; sodicity; waste water.

INTRODUCCIÓN

El incremento poblacional en México (más de 105 millones de habitantes) y mundial (más de 6.5 mil millones de habitantes), ha demandado altas cantidades de agua potable para consumo humano. Como consecuencia se han generado importantes volúmenes de aguas residuales, que han representado un foco de infección y toxicidad a la salud humana y ambiental (Jiménez, 2001). Como respuesta a lo anterior, en la ciudad de San Luis Potosí, México, capital del estado con mismo nombre, se han construido en los últimos años varias plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), que sin duda representa un paso importante en el control y prevención de la contaminación ambiental. Uno de los usos principales de estas aguas, y en general de las aguas tratadas del norte del país, es el riego agrícola, algo muy conveniente tomando en cuenta que el 60 % del territorio nacional y 73.5 % del estado de San Luis Potosí se tienen climas clasificados como áridos (Jiménez, 2001 e INEGI, 2009).

La norma oficial mexicana que se refiere al reutilización de estos efluentes es la NOM-003-ECOL-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Entre estos se encuentran metales pesados, DBO, coliformes, nitrógeno, fósforo y otros (DOF, 1998). Sin embargo, esta norma no considera parámetros agronómicos de calidad, como son el contenido de sales solubles, el contenido de sodio en relación con otros cationes y el contenido de elementos tóxicos para las plantas. Estos son ampliamente recomendados y utilizados para el estudio de aguas para riego agrícola tanto en México como en otras partes del mundo (Asano, 1998; Costa, 1999; Villanueva y Hernández, 2001; Cueto *et al.*, 2005; Stevens *et al.*, 2003; Wagner *et al.*, 2003;).

Cuando una agua con una alta concentración salina no se maneja apropiadamente, se corre el riesgo de aumentar su concentración en el suelo, lo que provoca una reducción en el potencial osmótico de la solución del suelo, lo cual se traduce en una reducción del potencial total de agua en el suelo y por ende en una disminución de su disponibilidad para el cultivo y en el rendimiento del mismo (Castellanos *et al.*, 2000). Por su parte el sodio al encontrarse en el agua en cantidades elevadas en relación con otros cationes, puede ocurrir que este sodio comience a ser adsorbido en grandes cantidades en el complejo de intercambio catiónico del suelo, aumentando el porcentaje de sodio intercambiable con respecto a otros cationes. Este proceso significa la formación de un suelo sódico que representa una serie de problemas para los cultivos agrícolas, ya que provoca una dispersión coloidal que se traduce en una disminución drástica de la

permeabilidad del suelo, además se generan condiciones adversas para el desarrollo de los cultivos al presentarse condiciones de inundación y anaerobiosis (Ortiz, 2000). Los elementos tóxicos que más se mencionan por su toxicidad a las plantas aún en pequeñas cantidades son: cloro, boro y sodio. Los dos primeros son elementos esenciales en las especies vegetales, pero a concentraciones apenas superiores a las indispensables empiezan a ser tóxicos para algunos cultivos (Mass, 1984).

Los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales no incluyen la eliminación directa de todas las anteriores sustancias, ya que estas sólo se eliminan por tratamientos avanzados (Glynn, 1999), es por ello que suponemos una alta posibilidad elevada de que aún permanezcan en las aguas después de pasar por las PTAR, en caso de haber estado presentes antes de su proceso. Por lo anterior consideramos importante su determinación y clasificación en los efluentes para así proponer un adecuado uso y manejo de este recurso que se oriente a la productividad sostenible y al aprovechamiento racional de los recursos naturales; más aún considerando la intención del actual gobierno estatal por tratar el 100% de las aguas residuales dentro de su periodo administrativo (Gutiérrez, 2006). Por su parte, el gobierno federal pretende cubrir esta demanda a nivel nacional en un 60 % para el año 2012, teniendo como objetivo alcanzar un manejo integral y sustentable del agua. Como estrategia se pretende propiciar un uso eficiente del agua en las actividades agrícolas, de tal forma que se reduzca el consumo inadecuado del líquido al tiempo que protegen los suelos de la salinización (PND, 2007).

Por todo lo expuesto, se realizó el presente estudio con el objetivo de evaluar la calidad agronómica de efluentes provenientes de seis PTAR de la ciudad de San Luis Potosí, México, que en conjunto irrigan más de 1000 ha de productos básicos, hortalizas, forrajes y áreas recreativas (CEASLP, 2002). Con ello se podrá establecer el manejo agronómico apropiado de éstas aguas, además se tendrán elementos para considerar la conveniencia o no de incluir dichos índices de calidad de aguas para riego agrícola dentro de la NOM - 003-ECOL-1997.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron un total de 60 muestras de aguas de 6 diferentes PTAR de la ciudad de San Luis Potosí, México (10 por PTAR), las cuales difieren entre si por su origen y el proceso que se sigue en la PTAR (Tabla 1). El periodo de muestreo fue de junio del 2005 a octubre del 2006. Las muestras se tomaron a la salida de las PTAR, al momento en que se regaba con ellas en las parcelas más próximas. Se utilizaron recipientes de plástico previamente lavados con solución de ácido

nitrógeno 1 N, y enjuagados en tres ocasiones con la misma agua a recolectar. Las muestras fueron colocadas en hielo y llevadas de inmediato al laboratorio para su análisis.

Doce fueron los indicadores que se midieron de los efluentes para poder determinar su calidad agronómica, los cuales no son considerados en la NOM-003-ECOL-1997:

Como indicadores del peligro de las sales se evaluó: 1) *Conductividad Eléctrica* (CE), la cual es una medida indirecta del contenido de sales. Se determinó mediante un puente de Wheastone (modelo Orion 150); 2) *Salinidad Efectiva* (SE), es una estimación más real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte de la solución del suelo, ya que toma en cuenta la precipitación ulterior de las sales menos solubles (carbonatos de calcio y magnesio, sulfatos de calcio), los que por consiguiente, dejan de participar en la elevación de la presión osmótica de la solución del suelo; 3) *Salinidad Potencial* (SP), estima el peligro de las sales de cloro y sulfatos que pueden permanecer solubles al disminuir la humedad del suelo por debajo

del 50%. Se calculó con la siguiente fórmula: $SP = Cl + \frac{1}{2} SO_4$.

Los cationes y aniones fueron determinados por las siguientes técnicas: calcio y magnesio, por complejometría; sodio y potasio, por flamometría (flamómetro Corning 400); carbonatos y bicarbonatos, por acidimetría, sulfatos por turbidimetría y cloro por argentometría.

Como indicadores del peligro de sodio se evaluó: 1) *Relación de Absorción de Sodio* (RAS), se calculó con la fórmula: $RAS = Na / [(Ca + Mg)/2]^{1/2}$; 2) *Carbonato de Sodio Residual* (CSR), estima el riesgo de que se formen carbonatos de sodio después de la precipitación de carbonatos de calcio y magnesio. Se calculó con la fórmula: $CSR = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg)$; 3) *RAS ajustado*. Se calculó con la fórmula: $RAS = Na / [(Ca_x + Mg)/2]^{1/2}$; Donde Ca_x es estimado de acuerdo a la metodología de Suárez (1981); 4) *Reducción de la Infiltración*. Se obtiene de los valores conjuntos de RAS y CE, con ellos se entra la tabla de clasificación de la FAO que ofrece tres categorías en la restricción del uso del agua: ninguna, leve o moderada y severa.

Tabla 1. Información general de las seis plantas de tratamiento de aguas residuales en estudio.

PTAR	Origen	Ubicación en UTM (Unidades Transversal de Mercator)	Tipo de proceso	Volumen tratado (L seg ⁻¹)	Uso
1	Urbano	298027.5249,2457494.0698	Lagunas de aireación	400	Riego agrícola (forrajes, hortalizas y básicos)
2	Urbano	294111.6959,2447388.1886	Reactor biológico secuencial	150	Riego para áreas recreativas y jardines
3	Urbano	294337.4364,2448277.4232	Lodos activados de flujo continuo	20	Riego para áreas recreativas y jardines
4	Urbano	289339.5882,2450079.9337	Reactor biológico secuencial	80	Riego para áreas recreativas y jardines
5	Industrial y urbano	306896.2491,244846.4625	Lodos activados	1050	40 % Industrial y 60% para riego agrícola (forrajes, hortalizas y básicos)
6	Industrial y urbano	307502.8663,2440121.9674	Reactor biológico secuencial	8	Industrial y riego de jardines

Como iones tóxicos se evaluaron: 1) *Cloro*; 2) *Boro* (determinado por azometina H); y 3) *Sodio*. Los otros dos indicadores que se evaluaron fueron: 1) *pH* (potenciómetro) y 2) *Sólidos Disueltos Totales* (SDT), que se determinó por evaporación de 100 mL de agua. Para su determinación se siguieron los procedimientos de análisis descritos en el manual de Plenecasagne *et al.* (1997). Para clasificar cada uno de los parámetros se tomaron las metodologías de Palacios y Aceves (1970), del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, Laboratorio de Riverside) y la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), que son citados por Martínez (2003). También se consideraron las metodologías de Ayers y Westcot (1976) y Suárez (1981).

De los datos obtenidos se obtuvieron los parámetros estadísticos descriptivos para cada indicador por PTAR y de la base total de datos (media aritmética, desviación estándar, promedio general, rango, valor máximo y valor mínimo). El programa estadístico utilizado fue STATISTICA 6.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Indicadores del peligro de las sales

En cuanto a conductividad eléctrica, no se encontraron aguas bajas en sales. Los promedios de las PTAR 2 y 4 se clasifican como de salinidad media (0.697 y 0.690 dS m⁻¹, respectivamente), la cual se denomina como C2. El resto de las PTAR tuvieron valores promedios mayores a los 0.750 dS m⁻¹, las cuales se denominan como C3, es decir, aguas de salinidad muy alta. El 70 % de la base total de datos (n=60) son de esta categoría, lo mismo que el promedio general que fue de 0.864 dS m⁻¹ (Tabla 2).

Respecto a la SE se obtuvo que cerca del 100% de las muestras tuvieron valores entre 3 y 15 me L⁻¹, por lo que son clasificadas como condicionadas, según la metodología de Palacios y Aceves (1970). Por lo tanto, el promedio de cada una de las PTAR, y el general, se encuentra dentro de este rango (Tabla 2).

En SP se encontró que el 50% de las 60 muestras son clasificadas como de buena calidad (menor a 3 me L⁻¹), mientras que el resto es de calidad condicionada. Dos de las seis PTAR obtuvieron promedios que clasifican como de buena calidad. Las otras cuatro, y el promedio general, se clasifican como condicionadas, aunque cabe agregar que se rebasó por muy poco el valor límite de buena calidad (Tabla 2).

Los indicadores del peligro de sales muestran que el uso agrícola de la mayoría de las aguas provenientes

de las seis PTAR en estudio debe ser realizado bajo un cuidadoso manejo de tipo preventivo para no salinizar los suelos que riegan, o en su caso incrementar el contenido de estas. Estos eventuales aumentos en la salinidad del suelo pueden inducir la reducción en la producción de los cultivos.

Castellanos *et al.* (2000) mencionan que el problema de sales se restringe a regiones con limitada precipitación pluvial (como en la zona de estudio), donde las lluvias son escasas y erráticas, y no son de suficiente magnitud como para desplazar las sales del perfil del suelo. Los mismos autores especifican que normalmente en regiones con más de 600 mm de lluvia el riesgo de salinización no es alto si el agua de riego no es de tan mala calidad. Se estima que la superficie afectada por sales en México es del orden de 1 millón de ha (Fernández, 1990). Por su parte Villanueva y Hernández (2001a) mencionan que el origen de los suelos salinos en San Luis Potosí se debe fundamentalmente al manejo inadecuado del agua de calidad condicionada, además de la aplicación y establecimiento de especies con poca tolerancia a la salinidad.

Para un adecuado manejo de esas aguas será importante tomar en cuenta todos los factores posibles que intervienen en el proceso de producción como son el cultivo, el suelo, método de riego, clima y drenaje interno, entre otros. Los tratamientos para prevenir la salinidad en suelos al irrigar con estas aguas incluyen opciones como la desalinización por destilación y la ósmosis inversa o la desionización mediante el paso del agua a través de ciertos tipos de resinas (Ortiz, 2000). Sin embargo, el mismo autor menciona que estos procesos requieren de un gasto energético muy costoso para llevarse a cabo a gran escala. Otra opción es el lavado de suelos, donde las sales se desplacen en el perfil del suelo donde se encuentran las raíces del cultivo de manera que estas sean igual a la aportada por el agua de riego. Rhoades y Merrill (1976) establecen la siguiente ecuación para calcular el requerimiento de lavado:

$$LR = ECw / 5 (ECe) - ECw$$

Donde:

LR = Requerimiento mínimo de lixiviación para control de sales con métodos de riego por gravedad (%).

ECw = Salinidad del agua aplicada (dS m⁻¹).

ECe = Salinidad media del suelo tolerada por el cultivo (dS m⁻¹)

Tabla 2. Valores promedios de cada PTAR, datos descriptivos y clasificación de los indicadores del peligro de las sales.

PTAR	CE (dS m ⁻¹)	SE (me L ⁻¹)	SP (me L ⁻¹)
1	0.884 (± 0.049)	5.9 (± 0.61)	2.8 (± 0.9)
2	0.697 (± 0.076)	5.8 (± 0.98)	3.0 (± 0.5)
3	0.810 (± 0.127)	6.7 (± 2.30)	3.4 (± 0.8)
4	0.690 (± 0.074)	4.6 (± 1.2)	2.7 (± 0.4)
5	0.958 (± 0.170)	4.7 (± 2.2)	3.4 (± 1.1)
6	1.147 (± 0.170)	6.8 (± 1.8)	3.7 (± 0.8)
DATOS DESCRIPTIVOS:			
Promedio general (n=60)	0.864 (± 0.202)	5.7 (± 1.8)	3.17 (± 0.8)
Rango general	1.099	9.22	4.96
Valor máximo general	1.472	11.2	6.26
Valor mínimo general	0.5	1.98	1.3
CLASIFICACIÓN CE*:			
Bajo	< 0.250		
Medio	0.250-0.750	-	-
Alto	0.750-2.25		
Muy alto	> 2.25		
CLASIFICACIÓN SE Y SP**:			
Buena		<3	<3
Condicionada		3-15	3-15
No recomendable		>15	>15

*Metodología del USDA. **Metodología de Palacios y Aceves (1970).

Flores *et al.* (1996) mencionan que el método de lavado es la medida de mejoramiento más eficaz para combatir la salinización primaria, así como para prevenir la salinización secundaria. Sin embargo, Otero (1993) aclara que el lavado de los suelos sin el uso de mejoradores favorece la penetración del sodio al complejo adsorbente, debido al aumento relativo de la actividad del sodio en solución respecto al calcio y por esto es la necesidad de ampliar la utilización de los mismos en todos los suelos salinos como medida preventiva de sodificación. El uso de mejoradores se basa en la aplicación de sustancias que contienen calcio para que promuevan su aumento en la solución del suelo y se intercambie con el sodio adsorbido para que después sea removido por el lavado. De esta forma el suelo se mantiene floculado y el pH se neutraliza (Aceves, 1987).

En caso de tener una capa freática salina cercana a la superficie (2 a 3 m de la superficie), se requerirá implementar un sistema de drenaje que impida la subida del agua freática, para esto se necesitará instalar drenes que abatan el manto y eliminen las sales del terreno (Keren y Miyamoto, 1990).

En caso de ser necesario, se podrá recurrir al establecimiento de cultivos que toleren la salinidad existente. Esta opción es un tanto complicada en el sentido de que no siempre un cultivo tolerante o semitolerante puede sustituir parcial o totalmente a los cultivos de importancia económica de la zona por razones de mercado. Ayers y Wescot (1985) y Rhoades *et al.* (1992) encontraron una relación entre el nivel de sales en el extracto de saturación del suelo con el rendimiento potencial de los cultivos. Para los cultivos que se producen en la zona de influencia de este estudio se reportan los siguientes valores de conductividad eléctrica del extracto (dS m⁻¹), donde el rendimiento potencial es todavía del 100%, por encima de estos valores los rendimientos pueden decrecer de manera significativa: alfalfa, 2; maíz dulce, 1.7; maíz forrajero, 1.8; cebada forrajera, 6; sorgo, 6.8. Algunos cultivos que se pueden establecerse en la zona son: trigo, 6; brócoli, 2.8; calabaza, 4.1; col, 1.8; cebolla, 1.2; espinaca, 2; frijol, 1; lechuga, 1.3; tomate, 2.5; pimiento, 1.5; zanahoria, 1; *Trifolium* spp. 1.5; trigo forrajero, 7.5.

Villanueva y Hernández (2001b) mencionan una serie de prácticas culturales que pueden ayudar a disminuir el problema de las aguas condicionadas, como son la nivelación del suelo que favorezca la distribución uniforme del agua y evitar encharcamientos, aplicar láminas de riego ligeras con mayor frecuencia, colocar la semilla de siembra en la costillas del surco, cambiar los métodos de riego de gravedad por presurizados, mantener un adecuado nivel de fertilidad en el suelo, mezclar las aguas condicionadas con otras de mejor calidad.

Para la aplicación de fertilizantes en suelos salinos, es necesario tener en cuenta el posible efecto residual salino de las sales que los componen. Flores *et al.* (1996) señalan que todas las sales utilizadas como fertilizantes aumentan la concentración salina de la solución del suelo, este incremento es variable y evaluado por el índice de salinidad. Cuanto más bajo sea el mismo, menor será el peligro de quemaduras a las hojas y daños en las plantas (Singh *et al.*, 1994).

Por su parte de Santiago (2007) recomienda tomar algunas precauciones cuando se tienen aguas salinas, como son el monitoreo periódico de las aguas, revisar el estado de las plantas que se riegan por aspersión, cuidar el uso excesivo de fertilizantes, no utilizar fertilizantes que contengan cloro y sodio como el KCl, NaNO₃, etc. Además se tendrá que ajustar la aportación de nutrientes de acuerdo a la calidad del agua.

Sin embargo, la utilización agrícola de aguas con alto nivel de sales es factible en ciertos casos como lo exponen Castellanos *et al.* (2000), quienes reportaron que aguas de hasta 5 dS m⁻¹ (siempre y cuando sean aguas cálcicas y no sódicas), se están usando exitosamente en muchos cultivos, particularmente en sistemas de riego por goteo, aunque el número de cultivos en que se puedan usar dichas aguas es más limitado que si se usaran aguas bajas en sales. También mencionan que en la actualidad, con los sistemas de riego por goteo y cultivos hidropónicos en invernadero, los criterios de interpretación se deben de revisar, pues es posible producir rendimientos económicamente aceptables con aguas más salinas si éstas son manejadas apropiadamente en el bulbo de humedad, particularmente si las aguas son cálcicas.

Otra medida que se propone es implementar un sistema de cultivos de descanso y rotación con el uso de abonos verdes, de esta manera se evita por un tiempo la incorporación de sales al suelo por el riego de aguas salinas, a la vez se beneficia un poco el arrastre de estas por las lluvias ayudándose con la materia orgánica que induce la formación de agregados los cuales mejoran la estructura del suelo y se obtiene un mejor movimiento de las sales en el

perfil del suelo (Martínez *et al.*, 1986; Miller y Cifres, 1988; Otero *et al.*, 1993).

Indicadores del peligro del sodio

En cuanto al RAS en el 100% de las muestras (n=60) se encontraron valores menores a 10 (me L⁻¹)^{1/2}, valor que clasifica a estas aguas como de baja en sodio (S1). Por lo tanto, con base a este indicador, las aguas de las PTAR pueden ser utilizadas con muy poco riesgo de que el suelo al que se aplican eleve su porcentaje de sodio intercambiable (Tabla 3).

Respecto al CSR, las PTAR 2, 3 y 4 se clasificaron de acuerdo a sus promedios como de buena calidad (< 1.25 me L⁻¹). Las PTAR 1 y 5 se clasifican como condicionadas (1.25-2.5 me L⁻¹), el promedio general también se clasifica de esta manera. La planta 6 es clasificada como no recomendable, ya que el promedio obtenido fue de 3.5 me L⁻¹, valor superior al límite para aguas condicionadas, que es de 2.5 me L⁻¹ (Tabla 3).

Tabla 3. Valores promedios de cada PTAR, datos descriptivos y clasificación de los indicadores del peligro sodio.

PTAR	RAS (me L ⁻¹) ^{1/2}	CSR (me L ⁻¹)
1	3.2 (± 1.1)	2.2 (± 1)
2	4.2 (± 1.1)	1.0 (± 1)
3	4.5 (± 1.4)	1.1 (± 0.8)
4	3.3 (± 0.9)	0.8 (± 0.5)
5	3.0 (± 1.7)	1.6 (± 1.9)
6	5.0 (± 0.8)	3.5 (± 1.7)
DATOS		
DESCRIPTIVOS:		
Promedio general (n=60)	3.8 (± 1.4)	1.6 (± 1.7)
Rango general	6.75	8.58
Valor máximogeneral	7.36	6.22
Valor mínimo general	0.61	0.0
CLASIFICACIÓN		
RAS:*		
Baja	< 10	-
Media	10-18	
Alta	18-25	
Muy alta	>25	
CLASIFICACIÓN		
CSR:**		
Buena	-	< 1.25
Condicionada		1.25-2.50
No recomendable		> 2.50

*Metodología del USDA. **Metodología de Palacios y Aceves (1970).

Las PTAR 1, 2, 3, 4 y 5 promediaron valores de RAS ajustado menores a 6 (me L^{-1})^{1/2} (Tabla 4) al igual que el promedio general que fue de 4 (me L^{-1})^{1/2}; por lo que estas aguas se clasifican como de buena calidad, ya que la montmorillonita es el tipo de arcilla que predomina en los suelos que se riegan con esas aguas (Soria 2008, comunicación personal). En el caso de la PTAR 6, el valor promedio fue de 6.2 (me L^{-1})^{1/2}, por lo que se clasifica como condicionada.

De acuerdo al peligro de reducción de la infiltración de esta agua en el suelo, en la figura 1 se observa que los valores promedio de cada PTAR se ubican dentro de la zona que indica que se puede provocar una reducción ligera de la infiltración en los suelos. Se puede apreciar que la opción más conveniente para evitar dicha reducción de infiltración en el suelo es bajar su valor del RAS a menos de dos.

El peligro del sodio en las propiedades del suelo y la producción agrícola por los efluentes provenientes de las PTAR no muestran ser un serio problema si se toman en cuenta las opciones técnicas preventivas. En el caso de CSR, Castellanos *et al.* (2000) mencionan que este no es un parámetro de grave riesgo, pues mediante el uso de ácidos se pueden destruir los

carbonatos y bicarbonatos y son sustituidos por el anión acompañante del ácido que se utilice para tal fin, tal como sulfato, nitrato o fosfato, cuando se usa ácido sulfúrico, ácido nítrico o ácido fosfórico, respectivamente. Ellos mismos mencionan que su uso será dependiente de los costos que cada uno representa. En fertirrigación es vital el uso de ácidos, pues al no eliminar los carbonatos y bicarbonatos éstos precipitan juntamente con el calcio en los emisores y provocan su taponamiento, acortando la vida de la cintilla.

Para mejorar el RAS ajustado, y a la vez la capacidad de infiltración del agua en los suelos que se riegan con aguas de las PTAR que resultaron condicionadas (Tabla 4 y Figura 1), existe la factibilidad de hacerlo a través de la adición de alguna forma soluble de calcio, con lo cual el RAS se reduce (Ortiz, 2000). Este autor menciona que lo más común es aplicar yeso, aunque por su baja solubilidad (1.9 g de yeso 100% puro L⁻¹ de agua), existe un límite en el incremento máximo de calcio que se puede proporcionar al agua. En la práctica, se puede recomendar la adición de yeso con 30% de pureza a las aguas en una proporción de 5 kg m⁻³ por cada unidad de dS m⁻¹ de CE del agua.

Tabla 4. Valores promedios de cada PTAR, datos descriptivos y clasificación del RAS ajustado.

PTAR	RASajustado* (me L^{-1}) ^{1/2}		
1	3.8 (± 0.8)		
2	3.6 (± 0.8)		
3	4 (± 0.7)		
4	3.5 (± 1.0)		
5	3.5(± 1.4)		
6	6.2 (± 0.8)		
DATOS DESCRIPTIVOS:			
Promedio general (n=60)	4 (± 1.3)		
Rango general	5.79		
Valor máximo general	7.12		
Valor mínimo general	1.33		
CLASIFICACIÓN RAS ajustado:*			
	Tipo de arcilla		
	montmorillonita	ilita	caolinita
Buena	< 6	<8	<16
Condicionada	6-9	8-16	16-24
Mala	>9	>16	>24

*Metodología Ayers y Westcot (1976).

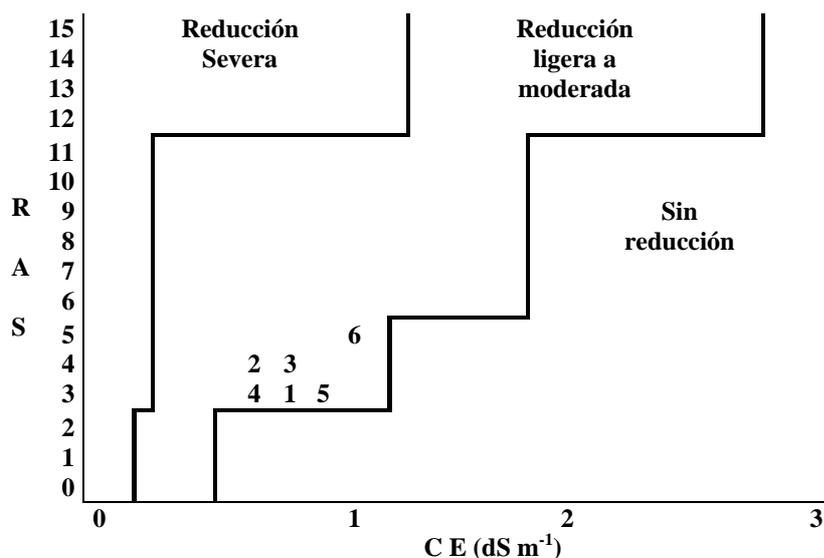


Figura 1. Clasificación de las aguas por el peligro de reducción de infiltración del agua en el suelo, según metodología de la FAO (valor promedio por PTAR). Adaptado de datos de metodología FAO, citado por Martínez (2003).

Otra opción es la aplicación de algún formador de calcio, tales como el ácido sulfúrico, polisulfuro de amonio o calcio y el azufre. Estos productos reaccionan con los carbonatos de calcio del suelo y producen sulfato de calcio, el cual funciona igual que el yeso agrícola. Para esto es necesario que el suelo sea calcáreo, esto es, con más del 2% de CaCO_3 . La cantidad de H_2SO_4 a incorporar está en función de la concentración de CO_3^{2-} y HCO_3^- presentes, de acuerdo a la siguiente ecuación (Miyamoto y Stroehlein, 1986):

$$\text{Cantidad de ácido sulfúrico (me L}^{-1}\text{)} = \text{CO}_3^{2-}(\text{me L}^{-1}) + \text{HCO}_3^-(\text{me L}^{-1}) - 0.5.$$

La fertirrigación es una tecnología muy recomendable que podría facilitar las acciones preventivas a los peligros del sodio, ya que a través de este sistema se pueden distribuir los productos citados que mejoran tanto los CSR como el RAS ajustado. Esta tecnología está siendo fomentada por la autoridades agrícolas de la zona del presente estudio (Huerta, 2008; Jasso, 2008), lo que consideramos una medida muy positiva que además puede aportar otras ventajas agronómicas como ahorro de agua, racionalización de fertilizantes y mejoradores, control de la contaminación, entre otras (Cadaña, 2000). Productores de Chihuahua y de la Comarca Lagunera en México, han adoptado esta tecnología en el cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa*) donde se reportan beneficios como: ahorros en el volumen de agua, aumentos del 20 al 50% en la producción, mejor calidad de forraje y una reducción a los días de corte de entre 18 a 20 días, todo con respecto al riego rodado (Gómez, 2008). Este cultivo es uno de los productos de mayor importancia económica en la zona (Cirelli, 2000).

Iones Tóxicos

Cloro. Los promedios de cada una de las PTAR, y el promedio general, presentaron valores por arriba de 1 me L^{-1} y menores a 5 me L^{-1} , por lo que dichas aguas se clasifican como condicionadas (Tabla 4). El mejoramiento de esta agua a nivel PTAR puede realizarse por tratamiento terciario, también conocido como avanzado. Ramalho (1996) menciona que algunos tratamientos como ósmosis inversa, carbón activado, electrodiálisis y otros pudieran utilizarse para eliminar este tipo de sustancias. Sin embargo, el mismo autor menciona que aún no se realiza en todas las PTAR, pero será aplicado en un futuro según la necesidad del reuso del agua. Otros autores mencionan que el reposo y agitación de las aguas promueven una descloración.

A pesar de lo anterior, los valores de cloruros encontrados en las aguas de las seis PTAR son aún manejables a nivel parcela si se seleccionan cultivos tolerantes a la salinidad. Por otro lado, existen especies muy sensibles que no toleran dichos niveles, como es el caso de los cítricos (Ortiz, 2000). Aún así, en frutales la susceptibilidad está asociada al patrón y la variedad que se utiliza (Ayers y Wescot, 1985). Estos autores reportaron este tipo de respuesta en fresa, donde la variedad Lassen es más tolerante que la variedad Shasta.

Otra práctica agronómica a aplicar para reducir el efecto del cloro en los cultivos es el manejo del antagonismo iónico entre el Cl^- y el NO_3^- . Mengel y Kirkby (1982) mencionan que el efecto del cloro puede ser reducido con la aplicación de nitratos en el

agua, ya que este compite en la absorción por las plantas debido a su misma carga y diámetro semejante. Concluyen que en estos suelos se puede usar NO_3^- para disminuir la absorción de Cl^- considerando que este ión es esencial en la nutrición vegetal, el cual es la forma más preferible por las plantas de absorber el nitrógeno. Por su parte Segura y Cadahía (2000) encontraron que la concentración de cloruros en savia se redujo de manera proporcional a la aplicación de nitratos en la solución en un experimento utilizando aguas con altos contenidos de Cl^- y aplicando nitratos en la solución nutritiva para el cultivo del tomate.

Nakayama (1982) y Ayers y Wescot (1985) mencionan que hay que tener cuidado cuando se riegan cultivos por aspersión, ya que el Cl^- también puede ser absorbido por las partes aéreas de la planta. Esta situación no es un problema para los efluentes de las PTAR, ya que los valores de cloro fueron menores a los 3 me L^{-1} , valor que según Ortiz (2000) no provoca daños al follaje. Sin embargo, habrá que cuidar la acción conjunta de las aguas y el suelo ya que Mengel y Kirkby (1982) mencionan que los cultivos que crecen en suelos afectados por sales frecuentemente muestran síntomas de toxicidad por Cl^- , estos incluyen el quemado de las puntas o márgenes, bronceado y amarillamiento prematuro y abscisión de hojas. La reducción en rendimiento y calidad de los cultivos está asociada con niveles de 0.5% de Cl en tejido para cultivos sensitivos y 4% ó más en la materia seca de cultivos tolerantes.

Boro. Los valores promedio de cada una de las seis PTAR presentaron valores de B de 3 ppm ó más, por lo que se clasifican como condicionadas (Tabla 6). Las alternativas de tratamiento a nivel PTAR y sus inconvenientes son las mismas que se mencionan para el caso del cloro.

Consideramos bajo el nivel de boro excedido, sin embargo habrá que estar preparado en cuanto a las prácticas agronómicas a aplicar como el uso de especies vegetales. Palacios y Aceves (1970) mencionan como tolerantes a la alfalfa, remolacha azucarera, remolacha forrajera, betabel, frijol, cebolla, nabo, col, lechuga, zanahoria, espárrago (la mayoría cuentan con potencial de establecerse en la zona); como semitolerantes mencionan a la papa, algodón, tomate, rábano, chícharo, olivo, cebada, trigo, maíz, sorgo, avena, calabaza, pimiento, camote; y como sensibles se encuentran frutales dentro de los que se encuentran el nogal, vid, durazno, naranjo, manzano, entre otros.

Mengel y Kirkby (1982) mencionan que la fitotoxicidad por boro se manifiesta con amarillamiento de los ápices de las hojas seguido por

una necrosis progresiva que inicia en los márgenes hasta llegar a la vena principal, las hojas toman un aspecto corchoso y se caen prematuramente, estos efectos se han encontrado de manera similar en diversas especies. Los autores recomiendan cuidado especial de este elemento en zonas con climas áridos y semiáridos donde los niveles de boro en el suelo suelen ser altos, por lo que la calidad del agua y forma de riego es muy importante.

Sodio. Los promedios de cada PTAR, así como el general muestran valores arriba de 3 me L^{-1} y menores a 9 me L^{-1} , por lo que se clasifica como de ligera o moderada restricción (Tabla 6). Al igual que en cloro y boro los métodos físicos aún no son una opción factible para el reutilización de aguas en la agricultura. Castellanos *et al.* (2000) mencionan que el sodio compite con otros iones, como el potasio, durante la toma de nutrimentos del cultivo, situación que se debe de considerar en la nutrición de los cultivos dado que el potasio es un macro elemento para las plantas. Asimismo, se debe de tener especial cuidado cuando se utilice sistemas de riego por aspersión por el efecto tóxico al acumularse en las hojas de algunos cultivos. Ortiz (2000) menciona que aguas con más de 3 me L^{-1} de Na^+ son inadecuadas para el riego por aspersión, los valores promedios de las PTAR exceden dicho valor, por lo que el uso de riego por goteo muestra ser una vez más una opción tecnológica a implementar en la zona de estudio.

Al igual que los iones cloro y boro, cada cultivo tiene un grado de tolerancia diferente al ión sodio, cultivos como el aguacate, maíz, frijol, cítricos, durazno, chícharo, lentejas, cacahuete, entre otros, son muy sensibles a la presencia de sodio, mientras que cultivos como alfalfa (más importante cultivo en la zona), cebada, betabel, remolacha, pasto rhodees, algodón son considerados tolerantes al sodio.

pH

Los promedios de cada PTAR, así como el general muestran valores entre 6.5 y 8.4, por lo que se clasifican como normales según la metodología de la FAO (Tabla 6). El promedio general fue de 7.26, este valor puede ser mejorado disminuyendo el valor hasta niveles de 6 a 6.5, el cual es ideal para los cultivos y se puede lograr mediante la fertirrigación, para ello se utilizan de manera muy común fertilizantes ácidos como el nítrico y fosfórico, que aportan los macroelementos nitrógeno y fósforo, y eliminan, a la vez los carbonatos y bicarbonatos de las aguas que contienen estos aniones como se revisó en el parámetro de carbonato de sodio residual (CSR).

Tabla 5. Valores promedios de cada PTAR, datos descriptivos y clasificación de cloro, boro y sodio.

PTAR	Cl (me L ⁻¹)	B (ppm)	Na (me L ⁻¹)
1	1.6 (± 0.1)	0.4 (± 0.1)	4 (± 0.46)
2	1.1 (± 0.6)	0.3 (± 0.06)	3.86 (± 0.47)
3	1.5 (± 0.7)	0.37 (± 0.04)	3.8 (± 0.85)
4	1.3 (± 0.4)	0.42 (± 0.21)	3.6 (± 0.48)
5	2.3 (± 0.6)	0.47 (± 0.1)	4 (± 1.8)
6	2.3 (± 0.8)	0.5 (± 0.11)	5.71(± 0.63)
DATOS DESCRIPTIVOS:			
Promedio general (n=60)	1.67 (± 0.72)	0.42 (± 0.13)	4.2 (± 1.16)
Rango general	2.81	0.76	5.66
Valor máximogeneral	3.22	0.96	7.74
Valor mínimo general	0.41	0.2	2.08
CLASIFICACIÓN Cl y B:*			
Buena	< 1.0	< 0.3	
Condicionada	1-5	0.3-4	-
No recomendable	> 5	> 4	
CLASIFICACIÓN Na:**			
Ninguna restricción	-	-	< 3
Ligera a moderada restricción			3-9
Restricción severa			> 9

*Metodología de Palacios y Aceves (1970). ** Metodología FAO.

Sólidos disueltos totales

Los promedios de cada PTAR, así como el general muestran valores entre 450 y 2000 mg L⁻¹, por lo que se clasifica como de ligera o moderada restricción (Tabla 6). El promedio general es de 659 mg L⁻¹, valor que se considera no problemático para riego por gravedad, pero para sistemas de riego localizado es el inicio de problemas de obstrucción, sin embargo el problema es mínimo y se podría evitar manteniendo ligeramente ácido el pH del agua. En cuanto a los sólidos en suspensión que esta agua suelen contener, representan un problema para los sistemas de riego presurizado, en especial por goteo, problema que se puede resolver eliminando los sólidos en suspensión a través de los diversos sistemas de filtrado que están disponibles en el mercado como los hidrociclones, filtros de arena, filtros de malla y filtros de anillas (Montalvo, 2000).

Hasta el momento se ha determinado que los parámetros del agua que han sido condicionados son susceptibles de ser mejorados mediante diversas técnicas orientadas a un uso del agua y suelo eficiente y de manera sustentable; sin embargo, éstas deberán de ser acompañadas de medidas jurídicas que orienten a este manejo racional como lo puede ser la incorporación de los índices de calidad de agua para

riego agrícola en la NOM-003-ECOL-1997, dicha propuesta necesita de una mayor evidencia a nivel nacional que refleje esta necesidad. De igual manera, el apoyo económico y la asesoría oficial será determinante para el buen aprovechamiento de este recurso.

CONCLUSIÓN

Los efluentes de las seis PTAR en estudio muestran ser de buena calidad en cuanto a los indicadores de RAS y pH, que obtuvieron valores promedios de 3.8 (me L⁻¹)^{1/2} (± 1.4) y 7.26 (± 0.40), respectivamente. El resto de los indicadores se clasifican como de calidad condicionada, los valores promedio fueron: conductividad eléctrica 0.864 dS m⁻¹ (± 0.049), salinidad efectiva 5.7 me L⁻¹ (± 0.61), salinidad potencial 3.17 me L⁻¹ (± 0.8), carbonato de sodio residual 1.6 me L⁻¹ (± 1.7), RAS ajustado 4 (me L⁻¹)^{1/2} (± 1.3), peligro de reducción de la infiltración fue moderada, cloro 1.67 me L⁻¹ (± 0.72), boro 0.42 ppm (± 0.13), sodio 4.2 ppm (± 1.16), sólidos disueltos totales 546 mg L⁻¹ (± 110). El mejoramiento de estos indicadores, y por lo tanto, el reutilización sustentable de este recurso, es posible a través de la implementación de diversas opciones tecnológicas a nivel agrosistema. Entre éstas destacan: lavado de sales del suelo, aplicación de ácidos, aplicación de yeso, selección de cultivos

tolerantes, encalados, implementación de sistemas de riego por goteo, fertirrigación y rotación de cultivos. Otra de las medida relevantes es la adecuación de los instrumentos jurídicos relacionadas a la reutilización agrícola de los efluentes, para ello se deberá de crear una mayor evidencia a nivel nacional que refuerce esta propuesta.

Tabla 6. Valores promedios de cada PTAR, datos descriptivos y clasificación de pH y SDT.

PTAR	pH	SDT (mg L ⁻¹)
1	7.23 (± 0.35)	595 (± 110)
2	6.70 (± 0.44)	445 (± 49)
3	7.30 (± 0.42)	513 (± 104)
4	7.58 (± 0.37)	441(± 48)
5	7.24 (± 0.24)	607 (± 97)
6	7.20 (± 0.37)	726 (± 103)
DATOS DESCRIPTIVOS:		
Promedio general (n=60)	7.26 (± 0.40)	546 (± 136)
Rango general	1.83	659
Valor máximo general	8.4	897
Valor mínimo general	6.57	238
CLASIFICACIÓN pH:*		
Normal	6.5 – 8.4	
CLASIFICACIÓN SDT:*		
Ninguna restricción	< 450	
Ligera a moderada restricción	450-2000	
Restricción severa	> 2000	

SDT = Sólidos disueltos totales. * Metodología FAO.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el financiamiento para la realización de este trabajo al Programa de Mejoramiento de Profesores de la Secretaría de Educación Pública de México (PROMEP). Proyecto: "Evaluación de aguas para riego agrícola provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales", clave PROMEP/103.5/04/2376.

REFERENCIAS

Aceves, N. E. 1987. Los terrenos ensalitrados y los métodos para su recuperación. ISAAC, Fac. Agronomía, Dpto. Suelos y Agroquímica, La Habana. 144 p.

Asano Takashi. 1998. Wastewater Reclamation and Reuse: Water Quality Management Library, Volume X (Water Quality Management

Library , No 10) (Hardcover). Publisher: CRC; 1 edition (June 15, 1998) 1528 p.

Ayers, R. S. and D. W. Westcot. 1976. Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and drainage. Paper No. 29, Roma.

Ayers, R. S. and D. W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and drainage. Paper No. 29, rev. 1, Roma. 174 p.

Cadahia, L. C. 2000. Fertirrigación. Aspectos básicos. In: Fertirrigación, cultivos hortícolas y ornamentales. Coordinador Carlos Cadahía L. Ediciones mundi-prensa, 2ª edición. pp. 63-79.

Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle Bueno, A. Aguilar Santelisis. 2000. La calidad del Agua para uso agrícola. In: Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Ed. INCAPA, 2ª edición. pp. 158-166.

CEASLP 2000. Plantas de tratamiento de aguas residuales en San Luis Potosí y zona conurbada. Folleto informativo Comisión Estatal del Agua de San Luis Potosí, México.

Cirelli, C. 1999. El agua agrícola para las zonas urbanas. El caso de la ciudad de San Luis Potosí. El Colegio de San Luis. 78 p.

Cirelli, C. 2004. Agua desechada, agua aprovechada. Cultivando en los márgenes de la ciudad. Editado por El Colegio de San Luis, 223 p.

Cisneros, E. O. X., González, M. J. 2001. Reuso del agua en la agricultura en invernadero. XI Congreso nacional de irrigación. Simposio 9, contaminación, tratamiento y reuso del agua. Guanajuato, Gto, México. pp. 55-59. IMTA

Costa, J. L. 1999. Calidad de aguas para riego en el sudeste bonaerense. INTA-Proyecto de Intensificación de la Producción de Granos. Novedades en siembra directa, riego y fertilización. Serie Informe de Avance No. 6. Pergamino, pp.10-12.

Cueto Wong, J. A., D. G. Reta Sánchez, G. González Cervantes, I. Orona Castillo y J. Estrada Ávalos. 2005. Características químicas de aguas de pozos profundos del acuífero de Villa Juárez, Durango. Agrofaz. Vol.5, num. 2. pp. 869-874.

de Santiago, J. 2007. Exceso de nutrientes. Principales factores que incrementan la salinidad o acidez

- del suelo. Productores de Hortalizas. Año 16, No. 3, marzo. pp. 19-20.
- Diario Oficial de la Federación de los Estados Unidos Mexicanos. 1998. Norma Oficial Mexicana - 003-ECOL-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. 21 de septiembre de 1998.
- Fernández, G. R. 1990. Algunas experiencias y proposiciones sobre recuperación de suelos con problemas de sales en México. *Terra* 8: 226-240.
- Flores, D. A., V. Gálvez, O. Hernández, J. G. López, A. Obregón, R. Orellana, L. Otero y M. Valdés. 1996. Salinidad: un nuevo concepto. Universidad de Colima, Universidad Autónoma Metropolitana, Ministerio de Agricultura de Cuba. 137 p.
- Glynn, J. H. 1999. Contaminación del agua. *In: Ingeniería ambiental*. Glynn, J. H. y G. W. Heinke. Segunda edición. Pearson, Prentice Hall. pp. 421-491.
- Gómez, B. J. G. 2008. En la agricultura es necesario apuntar hacia la innovación. Alfalfa en riego por goteo subsuperficial. *In: deRiego, protección y nutrición de hortalizas y frutas*. Año 6, No. 38, Junio-Julio. pp. 60-64.
- Gutiérrez T. R. 2006. Con tanque Tenorio se preservarán al año 14 millones de m³. *In: Diario El Sol de San Luis*. Sección Local, pág. 1/A. 19 de marzo del 2006. San Luis Potosí, México.
- Huerta Díaz, J. 2008. Ventajas y desventajas en la tecnificación del riego: transición del sistema tradicional a sistema de riego por goteo. *In: Primer foro regional agrícola del acuífero de San Luis Potosí (memorias)*. 6^a ponencia. Edición Gobierno del Estado de San Luis Potosí, CONAGUA.
- INEGI. 2009. Clima. San Luis Potosí. Disponible en <http://cuentame.inegi.gob.mx/monografias/informacion/slp/territorio/clima.aspx?tema=me&e=24>. Fecha de consulta 25 de febrero del 2009.
- Jasso Chaverría, C. 2008. Riego por goteo en hortalizas y cultivos básicos en San Luis Potosí. *In: Primer foro regional agrícola del acuífero de San Luis Potosí (memorias)*. 7^a ponencia. Edición Gobierno del Estado de San Luis Potosí, CONAGUA.
- Jiménez Cisneros, B. E. 2001. Contaminación del agua. *In: La contaminación ambiental en México*. Autor Jiménez Cisneros, B. E. Ed. Limusa. pp 33-316.
- Keren, R. y S. Miyamoto. 1990. Reclamation of saline, sodic, and boron affected soils. *In: K. K. Tanji (ed.). Agricultural salinity assessment and management*. ASCE manuals and reports on engineering practice 71. New York.
- Martínez Cruz, A., M. Mena y A. Noa. 1986. Residuos orgánicos de las fábricas de azúcar de caña y alcohol como mejoradores de suelos salinos. I. Efectividad en el lavado de la sales. *Ciencia Agrícola*, 26: 103-113.
- Martínez Elizondo, R. 2003. Diseño agronómico del riego. IX Curso Internacional de Sistemas de Riego. UACH, vol. I, cap. 2, 17-78.
- Maas, E. V. 1984. Crop tolerance. *California Agriculture*, 38 (10): 20-21.
- Mengel, Konrad and Ernest. A. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. International Potash institute. Bern, Switzerland. 655 p.
- Miller, W. P. y J. Cifres. 1998. Effect of sodium nitrate and gypsum on infiltration and erosion of a highly weathered soil. *Soil Science*, 145: 304-309.
- Miyamoto, S, and J. L. Stroehlein. 1986. Sulfuric acid effects on water infiltration and chemical properties of alkaline soils and water. *Transactions American Society Agricultural Engineers*. 29: 1288-1296.
- Montalvo, L. T. 2000. Cabezal de riego. *In: Fertirrigación, cultivos hortícolas y ornamentales*. Coordinador Carlos Cadahía L. Mundi-Prensa, 2^a edición. pp. 247-263.
- Ortiz Olgún, M. 2000. La calidad de las aguas de riego. Universidad Autónoma de Chapingo. 53 p.
- Otero, L. 1993. Particularidades del intercambio catiónico de los suelos oscuros plásticos de la provincia Granma, relacionado con su manejo. Tesis doctorado en ciencias agrícolas. Ministerio de agricultura. Instituto de suelos. Cuba. 100 p.

- Palacios, V. O. y Aceves, N. E. 1970. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. 49 p.
- PND. 2007. Aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. 4.1 Agua. Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. Presidente de México, Felipe Calderón Hinojosa. www.presidencia.gob.mx. Disponible: <http://pnd.calderon.presidencia.gob.mx/index.php?page=agua>. Fecha de consulta 18 de septiembre del 2008.
- Plenecassagne, A., E. Romero F. y C. López B. 1997. Manual de laboratorio. Análisis de suelos, aguas, plantas. CENID-RASPA-INIFAP/ORSTOM. Gómez Palacios, Durango, México. 173 p.
- Ramalho, R. S. 1996. Tratamiento terciario de las aguas. In: Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté, S. A. pp. 585-696.
- Rhoades, J. D. and S. D. Merrill. 1976. Assessing the suitability of water for irrigation: Theoretical and empirical approaches. In Prognosis of salinity and alkalinity. FAO soils bulletin 31, FAO, Rome, pp. 69-110.
- Rhoades, J. D., Kandiah and A. M. Mashali. 1992. The use of saline waters for crop production. FAO, Irrigation and Drainage, Paper No. 48, Roma.
- Segura, P. M. L. y C. Cadahía. 2000. Fertirrigación de cultivos hortícolas. In: Fertirrigación, cultivos hortícolas y ornamentales. Coordinador Carlos Cadahía L. Ediciones mundi-prensa, 2ª edición. pp. 342-415.
- Singh, G., D. P. Sharma and K. K. Metha. 1984. Effect of sources, levels and methods of N application on rice in sodic soils. National Symposium Nitrogen. Plant Soil Fertilizer, Hisser, pp: 190-196.
- Stevens, D. P., M. J. McLaughlin and M. K. Smart. 2003. Effects of long-term irrigation with reclaimed water on soils of the Northern Adelaide Plains, South Australia. Australian Journal of Soil Research, 41: 933-948.
- Suarez, D. L. 1981. Relationship between pHc and SAR and an alternative method for estimating SAR of soil or drainage water. Soil Science Society America Journal, 45: 469-475.
- Villanueva Díaz, J. y Hernández Reyna A. 2001a. Opciones productivas para sitios con problema de sales en la zona media potosina. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noreste, Campo Experimental Palma de la Cruz. México. Folleto técnico No. 16.
- Villanueva Díaz, J. y Hernández Reyna A. 2001b. Calidad de agua en tres áreas de San Luis Potosí y su efecto en la producción de cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noreste, Campo Experimental Palma de la Cruz. México. Folleto técnico No. 13.
- Wagner, M., M. Mireles, L. Nieves y G. Medina. 2003. Influencia del riego con aguas servidas en suelos bajo mango en el asentamiento "Primitivo de Jesús", estado de Aragua. Revista digital del centro de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. No. 3, septiembre-diciembre.

*Submitted October 29, 2008 – Accepted February 08, 2009
Revised received March 18, 2009*