

# EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LAS AGUAS RESIDUALES DE PACHUCA, TIZAYUCA Y CIUDAD SAHAGÚN, HGO.

Teodoro Méndez-García\*; Leticia Guevara-Deloya\* y Rafael Hufzar-Álvarez\*

\* Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

## RESUMEN

Para este trabajo se colectaron 15 muestras de agua residual en cada época de muestreo durante un año, obtenidas tanto del Río de las Avenidas, como de los drenajes primarios y secundarios de Ciudad Sahagún y Tizayuca, Hgo.

Las muestras obtenidas después de ciertos monitoreos realizados en la zona de estudio revelan que, en la mayoría de los sitios muestreados, se trata de aguas alcalinas con ciertos niveles de salinidad, los cuales de acuerdo con NTE-CCA-031/91 se clasifican como aguas normales con fines agrícolas, a excepción de algunas muestras que rebasan los criterios establecidos por SEDUE clasificadas como de 3ª y 4ª clase.

Los iones responsables de los grados de salinidad son principalmente  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Na}^+$ , los cuales rebasan los límites máximos recomendados por SEDUE.

Las concentraciones de los iones de P, B,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$ , aunque son considerables, se encuentran dentro de los parámetros recomendados por el CE-CCA-001/89.

Con respecto a las concentraciones detectadas de los metales pesados Fe, Cu, Mn y Zn, éstas se hallan dentro de los niveles normales establecidos por el CE-CCA-001/89, para aguas residuales con fines agrícolas, aunque los niveles de Cu están en los límites máximos permisibles. Las cantidades de Cr, Pb, Cd, Co y Ni encontradas son inferiores a las recomendadas por el CE-CCA-001/89.

Las concentraciones detectadas de metales pesados por orden de importancia fueron: Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Co y Cd.

## INTRODUCCIÓN

Siendo el agua el compuesto más abundante en la naturaleza, paradójicamente es, quizá, uno de los factores que limitan con mayor frecuencia el crecimiento de las plantas, ya que aproximadamente 98% del agua del planeta se encuentra en los océanos y solamente 2% es agua dulce, de la cual aproximadamente 90% se utiliza principalmente en la agricultura y en la industria, y únicamente 10% es usada con fines domésticos. Mientras la mayor parte del agua empleada en la industria es tratada, la utilizada en la agricultura, no obstante que representa el mayor porcentaje, se usa una sola vez, sea residual o no, independientemente del costo de cada una.

Al prever que la disponibilidad de agua blanca para las distintas actividades del hombre a nivel mundial es cada vez más difícil y tomando en cuenta que el mayor porcentaje de agua se utiliza con fines agrícolas, se ha visto la necesidad de usar las aguas residuales en la agricultura.

A nivel nacional, la superficie actual bajo riego con aguas residuales es del orden de 156,000 ha, mediante 51  $\text{m}^3/\text{s}$ , generados por las descargas de unas 30 ciudades con más de 100,000 habitantes cada una. Entre éstas se encuentra Pachuca, que desecha aproximadamente unos 700 litros por segundo de agua mediante el colector principal y el

Río de las Avenidas, que riegan unas 1,500 hectáreas en los municipios de Pachuca y Mineral de la Reforma, donde la agricultura desempeña un papel fundamental (C.A.D.R. Pachuca, Hgo., 1992).

Las aguas residuales de la ciudad de Pachuca se han venido utilizando con fines agrícolas desde 1930, donde por el escaso volumen únicamente se emplea en riegos de auxilio, sobre todo en las zonas más alejadas; mientras en las zonas cercanas a Pachuca el riego es continuo, la producción se ha elevado por las altas concentraciones de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes presentes en el agua (C.A.D.R. Pachuca, Hgo., 1992). Aunque paralelo al beneficio que aportan las aguas residuales en la agricultura están los daños que ocasionan al suelo, principalmente por la acumulación de metales pesados, detergentes, grasas-aceites y las alteraciones tanto físicas, químicas como biológicas en el suelo (Méndez, 1991 y C.A.D.R. Pachuca, 1992).

## METODOLOGÍA

Para la presente investigación se utilizó un monitoreo del agua residual de las ciudades de Pachuca y Tizayuca, ciudad Sahagún; consistió en cuatro muestreos, dos en la

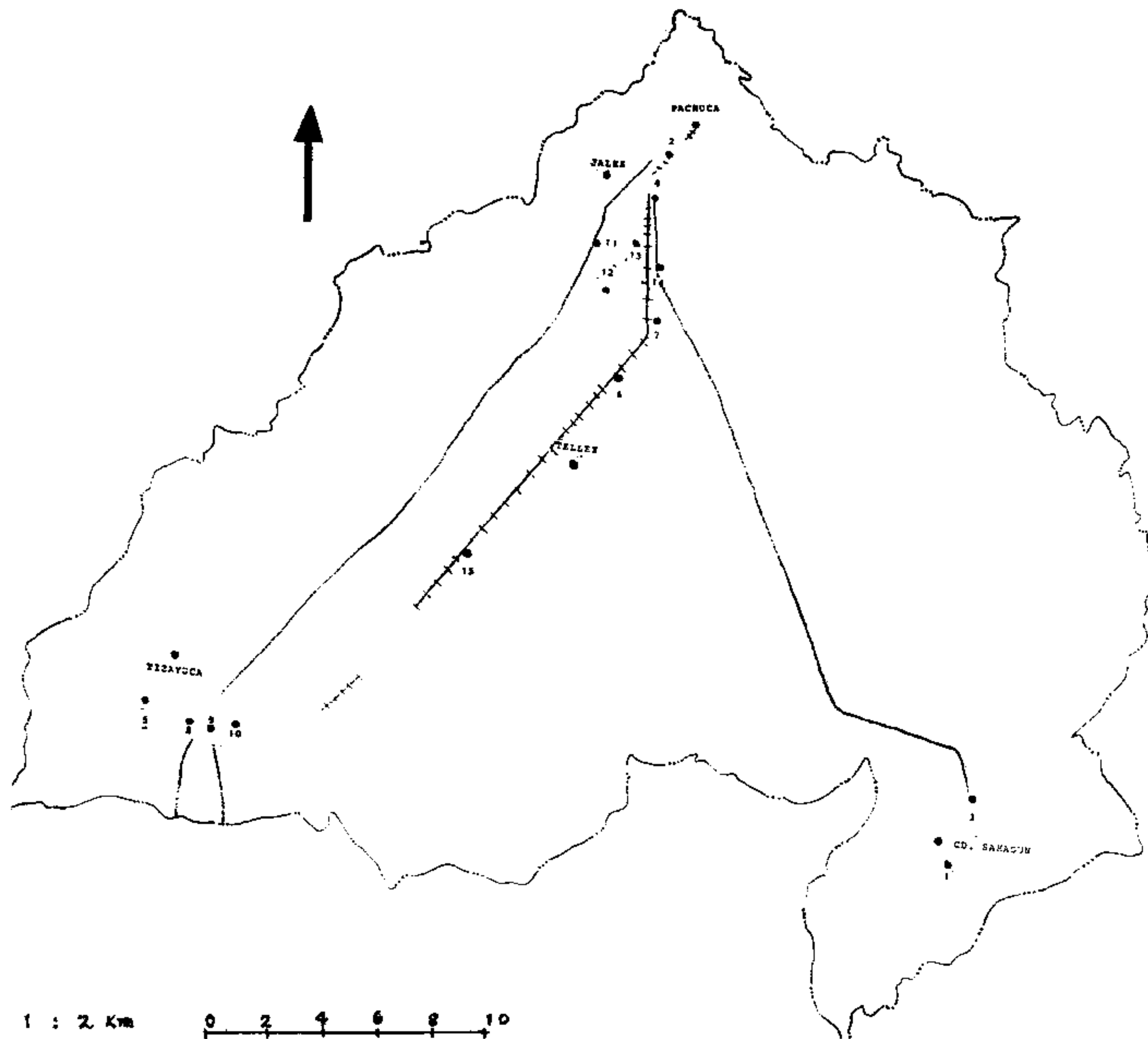


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

época seca y dos en la húmeda. Los puntos monitoreados fueron 15 en total (Fig. 1), se localizan justo en los sitios donde confluyen los drenajes urbanos en el Río de las Avenidas, y algunos otros a lo largo del mismo río.

En cada uno se colectaron muestras por duplicado, determinándose la conductividad, temperatura y el pH en campo. A las muestras obtenidas se les realizaron los siguientes análisis: pH estimado mediante un potenciómetro Corning; C. E. en el puente Wheatstone según Richards (1989);  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  por titulación con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.01 N;  $\text{Cl}^-$  mediante una titulación con  $\text{AgNO}_3$  0.005 N;  $\text{SO}_4^{2-}$  por precipitación con  $\text{BaCl}_2$ ;  $\text{NO}_3^-$  por el método de la Brucina;  $\text{NO}_2^-$  por colorimetría utilizando N-1Naph-thyl-ethylendiamine, ambas determinaciones de acuerdo con APHA-AWWA-WPCF, 1980, y EPA, 1974; Boro por el método de la curcumina y fósforo por colorimetría por el

método de azul de molibdeno, según Chapman y Patt, 1989, y los metales pesados por absorción atómica como lo recomiendan APHA-AWWA-WPCF, 1980, y el manual de Perkin-Elmer, 1977.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El pH de las muestras analizadas fluctuó de 7.70 a 8.70 (Tabla 1) con una media de 7.87 (Tabla 2); por lo que, de acuerdo con el criterio de Moreno, 1970, para aguas de uso agrícola, las muestras estudiadas se clasifican como medianamente alcalinas y según la NTE-CCA-031/91 los valores encontrados están dentro de los rangos reportados para aguas residuales de uso continuo en la agricultura. Con respecto a la conductividad eléctrica, los valores

BITIO	pH	C.E.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Cr	Pb	Cd	Co	Ni
mg/litros																							
1	7.92	592	35.71	12.42	55.80	30.69	3.33	200.62	100.48	24.88	8.00	0.58	5.37	0.025	1.2928	0.0312	0.2946	0.0489	0.0158	0.0633	0.0013	0.0203	0.0411
2	7.85	535	30.15	25.36	55.90	19.45	12.00	213.87	91.95	74.02	1.69	2.37	5.65	0.050	1.1146	0.0297	0.0954	0.1375	0.0175	0.0423	0.0017	0.0079	0.0320
3	7.95	727	85.48	19.49	58.99	6.94	0.00	197.06	67.56	126.08	3.80	0.00	0.66	0.030	0.1349	0.0148	0.1453	0.2214	0.0108	0.1366	0.0029	0.0113	0.0114
4	7.50	1395	65.13	30.02	98.98	22.53	18.00	309.73	130.52	197.55	0.57	14.04	7.11	0.057	0.2972	0.0271	0.1379	0.1389	0.0053	0.1248	0.0033	0.0158	0.0228
5	8.07	2985	70.47	52.10	307.24	197.77	17.76	650.66	234.30	411.24	3.87	0.88	6.25	0.330	0.8916	0.1073	0.2364	0.2625	0.0117	0.0790	0.0089	0.0146	0.0502
6	8.19	1815	78.60	32.64	174.50	32.99	0.00	472.66	168.91	254.98	1.72	0.05	2.72	0.015	0.0068	0.0966	0.0033	0.0454	0.0003	0.0247	0.0017	0.0376	0.0374
7	7.77	1500	62.33	34.21	127.33	30.12	0.00	409.88	148.90	119.14	2.64	0.04	5.16	0.040	0.4914	0.1850	0.1277	0.1449	0.0375	0.1607	0.0020	0.0197	0.0681
8	7.90	1847	43.39	45.83	149.84	32.72	4.44	469.92	198.80	309.61	1.36	9.68	5.97	0.123	0.3333	0.0228	0.0413	0.1649	0.0058	0.2076	0.0043	0.0128	0.0328
9	7.53	3470	34.05	19.03	45.82	14.31	0.00	275.62	145.55	229.92	3.00	8.73	3.77	0.220	0.5496	0.0200	0.0223	0.0710	0.0041	0.0502	0.0019	0.0149	0.0114
10	8.00	370	23.04	5.62	51.98	6.57	0.00	176.22	106.50	16.32	3.32	3.70	0.45	0.040	0.0735	0.0103	0.0068	0.0825	0.0025	0.0263	0.0006	0.0033	0.0068
11	8.20	1133	67.15	32.42	99.99	30.04	0.00	388.58	168.03	285.91	5.88	14.13	2.91	0.043	0.3082	0.0325	0.2140	0.0910	0.0258	0.0622	0.0017	0.0124	0.0242
12	8.70	930	36.00	34.56	109.00	28.39	0.00	338.88	127.80	90.48	0.52	0.07	5.90	0.010	0.2719	0.0377	0.0557	0.1289	0.0050	0.0617	0.0017	0.0150	0.0203
13	7.40	1250	74.80	105.22	11.96	27.18	0.00	338.88	106.50	748.31	18.88	0.03	0.07	0.040	1.2057	0.1966	0.4275	0.1700	0.0100	0.3418	0.0029	0.0124	0.0203
14	7.70	1050	49.92	34.85	105.00	204.59	0.60	345.66	168.63	141.76	5.32	0.46	5.20	0.210	0.4125	0.0826	0.0716	0.1250	0.0150	0.0494	0.0012	0.0075	0.0312
15	8.40	850	49.92	28.37	117.00	20.98	0.00	325.33	131.35	139.68	0.80	0.10	5.70	0.150	0.1469	0.1473	0.3011	0.1167	0.0075	0.2469	0.0017	0.0150	0.0312

Tabla 1. Valores promedio durante un año de las características físicas, químicas y de los metales pesados detectados en las aguas residuales de la Cd. de Pachuca, Hgo.

	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
pH	8.70	7.40	7.87
CE micromohos	3470.00	390.00	1373.74
Ca <sup>++</sup> ppm	86.48	23.04	58.63
Mg <sup>++</sup> "	105.22	5.62	32.94
Na <sup>+</sup> "	307.24	11.96	113.44
K <sup>+</sup> "	204.59	6.59	51.81
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> "	18.00	0.00	4.10
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> "	650.66	176.22	340.24
Cl <sup>-</sup> "	234.30	67.70	139.76
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> "	784.51	16.32	212.65
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> "	18.88	0.52	4.09
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> "	14.13	0.00	3.66
P "	8.90	0.07	4.39
B "	0.33	0.01	0.09
Fe "	1.2928	0.0068	0.4694
Cu "	0.1986	0.0068	0.0631
Mn "	0.4375	0.0023	0.1460
Zn "	0.2625	0.0454	0.1309
Cr "	0.0375	0.0025	0.0125
Pb "	0.3418	0.0247	0.1129
Cd "	0.0089	0.0006	0.0025
Co "	0.0376	0.0033	0.0146
Ni "	0.0651	0.0068	0.0290

Tabla 2. Variabilidad de las características físicas y químicas, y de los metales pesados de las aguas residuales de la Cd. de Pachuca, Hgo.

fluctuaron de 390 a 3,470 micromhos (Tabla 1) con una media de 1,374 micromhos (Tabla 2); de acuerdo con Richards, 1989, estas aguas se clasifican como normales desde el punto de vista de salinidad; sin embargo, al analizar sitio por sitio durante los cuatro muestreos, sin tomar en cuenta los promedios, las muestras 4, 5, 6 y 9 rebasaron los 2,000 micromhos, lo que las clasificaría como aguas ligeramente salinas. De acuerdo con Richards (1989), la última muestra es de 4a. clase, y para la NTE-CCA-031/91 las aguas residuales que presentan más de 1,000 micromhos se consideran como aguas de uso condicionado y exclusiva para riego de plantas tolerantes a la salinidad.

Los cationes de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> fluctuaron de 23.04 a 86.48, 5.62 a 105.22, 11.96 a 307.24 y de 6.59 a 204.5 ppm (Tabla 1), con valores promedio de 58.63, 32.94, 113.44 y 51.81 ppm, respectivamente (Tabla 2). De acuerdo con el CE-CCA-001/89 con fines agrícolas, los valores promedio de Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> de las aguas residuales de

la ciudad de Pachuca, Hgo., se encuentran dentro de los parámetros establecidos por SEDUE (Tabla 3), a excepción de la muestra 5 que se encontró excedida en sodio durante todo el año. Con respecto al Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, estos elementos no son sancionados por SEDUE para aguas con fines agrícolas, pero sí por la OMS (Organización Mundial de la Salud) con fines de potabilidad y su límite para Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> es de 100 y 50 mg/l, respectivamente. Los aniones CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> se detectaron del orden de 0.00 a 18.0, 176.22 a 650.66, 67.70 a 234.30 y de 16.32 a 748.51 ppm (Tabla 1), con promedio de 4.10, 340.24, 139.76 y 212.65 ppm, respectivamente (Tabla 2). Las concentraciones de Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> sobrepasan los niveles establecidos por el CE-CCA 001/89 para el agua residual con fines agrícolas; las concentraciones promedio de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> se encuentran en el límite de los niveles establecidos, aunque varias muestras se encuentran excedidas y los CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> no se sancionan (Tabla 3).

	POTABLE	PECUARIA	AGRÍCOLA
pH	6.0-8.5**	-	6-9
CE micromohos	400**	-	1000
Ca <sup>++</sup>	100**	-	NS*
Mg <sup>+</sup>	30-50**	-	NS*
Na <sup>+</sup>	0-175**	-	250
K <sup>+</sup>	10-12**	-	250
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	-	-	NS*
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	100
Cl <sup>-</sup>	250.0	250.0	147.0
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	500.0	-	130.0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NS*	-	30.0
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.1**	-	NS*
Fe	0.3	1.0	5.0
Cu	1.0	0.5	0.2
Mn	0.1	-	-
Zn	5.0	5.0	2.0
Pb	0.05	0.1	5.0
Cr	0.05**	-	-
Co	-	-	-
Ni	0.01	1.0	0.2
Cd	0.01	0.02	0.01
B	1.0	5.0	0.7

Tabla 3. Niveles permisibles de sustancias tóxicas en las aguas residuales con fines agrícolas según CE-CCA-001/89, (ppm).

\* NS: No se sanciona.

\*\* Valor tomado de la OMS.



El boro varió de 0.010 a 0.330 ppm, con una media de 0.092 ppm; estas concentraciones son menores a los niveles recomendados por CE-CCA-001/89 (Tabla 3); sin embargo, el boro es un elemento muy conflictivo en las plantas por su toxicidad, ya que éstas de acuerdo con Devlin (1989) lo requieren en pequeñas cantidades, pues las aguas de riego que contienen más de 0.5 ppm de boro pueden presentar problemas serios para las plantas sensibles a este elemento, por lo que el boro debe ser vigilado sobre todo en aguas residuales.

El P,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$  variaron de 0.07 a 8.90, 0.52 a 18.88 y de 0.00 a 14.13 ppm (Tabla 1), con promedios de 4.39, 366 y 409 ppm, respectivamente (Tabla 2); estos valores están dentro de los niveles recomendados por el CE-CCA-001/89 para agua residual con fines agrícolas (Tabla 3). A excepción de los  $\text{NO}_2^-$  que son tóxicos para las plantas, el aporte de P y  $\text{NO}_3^-$  eleva en gran medida la productividad, sobre todo con las aguas residuales de origen doméstico, como ocurre en el D.D.R. 063 en el Valle del Mezquital, estado de Hidalgo (Méndez *et al.*, 1991); sin embargo, la OMS (1990) recomienda hasta 0.1 ppm de  $\text{NO}_2^-$  para agua potable, aunque ésta es residual y las concentraciones de este anión son altas en varias muestras.

Con respecto a los metales pesados Fe, Cu, Mn y Zn, éstos variaron de 0.0069 a 1.2928, 0.0069 a 0.1986, 0.0023 a 0.4375 y de 0.0455 a 0.2625 ppm, con valores promedio de 9.4696, 0.0631, 0.1460 y 0.1309, respectivamente; los cuales se encuentran dentro de los límites establecidos para aguas residuales con fines agrícolas, según CE-CCA-001/89; sin embargo, en algunos elementos como el Cu, algunas muestras como la 7, 13 y 15 se encuentran en el límite de las normas; en el Mn, pese a que no se norma para aguas de riego, las concentraciones detectadas son considerables. No obstante, el uso de aguas residuales que contienen metales pesados, aunque sea en bajas concentraciones, es peligroso para las plantas, ya que éstos se precipitan acumulándose en el suelo y, al encontrarse en condiciones adecuadas de pH, se liberan con facilidad afectando el desarrollo normal de las plantas.

El Cr, Pb, Cd, Co y Ni se detectaron de 0.025 a 0.0375, 0.0247 a 0.3418, 0.0006 a 0.0089, 0.0033 a 0.0376 y de 0.0069 a 0.0651 ppm, con promedios de 9.0125, 0.1129, 0.0025, 0.0146 y 0.0290 ppm, respectivamente. Estas cantidades se encuentran muy por debajo de los límites del CE-CCA-001/89, pero la dinámica tanto en el suelo como en las plantas es más delicada, por lo cual estos elementos son muy tóxicos, ya que fisiológicamente no son esenciales para las plantas y su dinámica en el suelo, al igual que el Fe, Cu, Mn y Zn, tiende a acumularse afectando las propiedades químicas y biológicas del suelo.

## CONCLUSIONES

Las aguas residuales de Pachuca y Ciudad Sahagún, Hgo., son medianamente alcalinas con ciertos problemas de salinidad, originados principalmente por las altas concentraciones de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Na}^+$ , además del  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ; aunque estos dos últimos no se sancionan por SEDUE, contribuyen en mayor medida elevando la dureza del agua.

El monitoreo de las aguas de la ciudad de Tizayuca, a través del sitio núm. 5, correspondiente al Río de las Avenidas, permitió conocer que el agua residual de ésta, por sus características de salinidad, no puede ser utilizada en la agricultura.

Las concentraciones de P,  $\text{NO}_2^-$  y B no exceden los límites establecidos por SEDUE para aguas residuales con fines agrícolas; sin embargo, los niveles de nitritos y boro podrían afectar el desarrollo normal de las plantas sensibles, sobre todo el boro.

Con respecto a los metales pesados, éstos se encuentran dentro de los límites permisibles por el CE-CCA-001/89, aunque su acumulación y posible liberación podrían afectar el desarrollo de las plantas, sobre todo si el pH baja, por lo que este parámetro debe ser controlado.

## BIBLIOGRAFÍA

- APHA-WWA-WPCF, 1980. Standard methods for the examination of water and wastewater, *Amer. Pub. Health Assoc.* Washington, D. C.
- CDAR. Pachuca, Hgo., 1992. Informe interno sobre el uso de aguas residuales en la agricultura.
- CE-CCA001/89. *Diario Oficial de la Federación*
- Chapman, H. D. y P. F. Pratt, 1989. *Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. Ed. Trillas, Méx.
- Devlin, R., 1989. *Fisiología vegetal*. Ed. Omega, Barcelona, España.
- Méndez, G. T., D. L. Flores y V. R. Guajardo, 1991. Contenido de metales pesados, B (ABS), grasas y aceites en las aguas residuales de riego del D.D.R. 063, Mixquiahuala, Hgo. Conv. Geol. Mex. Prim. Cong. Mex. Min. Inst. Geol. UNAM. P. 115-119

Moreno, D. 1970. *Criterios tentativos para aguas y suelos de México*. INIA. Méx.

NTE-CCA-031/91, *Diario Oficial de la Federación*.

Perkin-Elmer, 1977. *Manual*.

Richards, L. A., 1989. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Ed. Trillas, Méx.