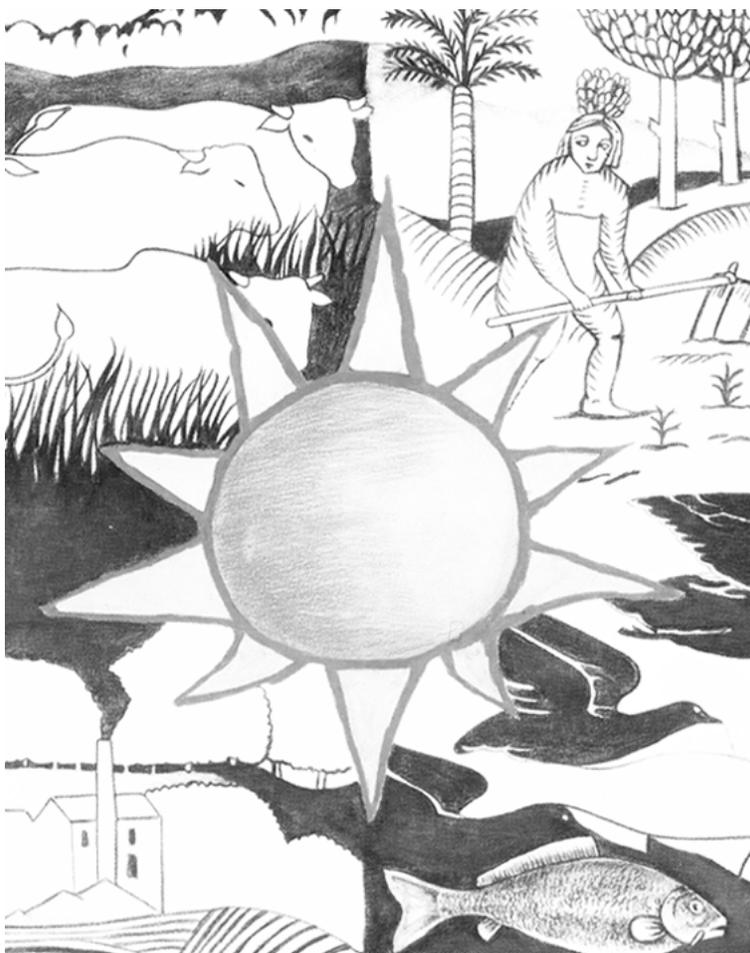


PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LOS ESCURRIMIENTOS (BARRANCAS) DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO ZAHUAPAN, TLAXCALA, MÉXICO.

Environmental problems of the runoff (gullies) of Zahuapan River Basin, Tlaxcala, Mexico.

Miguel F. Carreón^{1,2}, Juan Suárez², Hipólito Muñoz³, Adriana Montoya³, Silvia Chamizo²



¹ Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Ixtacuixtla, Tlaxcala, México. Correo electrónico: biococa@hotmail.com. ²Laboratorio de Medio Ambiente. Facultad de Agrobiología. Universidad Autónoma de Tlaxcala, México. Correo electrónico: jsuarezs71@hotmail.com. ³Centro de Investigación en Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Tlaxcala, México. Correo electrónico: hipolito78@hotmail.com.

RESUMEN

El estudio se realizó en la región norte de la cuenca del río Zahuapan, ubicada en el estado de Tlaxcala, México. Se analizaron las variables de calidad de agua (SDT, SST, DBO y OD) en cinco puntos del río Zahuapan en la zona de estudio. Posteriormente se seleccionaron seis escurrimientos (barrancas) que drenan a dicho río. Cada barranca se recorrió en época de estiaje y se registraron los impactos de las actividades antrópicas que afectan la calidad del agua, así como las variables Conductividad, pH, SDT, OD y Temperatura de los escurrimientos, en diferentes tramos del río. Finalmente se aplicaron 150 encuestas a personas que habitan cerca de las barrancas, para identificar la percepción de la problemática ambiental asociada al deterioro del río. Se observó que las descargas de aguas residuales son el principal contribuyente de la contaminación del río en la región norte de la cuenca, la erosión hídrica y los residuos sólidos le siguen en importancia; la pavimentación, la deforestación, el crecimiento poblacional (urbanización), son los principales cambios que la gente percibe y que están asociados al deterioro de la calidad ambiental de la región. Aunque el 90% de los entrevistados conoce los programas de reforestación, la deforestación es un problema importante; el 84% de los encuestados perciben una disminución del agua del río, pero solamente el 9% cree que está contaminado, de esa porción el 21% considera que es por aguas residuales y residuos sólidos, 17% por deforestación, 13% por falta de lluvia, 11% por el escurrimiento de aguas residuales, fertilizantes y plaguicidas, 9% por el crecimiento de la población. Los encuestados consideran que la construcción de reservorios, cuidado de los árboles y preservación de los recursos naturales en general, son opciones viables para enfrentar esta problemática; el 75% de los encuestados no sabe o consideran que no existen organismos (animales y plantas) en el río. Un plan de restauración del río para esta región deberá incluir al menos el manejo adecuado de los residuos sólidos y las aguas residuales, reforestación del área y manejo sustentable de los recursos naturales, apoyados por un fuerte componente de educación ambiental.

Palabras clave: Cuenca, Zahuapan, Barranca, problemática ambiental

ABSTRACT

The study was conducted in the northern Zahuapan River Basin, located in the state of Tlaxcala, Mexico. Variables were analyzed water quality (TDS, TSS, BOD and DO) in river Zahuapan five points in the study area. Subsequently we selected 6 runoff (gullies) draining into the river. Each gully is visited in the dry season and recorded the impacts of human activities that affect water quality, as well as variables Conductivity, pH, TDS, DO and temperature of runoff. Finally 150 questionnaires were applied to people living near the gullies, to identify the perception of environmental problems associated with the deterioration of the river. It was noted that wastewater discharges are the main contributor to the pollution of the river in the northern part of the basin, water erosion and solid waste are next in importance, paving, deforestation, population growth (in consequence of home construction), are the main changes that people perceive and are associated with the deterioration of the environmental quality of the region. While 90% of inquired people recognized the programs of reforestation, deforestation is a major problem, 84% of people perceive a decrease in river water, but only 9% believe it is contaminated, of that portion the 21% consider it by sewage and solid waste, 17% by deforestation, 13% for lack of rain, 11% for wastewater runoff, fertilizers and pesticides, and 9% population growth. The people believe that the construction of reservoirs, tree care and preservation of natural resources in general, are viable options to address this problem; 75% of people did not know or believe that there are no organisms in the river. A river restoration plan for the region must include at least the proper management of solid waste and waste water, reforestation of the area and sustainable management of natural resources, supported by a strong environmental education component.

Key words: Basin, Zahuapan, Canyon, environmental problems

INTRODUCCIÓN

El río Zahuapan transita de norte a sur en el estado de Tlaxcala, tiene una longitud de 75,4 km y su cuenca se extiende en un área de 1725.524 km² (Suárez et al. 2011). En esta cuenca el recurso agua tiene dos principales problemas, la contaminación y la disponibilidad. La contaminación del agua en el río Zahuapan ha sido reportada por Muñoz (2007), Suárez et al. (2008), Suárez et al. (2009), Suárez et al. (2011), Soto et al. (2011), Valencia et al. (2011) y Muñoz et al. (2012), los que concluyen que los niveles actuales de contaminación son un riesgo para la población y ecosistemas que se desarrollan en dicha cuenca, principalmente los ecosistemas riparios. Esto demanda la inminente puesta en marcha de un proceso de restauración del río que garantice su salud y restablezca las funciones que los ríos brindan a la cuenca.

Las actividades antrópicas influyen en la calidad del agua de las cuencas, tanto en el agua subterránea (Rajkumar & Xu 2011, Sosa 2012) como en la superficial (Muñoz et al. 2012, Xiaoying & Ji 2012, Wang et al. 2009), esto empeora la situación en las zonas donde el agua es escasa o será escasa en un futuro inmediato, como es el caso de la cuenca del Zahuapan donde se proyecta una disminución en la disponibilidad del agua per cápita (Carreón 2008).

A grandes rasgos las fuentes de contaminación del agua se pueden clasificar en dos grupos, las fuentes puntuales y las no puntuales. La contaminación por fuentes no puntuales es la principal causa de los problemas de la calidad del agua en muchas cuencas, por ejemplo la contaminación por actividades agropecuarias (Xiaoying & Ji 2010, Batllori et al. 2005). Un componente importante para el control de la contaminación de los ríos por fuentes no puntuales, es el entendimiento de la dinámica de la cuenca y cómo influye en la

calidad del agua. Las fuentes puntuales, como las descargas de aguas residuales (tratadas o sin tratar), son más fáciles de controlar por su ubicación y sencilla evaluación.

Las cuencas son unidades básicas que ayudan a la planeación de lo que se encuentra dentro de éstas. Cada una presenta distintas problemáticas y diferentes grados de importancia, por lo que las acciones de restauración de sus ríos también difieren de una cuenca a otra. Los problemas que comúnmente afectan a la mayoría de las subcuencas del estado de Tlaxcala son la deforestación, pérdida de biodiversidad, vertido de residuos sólidos y descarga de aguas residuales (Suárez et al. 2011, Muñoz et al. 2012). Para el desarrollo de estrategias regionales o nacionales de administración sustentable del recurso agua es importante conocer el balance de agua a escala de cuenca o subcuenca y la problemática asociada a su deterioro (Carreón 2008).

Ante el problema grave de contaminación del río Zahuapan, es necesario emprender acciones que permitan recuperar la calidad de su agua. El objetivo del presente trabajo es identificar la problemática ambiental de la subcuenca alta del río Zahuapan asociada a la contaminación del río, para generar información que sustente una propuesta integral para su restauración.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la región norte de la cuenca del río Zahuapan, ubicada en el estado de Tlaxcala, México (Fig. 1), en una superficie de 424.238 Km² y con una densidad poblacional de 59 hab. Km⁻² (Suárez et al. 2009). Los tipos de suelo predominantes en esta región son el feozem, litosol y andosol. La cubierta vegetal es de bosque de pino (*Pinus montezumae*, *P. ayacahuite*, *P.*

patula, *P. pseudostrobus* y *P. teocote*), oyamel (*Abies religiosa*), pastizal inducido, sabino (*Juniperos deppeana*), vegetación secundaria y encino (*Quercus rugosa*); el

40% de la superficie se utiliza para agricultura estacional y el 10% está erosionada (Suárez et al. 2008); los principales cultivos son maíz, trigo, cebada, papa y haba.

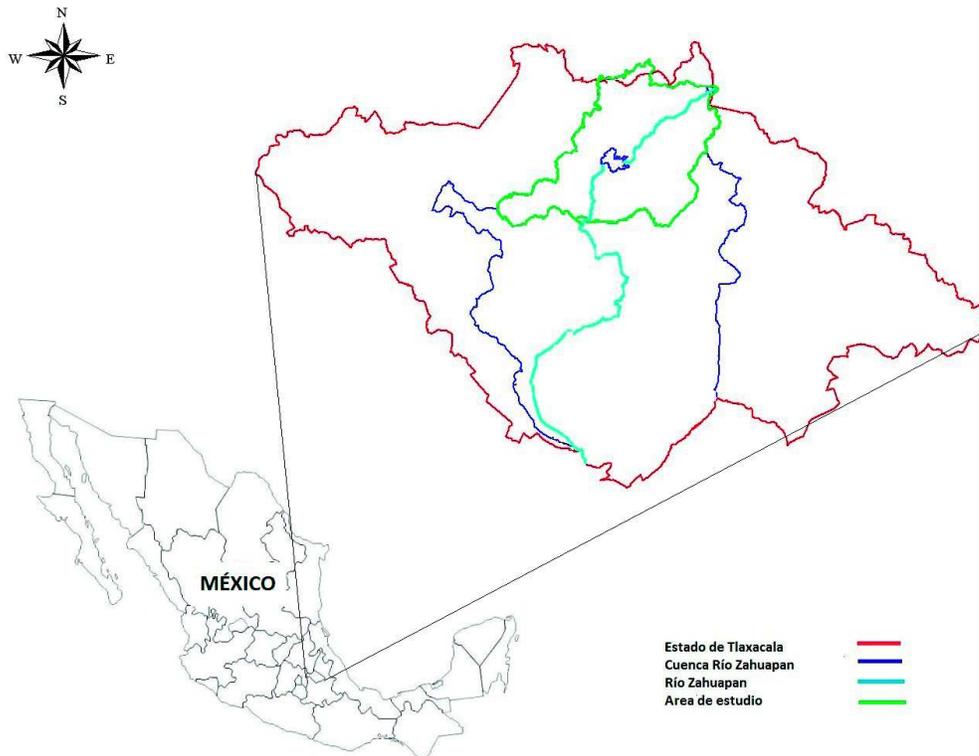


FIGURA 1. REGIÓN NORTE DE LA CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN, TLAXCALA, MÉXICO.

Northern Zahuapan river basin, Tlaxcala, Mexico.

Se analizaron parámetros de la calidad del agua, sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y oxígeno disuelto (OD), en cinco puntos de muestreo del área de estudio, ubicados uno en la barranca El Pardo (1), otro que combina la descarga de las barrancas de Atotonilco y El Pardo (2), otro a la salida de la presa de Atlangatepec (3), otro que combina las descargas de las barrancas de Tlaxco y El Peñón (4), y otro antes de la entrada a la presa de Atlangatepec

(5) (Fig. 2). Esta información fue registrada de Septiembre de 2006 a Agosto de 2007, a intervalos de 28 días.

Posteriormente se seleccionaron 6 escurrimientos (barrancas) representativos de la cuenca alta del río Zahuapan, que drenan directamente a dicho río. Cada barranca se recorrió una sola vez en época de estiaje (Febrero de 2011) y se registraron visualmente los impactos de las actividades antropogénicas que afectan la calidad del agua del río, así como las variables Conductividad, pH, Sólidos



FIGURA 2. UBICACIÓN DE LOS ESCURRI-MIENTOS (BARRANCAS) EN LA CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN, TLAXCALA, MÉXICO. PUNTOS DE MUESTREO 1) EL PARDO, 2) EL PARDO+ATOTONILCO, 3) SALIDA PRESA, 4) TLAXCO+EL PEÑÓN Y 5) ENTRADA PRESA.

Location of runoff (gullies) in Zahuapan river basin, Tlaxcala, Mexico. Sampling points 1) El Pardo, 2) El Pardo+Atotonilco, 3) Damout, 4) Tlaxco+El Peñón and 5) Damentry.

Disueltos Totales (SDT), Oxígeno Disuelto (OD) y Temperatura, de las corrientes de agua (con un equipo multiparamétrico YSI 556 MPS). Para el registro de la información las barrancas se dividieron en tramos, cada tramo iniciaba en una descarga importante de agua (residual o natural) y finalizaba al inicio del siguiente, a excepción del primer tramo que iniciaba al principio de la barranca y del último que finalizaba en el río Zahuapan.

Finalmente se aplicaron 30 encuestas por barranca, a personas (50% mujeres y 50% hombres) entre 20 y 60 años de edad, que habitan cerca de ellas (Febrero de 2011), para identificar su percepción de la problemática ambiental asociada al deterioro del río Zahuapan. Las comunidades que habitan cerca de las barrancas en esta región se caracterizan por ser menores a 2500 habitantes y su actividad principal es la agricultura estacional (INEGI 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis de la calidad del agua del río Zahuapan en los cinco puntos de muestreo se observó que las variables SDT, SST y DBO, mostraron sus valores más bajos en El Pardo y salida de la presa de Atlangatepec, pero a medida que el río transita por las comunidades de la región sus valores se incrementaron y alcanzaron sus registros más altos con las descargas de las barrancas en el punto antes de la presa de Atlangatepec (Fig. 3, 4 y 5).

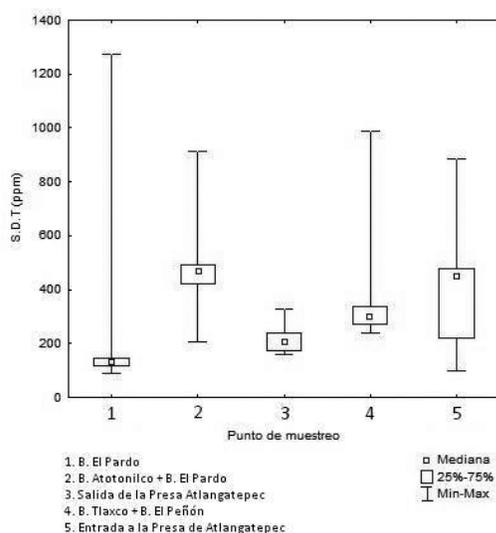


FIGURA 3. VALORES MÍN.-MÁX., 25%-75% Y MEDIANA DE LAS CONCENTRACIONES DE SDT (PPM) EN EL AGUA DE LAS BARRANCAS DE LA REGIÓN NORTE DE LA CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN.

Min-Max values, 25% -75% and median concentrations of TDS (ppm) in the water of the gullies of northern Zahuapan river basin.

El OD mostró un comportamiento inverso, sus valores más altos los registró en El Pardo y a la salida de la presa de Atlangatepec, pero

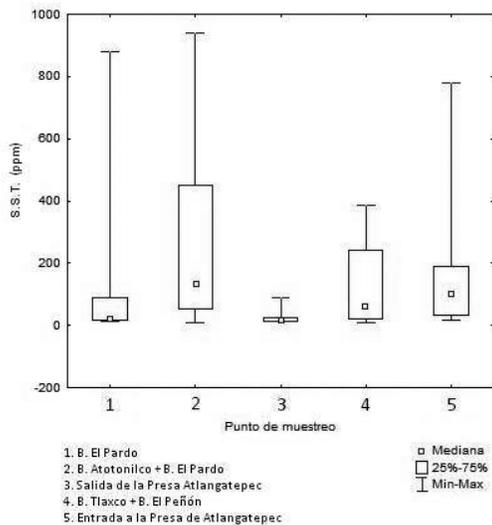


FIGURA 4. VALORES MÍN.-MÁX., 25%-75% Y MEDIANA DE LAS CONCENTRACIONES DE SST (PPM) EN EL AGUA DE LAS BARRANCAS DE LA REGIÓN NORTE DE LA CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN.

Min-Max values, 25% -75% and median concentrations of SST (ppm) in the water of the gullies of northern Zahuapan river basin.

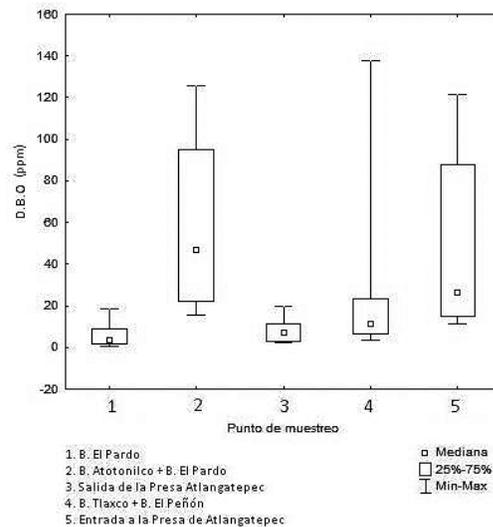


FIGURA 5. VALORES MÍN.-MÁX., 25%-75% Y MEDIANA DE LAS CONCENTRACIONES DE DBO (PPM) EN EL AGUA DE LAS BARRANCAS DE LA REGIÓN NORTE DE LA CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN.

Min-Max values, 25% -75% and median concentrations of BOD (ppm) in the water of the gullies of northern Zahuapan river basin.

las descargas de las comunidades de la región disminuyeron sus valores hasta alcanzar sus registros más bajos con la descarga de las barrancas en el punto antes de la presa de Atlangatepec (Fig. 6). Al comparar los muestreos de acuerdo a la temporada del año (lluvias y estiaje), no existieron diferencias estadísticas en las variables SDT, DBO y OD, pero sí en los SST (Prueba U de Mann-Whitney, $p=0.00$).

Los bajos valores observados en los puntos de muestreo El Pardo y salida de la presa, en las variables SDT, SST y DBO, se deben a que el punto El Pardo está ubicado en el nacimiento del río Zahuapan y en esa región no tiene ninguna descarga de aguas residuales (se puede utilizar como valores de referencia); el punto Atlangatepec está ubicado a la salida de la presa del mismo nombre, la cual funciona como una enorme laguna de tratamiento de

agua (Suárez et al. 2011). En la trayectoria del río por las comunidades de la región, recibe descargas de aguas residuales domésticas, lo cual ocasiona incrementos en los valores de estas variables. Las diferencias estadísticas observadas en la variable SST para las dos épocas del año, suponen que la erosión hídrica contribuye a la contaminación del río. Estos comportamientos indican que las descargas de aguas residuales son el principal contribuyente de la contaminación del río en esta área y que la erosión hídrica también contribuye a la misma.

Del análisis de los seis escurrimientos de la cuenca alta del río Zahuapan: Barrancas Atotonilco, El Pardo, Tlaxco, El Peñón, Atlangatepec y San Pedro (Fig. 2), se observó lo siguiente:

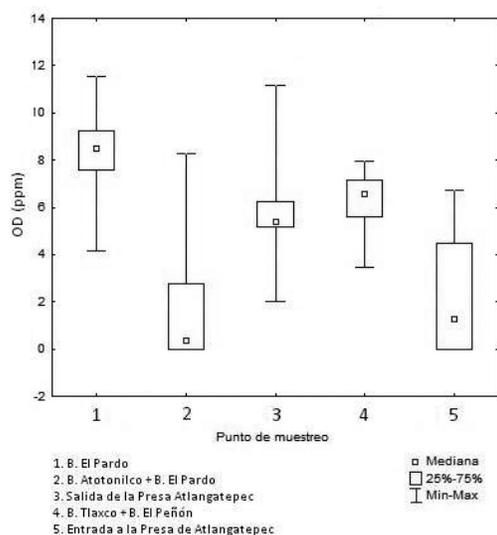


FIGURA 6. VALORES MÍN.-MÁX., 25%-75% Y MEDIANA DE LAS CONCENTRACIONES DE OD (PPM) EN EL AGUA DE LAS BARRANCAS DE LA REGIÓN NORTE DE LA CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN.

Min-Max values, 25% -75% and median concentrations of DO (ppm) in the water of the gullies of northern Zahuapan river basin.

Barranca Atotonilco

Esta barranca tiene una longitud de 6.943 m y va de oriente a poniente (Fig. 2). En los primeros 300 m, tomando como referencia la cabecera de la cuenca, se encuentra ubicada la comunidad de Atotonilco, en esta área es común observar la presencia de residuos sólidos a cielo abierto. A lo largo de la barranca se observa principalmente el problema de erosión hídrica, ocasionado por la deforestación y el mal manejo de las áreas de cultivo. Otro problema es la descarga de aguas residuales, que se refleja en los valores de la Conductividad, SDT y OD del agua de la barranca, los cuales oscilaron de 0,023 a 0,763 $\mu\text{s m}^{-1}$, de 14 a 496 ppm y de 0,92 a 3,4 ppm,

respectivamente. La temperatura del agua de la barranca fluctuó entre los 13 y 22 °C con valor promedio de 17,5 °C, la variabilidad de este parámetro está asociada a presencia de vegetación riparia (a mayor cubierta vegetal menor temperatura del agua) y al horario de muestreo (la temperatura del agua fue incrementando con el horario). El pH osciló entre 7,3 y 8,1 unidades. El caudal del agua en la barranca osciló de 0,17 a 10,32 l s⁻¹ (Tabla 1).

Barranca El Pardo

La longitud de esta barranca es de 6.511,52 m y va de noreste a suroeste (Fig. 2). El agua que escurre en esta barranca es la de mejor calidad de toda la cuenca. Con valores de Conductividad, SDT y OD, de 0,112 a 0,121 $\mu\text{s m}^{-1}$, de 73 a 79 ppm y de 3,0 a 3,3 ppm, respectivamente. La temperatura fluctuó de 11,1 a 16,42 °C, su variabilidad estuvo asociada a los horarios de registro (la temperatura del agua fue incrementando con el horario). El pH se mantuvo entre 8 y 8,1 unidades. Esta área presenta problemas de erosión hídrica causada por la deforestación y aunque no existen asentamientos humanos a su alrededor, existen microbasurales a cielo abierto en los primeros 2 km y entre los 4 y 6,5 km de su recorrido. El caudal del agua fue de 12,5 a 86,7 l s⁻¹ (Tabla 2).

Barranca Tlaxco

Esta barranca tiene una longitud de 7.368 m y va de norte a sur (Fig. 2). Los principales problemas que presenta esta área son la erosión hídrica originada por la deforestación, los residuos sólidos depositados a cielo abierto y la descarga de aguas residuales. Los residuos sólidos se observaron en la cabecera de la

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LA BARRANCA ATOTONILCO, UNIDAD DE TRABAJO 1, CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN, TLAXCALA, MÉXICO.

Features of Atotonilco gully, work unit 1, Zahuapan river basin, Tlaxcala, Mexico.

Tramo	Coordenadas del punto de inicio	Longitud en m	Caudal (l/s)	Principales problemas	Características del agua				
					pH	Conductividad $\mu\text{s m}^{-1}$	SDT ppm	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	OD ppm
1	19° 35' 21.88" N 98° 06' 36.00" O	0	0,42	Residuos sólidos, erosión	7,3	0,305	198	17,92	2,29
2	19° 35' 15,00" N 98° 06' 23,72" O	319,73	1,82	Deforestación	7,3	0,331	215	17,48	1,01
3	19° 35' 16,23" N 98° 06' 72,00" O	439,73	2,32	Residuos sólidos	7,4	0,355	231	13,17	1,51
4	19° 35' 16,36" N 98° 06' 33,82" O	659,54	10,32	Erosión	7,6	0,763	496	16,07	1,58
5	19° 35' 19,81" N 98° 06' 37,37" O	1.133,47	5,06	Deforestación	7,6	0,671	436	17,58	0,92
6	19° 35' 28,41" N 98° 06' 47,06" O	1.875,94	3,96	Deforestación	7,5	0,539	350	18,55	1,1
7	19° 35' 36,48" N 98° 07' 04,44" O	261,01	2,25	Erosión	7,4	0,023	14	19,45	2,32
8	19° 30' 00,00" N 98° 07' 15,72" O	3.525,19	0,17	Deforestación	7,6	0,508	330	12,57	3,02
9	19° 35' 54,58" N 98° 07' 28,64" O	4.148,19	0,46	Erosión	7,8	0,350	225	15,01	3,1
10	19° 35' 58,48" N 98° 07' 39,16" O	4.557,28	5,22	Erosión	7,6	0,693	450	22,16	3,4
11	19° 35' 38,04" N 98° 08' 12,38" O	5.847,85	1,50	Deforestación	7,8	0,118	76	21,04	3,3
12	19° 35' 07,74" N 98° 08' 29,70" O	6.943,08	9,96	Deforestación	8,1	0,136	89	19,72	3,4

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE LA BARRANCA EL PARDO, CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN, TLAXCALA, MÉXICO.

Features of El Pardo gully, Zahuapan river basin, Tlaxcala, Mexico.

Tramo	Coordenadas del punto de inicio	Longitud en m	Caudal (l/s)	Principales problemas	Características del agua				
					pH	Conductividad $\mu\text{s m}^{-1}$	SDT ppm	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	OD ppm
1	19° 38' 13,50" N 98° 06' 29,17" O	0	41,4	Residuos sólidos, erosión	8,11	0,112	73	11,1	3,3
2	19° 37' 15,02" N 98° 06' 49,44" O	2.023,84	15	Deforestación	8,09	0,117	76	11,8	3,1
3	19° 36' 25,68" N 98° 07' 32,91" O	4.285,86	12,5	Residuos sólidos	8,04	0,119	77	12,31	3,0
4	19° 35' 42,69" N 98° 08' 29,65" O	6.511,52	86,7	Erosión	8,08	0,121	79	16,42	3,0

cuenca, en los primeros 1,4 km y entre los 4,5 y 7,4 km de la longitud de la barranca. La Conductividad, SDT y OD oscilaron de 0,139 a 320 μs^{-1} , de 130 a 860 ppm y de 1,9 a 4,98 ppm, correspondientemente. La temperatura del agua de la barranca fluctuó entre los 11 y 16,7 $^{\circ}\text{C}$ con valor promedio de 13,6 $^{\circ}\text{C}$, la variabilidad de este parámetro está asociada a presencia de vegetación riparia y al horario de muestreo. El pH osciló entre los 7,9 y 8,4 unidades. El caudal del agua en la barranca fue de 1,84 a 75,95 l s^{-1} (Tabla 3).

Barranca El Peñón

La longitud de esta barranca es de 7.490 m y va de noroeste a sureste (Fig. 2). Los principales problemas de esta área son la erosión hídrica ocasionada por la deforestación, así como las descargas de aguas residuales, principalmente en el primer y tercer tramo. La Conductividad, SDT y OD oscilaron de 0,139 a 0,763 $\mu\text{s m}^{-1}$, de 86 a 496 ppm y de 1,6 a 3 ppm, respectivamente. La temperatura varió de 11,2 a 18,7 $^{\circ}\text{C}$, influenciada por la

Problemática ambiental cuenca río Zahuapan

TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LA BARRANCA TLAXCO, CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN, TLAXCALA, MÉXICO.

Features of Tlaxco gully, Zahuapan river basin, Tlaxcala, Mexico.

Tramo	Coordenadas del punto de inicio	Longitud en m	Caudal (l/s)	Principales problemas	Características del agua				
					pH	Conductividad $\mu\text{s m}^{-1}$	SDT ppm	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	OD ppm
1	19° 37' 59,40" N 98° 07' 19,10" O	0	69,68	Residuos sólidos erosión	8,22	0,139	860	11,02	1,9
2	19° 37' 14,37" N 98° 07' 28,59" O	1,453	23,25	Deforestación	7,87	0,2	130	14,1	2,8
3	19° 36' 46,11" N 98° 07' 26,52" O	2,434,66	22,08	Residuos sólidos	7,85	0,272	177	13,67	2,97
4	19° 36' 02,20" N 98° 08' 11,70" O	4,563,31	1,84	Erosión	8,09	0,292	190	12,75	4,98
5	19° 34' 55,79" N 98° 08' 51,90" O	7,368,17	75,95	Deforestación	8,34	0,32	207	16,68	1,9

vegetación riparia. El pH fluctuó de 7,6 a 8,2 unidades. El caudal del agua en la barranca fue de 0,29 a 105,9 l s⁻¹ (Tabla 4).

Barranca Atlangatepec

Esta barranca va de este a oeste y tiene una longitud de 5.941 m (Fig. 2). Inicia al norte de un relleno sanitario (Tetla) y cruza la carretera federal Apizaco-Tlaxco. Los residuos sólidos observados en su primer tramo corresponden

a los vertidos por la gente que transita por la carretera. Los principales problemas son la erosión hídrica ocasionada por la deforestación. Existe descarga de aguas residuales en el tramo dos. El agua de la barranca manifestó una Conductividad, SDT y OD de 0,118 a 247 $\mu\text{s m}^{-1}$, de 77 a 130 ppm y de 1,9 a 3,02 ppm, respectivamente. El pH fluctuó de 7,02 a 7,88 unidades. La temperatura se mantuvo de 17 a 18 $^{\circ}\text{C}$. El caudal del agua en la barranca fue de 10,5 a 99,31 s⁻¹ (Tabla 5).

TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE LA BARRANCA EL PEÑÓN, CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN, TLAXCALA, MÉXICO.

Features of El Peñón gully, Zahuapan river basin, Tlaxcala, Mexico.

Tramo	Coordenadas del punto de inicio	Longitud en m	Caudal (l/s)	Principales problemas	Características del agua				
					pH	Conductividad $\mu\text{s m}^{-1}$	SDT ppm	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	OD ppm
1	19° 39' 49,50" N 98° 10' 5,8" O	0	0,2912	Erosión, deforestación	7,56	0,763	496	16,07	1,58
2	19° 38' 45,91" N 98° 09' 36,46" O	1,929,83	18,72	Erosión	8,22	0,139	86	11,2	2,3
3	19° 37' 59,52" N 98° 09' 16,10" O	2,541,58	37,52	Deforestación	7,87	0,200	298	18,7	1,6
4	19° 36' 49,45" N 98° 08' 35,18" O	5,285,58	50,22	Erosión	7,85	0,272	130	14,1	1,9
5	19° 35' 43,82" N 98° 08' 29,80" O	7490,17	105,88	Deforestación	8,09	0,290	190	12,75	2,97

TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DE LA BARRANCA ATLANGATEPEC, CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN, TLAXCALA, MÉXICO.

Features of Atlangatepec gully, Zahuapan river basin, Tlaxcala, Mexico.

Tramo	Coordenadas del punto de inicio	Longitud en m	Caudal (l/s)	Principales problemas	Características del agua				
					pH	Conductividad $\mu\text{s m}^{-1}$	SDT ppm	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	OD ppm
1	19°31'33,93" N 98°07'28,82" O	0	29,6	Deforestación, residuos sólidos, erosión	7,02	0,118	77	17,62	2,97
2	19°32'35,87" N 98°07'02,04" O	2.650,59	10,5	Deforestación, erosión	7,26	0,247	860	17,98	3,02
3	19°33'06,57" N 98°08'57,60" O	4.570,44	99,3	Deforestación, erosión	7,88	0,201	130	16,98	1,9
4	19°33'44,15" N 98°09'19,22" O	5.941,44	64,7	Deforestación, erosión	7,56	0,197	177	17,01	2,3

Barranca San Pedro

Esta barranca tiene una longitud de 8050 m y va de este a oeste (Fig. 2). Los principales problemas en esta área son la erosión hídrica causada por la deforestación. La

Conductividad, SDT y OD fluctuaron de 0,139 a 0.225 $\mu\text{s m}^{-1}$, de 86 a 143 ppm y de 2,3 a 4,5 ppm, respectivamente. La temperatura osciló de 11,2 a 18,9, asociada a la presencia de vegetación riparia. El pH se mantuvo de 8,1 a 8,5 unidades (Tabla 6).

TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DE LA BARRANCA SAN PEDRO, CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN, TLAXCALA, MÉXICO.

Features of San Pedro gully, Zahuapan river basin, Tlaxcala, Mexico.

Tramo	Coordenadas del punto de inicio	Longitud en m	Principales problemas	Características del agua				
				pH	Conductividad $\mu\text{s m}^{-1}$	SDT ppm	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	OD ppm
1	19° 31' 00,30" N 98° 07' 50,30" O	0	Erosión, deforestación	8,22	0,139	86	11,2	2,3
2	19° 30' 31,16" N 98° 10' 32,70" O	2.030,68	Erosión	8,45	0,153	100	18,9	4,1
3	19° 28' 58,80" N 98° 12' 01,90" O	5.295,99	Deforestación	8,05	0,225	143	17,48	4,5
4	19° 29' 09,28" N 98° 12' 52,24" O	8.050,09	Erosión	8,15	0,180	117	14,91	2,9

La problemática ambiental que se observó en la región fue principalmente la erosión causada por la deforestación y el mal manejo de las actividades agrícolas, este comportamiento ya se ha observado en otras cuencas (Xiaoying & Ji 2010, Sevilla et al. 2008) debido al modelo de explotación de los recursos naturales. En cuatro de las seis barrancas se observaron residuos sólidos, los cuales están asociados a los asentamientos humanos y/o sitios de tránsito vehicular, comportamiento ya observado en otras cuencas (Rajkumar & Xu 2011).

La descarga de aguas residuales sin tratamiento previo afecta la calidad del agua, ya que provoca valores bajos de OD y aumento en los valores de conductividad y SDT (Paredes et al. 2009), como se observó en las barrancas de Tlaxco, El Peñón y Atotonilco; los valores altos de OD y bajos de conductividad y SDT, se observaron en lugares donde no existieron descargas de aguas residuales (barrancas El Pardo y San Pedro), cabe resaltar que en las otras barrancas también se registraron los mismos comportamientos asociados a tramos largos de recorrido del agua sin presencia de descargas de aguas residuales, esto resalta la importancia de reconocer que las barrancas tienen una capacidad de recuperación de la calidad del agua, misma que se puede ocupar para garantizar la calidad del agua del río principal. En cinco de las seis barrancas toda el agua que escurre es de origen doméstico (residual), solamente en la barranca de El Pardo el agua es de origen subterráneo (manantiales).

La implementación de medidas de tratamiento de las aguas residuales de las comunidades de la zona, obligaría a darle otro uso a esta agua post tratamiento para hacerlo rentable, esto ocasionaría la disminución del caudal del río Zahuapan (ya percibido por algunos pobladores), medida que también

afectaría a las comunidades acuáticas y riparias, por la escasez de agua, así como a las actividades agrícolas que utilizan agua del río para riego, entre otras.

Percepción de la problemática ambiental asociada al deterioro del Río Zahuapan

De las 180 encuestas realizadas a los habitantes de las comunidades aledañas a las diferentes barrancas, se observó que:

En promedio 77% de los encuestados nacieron en su comunidad, fluctuando del 90% en El Peñón al 63% en Tlaxco. De acuerdo a sus respuestas los cambios más perceptibles en la comunidad son la presencia de pavimento (22%), con el porcentaje más alto en El Peñón (27%) y el más bajo en Atotonilco (17%); el desmonte (13%), con los porcentajes más altos en Atotonilco y San Pedro (23%) y los más bajos en los restantes (7% cada uno); mejora de los servicios (10%), oscilando del 17% en Atotonilco a 3% en El Peñón; construcción de casas (9%), con el porcentaje más alto en El Pardo 13%, y los más bajos en Atotonilco y El Peñón (7%); y crecimiento poblacional (9%), fluctuando del 13% en San Pedro y Atotonilco al 3% en El Peñón; el 9% no contestó y el resto mencionó otros cambios no asociados directamente a la contaminación del río (e.g. alcoholismo).

De los encuestados el 90% mencionó que en su comunidad se ha realizado reforestación, los porcentajes más bajos corresponde a San Pedro (80%) y los más altos a Tlaxco (97%).

El 84% consideran que ha disminuido la cantidad de agua en el río Zahuapan, con porcentajes más altos San Pedro (100%) y más bajos Tlaxco (67%). Y solamente el 9% cree que está contaminado, fluctuando de 20% en Tlaxco a 3% en El Peñón.

De los que creen que el río está contaminado, 21% consideran que es por la

suciedad (aguas residuales y residuos sólidos), 17% por la tala de bosques, 13% por la falta de lluvia, 11% porque todo escurre al río (aguas residuales, residuos sólidos, fertilizantes y plaguicidas), 9% por el aumento de la población, 15% no sabe por qué y 11% no contestaron.

Con relación a propuestas para enfrentar la problemática del agua, el 24% de los encuestados considera que hace falta construir obras de retención de agua (jagüeyes), dándose los porcentajes más altos en San Pedro (30%) y los más bajos en Atotonilco y El Pardo (20%); el 11% menciona la necesidad de cuidar los árboles, fluctuando de 20% en El Peñón a 7% en Tlaxco; y el 10% mantener los recursos naturales, con porcentajes de 13 % en El Peñón y 7% en Tlaxco.

Con relación a los sistemas riparios, el 49% considera que no hay animales en el agua del río, el 25% que hay peces, el 14% que hay serpientes y el 12% no sabe. El 49% cree que no hay plantas en el agua, 25% que sí hay y 26% no sabe.

Estos hallazgos corroboran lo observado para el estado de Tlaxcala, sobre la problemática ambiental de la región (erosión, deforestación, contaminación del agua y del aire, contaminación por residuos sólidos peligrosos y la pérdida de la biodiversidad) y amplían el panorama sobre la falta de percepción y conocimiento, como es el caso de las comisiones municipales de ecología (encargadas de la gestión ambiental municipal), sobre esta problemática (Espejel 2006).

CONCLUSIONES

Las descargas de aguas residuales son el principal contribuyente de la contaminación del río Zahuapan en la región norte de la cuenca, la erosión hídrica y los residuos sólidos le siguen en importancia.

La presencia de pavimento, la deforestación, el crecimiento poblacional (por consecuencia de construcción de casas) son los principales cambios que la gente percibe y que están asociados al deterioro de la calidad ambiental de la región. Aunque la mayoría (90%) conoce la implementación de programas de reforestación, la deforestación está presente y es problema primordial.

El 84% de los encuestados percibe una disminución de la cantidad del agua del río. Y solamente el 9% conceptúan que el río está contaminado. De ese 9% el 21% considera que es por suciedad (aguas residuales y residuos sólidos), 17% por deforestación, 13% por falta de lluvia, 11% porque todo escurre al río (aguas residuales, residuos sólidos, fertilizantes y plaguicidas) y 9% por el crecimiento de la población.

Para enfrentar esta problemática del río Zahuapan, los pobladores consideran que la construcción de reservorios, el cuidado de los árboles y la preservación de los recursos naturales en general, son opciones viables.

Del 61 al 75% de los encuestados no sabe o considera que no existen organismos en el río.

Por lo anterior queda evidenciado que existe un alto grado de deterioro en la región norte de la cuenca del río Zahuapan y como consecuencia un alto grado de deterioro del río. La creciente modificación del ambiente por el crecimiento poblacional que experimenta la región, la falta de conocimiento sobre la existencia e importancia de los sistemas riparios, aunado a la poca percepción del deterioro del río, nos permite sugerir que un plan de restauración del río para esta región deberá incluir al menos el manejo adecuado de los residuos sólidos, las aguas residuales, reforestación del área y manejo sustentable de los recursos naturales, apoyado por un fuerte componente de educación ambiental.

LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ O & G POVEDA (2006) Disponibilidad potencial de recursos hídricos en Colombia según el criterio de la entropía informacional. *Avances en recursos hídricos* 13: 1-12.
- BATLLORIE, J GONZÁLEZ, J DÍAZ & J FEBLES (2006) Caracterización hidrológica de la región costera noroccidental del estado de Yucatán, México. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía* 59: 74-92.
- CARREON MF (2008) Evaluación y Planeación del recurso agua en la subcuenca del río Zahuapan. Tlaxcala. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- ESPEJEL RA (2006) Problemas ambientales. Editorial Universidad Autónoma de Tlaxcala. México.
- INEGI (2013) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo Nacional 2010. En Internet: <http://www.inegi.org.mx>. Consultado en agosto de 2013.
- MUÑOZ H, J SUÁREZ, A VERA, S OROZCO, J BATLLE, A ORTIZ & J MENDIOLA (2012) Demanda bioquímica de oxígeno y población de la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28(1): 27-34.
- MUÑOZ ML (2007) Simulación de la disponibilidad de agua y contaminación por materia orgánica en la subcuenca del río Zahuapan. Tlaxcala. Tesis de licenciatura en biología. Universidad Autónoma de Tlaxcala, México.
- PAREDES J, J ANDREU & A SOLERA (2010) A decision support system for water quality issues in the Manzanares River (Madrid, Spain). *Science of the Total Environment* 408: 2576-2589.
- RAJKUMAR Y & X YONGXIN (2011) Protection of Borehole Water Quality in Sub-Saharan Africa using Minimum Safe Distances and Zonal Protection. *Water Resource Management* 25: 3413-3425.
- SEVILLA V, J COMERMA & O SILVA (2009) Caracterización de la cuenca del río Canoabo en el estado Carabobo, Venezuela. I. análisis climático y de producción de agua. *Agronomía Tropical* 59: 33-44.
- SOLARTE Y, M TREJOS & H MATERÓN (2009) Caracterización del recurso hídrico de la subcuenca agua clara río Bolo para fines de abasto de agua. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* 8: 1-11.
- SOSA F (2012) Assessing Water Quality in the Developing World: An Index for Mexico City. *Water Quality Monitoring and Assessment* 22: 495-508.
- SOTO O, J CARRILLO & J SUÁREZ (2011) Concentraciones de metales y metaloides en sedimentos del río Zahuapan. En: Jiménez R & M Hernández (eds) *Zahuapan: Río-región-contaminación: 57-78*. Editorial El Colegio Tlaxcala, México.
- SUÁREZ J, H MUÑOZ, S OROZCO, G SÁNCHEZ, W RITTER, M CARREÓN, M MUÑOZ & J TREVIÑO (2008) Impacto del cambio climático global en la disponibilidad de agua en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Avances en Recursos Hidráulicos* 17: 25-31.
- SUÁREZ J, H MUÑOZ, S OROZCO, G SÁNCHEZ, W RITTER, M CARREÓN, M MUÑOZ. & J TREVIÑO (2009) Disponibilidad de agua y el cambio climático global en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Gestión Ambiental* 18: 49-61.
- SUÁREZ J, MF CARREÓN, S CHAMIZO & S OROZCO (2011) Análisis de la contaminación: Disponibilidad y contaminación de agua en la cuenca del río Zahuapan. En: Jiménez R & M Hernández (eds) *Zahuapan: Río-región-contaminación: 33-55*. Editorial El Colegio Tlaxcala. México.
- VALENCIA P, S WALISZEWSKI, J GÓMEZ, J SUÁREZ & SÁNCHEZ J (2011) Detección de mezclas complejas de sustancias con efectos genotóxicos en el sistema hidrológico Atoyac-Zahuapan (SH-AZ), Tlaxcala. En: Jiménez R & M Hernández (eds) *Zahuapan: Río-región-contaminación: 23-31*. Editorial El Colegio Tlaxcala. México.
- WANG S, T STILES & T FLYNN (2009) A modeling approach to water quality management of an agriculturally dominate watershed, Kansas, USA. *Water Air Soil Pollution* 2003: 193-206.

XIAOYING Y & J WEI (2010) GIS-based spatial regression and prediction of water quality in river networks: A case study in Iowa. *Journal of Environmental Management* 91: 1943-1951.

Recibido 15/03/2012; aceptado 29/08/2013

