



Artículo: COMEII-16012

## II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016

Chapingo, Edo. de México, del 08 al 10 de septiembre

### EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA TRATADA CON FINES DE REÚSO EN CULTIVOS ALTERNATIVOS PARA EL DISTRITO DE RIEGO 009, VALLE DE JUÁREZ, CHIH.

**Olga Xóchilt Cisneros Estrada<sup>1\*</sup>; Javier Ramírez Luna<sup>1</sup>; Juan L. García Rojas<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, C.P.62550 Jiutepec, Morelos, México. xochitl@tlaloc.imta.mx. (\*Autor para correspondencia).

<sup>2</sup> Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, C.P.62550 Jiutepec, Morelos, México

#### Resumen

En México se generan 230.2 m<sup>3</sup>/s., de aguas residuales municipales, y el caudal tratado es de 105.9 m<sup>3</sup>/s., (CONAGUA, 2014). Lo que permite mejorar su calidad y potencia su reúso en la agricultura. El Valle de Juárez situado en una zona con déficit hídrico colindante con Estados Unidos, ocupa el segundo lugar en México en el aprovechamiento de aguas residuales para agricultura. La evaluación de los efluentes tratados, debe ser el primer paso en todo proyecto de reúso considerando que la calidad del agua varía en el tiempo (horas del día) y espacio (temporadas del año), y aunque las aguas residuales son básicamente un 99% agua y 1% de sólidos, en ella pueden estar presentes contaminantes, que cobran importancia por los riesgos de salud y ambientales que pueden ocasionar si el agua no fue adecuadamente tratada o si a pesar de ser tratada, no cumple con la normatividad vigente en materia de agua para reúso. El rechazo que la sociedad expresa por el reúso de las aguas residuales en cultivos que sirvan para la alimentación humana, ha sido un factor para proponer cultivos alternativos que puedan ser regados con éste recurso hídrico y que estos se conviertan en materia prima para la industria y/o parte de los insumos de la dieta para el ganado, además de fuente de ingreso para los productores del Distrito de Riego 009 Valle de Juárez.

**Palabras clave adicionales:** Efluentes tratados, reúso, cultivos alternativos.



## Introducción

El D.R. 009 Valle de Juárez, Chihuahua; ocupa el segundo lugar después del Valle del Mezquital en Hidalgo, en el uso de aguas residuales para riego agrícola. Se ubica entre las coordenadas 30°50' y 30° 45' Latitud Norte y 105° 30' y 106° 30' Longitud Oeste., a una altura media de 1084 msnm. La temperatura media anual es de 18°C, presentándose máximas de más de 40°C en verano y mínimas de -4°C que se presentan en invierno. El Valle lo conforma una franja fronteriza, alargada que sigue la margen derecha del río Bravo, asentado en la zona Centro-Norte del Estado de Chihuahua. Según datos de la Dirección Local de la CONAGUA en Cd. Juárez, este valle posee una superficie de 24,492 ha, de las cuales se riegan en promedio 11,500 ha., con aguas residuales mezcladas (aguas superficiales provenientes del Río Bravo (74 hm<sup>3</sup>/año); aguas subterráneas provenientes de los Pozos (16.872 hm<sup>3</sup>/año y aguas residuales tratadas de las plantas Norte y Sur (125.078 hm<sup>3</sup>/año). Cabe aclarar que los volúmenes antes citados pueden variar sobre todo el de las aguas superficiales que depende de las condiciones climatológicas entre ellas las precipitaciones pluviales, que cuando disminuyen afectan la entrega de agua por parte de Estados Unidos, derivado del Tratado Internacional de 1944.

Las aguas residuales crudas se comenzaron a usar en el Valle de Juárez desde los años cuarenta, debido al déficit de agua para suplir la demanda de riego en la agricultura, sin embargo fue hasta finales de los noventa (1998) cuando se construyeron dos plantas de tratamiento ante la demanda de la sociedad de mejorar la calidad del agua que se usa en el riego agrícola. Las Plantas de tratamiento de aguas residuales Norte y Sur comenzaron a operar a mediados del año 2000 y tienen una capacidad de tratamiento de 2.5 y 1.0 m<sup>3</sup>/s (Cervera, 2007). A partir del 2011, la Junta Central de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JCAS) y el JMAS Juárez (Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez) realizaron la ampliación y modernización de las 2 plantas, modificando sus procesos para evolucionar de un tratamiento primario avanzado a un tratamiento secundario (biológico) que es con el que actualmente operan, lográndose un importante avance en la calidad del agua residual tratada para su reúso para cumplir con lo que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996; factores que motivaron el desarrollo del presente trabajo.

Según datos de la Estadística agrícola 2013-2014, la superficie sembrada de riego en el D.R. 009, fue de 10,170 hectáreas. El principal cultivo de Otoño Invierno es el Trigo grano, de Primavera-Verano es el algodón y de Perennes la Alfalfa.



## **Materiales y métodos**

### **Caracterización de la Calidad del Agua Residual**

Dado que el objetivo principal del trabajo fue la evaluación de los efluentes tratados con fines de reúso en cultivos alternativos, el primer paso consistió en una revisión bibliográfica sobre los parámetros más importantes a considerar para evaluar la calidad del agua. El segundo paso consistió en una verificación de la cantidad y calidad del agua de las plantas Norte y Sur, a través de los reportes de aforos de los últimos 10 años y de muestreos de agua de los efluentes; (en el período agosto-noviembre de 2011, que coincidía con el período de mayor demanda del agua de riego de los cultivos sembrados en el ciclo P-V y con los primeros riegos de los cultivos sembrados en O-I); considerándose la determinación de los parámetros más importantes que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 06 de enero de 1997, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Especificándose en ella entre otras cosas los límites de contaminantes de las aguas residuales que se descarguen a suelos con fines de riego agrícola. Además se tomaron parámetros de campos, considerándose de relevancia entre otros la determinación de la Conductividad Eléctrica, para determinar si había alguna restricción de uso por salinidad. En el caso de los parámetros que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la determinación de: Coliformes fecales, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales y grasas y aceites se tomaron cuatro muestras simples. Y para los huevos de helmintos, dos muestras compuestas. Y para los metales pesados y cianuros cuatro muestras simples, de acuerdo con lo establecido en los requerimientos de muestreo citados en la Norma NMX-AA-003. Las muestras tomadas fueron procesadas en el Laboratorio de Calidad del agua del IMTA, que encuentra certificado y acreditado por la "ema" (Entidad Mexicana de Acreditación), bajo la norma NMXEC-17025-2006, además de ser un laboratorio aprobado por la CONAGUA.

### **Revisión del patrón de cultivos tradicional y elaboración de propuesta sobre cultivos alternativos**

Se analizó la estadística agrícola de los ciclos agrícolas de Otoño-Invierno, Primavera-Verano y Perennes, para establecer cuál es el patrón tradicional de cultivos en el área de estudio analizando superficies sembradas, rendimientos y la relación Beneficio-Costo de éstos. Posteriormente se llevó a cabo una revisión bibliográfica de cultivos alternativos con posibilidades de regarse con aguas residuales tratadas y finalmente se elaboró la propuesta de cultivos alternativos que pueden ser producidos y regados con las aguas residuales tratadas, en el D.R. 009.



## **Análisis y discusión de resultados**

### **Parámetros a considerar en la evaluación de la calidad del agua para riego**

Con fines de riego se debe hacer un muestreo representativo y determinar los siguientes parámetros: CE, pH, sales totales y disueltas calcio, magnesio, sodio, potasio, nitratos, carbonatos, bicarbonatos, cloruro y boro (Marín *et al* 2002). En riego presurizado se debe considerar las características físicas y biológicas del agua (Cánovas, 1986). Para evaluar la calidad de las aguas residuales de tipo municipal que se utilizan en el riego agrícola, se procede tomando los mismos parámetros que para agua de primer uso (limpia), determinando los parámetros antes mencionados, y también se determina su contenido bacteriológico (Coliformes fecales y Huevos de Helminthos), y solo en caso de que las aguas residuales municipales vengan mezcladas con aguas residuales industriales se analizaran metales pesados (NOM-001-SEMARNAT-1996). Además se debe considerar a la conductividad eléctrica (CE), que es una medida de referencia que indica la cantidad de sales disueltas en el agua de riego que determina si existe alguna restricción de uso; a este respecto Ayers y Wescot (1985) establecieron 3 rangos de severidad en cuanto a la clasificación de la Conductividad eléctrica, que definen el grado de restricción de uso del agua con fines de riego:

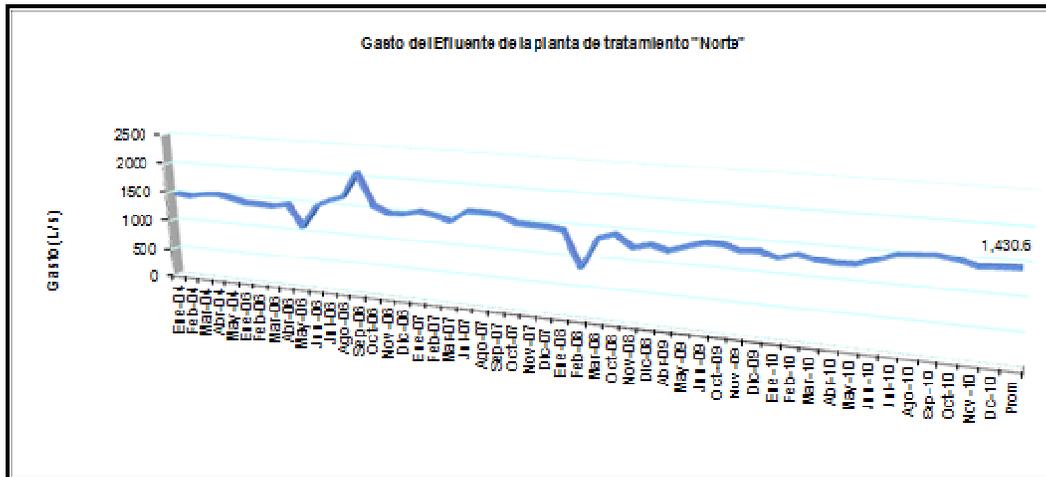
- a) Ninguna (CE menor a 0.7 dS/m)
- b) Ligera a Moderada (CE de 0.7 a 3.0 dS/m)
- c) Severa (CE mayor de 3.0 dS/m)

El agua utilizada para riego en el D.R. 009, dependiendo de su fuente de abastecimiento, presenta variación en cuanto a Conductividad Eléctrica (CE): donde el agua del Río Bravo presenta un contenido medio de sales disueltas entre 650 y 1,000 ppm, (1.01 y 1.13 dS m<sup>-1</sup>), el agua residual tratada de las plantas Norte y Sur reporta una concentración de sales promedio de 1,300 ppm (2.03 dS m<sup>-1</sup>) y el agua de los pozos es muy variable, 19% del agua extraída tiene concentraciones de sales disueltas menores a 1,500 ppm, (2.34 dS m<sup>-1</sup>), un 51% contiene entre 1500 y 3000 ppm (2.34 y 4.68 dS m<sup>-1</sup>) y el 30% restante excede las 3,000 ppm (4.68 dS m<sup>-1</sup>) de sales totales disueltas (IMTA, 2011).

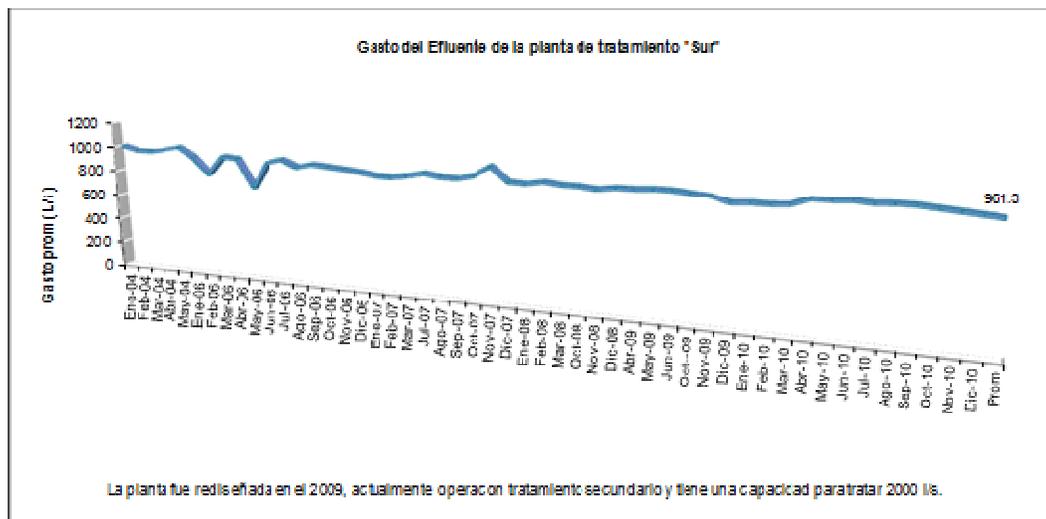
### **Aforos de Efluentes y Muestras de agua**

Se procesaron los reportes de aforos de los efluentes de las Plantas, bajo el enfoque de análisis retrospectivo de 10 años que nos permitiera establecer con mayor confiabilidad la oferta de agua tratada; determinándose un flujo promedio de 1,430.6 L/s en la planta norte y 961 L/s en la planta Sur, para un total de 2,391 L/s con potencial para el reúso en riego agrícola del D.R. 009 (Gráficas 1 y 2). Las muestras de agua tomadas de los efluentes y del sitio Loma Blanca (donde se unen) registraron promedios que se pueden observar en los cuadros 1 y 2.

Los resultados mostrados en el cuadro 1, en relación con los efluentes de las plantas, indican que por cuanto a CE existe un riesgo moderado de uso. En cuanto a Coliformes Fecales las aguas se encuentran dentro de los límites máximos que establece la NOM-001-SEMARNAT-96, y por lo tanto pueden ser reusadas en riego agrícola. En cuanto a Huevos de Helminthos las provenientes de la Planta Norte pueden ser reusadas en riego sin restricciones y sólo las provenientes de la planta Sur., pueden ser reusadas bajo riego restringido.



Gráfica 1. Aforos del efluente Planta Norte.



Gráfica 2. Aforos del efluente Planta Sur.



**Cuadro 1.** Resultados de contaminantes básicos, en los efluentes.

Parámetros analizados	Planta Norte	Planta Sur	Loma Blanca	Límite de la NOM-001-SEMARNAT-96
CE (dS/m)	1.300	1.910	1.805	N.A
C.F. (NMP/100mL)	< 3	5.3	1.50E+06	1000*
H.H (Huevos/L)	0	2	1	5 en riego restringido y 1 en riego no restringido
G y A (mg/L)	7.52	15.63	13.03	25*
DBO5 (mg/L)	4.35	11.55	24.5	N.A
SST (mg/L)	9.53	27.82	47.15	N.A

\*Promedio Diario. N.A=(No aplica).

En cuanto a los otros parámetros analizados la Planta Norte cumple satisfactoriamente con el límite que establece la normatividad vigente, mientras que el efluente de la Planta Sur, rebasó ligeramente el límite establecido de G y A y SST, por lo que para reusarlas se tendrá que ajustar el sistema de tratamiento o implementar un sistema de pulimento para sedimentación y filtrado antes de aplicarlas en riego.

Los resultados de los muestreos indicaron que los efluentes de ambas plantas cumplen con los límites de metales pesados que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996, no representando riesgos de afectación a los suelos agrícolas del Distrito (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Resultados sobre metales pesados de los efluentes de las plantas de tratamiento.

	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo total	Mercurio	Níquel	Plomo	Zinc	Cianuros
	mg/L								
P. Norte	0.0055	<0.02	<0.05	<0.005	<0.0010	<0.05	<0.10	<0.10	<0.020
P. Sur	0.0052	<0.02	<0.05	<0.05	<0.001	<0.05	<0.10	<0.10	<0.020

Sin embargo el punto de Loma Blanca donde se unen los efluentes de ambas plantas y donde además caen aguas residuales crudas, se observa un deterioro en la calidad del agua principalmente por Coliformes fecales, por lo que para hacer un uso eficiente de las aguas tratadas, se deberán buscar alternativas para canalizarlas por separado y enviarlas a los terrenos agrícolas.



### **Análisis del Patrón de cultivos tradicional y su relación con su tolerancia a la salinidad del agua y Propuesta sobre cultivos alternativos**

El análisis de la estadística agrícola, mostró que se siembran en promedio anualmente alrededor de 11,000 hectáreas (Cuadro 3). De los cultivos establecidos se estimó que existen al menos 2 que corren riesgos de bajos rendimientos y baja rentabilidad (avena y nogal) por su bajo rango de tolerancia a la salinidad del suelo y agua. Y por su Baja Relación B/C los forrajeros son los principales cultivos candidatos para sustituirse por otros que rindan más para elevar los beneficios.

Según datos del INEGI (2005) el 43.8% del Valle de Juárez, posee potencial para el desarrollo de praderas cultivadas y dado que en el Distrito de Riego se tiene una cuenca lechera conformada por la lechería Zaragoza, la lechería Escobar y la Asociación de lecheros quienes surten de leche a todo el noroeste del estado de Chihuahua, y que requieren alimentar alrededor de 15 mil vientres que se encuentran en producción para leche y 47 mil cabezas para engorda, la propuesta de reconversión productiva con el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas, contempló ser conservadora recomendando pequeños cambios paulatinos e ir incrementando la superficie cada 6 años, a fin de que los productores puedan ver sus beneficios.

La propuesta de reconversión productiva recomienda comenzar por la siembra de mejores forrajes, proponiéndose: (Coquia (*Kochia scoparia* L), pasto Taiwan (*Pennisetum purpureum* Schum), y Nopal (*Opuntia rastrera*). Por otra parte también se sugiere reducir en principio un 10% de la superficie que actualmente se siembra con trigo, dada su baja rentabilidad y establecer en sustitución Pistaches (*Pistacia vera*) que presentan buena adaptación a las condiciones de la zona y mejor relación beneficio-costos, sin embargo dado que los pistachos tardan en producir entre 7 a 10 años, el incremento de superficie sembrada de éstos, se recomienda al menos cada 10 años para que los productores comiencen a ver las bondades de este cultivo.

**Cuadro 3.** Cultivos principales por ciclo agrícola del D.R.009.

<b>Ciclo</b>	<b>Cultivo</b>	<b>Sup. Semb. (ha)</b>	<b>Rend. medio (ton/ha)</b>	<b>Relación B/C</b>	<b>Tolerancia límite a la Salinidad (CE dS/m)</b>
O-I	Trigo grano	1586	5.0	1.23	6.0
	Avena forrajera (verde)	270	25	0.85	1.7
P-V	Algodón	4565	2.5	2.07	7.7
	Sorgo forrajero	135	34	1.30	6.8
	Zacate Sudan (verde)	34	30	0.84	2.0
Perennes	Alfalfa	1843	68	1.63	2.0
	Nogal	232	1.5	1.33	1.0
	Rye Grass	253	32	0.80	2.0



Segundos cultivos	Sorgo forrajero	1291	30	1.30	6.8
	Zacate Sudan (verde)	161	27	0.84	2.0
Total		10,370			

Fuente: Este trabajo complementado con datos de CONAGUA, 2013.

**Cuadro 4.** Propuesta de Cultivos alternativos para reconversión productiva en el D.R. 009

Cultivo	Sup. a sembrar (ha)	Rend. Medio esperado (ton/ha)	Relación B/C Esperada	Adaptación a las condiciones de calidad de agua y suelo de la zona
Coquia ( <i>Kochia scoparia</i> L)	270	80	1.5	✓
Pasto Taiwan ( <i>Pennisetum purpureum</i> Schum),	338	100	1.6	✓
Nopal forrajero ( <i>Opuntia rastrera</i> )	245	80	1.5	✓
Pistacho ( <i>Pistacia vera</i> ) var. Kerman y Peter	158	2.3	2.5	✓
Total	1011			✓

Fuente: Este trabajo.

## Conclusiones

Considerando que los resultados de este trabajo son puntuales, podemos establecer las siguientes conclusiones:

La evaluación de los efluentes tratados y la propuesta busca impulsar la siembra de nuevos cultivos en el D.R. 009, en un entorno donde el intercambio de aguas residuales tratadas por aguas de primer uso para abasto de la población se hace cada vez más necesario.

El Potencial de reúso de aguas tratadas para el riego en el Distrito de Riego 009 se estimó en 2,391 L/s, de los cuales 1430.6 L/s provenientes de la planta norte se pueden usar en riego sin restricciones hasta antes de llegar al sitio Loma Blanca. El resto del agua tratada correspondiente a la planta sur se puede usar en riego restringido.

En los cultivos alternativos propuestos, se puede aprovechar el agua tratada de las 2 plantas (norte y sur), sin el rechazo de la sociedad.



El reúso en riego para las praderas donde se establezcan los cultivos forrajeros propuestos (pastos), se recomienda con exclusión del ganado y su cosecha pasando por ensilaje antes de proporcionarlos para alimentar al ganado.

En el caso de los sitios donde se establezca nopal forrajero, se recomienda a la cosecha, cortar los cladiolos, eliminar las espinas y posteriormente picarlos antes de incluirlos en la alimentación animal, preferentemente en combinación con rastrojos de sorgo o maíz, lo que permitirá un mejor balance nutricional, y también mejores relaciones beneficio-costos.

Para que la propuesta prospere, se requieren apoyos gubernamentales que apoyen la investigación sobre cultivos alternativos regados con aguas residuales tratadas. Además de apoyos financieros o incentivos económicos a los productores cooperantes donde se instalen los sitios pilotos hasta en tanto los propios cultivos comiencen a dar producciones rentables, sobre todo en el caso del pistacho.

### **Perspectivas**

Considerando que las aguas residuales varían en cuanto a calidad y cantidad, afectadas por distintas variables, entre ellas la estacionalidad anual y otras condiciones cambiantes como la dinámica poblacional, la cobertura y dotación de agua a ésta, el porcentaje de agua de desecho, la cobertura de servicio de alcantarillado y la recolección de aguas servidas hasta su conducción a las plantas de tratamiento, se hace necesario que se realice más investigación a futuro, que fortalezcan la gestión integrada de las aguas tratadas con fines de reúso para el Valle de Juárez.

Y lo más importante para que el reúso de las aguas residuales tratadas en el D.R. 009, se realice adecuadamente, se deberán mantener operando eficientemente las plantas de tratamiento Norte y Sur a fin de garantizar efluentes que cumplan con los límites de contaminantes que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996.

### **Referencias bibliográficas**

Ayers, R.S. and D.W. Westcott. (1985). Water Quality for Agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper. 29. Rev. 1. Roma Italia, 174 pp.

CONAGUA. (2014). Estadísticas del Agua en México. Edición 2014. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 239 pp.

CONAGUA. (2013). Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Año agrícola 2012-2013. Comisión Nacional del Agua Ed. 2013. 339 pp.



- Cánovas J. (1986). Calidad agronómica de las aguas para riego. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
- Cervera Gómez L.E. (2007). Indicadores de uso sustentable del agua en Ciudad Juárez, Chih. Vol. 8. Núm.16. Estudios Fronterizos. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades.
- IMTA. (2011). Estudio para la Modernización Integral del Distrito de Riego 009. Valle de Juárez. Intercambio de Agua residual tratada para uso agrícola en el Valle de Juárez.
- INEGI (2005). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Juárez, Chihuahua. Consultado en: [www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/08/08037.pdf](http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/08/08037.pdf). Consultado el 10 de agosto de 2016.
- Marín G., M; Aragón R.,P.; Gómez B.C. (2002). Análisis Químico de Suelos y Aguas. Manual de Laboratorio. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- NOM-001-SEMARNAT-1996. (1997). Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. En: Diario Oficial de la Federación de fecha 06 de enero de 1997.