



Terra Latinoamericana

E-ISSN: 2395-8030

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo,
A.C.
México

Silva Gómez, Sonia Emilia; Muñoz Orozco, Abel; Isla de Bauer, María de Lourdes de la; Infante Gil, Said

Contaminación ambiental en la región de Atlixco: 1. agua
Terra Latinoamericana, vol. 20, núm. 3, julio-septiembre, 2002, pp. 243-251
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57320303>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

CONTAMINACION AMBIENTAL EN LA REGION DE ATLIXCO: 1. AGUA

Pollution in the Atlixco Region: 1. Water

Sonia Emilia Silva Gómez¹, Abel Muñoz Orozco^{2‡}, María de Lourdes de la Isla de Bauer³ y Said Infante Gil⁴

RESUMEN

En México, la agricultura enfrenta el problema del deterioro ambiental. En la región atlixquense del estado de Puebla, la contaminación del agua es un elemento importante que incide en la calidad de la producción agrícola y en la salud de la población. Se analizaron muestras de agua de esa región, colectadas en dos estaciones del año, con el objetivo de determinar su calidad de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas 001- ECOL-1996 y 127-SSA1-1994. Hubo diferencias significativas en las variables estudiadas según la época del año: los valores de las siguientes variables son mayores en primavera que en verano: demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (28 y 3 mg L⁻¹, respectivamente), demanda química de oxígeno (DQO) (16 y 8 mg L⁻¹), dureza (133 y 60 mg L⁻¹), temperatura (21 y 18 °C) y Zn (0.021 y 0.004 mg L⁻¹); las siguientes variables son mayores en verano, que en primavera: Fe (0.1 y 0.01 mg L⁻¹, respectivamente), N amoniacal (0.5 y 0.01 mg L⁻¹), pH (7.8 y 7.4), sólidos sedimentables (0.2 y 0.1 mg L⁻¹), sólidos suspendidos (31 y 8 mg L⁻¹) y turbidez (1.2 y 1.0 mg L⁻¹). Los pozos, manantiales y escurrimientos exceden las normas en nitritos, Cd, Pb, coliformes fecales y totales; los ríos en nitritos, sustancias activas al azul de metileno, N amoniacal, Cd, Cr, Pb, coliformes fecales y totales. Finalmente, se hizo un análisis del problema que representa esta contaminación para la salud humana y, en general, para el desarrollo rural.

Palabras clave: Agua residual, calidad del agua, agua subterránea, agua superficial.

SUMMARY

In Mexico, agriculture faces the problem of environmental deterioration. In the Atlixco region,

^{1,4} Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática; ² Instituto de Recursos Genéticos y Productividad; ³ Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Estado de México. [‡] (amunoz@colpos.mx)

state of Puebla, water pollution is an important element affecting crop quality and human health. Water samples were collected at 16 sites of the Atlixco region in two seasons of the year to determine water quality, relative to the Official Mexican Norms 001-ECOL-1996 and 127-SSA1-1994. There were significant differences in the variables studied, according to the season. Values for biochemical oxygen demand (BOD) (28 and 3 mg L⁻¹), chemical oxygen demand (COD) (16 and 8 mg L⁻¹), hardness (133 and 60 mg L⁻¹), temperature (21 and 18 °C), and Zn (0.021 and 0.004 mg L⁻¹) were higher in spring than in summer, while those for Fe (0.1 and 0.01 mg L⁻¹), ammoniacal N (0.5 and 0.01 mg L⁻¹), pH (7.8 and 7.4), sedimentable solids (0.2 and 0.1 mg L⁻¹), suspended solids (31 and 8 mg L⁻¹), and turbidity (1.2 and 1.0 mg L⁻¹) were higher in summer than in spring. Water from wells, springs and trickles exceeds the Mexican norms for nitrites, Cd, Pb, fecal and total coliforms, while river water exceeds the norms in nitrites, methylene-blue active substances, ammoniacal N, Cd, Cr, Pb, and fecal and total coliforms. Finally, an analysis of the impact of pollution on human health and on rural development in general is presented.

Index words: Wastewater, water quality, ground water, surface water.

INTRODUCCION

En México, actualmente, uno de los graves problemas de la agricultura y, en particular, en la región atlixquense de Puebla, es el deterioro ambiental. Un componente importante de este fenómeno es la contaminación del agua de ríos, manantiales y la extraída de los pozos por bombeo, lo que genera graves problemas para la salud humana, en forma directa o a través de la cadena trófica. Con el objeto de regular la administración del agua, se creó la Comisión Nacional del Agua (CNA), en 1989; se promulgaron la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN), en 1992; la Ley de Aguas Nacionales, en 1992; y el Reglamento de ésta, en

1994 (Brañes, 1994). Dentro de la LFMN, se establecieron la Norma Oficial Mexicana de Agua para Consumo Humano y la de Límites de Contaminantes del Agua (DOF, 1997a,b)

Al agua contaminada, en general, se le califica como residual. Por las fuentes de generación, se define como la combinación de los residuos líquidos procedentes de residencias, instituciones públicas, establecimientos industriales y comerciales. En ocasiones, se incluyen a las aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Metcalf *et al.*, 1996).

En México, el uso de aguas residuales para regar parcelas agrícolas inició en el Valle del Mezquital, en 1886. Los altos grados de contaminantes y la cantidad de patógenos encontrados en agua, productos agrícolas y suelo, en parcelas continuamente regadas por aguas residuales, han provocado problemas de salud a los campesinos (Rowe, 1995).

Las mermas en la salud y eficiencia del campesino por la contaminación del agua, aunada a factores políticos y económicos que obstaculizan la actividad agrícola en zonas de temporal y pequeña irrigación, destacan la complejidad de la problemática del campo y de la producción de alimentos básicos necesarios en la dieta de los sectores de las poblaciones más desprotegidas, y subraya la urgencia de desarrollar proyectos de investigación y de definir y establecer estrategias dirigidas al desarrollo agrícola regional.

La asociación causal entre el uso humano de agua biológicamente contaminada y la aparición de gastroenteritis es un hecho bien establecido, así como la asociación entre el uso de agua químicamente contaminada e intoxicaciones, y la relación entre el uso de agua contaminada por metales pesados y cáncer (Finkelman, 1990). Al respecto, Cervantes y Moreno (1999) señalaron al Cr (VI), Ni, Co, Cd, As (III) y Pb como carcinogénicos para el humano; este efecto se relaciona con la inducción del daño oxidativo del DNA y con la inhibición de los procesos de reparación del DNA (Hartwig, 1995). Shoenthal (1975) explicó la carcinogenicidad ocasionada en particular por el Cr, por la producción de epoxialdehidos en una reacción catalizada por lipasas lisosomales, y Gómez-Arroyo *et al.* (1981) la explicaron por el intercambio de cromátidas hermanas en cultivos de linfocitos humanos. Evidencias de los daños de los metales pesados en humanos en México, registran a poblaciones de alto riesgo, como niños, mujeres embarazadas y ancianos, en San Luis Potosí (Díaz-Barriga *et al.*, 1993), en Xalostoc y Tlalnepantla en la Ciudad de México (Oláiz *et al.*, 1996), en

Monterrey (Junco-Muñoz *et al.*, 1996) y en Torreón, Coahuila (Calderón-Salinas *et al.*, 1996).

El Pb, proveniente de actividades industriales y del uso de hidrocarburos, interfiere con el metabolismo y la función celular. Las altas concentraciones de este metal, que en la sangre tiene una vida media de uno a dos meses y en el hueso de 20 a 30 años, pueden producir efectos dañinos sobre los sistemas hematopoyético (formación de glóbulos rojos), hepático, renal, reproductivo y gastrointestinal. Entre las poblaciones de alto riesgo están las mujeres en edad reproductiva y los niños (Jiménez *et al.*, 1993).

Los efectos del Pb en niños se manifiestan en el sistema nervioso central; causa daño neuroconductual, que se refleja en el decremento de la atención, bajos puntajes en pruebas psicométricas y problemas de conducta como la hiperactividad; a largo plazo, cerca de 95% del metal presente en el organismo se acumula a nivel óseo, sustituyendo al Ca. Se sabe que también ocurre transferencia placentaria de plomo (Jiménez *et al.*, 1993).

El Cd, proveniente de la elaboración y del uso de pigmentos y pinturas, tintas de imprenta, pilas y plásticos, es llevado al cuerpo humano mediante la ingestión de vegetales y en éste tiene una vida media de 10 a 30 años. Aun cuando su absorción por el tracto respiratorio es más completa, la absorción por el tracto gastrointestinal, mediante la ingestión de alimentos y agua, induce osteomalacia, osteoporosis, lesiones renales e hipertensión. Causa irritación severa del estómago, vómito y diarrea; en mayores cantidades es carcinógeno. En ganado mayor, el Cd causa hipertensión (Mitchell, 1998); en vegetales, reduce el crecimiento, induce clorosis, inhibe la oxigenación de semillas y reduce la germinación, la respiración y la fotosíntesis (Iqbal y Khalid, 1998).

Todas las formas de Cr, en grandes cantidades, son tóxicas, pero lo es más el Cr⁶⁺. En humanos produce úlceras estomacales, convulsiones, alergias en la piel y males renales, hepáticos y pulmonares; resta capacidad a las propiedades de la sangre y reduce la de los glóbulos rojos (Willis, 1998).

Por su parte, en México, el intercambio comercial de productos frescos provenientes de la región de Atlixco se ha tornado más difícil en los últimos 15 años, ya que en la Ciudad de México y en mercados regionales (Tepeaca, Acatzingo, Puebla) se conoce la condición de los cultivos regados con aguas residuales, lo que dificulta su venta.

Investigadores del estado de Puebla han hecho estudios de contaminación de aguas, plantas y suelo (Bonilla *et al.*, 1995; Romero *et al.*, 1995; Tamaríz, 1996) en la región atlixquense relacionados con el río Nexapa, afluente del Atoyac. Bonilla *et al.* (1995) encontraron concentraciones (en mg L⁻¹) de Cu, Cr y Cd en agua, que rebasaron las concentraciones permitidas por la NOM-032 ECO-1993. Romero *et al.* (1995) registraron Cu y Cr en las mismas condiciones. Tamaríz (1996) observó concentraciones de Cu, Cr, Co, Ni, Pb y Fe en agua más altas que las permitidas en la norma CECCA-001-89.

La Comisión Nacional del Agua (CNA) hizo determinaciones en algunos puntos de la zona objeto de este estudio y encontró valores de coliformes fecales y totales, y Cr que exceden las cantidades permitidas (CNA, 1992; 1995; 1997a,b; 1999).

En el municipio de Atlixco, Córdoba *et al.* (1991) observaron que el manejo de las aguas residuales implica decremento en el rendimiento humano, en particular, de los agricultores y sus familias, ya que merma su salud. El rendimiento de algunos cultivos baja a través de varias cosechas, ya que determinadas concentraciones de metales pesados inhiben el crecimiento de la planta y la producción de flores y frutos. Además, el suelo pierde sistemáticamente sus propiedades; por ejemplo, la acción del Pb limita la microbiota e impide la descomposición de la materia orgánica del suelo (Hughes *et al.*, 1980).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la contaminación del agua en la región atlixquense, a fin de comparar las diferentes fuentes de agua utilizadas, y relacionarlas con sus efectos sobre la salud humana y sobre algunos factores vinculados con el desarrollo rural. Por su importancia, se tomaron como referencia los valores incluidos en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-127-SSA1-1994 y NOM-001-ECOL-1996.

Este es el primer artículo de una serie de estudios que analiza la contaminación ambiental en la región de Atlixco, de distintos factores y por diferentes fuentes.

MATERIALES Y METODOS

La región atlixquense se localiza al oeste del estado de Puebla, en el centro de México; comprende los municipios de Atlixco, Huaquechula, Santa Isabel Cholula, Tianguismanalco y Tochimilco y se ubica en las coordenadas 18° 40' y 19° 02' N y 98° 17' y 98° 43' O. Es parte de la cuenca del río Balsas,

subcuenca del río Nexapa, la que está formada por los ríos Huilapa y Xalapasco, que recogen los escurrimientos de los deshielos del volcán Popocatepetl (SARH-CP, 1986).

Con fundamento en las características de las principales subcuencas hidrológicas de la zona de estudio, se colectaron muestras de agua en 16 sitios de río, manantial, escurrimiento y pozo. El agua de 11 sitios se usa como potable y para riego (la de San Jerónimo Caleras, San Diego Acapulco, Los Molinos, Santa Cruz Cuautomatitla, Tochimizolco, Tochimilco, Tianguismanalco, Huaquechula, Tezonteapan de Bonilla, Huilango y Tehuixpango) y la de cinco sitios se utiliza para riego (la de Coyula, Tlapetlahuaya, Champusco, Ahuehuete y Portezuelo).

La colecta se realizó en dos épocas del año: la de lluvias, en 1998 (verano), y la de secas, en 1999 (primavera). Las muestras se colectaron en cada sitio durante la mañana de cada día, se llenó una cuarta parte del recipiente cada media hora, durante noventa minutos continuos. Para la colecta, se usaron envases plásticos limpios y secos de 2 L; se llenaron en pozo y a contracorriente, en río, manantial y escurrimiento, para el análisis fisicoquímico. También se usaron bolsas estériles de 100 mL: se abrió la bolsa dentro del agua y se selló ahí mismo después de llenarla, para análisis biológicos. En cada sitio, se tomaron datos de campo: lugar, hora, fecha, temperatura y color. Por la tarde del mismo día de colecta, las muestras se trasladaron al laboratorio para su conservación. El manejo y la preservación de las muestras se realizaron siguiendo los procedimientos recomendados por US-EPA (1974).

Los análisis fisicoquímicos y biológicos del agua se hicieron tomando en cuenta los valores de referencia incluidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, y en la NOM-127-SSA1-1994, respecto a salud ambiental, agua para uso y consumo humano; en ellas se indican los métodos recomendados para identificar y cuantificar cada contaminante.

Se analizaron tres repeticiones de las muestras y se promediaron los resultados. Los resultados de los análisis fisicoquímicos, biológicos y de metales pesados se compararon con los límites permitidos de los contaminantes señalados por cada norma oficial: 20 de la NOM-001-ECOL-1996 y 30 de la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1997a,b), ya que el uso del agua analizada fue potable y para riego. La

comparación se hizo de dos formas: por sitio y por grupo, considerando la fuente de donde provinieron las muestras; en este caso se confrontaron promedios.

Con las concentraciones de cada contaminante por sitio en primavera y en verano, se realizó la prueba estadística de Mann–Whitney, con el propósito de observar las diferencias significativas entre ambas estaciones, tomando en cuenta una probabilidad de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los contaminantes que excedieron las normas son: coliformes fecales, coliformes totales, nitritos, Cd y Pb en los casos de pozo, río, manantial y escurrimiento en verano y en primavera; así como el N amoniacal y sustancias activas al azul de metileno en agua de río en ambas épocas; y Cr en río, en verano (Cuadro 1).

Contaminantes en Cada Sitio

En los Cuadros 2a, 2b y 2c se presentan los valores obtenidos para cada uno de los contaminantes, en 16 localidades. En estos cuadros se aprecian las determinaciones que estuvieron por arriba de los valores permitidos. En el Cuadro 2a se observa que los coliformes fecales y totales rebasaron a la Norma 127 en todos los sitios, en ambas épocas del año; los coliformes fecales rebasaron la Norma 001 en 10 sitios en verano y en nueve sitios en primavera; la dureza excedió los límites de la Norma 127 en Tezonteapan y Champusco, en primavera; los nitratos en Tianguismanalco y Ahuehuete, en verano. En el Cuadro 2b, los nitritos excedieron la NOM-127–

SSA1-1994 en 11 sitios, en ambas estaciones, excepto Cuautamatitla, Coyula, Tianguismanalco, Tlapetlahuaya y Portezuelo; las sustancias activas al azul de metileno excedieron la norma en Coyula y Portezuelo, tanto en verano como en primavera; el color la excedió en Cuautamatitla y Portezuelo, en primavera; los sólidos disueltos totales la excedieron en Ahuehuete, en primavera, y el Al, en Portezuelo, en ambas estaciones. En el Cuadro 2c, el N amoniacal excedió la Norma 127 en Tochimizolco, Huaquechula, Champusco, Ahuehuete, Portezuelo y Tehuixpango, en verano, y en Champusco, Ahuehuete y Tehuixpango, en primavera; el Cd excedió la norma en todos los sitios, en verano y en primavera en las mismas concentraciones; el Cr la excedió en Caleras, en verano, y en Acapulco, en primavera; el Fe la excedió en Portezuelo, en verano; y el Pb la excedió en todos los sitios, en verano y en primavera.

Concentraciones de Contaminantes en Verano y en Primavera

De acuerdo con la prueba de Mann–Whitney, las determinaciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), dureza, temperatura y Zn fueron mayores en primavera que en verano en forma significativa; en tanto que en verano las cantidades de Fe, N amoniacal, pH, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y turbidez fueron mayores que en primavera, también en forma significativa (Cuadro 3). Las cantidades de contaminantes que resultaron mayores en primavera, lo estuvieron en menores cantidades en verano, posiblemente debido a su dilución por las lluvias. Los metales pesados y los

Cuadro 1. Promedio de las concentraciones de los contaminantes que exceden las normas oficiales, determinados en el agua muestreada por tipo de fuente, en verano (V) de 1998 y en primavera (P) de 1999.

Parámetro	Pozo		Río		Manantial		Escurrecimiento	
	V	P	V	P	V	P	V	P
Coliformes fecales (NMP 100 mL ⁻¹)	52	60	814	7823	1400	2358	1000	4600
Coliformes totales (NMP 100 mL ⁻¹)	81	155	671	16923	4670	5280	8775	9950
N–amoniacal (mg L ⁻¹)	0.6	0.01	2.2	3.3	0.12	0.01	0.2	0.01
N–nitritos (mg L ⁻¹)	1.1	1.2	0.4	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1
Sustancias activas al azul de metileno (mg L ⁻¹)	0.01	0.01	0.6	0.9	0.09	0.14	0.12	0.22
Cd (mg L ⁻¹)	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Cr (mg L ⁻¹)	0.01	0.01	0.07	0.01	0.04	0.04	0.02	0.02
Pb (mg L ⁻¹)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

En negritas las cantidades que rebasan la NOM-127-SSA1-1994. Subrayadas las cantidades que rebasan la NOM-001-ECOL-1996. V = verano; P = primavera; NMP = número más probable.

Cuadro 2a. Concentraciones de los contaminantes que excedieron las normas oficiales, determinados en el agua muestreada, en cada sitio estudiado.

Sitio	Coliformes				Dureza		Nitratos	
	Fecales		Totales		V	P	V	P
	V	P	V	P	mg L ⁻¹			
	NMP 100 mL ⁻¹							
1. Caleras	2800	46000	11000	110000	212	260	0.37	2.15
2. Acapulco	1100	750	2400	2400	76	120	0.31	3.32
3. Molinos	1100	750	2400	2100	32	102	5.76	7.90
4. Cuautomatitla	2000	7500	21000	15000	70	74	3.02	1.70
5. Tochimizolco	2000	2300	2800	7500	44	74	0.59	0.17
6. Tochimilco	2100	7500	11000	15000	44	60	2.36	1.95
7. Coyula †	700	4600	1500	9300	50	96	6.39	0.323
8. Tianguismanalco	30	24000	300	46000	60	74	12.04	0.14
9. Tlapetlahuaya †	1100	460	2800	460	86	160	1.74	0.21
10. Huaquechula	1100	75	2000	200	22	146	1.79	0
11. Tezontepan	1100	46	24000	110	28	520	7.35	7.57
12. Champusco †	700	460	1100	2400	132	554	4.95	8.853
13. Ahuehuete †	700	46000	1100	110000	224	480	12.91	7.84
14. Portezuelo †	1100	1100	2500	2400	232	485	1.68	1.01
15. Huilango	3	1100	30	2300	18	116	3.75	1.60
16. Tehuixpango	3	750	30	1100	60	162	7.89	5.122
NOM-127-SSA1-1994	0		2		500		10	
NOM-001-ECOL-1996	1000		--		--		--	

En negritas las cantidades que rebasan la NOM-127-SSA1-1994. Subrayadas las cantidades que rebasan la NOM-001-ECOL-1996. -- contaminante no incluido en la norma. † Sólo para riego. Sin † para uso potable y para riego. V = verano; P = primavera; NMP = número más probable.

Cuadro 2b. Concentraciones de los contaminantes que excedieron las normas oficiales, determinados en el agua muestreada, en cada sitio estudiado.

Sitio	Nitritos		SAAM [§]		Color U.Pt-Co. [¶]		Sólidos disueltos totales		Al	
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P
	mg L ⁻¹						mg L ⁻¹			
1. Caleras	0.1	0.12	(	0.2	5	5	409	360	0.01	0.011
2. Acapulco	0.2	0.26	(	0.1	10	5	353	303	0.04	0.045
3. Molinos	1.0	1.15	(	0.1	10	5	152	215	0.02	0.022
4. Cuautomatitla	0.0	0.01	(	0.25	8	25	195	172	0.01	0.014
5. Tochimizolco	0.1	0.17	(	0.25	5	10	140	188	0.01	0.012
6. Tochimilco	0.0	0.096	(	0.1	5	5	187	178	0.01	0.012
7. Coyula †	0.0	0.01	1	2.15	5	5	197	251	0.01	0.013
8. Tianguismanalco	0.0	0.01	(	0.12	5	5	200	192	0.01	0.018
9. Tlapetlahuaya †	0.0	0.01	(	0.01	10	5	225	304	0.15	0.178
10. Huaquechula	1.0	1.1	(	0.01	10	5	188	273	0.07	0.089
11. Tezontepan	1.2	1.23	(	0.01	10	5	184	814	0.10	0.111
12. Champusco †	1.1	1.23	(	0.1	5	5	421	772	0.06	0.056
13. Ahuehuete †	0.0	0.11	(	0.017	5	10	603	1019	0.01	0.012
14. Portezuelo †	0.0	0.01	1	3.19	15	25	730	961	0.22	0.236
15. Huilango	0.1	0.15	(	0.3	5	5	180	206	0.01	0.012
16. Tehuixpango	0.6	0.75	(	0.1	5	5	312	307	0.04	0.059
NOM-127-SSA1-1994	0.05		0.5		20		1000		0.2	
NOM-001-ECOL-1996	--		--		--		--		--	

[§] SAAM = sustancias activas al azul de metileno; [¶] unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.

En negritas las cantidades que rebasan la NOM-127-SSA1-1994. Subrayadas las cantidades que rebasan la NOM-001-ECOL-1996. -- parámetro no incluido en la norma. † Sólo para riego. Sin † para uso potable y para riego. V = verano; P = primavera.

coliformes no presentaron diferencia estadística entre ambas estaciones. En el caso del Cl, sus concentraciones estuvieron por debajo de los límites

señalados por la Norma 127-SSA1-1994 (0.01 mg L⁻¹ contra 0.2 a 1.5 mg L⁻¹ que establece la norma), en todas las muestras y en ambas estaciones del año. En

Cuadro 2c. Concentraciones de los contaminantes que excedieron las normas oficiales, determinados en el agua muestreada, en cada sitio estudiado.

Sitio	N amoniacal		Cd		Cr		Fe		Pb	
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P
	mg L ⁻¹									
1. Caleras	0.1		0.1	0.1	0.09	0.04	0.13	0.0	0.0	0.0
2. Acapulco	0.5		0.1	0.1	0.02	0.05	0.09	0.0	0.0	0.0
3. Molinos	0.5		0.1	0.1	0.02	0.03	0.14	0.0	0.0	0.0
4. Cuautamatitla	0.4		0.1	0.1	0.01	0.02	0.09	0.0	0.0	0.0
5. Tochimizolco	0.7		0.1	0.1	0.02	0.01	0.05	0.01	0.0	0.0
6. Tochimilco	0.2		0.1	0.1	0.01	0.01	0.07	0.01	0.0	0.0
7. Coyula †	0.5		0.1	0.1	0.01	0.01	0.08	0.0	0.0	0.0
8. Tianguismanalco	0.1		0.1	0.1	0.01	0.01	0.14	0.0	0.0	0.0
9. Tlapetlahuaya †	0.5		0.1	0.1	0.01	0.01	0.12	0.01	0.0	0.0
10. Huaquechula	1.1		0.1	0.1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.0	0.0
11. Tezonteapan	0.1		0.1	0.1	0.01	0.01	0.26	0.0	0.0	0.0
12. Champusco †	1.3		0.1	0.1	0.01	0.01	0.05	0.03	0.0	0.0
13. Ahuehuate †	0.6		0.1	0.1	0.01	0.01	0.11	0.02	0.0	0.0
14. Portezuelo †	3.1		0.1	0.1	0.01	0.02	0.35	0.2	0.08	0.0
15. Huilango	0.2		0.1	0.1	0.03	0.01	0.05	0.01	0.0	0.09
16. Tehuixpango	0.6	1.0	0.1	0.1	0.01	0.01	0.27	0.0	0.0	0.0
NOM-127-SSA1-1994		0.5		0.005		0.05		0.3		0.025
NOM-001-ECOL-1996		--		0.02		1.0		--		0.4

En negritas las cantidades que rebasan la NOM-127-SSA1-1994. Subrayadas las cantidades que rebasan la NOM-001-ECOL-1996 -- parámetro no incluido en la norma. † Sólo para riego. Sin † para uso potable y para riego. V = verano; P = primavera.

el caso de 11 sitios muestreados, en los cuales el agua se usa como potable, sería importante que el Cl cumpliera con los límites registrados en esa norma.

Comparación con las Normas Oficiales Mexicanas

El agua con concentraciones que no rebasan los límites de la NOM-001-ECOL-1996 está permitida para riego agrícola. Los resultados de este estudio señalan que las concentraciones de coliformes fecales son las únicas que rebasan los límites de dicha norma. El agua proveniente de las muestras estudiadas sirve para riego agrícola. Sin embargo, en la región de estudio se producen flores, forrajes y básicos, así como hortalizas para consumo humano. Mediante el consumo de estos últimos productos, los coliformes pasan al tracto intestinal humano.

Las magnitudes de contaminantes, que no rebasan los límites especificados por la Norma 127-SSA1, indican que el agua puede usarse como potable. Sin embargo, en la práctica los habitantes de la región llegan a ingerir agua de los cauces y pozos, tomando en cuenta sus características incoloras, inodoras y libres de materia orgánica, aunque los análisis de laboratorio

encuentran concentraciones de contaminantes mayores que las permitidas por las normas.

Bonilla *et al.* (1995), Romero *et al.* (1995) y Tamariz (1996) basaron sus estudios en normas derogadas actualmente, pero usando los mismos métodos de extracción y cuantificación de contaminantes. Los resultados de sus trabajos y de éste son susceptibles de comparación, aun cuando dichos autores se limitaron a determinaciones de aguas residuales del río Nexapa. Bonilla *et al.* (1995) y Romero *et al.* (1995) encontraron mayores concentraciones de Cu y Cd que en este estudio -que rebasan la normatividad- aunque, en los casos de las concentraciones de Cr, Pb y Ni, fueron similares. Tamariz (1996) encontró mayores concentraciones de Cu, Cr, Pb, Cd y Ni que las reportadas aquí, las cuales también rebasan la normatividad.

La CNA (1992; 1995; 1997a,b; 1999) fundamentó sus determinaciones en la NOM-ECOL-001-1996, circunscribiéndose a una parte de la zona del presente estudio, y a la extracción y cuantificación de variables, como demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos, los cuales manifiestan de inmediato la calidad del agua (Vogel y Rivas, 1997). La CNA (1992; 1995; 1997a,b; 1999) registró

Cuadro 3. Concentraciones de los contaminantes del agua muestreada, con diferencias estadísticas significativas en verano y en primavera.

Parámetro y unidad de medición	Mediana [†]		Nivel de significancia
	Verano	Primavera	
DBO (mg L ⁻¹)	3.0 <	28.5	0.007
DQO (mg L ⁻¹)	8.0 <	16.0	0.005
Dureza (mg L ⁻¹)	60.0 <	133.0	0.003
Temperatura (°C)	18.0 <	20.7	0.01
Zn (mg L ⁻¹)	0.004 <	0.021	0.03
Fe (mg L ⁻¹)	0.103 >	0.017	0.0003
N amoniacal (mg L ⁻¹)	0.5 >	0.01	0.002
pH (unidades)	7.8 >	7.4	0.0009
Sólidos sedimentables (mg L ⁻¹)	0.2 >	0.1	0.02
Sólidos suspendidos (mg L ⁻¹)	31.5 >	8.0	0.01
Turbiedad (unidades)	1.2 >	1.0	0.008

[†] Es la medida de tendencia central con la que se realiza la prueba estadística de Mann-Whitney. DBO = demanda bioquímica de oxígeno; DQO = demanda química de oxígeno.

concentraciones menores que las cuantificadas en esta investigación, en cuanto a: conductividad eléctrica, DBO, DQO, N amoniacal, fosfatos y Na; y concentraciones similares de los contaminantes restantes incluidos en la presente investigación.

Tendencias de los Tres Grupos: Substancias Orgánicas, Propiedades Físicoquímicas y Metales Pesados

Las sustancias orgánicas se presentan en mayores cantidades en Caleras, Tianguismanalco y Ahuehuete, debido al incremento de los desechos de la creciente población local y de urbes adyacentes, y a los asentamientos humanos desordenados con sistemas inadecuados para depositar -fecalismo al aire libre- y desechar las excrecencias humanas, que generan contaminación general de los caudales de la región de estudio. Al respecto, la información obtenida reafirma lo registrado por Vogel y Rivas (1997): la contaminación biológica es típica de regiones cuyas condiciones de higiene son deficientes. Hay manantiales que están tan contaminados por sustancias orgánicas como los ríos, debido a filtraciones de agua sucia hacia los mismos, o a la inadecuada ubicación de letrinas y desembocadura de drenajes de las poblaciones de la región, e incluso de otras poblaciones concentradas en urbes aledañas, como la poblana y la tlaxcalteca.

Con respecto a las propiedades fisicoquímicas, los parámetros que rebasan la NOM-127-SSA1-1994 son: dureza, nitratos, nitritos, sustancias activas al azul de

metileno, nitrógeno amoniacal y Al (Cuadros 2a, 2b y 2c), principalmente en Champusco, Ahuehuete, Portezuelo y Tehuixpango. En todos ellos, se usa agua residual para el cultivo de flores y hortalizas, que requieren mayores cantidades de agroquímicos que otros cultivos de zonas agrícolas de la región de estudio.

Los valores de Cd y Pb (Cuadro 2c) exceden las normas en todos los sitios muestreados; en mayor cantidad el segundo elemento en Acapulco y Huilango. Los demás metales pesados (Cuadro 2c) tienen un comportamiento diferente en cada sitio muestreado; los resultados muestran que no existe un patrón en el comportamiento de sus concentraciones. Su origen puede atribuirse a actividades industriales que ocurren principalmente en los estados de Puebla y de Tlaxcala.

Fuentes de Agua y de Contaminación

Los contaminantes y sus concentraciones difieren con las fuentes. Los resultados sugieren que los pozos están contaminados, lo que implica que los mantos freáticos, aun siendo profundos, están expuestos a mezclarse con drenajes municipales e industriales, o con alguna fuente de agua contaminada, como lo reportaron Liu y Lipták (2000). El agua de los ríos se mezcla con aguas residuales y recoge grandes cantidades de basura. Los manantiales de la región se contaminan principalmente por el mal manejo que la población y el turismo regional les dan. Los escurrimientos también están contaminados por basura y, al igual que los ríos, por el mal manejo de ganado que llega a abreviar y refrescarse en ellos. Al respecto, Vogel y Rivas (1997) indicaron que la mayor parte del agua actualmente se encuentra contaminada, reafirmando este estudio.

Contaminación de Cuencas

Se observan contaminantes en todos los sitios estudiados. Al centro sur, en los ríos Aguisoc y Nexapa, el agua es más dura (hasta 554 mg L⁻¹); también en el centro, de norte a sur. Se presentan valores altos de nitratos (hasta 12.9 mg L⁻¹), desde el manantial Apiaxco hasta su desembocadura en el río Nexapa; al oeste, en el centro, y al este, de norte a sur, se encontraron nitritos (hasta 1.23 mg L⁻¹), incluso en la parte de escurrimientos de la Cordillera del Tenzo, únicamente no se observaron en concentraciones altas al suroeste, en el río Ahuehuete (0.007 mg L⁻¹). Se detectaron altos valores de sustancias activas al azul de

metileno (1.75 a 3.2 mg L^{-1}) en Ojo del Agua y en el río Nexapa, en su entrada a la región de estudio. Además de la entrada del río Nexapa a la región por el este, el centro sur de la región, a la mitad del río Nexapa, presenta el agua turbia (25 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto, contra 20 de la NOM-127-SSA1-1994) y maloliente en las muestras colectadas; en esta última zona se observan altas concentraciones de sólidos disueltos totales (1019 mg L^{-1}).

Es evidente que a través del río Nexapa, de norte a sur y en el oeste centro, se observaron altas cantidades de N amoniacal (hasta 8.17 mg L^{-1}), debido sobre todo al uso intensivo de la tierra, práctica en la que se usan cantidades considerables de agroquímicos para producir flores. Sólo en un sitio se observaron cantidades de Al mayores que las permitidas (0.236 mg L^{-1} , con pH de 7.7), el cual se encuentra a la entrada del río Nexapa a la región, lo que se explica al determinar sales solubles y metales totales, aun cuando el pH sea alto. El Cr se observó en concentraciones mayores que las permitidas por la Norma (0.051 mg L^{-1}) en un manantial de Apiaxco que viene del norte de la región hacia el centro, y en el del Tenzo (0.096 mg L^{-1}), que escurre de norte a sur y de este a oeste; el Fe en la entrada del río Nexapa a la región (0.352 mg L^{-1}). En todas las muestras colectadas, se observaron mayores concentraciones de Cd y Pb (0.006 y hasta 0.097 mg L^{-1}) que las permitidas por la NOM-127-SSA1-1994, así como de coliformes fecales y totales (hasta 46 000 y 110 000 NMP (número más probable) 100 mg L^{-1}), aun cuando las concentraciones de estos últimos son más bajas al sur de la región, en los ríos Aguisoc (200), Matadero (110) y Ahuehueyo (460), así como en las aguas que contiene la barranca La Leona, al norte centro ($30 \text{ NMP } 100 \text{ mg L}^{-1}$).

CONCLUSIONES

- La región presenta contaminación en todos los sitios estudiados, situación que señala la urgencia de establecer un plan de control de emisión de aguas residuales y de recuperación de la calidad del agua.

- Algunos de los factores adversos son: los patrones de consumo generadores de gran volumen de desechos y a una velocidad más rápida que la capacidad de carga y de resistencia de los ecosistemas; el exceso de contaminantes emitidos por la industria y la falta de acciones municipales para incrementar la capacidad de regeneración de los ecosistemas circundantes; la falta y la deficiencia de plantas tratadoras de agua; y la escasa

distancia entre poblaciones y el poco desnivel que impiden la purificación del agua por medios naturales.

- La problemática del agua no sólo tiene que ver con que esté contaminada, sino también con su escasa disponibilidad, por lo que la población de la región recurre a aguas residuales para regar algunos cultivos.

- Los aspectos medulares de la contaminación del agua, que se encontraron en este estudio son:

a) hay sitios de manantiales que están tan contaminados como los ríos, lo cual manifiesta que aun cuando la capacidad filtrante del sustrato hace su función, probablemente en la superficie del origen del manantial se contamine el agua que fluye;

b) los parámetros fisicoquímicos se encontraron en concentraciones más altas en los sitios muestreados a través del río Nexapa, que en los sitios ajenos a éste;

c) los coliformes fecales y totales, así como algunos metales pesados, se observaron en concentraciones que rebasan la norma, en todos los sitios estudiados;

d) los sitios más contaminados se relacionan con los sitios donde se cultivan flores y hortalizas donde se aplican mayores cantidades de agroquímicos y se riega con agua residual;

e) los contaminantes se observaron en cantidades más altas en los sitios muestreados del centro de la región.

- Si bien, el uso de las aguas residuales en ciertos casos aporta materia orgánica a los cultivos y pudieran incrementarse los rendimientos, en muchos casos se transfieren elementos tóxicos de esos cultivos a los consumidores, como el Pb, el Cr y el Cd.

- Esta investigación se desarrolló como un proyecto integral, ya que se estudiaron varias fuentes de agua y se determinaron la mayoría de los contaminantes indicados en las dos normas oficiales mencionadas.

LITERATURA CITADA

- Bonilla F., N., L. Flores D., G. Romero H., M.A. Valera P. y J. González M. 1995. Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos, planta y agua por efecto de riego con aguas negras en la región de Huaquechula y Atlixco, Puebla. pp. 159. *In: Memorias del Simposio Universitario de Edafología*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Brañes, R. 1994. Manual de Derecho Ambiental Mexicano. Fundación Mexicana para la Educación Ambiental-Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Calderón-Salinas, V., B. Valdez-Anaya, M.A. Zúñiga-Charles y A. Albores-Medina. 1996. Lead exposure in a population of Mexican children. *Human Exp. Toxicol.* 15: 305-310.
- Cervantes, C. y R. Moreno S. 1999. Contaminación ambiental por metales pesados. Impacto en los seres vivos. AGT Editor. México, D.F.

- CNA. Comisión Nacional del Agua. 1992. Comportamiento de la calidad del agua en la red nacional de monitoreo sobre los ríos Atoyac, Alseseca y Nexapa, en la década 1981-1991. Gerencia Estatal en Puebla. Subgerencia de Administración del Agua. Laboratorio Regional de Calidad del Agua y Monitoreo. Puebla, México.
- CNA. Comisión Nacional del Agua. 1995. Informe anual de resultados red nacional de monitoreo cuenca Atoyac-Zahuapan. 1995. Gerencia Estatal en Puebla. Subgerencia de Administración del Agua. Laboratorio Regional de Calidad del Agua y Monitoreo. Puebla, México.
- CNA. Comisión Nacional del Agua. 1997a. Resultados analíticos (1995 - 1997) de fuentes de abastecimiento cercanos al Popocatepetl. Gerencia Estatal en Puebla. Subgerencia de Administración del Agua. Laboratorio Regional de Calidad del Agua y Monitoreo. Puebla, México.
- CNA. Comisión Nacional del Agua. 1997b. Informe anual de resultados red nacional de monitoreo cuenca Atoyac-Zahuapan. Gerencia Estatal en Puebla. Subgerencia de Administración del Agua. Laboratorio Regional de Calidad del Agua y Monitoreo. Puebla, México.
- CNA. Comisión Nacional del Agua. 1999. Vigilancia de la calidad de agua de pozos y manantiales de poblaciones cercanas al volcán Popocatepetl. Gerencia Estatal en Puebla. Subgerencia de Administración del Agua. Laboratorio Regional de Calidad del Agua y Monitoreo. Puebla, México.
- Córdova A., V., M.E. Guzmán G., J.P. Martínez D. y G. Morales P. 1991. La contaminación de productos agrícolas en el CADER Atlixco, Puebla. Colegio de Postgraduados-Centro de Enseñanza, Investigación y Capacitación para el Desarrollo Agrícola Regional. Puebla, México.
- DOF. Diario Oficial de la Federación. 1997a. NOM-127-SSA1-1994. México. 10 de enero de 1997.
- DOF. Diario Oficial de la Federación. 1997b. NOM-001-ECOL-1996. México. 6 de enero de 1997.
- Díaz-Barriga, F., M.A. Santos, J.J. Mejía, L. Batres, L. Yáñez, L. Carrizales, E. Vera, L.M. del Razo y M.E. Cebrián. 1993. Arsenic and cadmium absorption in children living near a smelter complex in San Luis Potosí, México. *Environ. Res.* 62: 242-249.
- Finkelman, J. 1990. Medio ambiente y salud en México. pp. 581-629. *In:* E. Leff (Compilador). Medio ambiente y desarrollo en México. Universidad Nacional Autónoma de México-Porrúa. México, D.F.
- Gómez-Arroyo, S., M. Altamirano y R. Villalobos-Pietrini. 1981. Sister-chromatid exchanges induced by some chromium compounds in human lymphocytes in vitro. *Mutation Res.* 90: 425-431.
- Hartwig, A. 1995. Current aspects in metal genotoxicity. *BioMetals* 8: 3-11.
- Hughes, M.K., N.W. Lepp y D.A. Phipps. 1980. Aerial heavy metal pollution and terrestrial ecosystems. *Adv. Ecol. Res.* 11: 218-227.
- Iqbal, M.Z. y F. Khalid. 1998. Cadmium toxicity to some tree species *In:* City trees. *J. Soc. Municipal Arborists* 34-1. January-February. <http://www.Urban-forestry.com/>
- Jiménez, C. 1993. Factores de exposición ambiental y concentraciones de plomo en sangre en niños de la ciudad de México. *Salud Pública* 35-6. nov-dic, 1993. <http://www.Insp.mx/salud/35/356-95.html>
- Junco-Muñoz, P., R. Toman, J.H. Lee, S.A. Barton, F. Rivas y R.M. Cerda-Flores. 1996. Blood lead concentrations and associated factors in residents of Monterrey, Mexico. *Arch. Med. Res.* 27: 547-551.
- Liu, D.H.F. y B.G. Lipták. 2000. Groundwater and surface water pollution. Lewis. Boca Raton, FL.
- Metcalf and Eddy, Incorporation (1996). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill. México, D.F.
- Mitchell, N. 1998. Cadmium-toxicity of metal and compounds. 11 dic. 1998. http://www.Utoronto.Ca/env/lib_hold/db2/files/7231_TE.Htm
- Oláiz, G., T. Fortoul, R. Rojas, M. Doyer, E. Palazuelos y C.R. Tapia. 1996. Risk factors of high level of lead in blood of schoolchildren in Mexico City. *Arch. Environ. Health* 51: 1-5.
- Romero H., G., N. Bonilla F., L. Flores D., C. Cabrera M., M.J. Hernández G. y G. Silva H. 1995. Estimación de metales pesados en aguas negras de riego y su efecto contaminante en suelos y plantas de lechuga. pp. 38. *In:* Memoria XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Tamaulipas, México.
- Rowe, D.R. 1995. Handbook of wastewater reclamation and reuse. Lewis. Boca Raton, FL.
- SARH-CP. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Colegio de Postgraduados. 1986. Diagnóstico Agropecuario Regional del Centro de Apoyo al Desarrollo Agrícola Regional. Atlixco, Puebla, México.
- Shoental, R. 1975. Chromium carcinogenesis, formation of epoxyaldehydes and tanning. *Br. J. Cancer* 32: 403-404.
- Tamariz F., V. 1996. Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados en el municipio de Atlixco, Puebla. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- US-EPA. United States Environmental Protection Agency. 1974. Methods for chemical analysis of water and wastes. EPA-625-/6-74-003. pp. iii - xii, 78-91. Washington, DC.
- Vogel, M.E. y E.R. Rivas R. 1997. Contaminación, contaminantes y ambiente y contaminación del agua. pp. 369-384, 401-414. *In:* E.C. Enkerlin, G. Cano, R.G. Garza y E. Vogel. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. International Thomson Publishing. México, D.F.
- Willis, D.P. 1998. Toxic exposures 29 septiembre 1998. http://www.texastrialawyer.com/chromium_toxicity/index.h