

# LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO TEXCOCO, MÉXICO

## SURFACE WATER POLLUTION AT THE TEXCOCO RIVER BASIN IN MÉXICO

Arturo Guzmán-Quintero, Oscar L. Palacios-Vélez, Rogelio Carrillo-González,  
Jesús Chávez-Morales y Iouri Nikolskii-Gavrilov

Hidrociencias. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Te-  
xco. 56230. Texcoco, Estado de México. (arturog@colpos.mx) (rogelio@colpos.mx)

### RESUMEN

El agua que escurre en el río Texcoco es principalmente agua residual que se utiliza en la irrigación de cultivos, debido a la escasez de agua en la zona. Se desconoce su calidad y grado de contaminación, por lo que el presente trabajo tuvo como propósito diagnosticar la contaminación del agua descargada en el río, con base en la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996). Se seleccionaron las 14 descargas principales al río y se tomaron muestras compuestas en 10 ocasiones, de junio de 2004 a abril de 2005. El agua residual del río Texcoco presenta una concentración moderada de sales minerales que, a mediano plazo, pueden afectar el suelo y los cultivos; las concentraciones de nitrógeno y fósforo no representan riesgo para el riego de cultivos y el uso público urbano, pero posiblemente sí para la vida acuática silvestre. El contenido de huevos de helmintos supera ligeramente el límite establecido en la norma; pero la presencia de coliformes fecales rebasó por mucho el límite permisible estipulado en ella, por lo que estos aspectos representan un riesgo para la salud de los habitantes de zonas cercanas a las márgenes del río, y es urgente iniciar el tratamiento de esta agua residual.

**Palabras clave:** Aguas residuales, bacterias coliformes, helmintos, límite máximo permisible, norma ecológica.

### INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Texcoco ha sufrido un deterioro progresivo, debido al crecimiento poblacional y a la acelerada expansión de la zona urbana, amén de la deforestación, erosión del suelo y desaparición de cuerpos de agua (Cruickshank, 1998; Alcocer y Williams, 1996). En el municipio de Texcoco el crecimiento poblacional durante la década pasada fue mucho mayor que el promedio de los municipios conurbados, y en el año 2000 la población total era 204 102 habitantes (INEGI, 2002), con una tasa de crecimiento media anual (1990-2000) de 3.83%, que es más del doble del promedio nacional

### ABSTRACT

The flow water in the Texcoco River is basically residual water used for crop irrigation, due to the scarcity of water in the zone. Its quality and degree of pollution are unknown, that is why the objective of the present study was to diagnose the pollution of the water discharged in the river, based on the Official Mexican Standard (NOM-001-ECOL-1996). The 14 main discharges to the river were selected and, on 10 occasions, compound samples were taken from June 2004 to April 2005. The residual water of the Texcoco River has a moderate concentration of mineral salts which, in the medium term, may affect soil and crops; the concentrations of nitrogen and phosphorus do not present any risk for crop irrigation and urban public use, but possibly they may for aquatic wild life. The content of helminth eggs slightly surpasses the limits established by the standard, but the presence of fecal coliforms widely exceeded the permissible limit, therefore, these aspects represent a health risk for the inhabitants of the zones near the river, and it is urgent to initiate the treatment of this residual water.

**Key words:** Residual water, coliform bacteria, helminth, maximum permissible limit, ecological standard.

### INTRODUCTION

The Texcoco River basin has suffered a progressive deterioration due to population growth and the accelerated expansion of its urban zone, as a consequence of deforestation, soil erosion, and the disappearance of water bodies (Cruickshank, 1998; Alcocer and Williams, 1996). In the municipality of Texcoco, population growth during the last decade has been much greater than in the average of the suburbs, and in 2000, the total population was 204 102 inhabitants (INEGI, 2002) with an annual mean growth rate (1990-2000) of 3.83%, which is higher than twice the national (1.8%) and state (2.95%) average (Martínez, 2003). As in other basins, this growth rate has had two important effects: overexploitation of the Texcoco aquifer (CAN, 2002; Esteller and Díaz-Delgado, 2002) and the increase of untreated residual water volume, which

(1.8%) y estatal (2.95%), (Martínez, 2003). Como en otras cuencas, este crecimiento ha tenido dos efectos importantes: la sobreexplotación del acuífero de Texcoco (CNA, 2002, Esteller y Díaz-Delgado, 2002) y el incremento del volumen de aguas residuales, sin tratamiento alguno, que se descargan directamente al río Texcoco. No hay un inventario de las fuentes de contaminación de ríos en la zona (Martínez, 2003); sólo algunos estudios de la calidad del agua por su contenido de contaminantes inorgánicos (Navarro-Garza y Pérez-Olvera, 2005, Hahn-Schlam *et al.*, 2006) y orgánicos (Belmont y Metcalfe, 2004). Debido a que la perforación de pozos profundos para uso agrícola está vedada en la zona, es común el uso gratuito del agua residual para la irrigación en la prolongación del cauce del río Texcoco.

El agua residual, además de causar mal aspecto y producir malos olores, representa un riesgo para la salud de quienes habitan cerca del río Texcoco. Esta agua representa una fracción del volumen obtenido de la explotación de aproximadamente 312 pozos profundos: 196 para uso agropecuario, 10 para uso industrial y 74 para uso urbano, de los cuales nueve están en la cabecera municipal, los restantes tienen usos varios. De éstos se extraen  $244\,944\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ , que al año representan  $89\,404\,560\text{ m}^3$  (Martínez, 2003).

La cobertura municipal del sistema de drenaje y alcantarillado es de 88.27% (Martínez, 2003); la descarga diaria es  $4000\text{ m}^3$  y la anual  $1\,460\,000\text{ m}^3$ . La ausencia de plantas de tratamiento impide la reutilización segura de este recurso, que podría satisfacer una parte de los requerimientos de agua para usos agrícolas, lavado de autos y riego de jardines, entre otros servicios. Otro factor que acentúa la contaminación del agua es el depósito de residuos sólidos en el cauce del río. Los intentos por solucionar este problema han sido escasos, sólo se han documentado las pruebas con un humedal artificial en el pueblo de Nativitas, (Belmont *et al.*, 2004; Belmont y Metcalfe, 2004).

El gobierno federal, a través de la Comisión Nacional del Agua (CNA), elaboró la NOM-001-ECOL-1996 (NOM-001-ECOL-1996) que norma el uso de las aguas residuales, establece los límites máximos permisibles (LMP) de contaminantes de las aguas residuales en su descarga a los cuerpos de agua y bienes nacionales; la NOM-002-ECOL-1996 (NOM-002-ECOL-1996), que establece los LMP para descargar las aguas residuales en los sistemas de alcantarillado urbano y la NOM-003-ECOL-1997 (NOM-003-ECOL-1997), que establece los LMP de las aguas tratadas reutilizadas en los servicios públicos urbanos. El cumplimiento de estas normas es obligatorio para las comunidades con poblaciones de más de 50 000 habitantes a partir de enero de 2000; las comunidades con poblaciones de

discharges directly into the Texcoco River. There is no inventory of the pollution sources of the rivers in the zone (Martínez, 2003), only there are some studies on water quality by its content of organic (Belmont and Metcalfe, 2004) and inorganic pollutants (Navarro-Garza and Pérez-Olvera, 2005; Hahn-Schlam *et al.*, 2006). Due to the fact that the drilling of deep wells for agricultural use is banned in this zone, the free use of residual water is common in the extension of the Texcoco River bed.

Residual water, besides looking bad and producing bad smell, presents a health risk for those who live near the Texcoco River. This water corresponds to a part of the volume obtained from the exploitation of approximately 312 deep wells: 196 for agricultural use, 10 for industrial, and 74 for urban use, nine of which are at the administration centre of the municipality, the rest has various uses. Of these,  $244\,944\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$  are extracted, which yearly correspond to  $89\,404\,560\text{ m}^3$  (Martínez, 2003).

The municipal drainage and sewer system covers 88.27% (Martínez, 2003); the daily discharge is  $4000\text{ m}^3$  and the annual one is  $1\,460\,000\text{ m}^3$ . The absence of treatment plants prevents safe recycling of this resource, which could satisfy part of the water requirements for agricultural use, car washing, and garden irrigation, among other services. Another factor, which increases water pollution, is throwing solid residues to the river bed. There have been scarce attempts to solve this problem, and only tests with artificial wetland have been recorded in the village of Nativitas (Belmont *et al.*, 2004; Belmont and Metcalfe, 2004).

The federal government, through the Comisión Nacional del Agua (CNA) worked out the NOM-001-ECOL-1996 (NOM-001-ECOL-1996) which regulates the use of waste waters and establishes maximum permissible limits (LMP) of pollutants for residual waters in their discharge to water bodies and national property; NOM-002-ECOL-1996 (NOM-002-ECOL-1996) which determines LMP for discharging waste waters in urban sewer systems, and NOM-003-ECOL-1997 (NOM-003-ECOL-1997) establishing LMP of recycled treated waste waters in urban public services. The observance of these regulations is mandatory since January 2000 for communities with 50 000 inhabitants or more; communities with populations of 20 000-50 000 inhabitants will have to fulfill the regulation from January 2005 onwards, and those with fewer than 20 000 will have to perform them in January 2010 at the latest. Texcoco has a population of over 100 000 inhabitants, thus being in a situation of disobeying the rules; the rest of the communities of the municipality have less population, but they have little time left to solve the problem.

20 000 a 50 000 habitantes deben cumplir con la norma a partir de enero de 2005, y aquellas con menos de 20 000 deben cumplirla a más tardar en enero de 2010. Texcoco tiene una población superior a 100 000 habitantes, por lo que se encuentra en una situación de desacato a la norma; el resto de las comunidades del municipio tiene menor población, pero tienen poco tiempo para resolver el problema.

El propósito del presente estudio fue caracterizar el tipo y grado de contaminación del agua del río Texcoco, como paso previo para la recomendación de su tratamiento, pues se supone que la contaminación rebasa ampliamente los límites propuestos en la Norma.

### MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca del río Texcoco tiene un área de 55.20 km<sup>2</sup> y se ubica en el oriente de estado de México, entre 98° 42' 30" y 99° 32' 20" O y entre 19° 25' 00" y 20° 18' 21" N (INEGI, 2000). Las localidades ubicadas en la cuenca y que vierten sus aguas residuales al cauce del río Texcoco son: la cabecera municipal de Texcoco (TE01) y las colonias Santa Úrsula (TE02), Comercial Mexicana (TE03), unidad habitacional PEPSI (TE04), colonia Salitrerías (TE05), unidad habitacional Las Vegas (TE06), Escuela Preparatoria (TE07), colonias San Martín y San Juan (TE08), La Trinidad (TE09), San Sebastián (TE10) y los poblados de Santa Cruz de Abajo, San Felipe, San Diego (TE11), la Unidad habitacional SUTEIN (TE12), San Dieguito Xochimanca, Santa María Nativitas (TE13), Tequesquihuac (TE14) y San Pablo Ixayoc.

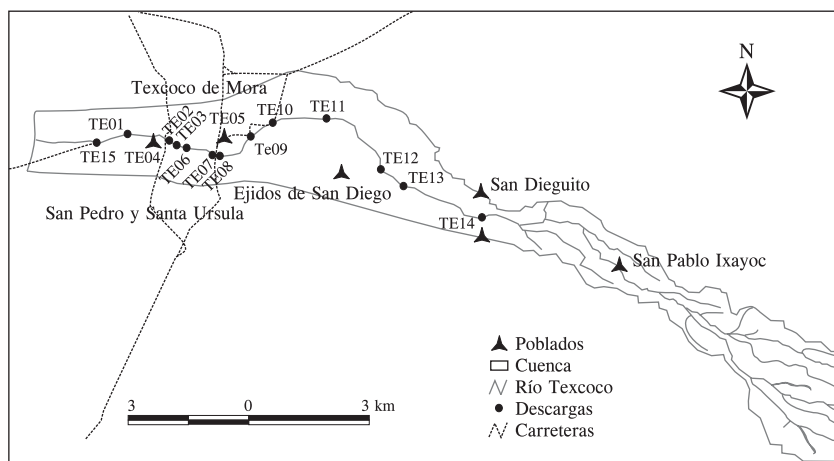
El estudio consistió en identificar y ubicar las principales descargas de aguas residuales a partir de recorridos de campo. Las descargas se clasificaron según su volumen, se midió su gasto por aforo a distintas horas y días en forma aleatoria (UNAM, 1998; Lara, 1991), posteriormente se muestreó y analizó esta agua. Se incluyó una muestra al final de la zona urbana, donde empieza la zona de riego (TE15) (Figura 1). El muestreo fue sistemático de junio de 2004 a abril de 2005 (aproximadamente cada 35 d, en total 10 muestreos); se recolectaron submuestras hasta reunir

The purpose of the present study was to characterize type and degree of water pollution of the Texcoco River, as a previous step for the recommendation of its treatment, since it is assumed that the pollution widely surpasses the limits proposed by the regulation.

### MATERIALS AND METHODS

The Texcoco River basin has an area of 55.20 km<sup>2</sup> and is located in the east of México State, between 98° 42' 30" and 99° 32' 22" W and 19° 25' 00" and 20° 18' 21" N (INEGI, 2000). The localities situated in the basin discharging their residual waters into the Texcoco River bed are: the head of Texcoco municipality (TE01), Santa Úrsula (TE02) and Comercial Mexicana (TE03) colonies, PEPSI housing unit (TE04), Salitrerías colony (TE05), Las Vegas housing unit (TE06), High School (TE07), San Martín and San Juan colonies (TE08), La Trinidad (TE09), San Sebastián (TE10), and the settlements Santa Cruz de Abajo, San Felipe, San Diego (TE11), the SUTEIN housing unit (TE12), San Dieguito Xochimanca, Santa María Nativitas (TE13), Tequesquihuac (TE14), and San Pablo Ixayoc.

The study consisted in identifying and locating the main discharges of residual waters based on field surveys. Discharges were classified according to their volume; the water flows were randomly measured at different hours and days (UNAM, 1998, Lara, 1991); subsequently this water was sampled and analyzed. One sample at the end of the urban zone was included, where the irrigation zone (TE15) begins (Figure 1). The sampling was systematic from June 2004 to April 2005 (every 35 d, 10 samplings on the whole); sub-samples were collected until gathering an approximate volume of 10 L, and from this, samples were obtained for each type of analysis, and they were preserved according to the respective rules. Electric conductivity, total dissolved solids, temperature, and pH were analyzed *in situ* with a multifunctional potentiometer (Hanna Instruments pH/CE/TDS/°C meter); biochemical oxygen demand (NMX-AA-028), total N (NMX-AA-026), total P (NMX-AA-029), trace elements: Pb, Zn, Ni, Cu, and Cd (NMX-AA-51), and the most probable number of total coliform bacteria (NMP 100 mL<sup>-1</sup>) with lauryl sulfate broth and



**Figura 1. Ubicación de las descargas principales de agua residual en la cuenca del Río Texcoco.**  
**Figure 1. Location of the main residual water discharges in the Texcoco River basin.**

un volumen aproximado de 10 L y de ahí se obtuvieron muestras para cada tipo de análisis, y se preservaron según las normas respectivas. Se analizó la conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, temperatura y pH, *in situ* con un potenciómetro multifuncional (Hanna Instruments pH/CE/TDS/°C meter), la demanda bioquímica de Oxígeno (NMX-AA-028), N total (NMX-AA-026), P total (NMX-AA-029), elementos traza: Pb, Zn, Ni, Cu y Cd (NMX-AA-51) y el número más probable de bacterias coliformes totales (NMP 100 mL<sup>-1</sup>), con caldo lauril sulfato) y coliformes fecales (caldo Brilla) y número de huevos de helminto (hh L<sup>-1</sup>), en laboratorio, siguiendo los lineamientos establecidos en el anexo 1 de la NOM-001-ECOL-1996 (NOM-001-ECOL-1996). La determinación de Cr(VI), CN y As se realizó de acuerdo con las normas NMX-AA-044-SCFI-2001 (NMX-AA-044-SCFI-2001) (método de la Difencil carbazida) NMX-AA-058-SCFI-2001 (NMX-AA-058-SCFI-2001) y NMX-AA-046-1981 (NMX-AA-046-1981). Todo el material usado para los análisis fue remojado en solución de HCl a 10%. Se usó agua destilada-desionizada para soluciones y lavado de material. Los límites de detección del equipo espectrofotómetro de absorción atómica se calculó como  $3\delta$  ( $\delta$ =desviación estándar) de las lecturas de 15 muestras blanco y el límite de cuantificación como  $30\delta$  (Thomsen *et al.*, 2003).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ubicaron 23 descargas directas, de las cuales se estudiaron las 14 más importantes, con base en el volumen descargado, y se adicionó un punto de muestreo en el río a la salida de la cuenca hacia el lago de Texcoco. En la Figura 1 se muestra la cuenca del río Texcoco y la ubicación de las descargas, cuyos nombre y claves se describieron previamente.

Al presentar los resultados se mencionan inicialmente los valores medidos en las muestras y luego se comparan con los LMP establecidos en la NOM-001-ECOL-1996 (NOM-001-ECOL-1996), referida a continuación como “la norma”. En algunos casos los valores medidos también se comparan con otros LMP establecidos para aguas de riego.

La conductividad eléctrica (CE) tuvo un intervalo de 712.7 a 1193.3  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . La calidad de las aguas de riego es excelente cuando la  $\text{CE} < 250 \mu\text{S cm}^{-1}$ , buena si  $250 < \text{CE} < 750 \mu\text{S cm}^{-1}$ , permisible si  $750 < \text{CE} < 2000 \mu\text{S cm}^{-1}$ , dudosa si  $2000 < \text{CE} < 3000 \mu\text{S cm}^{-1}$  e inservible si  $\text{CE} > 3000 \mu\text{S cm}^{-1}$  (Ramos *et al.*, 2003). Por tanto, el agua residual se clasificó como permisible para su uso en riego. Las descargas con los valores más altos fueron de la colonia Salitrería (1124  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) y de los poblados de San Sebastián (1193  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) y Santa María Nativitas (1106  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ). La CE del agua del río tuvo un valor promedio de 937  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .

El contenido de sólidos totales disueltos (STD) tuvo un intervalo de 356 a 595 mg L<sup>-1</sup>. Para su uso

fecal coliforms (Brilliant green bile lactose broth), and number of helminth eggs (hh L<sup>-1</sup>) were examined in the laboratory following the procedure described in appendix 1 of NOM-001-ECOL-1996 (NOM-001-ECOL-1996). The determination of Cr(VI), Cn and As was made according to the rules NMX-AA-044-SCFI-2001 (diphenylcarbazine method) (NMX-AA-044-SCFI-2001), NMX-AA-058-SCFI-2001 (NMX-AA-058-SCFI-2001), and NMX-AA-046-1981 (NMX-AA-046-1981). All the material used for analyses was soaked in HCl solution at 10%. Deionised distilled water was used for solutions and washing of material. The detection limits of the atomic absorption spectrophotometer equipment were calculated as  $3\delta$  ( $\delta$ =standard deviation) from the readings of 15 control samples and the limit of quantitation as  $30\delta$  (Thomsen *et al.*, 2003).

## RESULTS AND DISCUSSION

Twenty-three direct discharges were located, of which the 14 most important were studied, based on the discharged volume, adding a sampling point in the river at the junction of the basin with the Lake of Texcoco. Figure 1 shows the Texcoco River basin and the location of the discharges, whose names and codes were previously described.

When presenting the results, initially the values measured in the samples are mentioned and afterwards they are compared with the LMP established in the NOM-001-ECOL-1996, referred from now on as “the rule”. In some cases the measured values are also compared with other LMP’s established for irrigation water.

The electric conductivity (CE) had an interval of 712.7-1193.3  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . The quality of irrigation waters is excellent when  $\text{CE} < 250 \mu\text{S cm}^{-1}$ , good, if  $250 < \text{CE} < 750 \mu\text{S cm}^{-1}$ , permissible, if  $750 < \text{CE} < 2000 \mu\text{S cm}^{-1}$ , doubtful, if  $2000 < \text{CE} < 3000 \mu\text{S cm}^{-1}$ , and unusable, if  $\text{CE} > 3000 \mu\text{S cm}^{-1}$  (Ramos *et al.*, 2003). Therefore, the residual water was classified as permissible for its use in irrigation. The discharges with the highest values were those of Salitrería (1124  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) and those of San Sebastián (1193  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) and Santa María Nativitas (1106  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ). CE of the river water had a mean value of 937  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .

The content of the total dissolved solids (STD) had an interval of 356 to 595 mg L<sup>-1</sup>. For its use in irrigation there is no problem if  $\text{STD} < 500 \text{ mg L}^{-1}$ ; if  $500 < \text{STD} < 1000 \text{ mg L}^{-1}$  the water may affect sensitive crops; if  $1000 < \text{STD} < 2000 \text{ mg L}^{-1}$  the water can affect many crops and will require adequate management; in the case of  $2000 < \text{STD} < 5000 \text{ mg L}^{-1}$  the waters can be utilized only for irrigation of salinity-tolerant crops (Seoáñez, 1999). According to the above mentioned, the residual waters discharged to

en riego si  $STD < 500 \text{ mg L}^{-1}$  no hay problema; si  $500 < STD < 1000 \text{ mg L}^{-1}$  el agua puede afectar cultivos sensibles; si  $1000 < STD < 2000 \text{ mg L}^{-1}$  el agua puede afectar muchos cultivos y requerirá un manejo adecuado; si  $2000 < STD < 5000 \text{ mg L}^{-1}$  las aguas sólo se pueden utilizar para el riego de cultivos tolerantes a la salinidad (Seoáñez, 1999). De acuerdo con lo anterior, las aguas residuales descargadas al río Texcoco pueden afectar los cultivos sensibles. La descarga con el mayor valor corresponde al poblado de San Sebastián ( $595 \text{ mg L}^{-1}$ ). El agua del río reportó un valor de  $467 \text{ mg L}^{-1}$  que la sitúa en la misma clasificación. Como la CE, esta variable indica una concentración moderada de la salinidad del agua residual.

La temperatura varió entre  $20.5$  y  $22.4 \text{ }^\circ\text{C}$ , menores que los LMP ( $< 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) que establece la norma. Por lo tanto, no representa riesgo alguno para riego, uso público urbano o la vida acuática.

Los valores de pH oscilaron entre  $6.4$  y  $8.0$ , dentro del intervalo de  $5$  a  $10$  señalado por la norma. Cuando las aguas se utilizan para el riego, el intervalo permitido para esta variable es  $4.8$  a  $9.0$  (Seoáñez, 1999).

Los valores de N total oscilaron entre  $21$  y  $60 \text{ mg L}^{-1}$  (Figura 2). La norma indica que cuando las concentraciones son menores que  $40 \text{ mg L}^{-1}$  el agua residual puede utilizarse para riego y en el sector público urbano; para concentraciones menores que  $15 \text{ mg L}^{-1}$  no hay problema para la protección de la vida acuática, Entonces, sólo las descargas de la ciudad de Texcoco ( $60 \text{ mg L}^{-1}$ ) y del poblado de San Diego ( $43.3 \text{ mg L}^{-1}$ ) rebasan la norma, y esas aguas no deben utilizarse para esos fines.

Los valores de fósforo total variaron de  $5$  a  $18.4 \text{ mg L}^{-1}$ . La norma establece como LMP para uso en riego agrícola y en el sector público urbano concentraciones menores que  $20 \text{ mg L}^{-1}$  y para la protección de la vida acuática las concentraciones no deben rebasar  $5 \text{ mg L}^{-1}$ . Por tanto, el agua se puede utilizar en riego y en el sector público urbano, no así para preservar la vida acuática. La descarga con mayor concentración fue la del poblado Tequesquinhauac ( $18.4 \text{ mg L}^{-1}$ ), en contraste el agua recolectada en la zona de riego tuvo un valor de  $11 \text{ mg L}^{-1}$ , el cual está dentro de la norma.

Las concentraciones medias de estos elementos no fueron muy elevadas, aunque los valores máximos rebasan la norma, lo que contribuye a que el cauce del río se caracterice por un permanente y fuerte olor fétido.

Los valores de demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ) variaron entre  $24.3$  y  $753.5 \text{ mg L}^{-1}$  (Figura 3). Únicamente el promedio de la descarga de la colonia Santa Úrsula ( $24 \text{ mg L}^{-1}$ ) fue inferior a los LMP de la norma:  $150 \text{ mg L}^{-1}$  para uso en riego agrícola,

the Texcoco River may affect the sensitive crops. The discharge with the highest value corresponds to San Sebastián ( $595 \text{ mg L}^{-1}$ ). The river water was reported to have a value of  $467 \text{ mg L}^{-1}$ , which situates it in the same classification. As CE, this variable indicates a moderate concentration of salinity of the residual water.

Temperature varied between  $20.5$  and  $22.4 \text{ }^\circ\text{C}$ , lower than the LMP ( $< 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ), established by the norm. Therefore, it does not represent any risk for irrigation, urban public use, or aquatic life.

The pH values fluctuated between  $6.4$  any  $8.0$ , within the  $5$  to  $10$  interval indicated by the rule. When the waters are used for irrigation, the allowed interval for this variable is  $4.8$  to  $9.0$  (Seoáñez, 1999).

Total N values ranged between  $21$  and  $60 \text{ mg L}^{-1}$  (Figure 2). The rule indicates that residual water may be utilized for irrigation and in the urban public sector when the concentrations are lower than  $40 \text{ mg L}^{-1}$ ; for concentrations lower than  $15 \text{ mg L}^{-1}$  there is no problem for the protection of aquatic life. So, only the discharges of the town of Texcoco ( $60 \text{ mg L}^{-1}$ ) and of San Diego ( $43.3 \text{ mg L}^{-1}$ ) exceed the rule and these waters must not be utilized for these purposes.

The values of phosphorus varied from  $5$  to  $18.4 \text{ mg L}^{-1}$ . The rule establishes concentrations lower than  $20 \text{ mg L}^{-1}$  as LMP for its use in agricultural irrigation and in the urban public sector, and for the protection of aquatic life the concentrations must not surpass  $5 \text{ mg L}^{-1}$ . Therefore, the water can be utilized for irrigation and in the urban public sector, but not to preserve aquatic life. The discharge with the highest

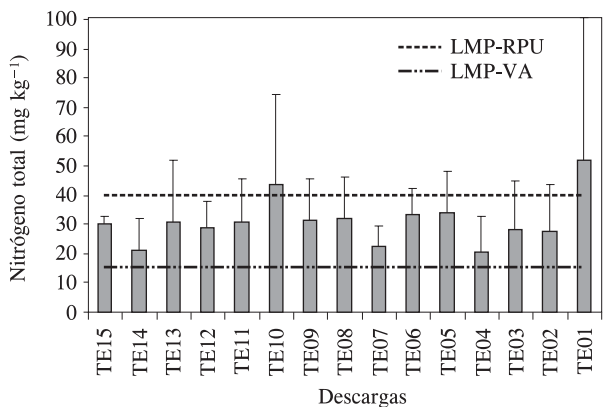


Figura 2. Concentraciones promedio de nitrógeno total en las descargas al río Texcoco, LMP-VA=Límite máximo permitido para protección de vida acuática y LMP-RPU=Uso en riego, público y urbano.

Figure 2. Average concentrations of total nitrogen in discharges of the Texcoco River, LMP-VA=Maximum permitted limit for aquatic life protection and LMP-RPU=Use in irrigation, public and urban.

75 mg L<sup>-1</sup> para uso público urbano y 30 mg L<sup>-1</sup> para la protección de la vida acuática. La DBO en las descargas restantes fue superior a la norma, lo que indica que se vierten grandes cantidades de materia orgánica.

Ninguno de los elementos traza (Zn, Pb, Ni, Cu, Cd) rebasó los LMP de la norma, lo cual se explica porque en la cuenca no hay industrias o actividades generadoras de estos contaminantes (Cuadro 1). No se encontraron concentraciones detectables de Cr<sub>(VI)</sub>, CN ni de As.

Durante los muestreos se observó que más de 98% de las pruebas positivas para bacterias coliformes totales, cuyo intervalo varió entre 5 650 000 y 51 940 000 por 100 mL<sup>-1</sup>, también fueron positivas para coliformes fecales, por lo que se calculó la correlación entre ambas concentraciones. Para obtener la cantidad de coliformes fecales se multiplicó la cantidad de coliformes totales por el factor 0.9791 para este estudio (R<sup>2</sup>=0.9763).

La concentración de coliformes fecales (NMP) osciló entre 5 650 000 y 49 750 000 por 100 mL<sup>-1</sup>, que superan en tres o cuatro órdenes de magnitud los LMP establecidos por la norma (1000 a 2000 NMP 100 mL<sup>-1</sup>) (Figura 4); en el agua del río (sitio TE15) el promedio fue de 16 730 000·100 mL<sup>-1</sup>, un valor fuera de la norma. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que los valores establecidos por la norma se refieren a aguas tratadas, por lo que no debe sorprender que las concentraciones en las aguas residuales del río Texcoco, que no reciben ningún tratamiento, sean tan elevadas. Esta variable resultó la más desfavorable al evaluar el grado de contaminación de las aguas del río Texcoco. Esto implica un riesgo de infección por estos organismos para la población expuesta a los sedimentos secos y suspendidos en el aire.

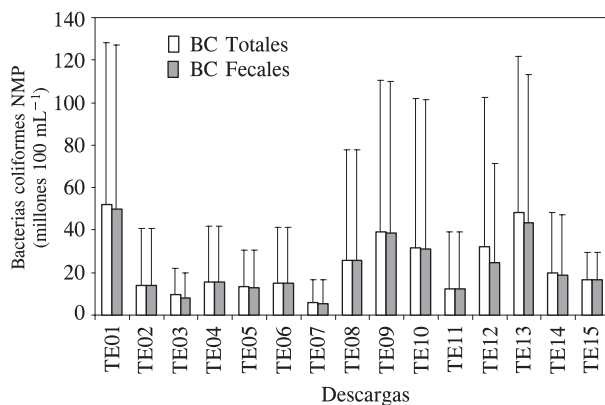


Figura 4. Número más probable de bacterias coliformes (BC) totales y fecales en agua descargada al río.

Figure 4. Most probable number of total and fecal coliform bacteria (BC) in water discharged to the river.

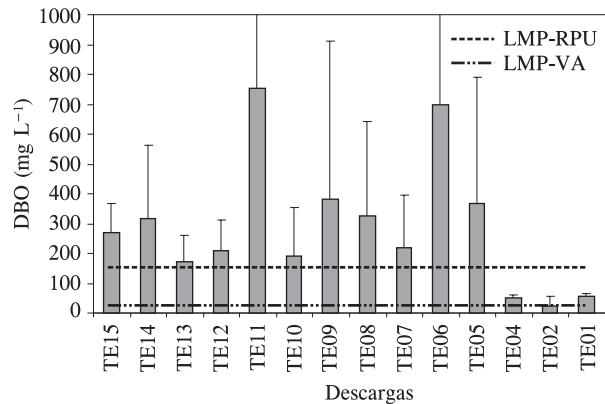


Figura 3. Valores promedio de la DBO en descargas al río Texcoco, LMP-VA=Límite máximo permitido para protección de vida acuática y LMP-RPU=Uso en riego, público y urbano.

Figure 3. Mean values of DBO in discharges to the Texcoco River, LMP-VA=Maximum permitted limit for aquatic life protection and LMP-RPU=Use in irrigation, public and urban.

concentration was that of Tequesquihuac (18.4 mg L<sup>-1</sup>), in contrast, the water collected in the irrigation zone had a value of 11 mg L<sup>-1</sup>, which is within the limit of the rule.

The mean concentrations of these elements were not very high, though the highest values exceed the rule, which contributes to a permanent strong fetid smell typical for the river.

The values of biochemical oxygen demand (DBOD5) varied from 24.3 to 753.5 mg L<sup>-1</sup> (Figure 3). Only the average of the discharge of Santa Úrsula (24 mg L<sup>-1</sup>) was lower than the LMP of the rule: 150 mg L<sup>-1</sup> for the use in agricultural irrigation, 75 mg L<sup>-1</sup> for urban public use, and 30 mg L<sup>-1</sup> for the protection of aquatic life. DBO in the remaining discharges was higher than the rule, which indicates that large quantities of organic matter are dumped.

Cuadro 1. Límites máximos permisibles (LMP, promedio mensual) para elementos traza e intervalo de concentraciones observados en las descargas.

Table 1. Maximum permissible limits (LMP, monthly mean) for trace elements and intervals of concentrations observed in the discharges.

Elemento	LMP (mg L <sup>-1</sup> ) Usos			Intervalo de concentración
	Riego agrícola	Público urbano	Vida acuática	
Cadmio	0.2	0.1	0.1	0.001 - 0.007
Cobre	4.0	4.0	4.0	0.017 - 0.056
Níquel	2.0	2.0	2.0	0.013 - 0.050
Plomo	0.5	0.2	0.2	0.006 - 0.068
Zinc	10.0	10.0	10.0	0.105 - 0.256

Se encontraron 1 a 8 huevos de helminto  $L^{-1}$  (Figura 5). Las descargas de la colonia Santa Úrsula (TE-02) y San Martín (TE-08) están dentro del LMP para riego restringido ( $1 \text{ hh } L^{-1}$ ) y no restringido ( $5 \text{ hh } L^{-1}$ ); la descarga del poblado de La Trinidad (TE-09) y San Diego (TE-11) ( $8 \text{ hh } L^{-1}$ ) rebasó el LMP; las demás descargas están fuera de la norma para riego restringido, pero dentro del límite para riego no restringido. El agua del río presentó  $3 \text{ hh } L^{-1}$ , es decir fuera del límite para riego restringido. Las especies encontradas fueron *Ascaris lumbricoides*, *Hymenolepis nana*, *Ancylostoma* sp, *Trichuris trichiura* y *Enterobius vermicularis*.

El agua de las descargas tiene salinidad moderada, como lo reportaron Navarro-Garza y Pérez-Olvera (2005) y Hahn *et al.*, 2006, por lo que debe usarse para riego con medidas preventivas para evitar la acumulación de sales; respecto a los STD no se tiene restricción para su uso (Ramos *et al.*, 2003), porque la mayor proporción correspondió a materia orgánica. El contenido de nitrógeno es relativamente bajo. La concentración de fósforo en las descargas disminuyó en la muestra obtenida en la zona de riego, posiblemente por mezclado o por adsorción en los sedimentos. Al igual que el nitrógeno, el fósforo es un elemento que hace atractiva el agua para riego por aportar nutrientes. No hubo una tendencia clara en los valores de DBO, pues los valores más altos no se observaron en las descargas de mayor densidad poblacional, sino en las de una comunidad rural.

La ausencia de fuentes de elementos traza (de industrias) y el pH ligeramente alcalino explican las bajas concentraciones observadas.

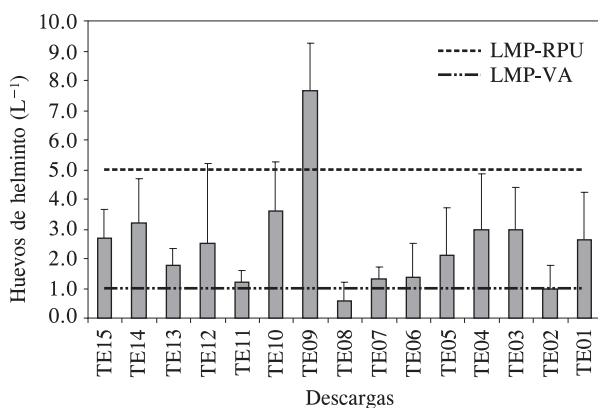


Figura 5. Numero promedio de huevos de helminto en las descargas al río Texcoco, LMP-VA = Límite máximo permitido para protección de vida acuática y LMP-RPU = Uso en riego, público y urbano.

Figure 5. Average number of helminth eggs in the discharges to the Texcoco River, LMP-VA = Maximum permitted limit for aquatic life protection and LMP-RPU = Use in irrigation, public and urban.

None of the trace elements (Zn, Pb, Ni, Cu, Cd) exceeded LMP of the rule, that is because in the basin there are no industries or activities generating these contaminants (Table 1). Detectable concentrations of  $Cr_{(VI)}$ , CN, or As were not found.

During the samplings it was observed that more than 98% of the positive tests for total coliform bacteria, whose interval varied between 5 650 000 and 51 940 000 per  $100 \text{ mL}^{-1}$ , were also positive for fecal coliforms, that is why the correlation between both concentrations was calculated. In order to obtain the quantity of fecal coliforms, the amount of total coliforms was multiplied by factor 0.9791 for this study ( $R^2=0.9763$ ).

The concentration of fecal coliforms (NMP) fluctuated between 5 650 000 and 49 750 000 per  $100 \text{ mL}^{-1}$ , which surpass the LMP established by the rule by three or four in order of magnitude ( $1000\text{-}2000 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$ ) (Figure 4); in the water of the river (site TE15) the average was  $16\,730\,000 \text{ MPN} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ , a value beyond the rule. Nevertheless, it must be taken into account that the values established by the rule refer to treated waters, so we must not be surprised that the concentrations in the residual waters of the Texcoco River are so high, since they do not receive any treatment. This variable turned out to be the most unfavourable at evaluating the degree of pollution of the Texcoco River waters. This implies a risk of infection by these organisms for the population exposed to the dry sediments and those suspended in the air.

One to  $8 \text{ L}^{-1}$  helminth eggs were found (Figure 5). The discharges of Santa Ursula colony (TE-02) and San Martín (TE-08) are within the LMP for restricted ( $1 \text{ hh } L^{-1}$ ) and unrestricted ( $5 \text{ hh } L^{-1}$ ) irrigation; the discharge of the settlement La Trinidad (TE-09) and San Diego (TE-11) ( $8 \text{ hh } L^{-1}$ ) exceeded LMP; the remaining discharges are beyond the rule for restricted, but within the limit for unrestricted irrigation. The water of the river presented  $3 \text{ hh } L^{-1}$ , that is beyond the limit for restricted irrigation. The species found were *Ascaris lumbricoides*, *Hymenolepis nana*, *Ancylostoma* sp, *Trichuris trichiura*, and *Enterobius vermicularis*.

The water of the discharges has moderate salinity, which agrees with the reports of Navarro-Garza and Pérez-Olvera (2005) and Hahn *et al.*, 2006, therefore irrigation must be applied using preventive measures in order to avoid the accumulation of salts; with respect to TD, there is no restriction for its use (Ramos *et al.*, 2003) because the greatest proportion corresponded to organic matter. Nitrogen content is relatively low. Phosphorus concentration in the discharges decreased in the sample obtained in the irrigation zone, possibly

La contaminación biológica representa el mayor problema de las aguas residuales, ya que sus contenidos de parásitos y patógenos, y de los coliformes fecales y helmintos, afectan la salud humana (Metcalf y Eddy, 1998). El NMP de coliformes en las aguas fue muy elevado y se mantuvo relativamente constante durante todo el año, los valores son parecidos a los reportados en aguas residuales urbanas de la ciudad de México (Cifuentes *et al.*, 2000; Juárez-Figueroa *et al.*, 2003). No se observaron diferencias significativas en el contenido de bacterias entre los sitios colectados, debido en parte a la amplia variación de los datos. Los resultados muestran una contaminación moderada a fuerte por huevos de parásitos, lo cual indica la necesidad del tratamiento del agua residual antes de utilizarla para riego agrícola, para evitar que esta agua sea una fuente de riesgo para la población, como ocurre en otras zonas del país (Cifuentes *et al.*, 2000).

Se considera prioritario que la administración municipal elabore un inventario y cartografía de la red de drenaje de la ciudad y localidades que vierten sus aguas residuales al río, que permita ubicar, dar seguimiento y establecer medidas de control con base en la legislación vigente, para las descargas contaminantes. Es igualmente urgente rehabilitar la planta de tratamiento de aguas residuales de la unidad Las Vegas y construir plantas adicionales considerando métodos alternativos de depuración (humedales y lagunas de estabilización).

Es recomendable entubar el agua residual del río Texcoco en el tramo que comprende el cruce de la ciudad, para evitar el mal olor, la diseminación de contaminantes, patógenos y parásitos a las colonias o poblaciones aledañas al río y la acumulación de basura en toda la extensión del cauce.

No se recomienda usar las aguas residuales sin tratamiento para regar cultivos de consumo directo, para evitar la contaminación biológica de los productos.

## CONCLUSIONES

La salinidad del agua residual y las concentraciones de N y P total del río Texcoco no rebasa los LMP, por lo que su uso para el riego y en el sector público urbano no tiene restricciones, pero sí los presenta para la protección de la vida acuática.

La alta concentración de materia orgánica en el agua residual genera altos valores de la DBO encontrados e indica que el agua residual sin tratamiento no debe utilizarse para riego, ni para el sector público urbano.

La contaminación por coliformes fecales y parásitos del agua residual es severa, rebasando ampliamente los LMPs para aguas destinadas a riego agrícola.

because of being sedimented or by absorption in the sediments. The same as nitrogen, phosphorus is an element that makes water attractive for irrigation because it contributes nutrients. There was not a clear tendency in the DBO values, since the highest values were not observed in the discharges of places with greater population density, but in those of a rural community.

The absence of trace element pollution sources (Industries) and the slightly alkaline pH explain the low concentrations observed.

The most serious problem of residual waters consists in biological pollution, since their contents of parasites and pathogens and of fecal coliforms and helminth affect human health (Metcalf and Eddy, 1998). NMP of coliforms in the waters was very high and stayed relatively constant throughout the year; the values are similar to those reported in urban residual waters of México City (Cifuentes *et al.*, 2000; Juárez-Figueroa *et al.*, 2003). Significant differences in the contents of bacteria among collection sites were not observed, partly due to the wide-ranged variation of the data. The results show moderate to severe pollution by parasite eggs, which indicates the need of residual water treatment before utilizing it for agricultural irrigation in order to avoid that this water be a source of risk for the population, as occurs in other zones of the country (Cifuentes *et al.*, 2000).

It is considered priority that municipal administration should elaborate an inventory and cartography of the drainage network of the city and the localities that shed their residual waters into the river, which allows locating, keeping track, and establishing measures of control based on the current legislation for the contaminant discharges. It is equally urgent to restore the recycling plant of residual waters of Las Vegas Unit and to build additional plants considering alternative methods of treatment (artificial wetlands and aerated lagoons or stabilization ponds).

It is recommendable to pipe the residual waters of the Texcoco River in the section comprising the crossing of the city in order to avoid the bad smell, the dissemination of pollutants, pathogens, and parasites to the colonies or suburbs bordering the river, and the accumulation of garbage all along the river bed.

It is not recommended to use untreated residual waters for irrigating crops of direct consumption in order to avoid biological pollution of the products.

## CONCLUSIONS

Salinity of residual water and the concentrations of total N and P of the Texcoco River do not exceed



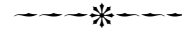
## AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el apoyo económico recibido de SEMARNAT-CONACYT a través del proyecto SEMARNAT-2002-C01-283 para llevar a cabo este trabajo.

## LITERATURA CITADA

- Alcocer, J., and D. Williams. 1996. Historical and recent changes in Lake Texcoco, a saline lake in Mexico. *Intern. J. Salt Lake Res.* 5: 45-51.
- Belmont, M. A., and Metcalfe C. D. 2004. Contaminación del agua en la cuenca del río Texcoco, México. *In: Mercure S, Wilson W, Whillans T (eds). Gestión Integral de Cuencas y Asentamientos Humanos. Proceedings for "Imbakucha, 2002"*, Otavalo, Ecuador, Abya-Yala, Quito, Ecuador, pp: 273-282.
- Belmont, M. A., E. Cantellano, S. Thompson, M. Williamson, A. Sanchez, and C. D. Metcalfe. 2004. Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale treatment system in central México. *Ecological Engin.* 23: 299-311.
- Cifuentes, E., M. Gómez, U. Blumenthal, M. M. Tellez-Rojo, I. Romieu, G. Ruiz-Palacios, and S. Ruiz-Velasco. 2000. Risk factors for *Giardia intestinalis* infection in agricultural villages practicing wastewater irrigation in Mexico. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 62: 366-392.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Texcoco, Estado de México. CNA. México. pp: 20-25.
- Cruickshank, G. 1998. Proyecto lago de Texcoco: rescate hidroecológico, memoria de la evolución del proyecto que mejora en forma importante las condiciones ambientales de la zona metropolitana de la ciudad de México. 2ª ed. Comisión Nacional del Agua. México. pp: 55-106.
- Esteller, M. V., and C. Díaz-Delgado. 2002. Environmental effects of aquifer overexploitation: A case study in the highlands of Mexico. *Environ. Mang.* 29: 266-278.
- Hahn Schlam, F., G. Miranda Salgado, F. Pérez López, O. Mayo díaz, F. Rojas Serrano, y P. Coras Merino. 2006. Monitoreo de la calidad del agua en el río Texcoco mediante sensores selectivos de iones. *Agrociencia* 40: 277-287.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2000. Cuaderno Estadístico Municipal Texcoco, Estado de México. INEGI. México. pp: 3.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2002. Anuario Estadístico del Estado de México. INEGI. México. pp: 69-70.
- Juárez-Figueroa, L. A., J. Silva-Sánchez, F. I. Uribe-Salas and E. Cifuentes-García. 2003. Microbiological indicators of water quality in the Xochimilco canals, Mexico City. *Salud Publ. Mex.* 45: 389-395.
- Lara G., J. L. 1991. Alcantarillado. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica. Departamento de Ingeniería Sanitaria. México. pp: 55-68.
- Martínez M., H. 2003. Plan de Desarrollo Municipal 2003-2006. H. Ayuntamiento de Texcoco, México. pp: 37-38.
- Metcalfe y Eddy. 1998. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. 3ª ed., McGraw Hill, México. pp: 65-70.
- Navarro-Garza, H., y M. A. Pérez-Olvera. 2005. Caracterización inorgánica del agua del río Texcoco, entre épocas del año y años. *Terra* 23: 183-190.
- NMX-AA-026-SCFI-2001. Análisis de agua-determinación de nitrógeno total kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Diario Oficial de la Federación 17 de abril de 2001.
- LMP; therefore its use for irrigation and in the urban public sector does not have restrictions, but it does for the protection of aquatic life.
- The high concentration of organic matter in the residual water generates high DBO values and indicates that untreated residual waters must not be utilized for irrigation, neither for the urban public sector.
- Pollution by fecal coliforms and parasites of residual water is severe, surpassing by far the LMP for water assigned for agricultural irrigation.

—End of the English version—



- NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de aguas-Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO<sub>5</sub>) y residuales tratadas. Método de prueba. Diario Oficial de la Federación 17 de abril de 2001. México.
- NMX-AA-029-SCFI-2001. Análisis de aguas-determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, método de prueba. Diario Oficial de la Federación 17 de enero de 2001.
- NMX-AA-044-SCFI-2001. Análisis de aguas-Determinación de cromo hexavalente en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Diario Oficial de la Federación 1 de agosto de 2001. México. 21 p.
- NMX-AA-046-1981. Análisis de aguas-Determinación de arsénico. Método espectrofotométrico. Diario Oficial de la Federación. 21 de abril, 1982. México. 8 p.
- NMX-AA-051-SCFI-2001. Análisis de agua-determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Diario Oficial de la Federación 13 de agosto de 2001.
- NMX-AA-058-SCFI-2001. Análisis de aguas-Determinación de cromo hexavalente en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Diario Oficial de la Federación 1 de agosto de 2001. México. 28 p.
- NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. 6 de enero de 1997.
- NOM-002-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Diario Oficial de la Federación. 3 de junio de 1998. México.
- NOM-003-ECOL-1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Diario Oficial de la Federación 21 de septiembre de 1998. México. 7 p.
- Ramos O., R., R. Sepúlveda M., y F., Villalobos M. 2003. Agua en el Medio Ambiente. Muestreo y Análisis. Universidad Autónoma de Baja California. Plaza y Valdes, México. 181 p.
- Seoánez C., M. 1999. Aguas Residuales Urbanas. Tratamientos Naturales de Bajo Costo y Aprovechamiento. 2ª ed. Mundi-Prensa, España. pp: 54-61.
- Thomsen, V., D. Schatzlein, and D. Mercurio. 2003. Limits of detection in spectroscopy. *Spectroscopy* 18(12): 112-114.
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). 1988. Normas de Proyecto para Obras de Alcantarillado Sanitario en Localidades Urbanas de la República Mexicana. Facultad de Ingeniería. México. pp: 33-45.