



## DESCRIPCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS EN EL RÍO ZAHUAPAN, MÉXICO

Description of solid concentration in Zahuapan river, Mexico

*H Muñoz-Nava*<sup>1\*</sup>, *E Sedeño-Torres*<sup>2</sup>, *M Gómez-Camarillo*<sup>3</sup>, *J Suárez-Sánchez*<sup>1</sup>, *JC Van Der Wal*<sup>4</sup>, *R Valencia-Quintana*<sup>1</sup> & *L Juárez-Santacruz*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala. <sup>2</sup>Graduada Maestría en Ciencias en Sistemas del Ambiente, Universidad Autónoma de Tlaxcala. <sup>3</sup>Centro de Investigación en Genética y Ambiente, Universidad Autónoma de Tlaxcala. <sup>4</sup>Unidad Villahermosa, El Colegio de la Frontera Sur, México.

\*Autor correspondiente/corresponding author: Correo electrónico/E-mail: hipolito78@hotmail.com

### RESUMEN

El río Zahuapan está afectado por las actividades antrópicas. El objetivo fue describir temporal y espacialmente la concentración de sólidos: totales, fijos, volátiles, suspendidos, y disueltos. Se utilizaron datos de estos contaminantes de 2000 a 2014. La descripción temporal se realizó anual y mensualmente, y espacial con base en las áreas de captación (microcuencas) de los afluentes del río. Como una forma de identificar semejanzas entre las microcuencas y encontrar posibles asociaciones entre ellas, se realizó análisis factorial exploratorio. Los resultados mostraron que en el río predominaron los sólidos fijos y en menor medida los volátiles. En la mayoría de los años considerados, las concentraciones de sólidos superaron o estuvieron alrededor de los límites máximos, exceptuando los sólidos volátiles. Los sólidos totales, fijos, suspendidos y disueltos mostraron una variación estacional influenciada por la temporada de lluvias. Se identificaron 12 microcuencas y éstas tuvieron un efecto aditivo sobre la concentración de sólidos. El análisis factorial mostró que las microcuencas fueron diferentes y deben ser consideradas como unidades independientes en las acciones de saneamiento del río Zahuapan.

Palabras clave: contaminación de ríos, sólidos, río Zahuapan.

### ABSTRACT

Zahuapan River is affected by anthropic activities. The goal of this study was to describe temporal and spatially the solids concentration: total, fixed, volatile, suspended and dissolved. Data of those

pollutants were used from 2000 to 2014. The temporal description was made annually and monthly, and spatially description was made on the base of watershed (microbasins) tributaries of the river. In order to identify likeness between microbasins and find out possible associations, the exploratory factorial analysis was made. Results showed that fixed solids were predominant, and volatile solids lesser extent. The bulk of them considered year, solids concentrations were greater than or around of ceilings, excepting volatil solids. Total, fixed, suspended, and dissolved solids showed seasonal variation due by rainfall. 12 microbasins were identified; they had an additive effect on solids concentration. Factorial analysis showed that microbasins were different, and they must be considered as independent units in actions to reclaim Zahuapan River.

Key words: pollution of rivers, solids, Zahuapan River.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación de los ríos es aguda en los países en vías de desarrollo, debido a que reciben agua contaminada sin tratamiento de la agricultura, ganadería, aguas residuales municipales e industriales y erosión del suelo. Los sólidos son contaminantes que afectan a los ríos, están presentes en forma suspendida o disuelta. Los sólidos suspendidos son los retenidos en un filtro con tamaño de poro de 2  $\mu\text{m}$  (MSCFI 2001), contienen materia orgánica e inorgánica (Bilotta et al. 2008) que puede ser volátil o no, la suma de ambas se le conoce como sólidos suspendidos totales (SST). Los sólidos de material orgánico e inorgánico contenidos en el filtrado son llamados sólidos disueltos totales (SDT) (Metcalf & Eddy 2003). El material que puede ser quemado y volatilizado cuando se calcina a 500  $^{\circ}\text{C}$  es clasificado como volátil. En general, se presume que los sólidos volátiles son materia orgánica, aunque hay sólidos orgánicos que no se calcinan y sólidos inorgánicos que se rompen a altas temperaturas (Metcalf & Eddy 2003). Los sólidos fijos son los que permanecen después de que la muestra de agua ha sido incinerada. Los sólidos volátiles totales (SVT) y los sólidos fijos totales (SFT) incluyen la parte suspendida y disuelta. La suma de SST y SDT da como resultado los sólidos totales (ST).

Los sólidos afectan la vida acuática en los ríos. La OMS (2006) establece una concentración máxima de 1.500  $\text{mgL}^{-1}$  de ST y para los SDT, la OMS (2006) establece una concentración máxima de 1.000  $\text{mgL}^{-1}$ . La European Freshwater Fisheries Directive sugiere que concentraciones de SST mayores de 25  $\text{mgL}^{-1}$  son perjudiciales para la población de salmones y ciprínidos (Bilotta et al. 2008), y en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 de la legislación mexicana el límite máximo es de 40  $\text{mgL}^{-1}$ , para no dañar la vida acuática (MSMARN 2003). Desafortunadamente para los SFT y SVT no se reportan límites máximos de concentración en ríos.

Las concentraciones de sólidos en los ríos serán mayores en los ecosistemas impactados por las actividades antrópicas y serán menores en aquellos donde se realizan prácticas de buen manejo de los recursos o no se encuentran afectados. En la literatura se reportan concentraciones de hasta tres órdenes de magnitud de sólidos disueltos totales en los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino (Rivera-Vázquez et al. 2007, Guzmán et al. 2007), en el bajo río Conchos (Gutiérrez & Carreón-Hernández 2004), en el Río Nexapa (Silva et al. 2002) y en el Río San Juan (Flores & Návar 2002), estos ríos están ubicados en México. En el río Ebro (España), Quesada et al. (2014) reportaron una máxima concentración de sólidos suspendidos de dos órdenes

de magnitud. Las concentraciones de sólidos, en ríos con menor afectación, se encuentran en el intervalo de un orden de magnitud o menor, por ejemplo en los tributarios del lago Lanier (USA) (Zeng & Rasmussen 2005), en tres tributarios del lago Acton (USA) (Renwick et al. 2008), en el río Koiliaris (Creta) (Sibetheros et al. 2013), y en las corrientes con vegetación de ribera al suroeste de Georgia (USA) (Muenz et al. 2006).

Es del conocimiento local que el río Zahuapan está fuertemente afectado por las actividades antrópicas como la erosión del suelo y las descargas de aguas residuales sin o cuasi tratamiento. Por lo que el objetivo de este trabajo es describir espacial y temporalmente las concentraciones de sólidos totales, disueltos y suspendidos, así como sus fracciones fijas y volátiles.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Área de estudio*

EL río Zahuapan se encuentra en la parte alta de la cuenca del Río Balsas, la cual pertenece a la región hidrológica RH18 de la República Mexicana (CONAGUA 2010). Esta cuenca está dividida en tres subregiones hidrológicas: a) Alto Balsas, b) río Cutzamala y Medio Balsas, y c) Bajo Balsas. La subregión del Alto Balsas o de los ríos Atoyac y Mixteco se subdivide en las subcuencas: Las Cerradas Orientales, Alto Atoyac, Bajo Atoyac, Nexapa, Amacuzac, Tlapaneco y Mixteco (Toledo 2003). En la subcuenca del Alto Atoyac hay escurrimientos que forman dos corrientes principales: la del río Atoyac y la del río Zahuapan, la segunda es considerada afluente de la primera. Este estudio se realizó en el río Zahuapan, Estado de Tlaxcala, México (Fig. 1). La corriente del río Zahuapan es formada por los escurrimientos de la sierra de Tlax-

co, lomeríos del Bloque de Tlaxcala y de la montaña La Malinche. En la sierra de Tlaxco nace el río Zahuapan y la corriente El Fondón. En los lomeríos del Bloque de Tlaxcala se forman las corrientes Totolac y Rojano, y de la Malinche se forman las corrientes Amoloc, Atenco, Grande y Viejo. En la temporada de sequía, un porcentaje importante del caudal es aportado por pequeños manantiales, descargas de aguas residuales y por la presa Atlangatepec. Hay siete represas que interrumpen la corriente del río. El río Zahuapan fluye de norte a sur y está dividido en dos segmentos por la presa de Atlangatepec (Fig. 1). El segmento 1 que descarga a la presa tiene una longitud de 23 km; el segmento 2 que se une al río Atoyac es de 75 km. La pendiente media del río es de 0.011 (estimación hecha por los autores). En la subcuenca del río Zahuapan hay un mosaico de varios tipos de suelo. Los que más área cubren son los de tipo fluvisol, regosol, cambisol, vertisol, feozem, litosol y andosol (Werner 2012). La precipitación media anual es de aproximadamente 700 mm. En el norte de la subcuenca, la actividad económica predominante es la agricultura de temporal o de época de lluvias; en el sur hay una combinación de actividades agrícola (de riego y de temporal) e industrial. La población se concentra en mayor medida en el centro-sur de la subcuenca, con densidades poblacionales en algunos municipios mayores a 1.000 hab.xkm<sup>-2</sup> (estimación de los autores).

### *Metodología*

Se utilizaron datos de concentración de sólidos obtenidos en la Dirección Local Tlaxcala de la Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA 2010), en la página web de la Comisión Estatal del Agua del Estado de Tlaxcala y de un proyecto de investigación

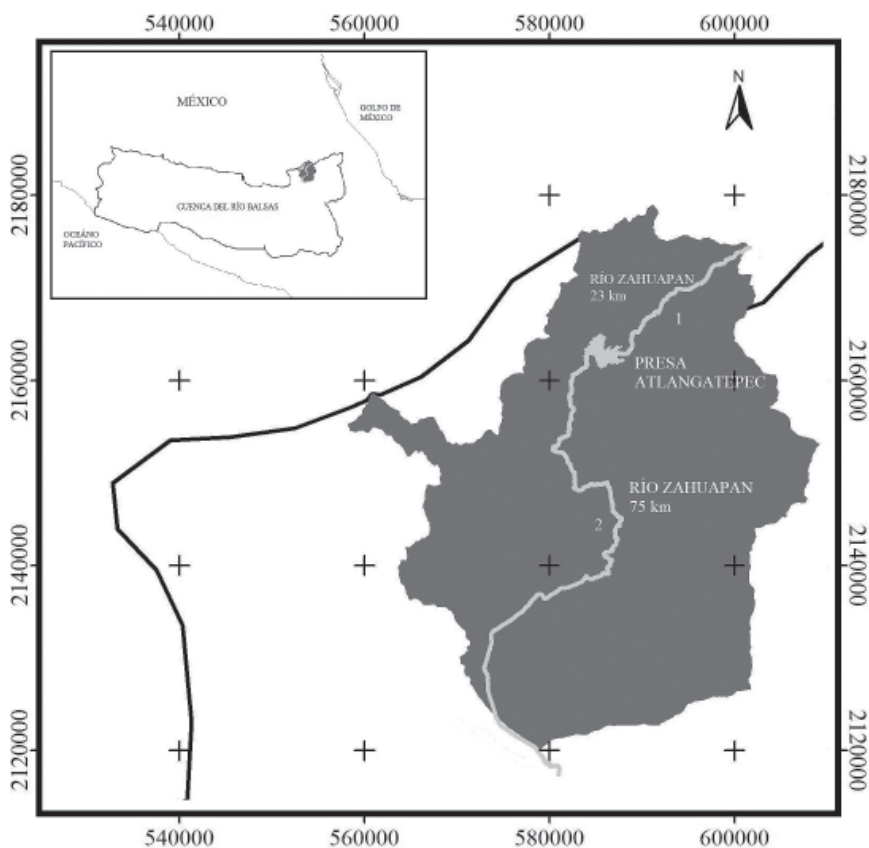


FIGURA 1. ÁREA DE ESTUDIO. CUENCA DEL RÍO BALSAS (RECUADRO) Y SUBCUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN.

Study area. Balsas River watershed (inset), and Zahuapan River sub-watershed.

de la Universidad Autónoma de Tlaxcala. En las tres fuentes de datos se determinaron las concentraciones de sólidos empleando el método establecido en la NMX-AA-034-SCFI-2001 (MSCFI 2001). Los datos de sólidos comprendieron los años de 2000 a 2007 y de 2012 a 2014.

Los tipos de sólidos analizados en este trabajo fueron Sólidos Totales (ST), Sólidos Fijos Totales (SFT), Sólidos Volátiles Totales (SVT), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Disueltos Totales (SDT). Los ST, SVT y SST se cuantifican en laboratorio y los SDT y los SFT se calculan por diferencia.

Se calcularon el promedio, mínimo, máximo y desviación estándar de los datos de ST, SFT, SVT, SST y SDT. La descripción del comportamiento de las concentraciones con respecto al tiempo y el espacio, se realizó por medio de gráficas de concentración contra los años, los meses y las microcuencas.

Los datos crudos fueron sometidos a pruebas de normalidad, las cuales consistieron en la elaboración de histogramas de frecuencias de ocurrencia como prueba visual y calculando el estadístico W de la prueba de Shapiro-Wilk. En esta última se establece la hipótesis nula ( $H_0$ ) de que los datos tienen distribución

normal si el estadístico W calculado con los datos es mayor al valor de W crítico. La estadística y las pruebas de normalidad fueron realizadas con el programa Statistica® versión 8.0.

Debido a que el río Zahuapan es formado principalmente por descargas de aguas residuales con o sin tratamiento y por afluentes de escurrimientos que se encuentran definidas por microcuencas, se delimitaron las áreas de captación de estas últimas. La delimitación de las áreas de captación se realizó mediante la generación, en ArcMapTM versión 9.3, de un modelo digital de elevación (MDE) tipo TIN (Triangulated Irregular Network), para lo cual se utilizaron curvas de nivel a 10 m (INEGI 1999). El siguiente paso fue cargar el MDE en el programa TAS (Terrain Analysis System) versión 2.0.9, para generar los grid's que contienen las delimitaciones de las microcuencas generadas con base en puntos de descarga de los principales afluentes del río. Posteriormente los grid's se cargaron en ArcMapTM para generar los polígonos de las microcuencas en formato shapefile.

Como una forma de identificar semejanzas entre las microcuencas y encontrar posibles asociaciones entre ellas, se realizó análisis

multivariado de tipo factorial exploratorio, empleando las concentraciones de sólidos considerados en este trabajo. Los datos que se utilizaron fueron aquellos que coincidieran en las fechas de muestreo. Con los datos seleccionados se elaboraron tablas, en las columnas se ubicaron las variables microcuencas y en las filas las fechas de muestreo. El análisis factorial se aplicó a los datos transformados con el logaritmo base e. Los métodos de extracción de factores que se probaron fueron el de componentes principales y el de máxima verosimilitud. La rotación de los factores se realizó empleando el método ortogonal Varimax normalizado. Debido a que las variables tuvieron las mismas unidades se empleó el algoritmo de matriz de covarianzas. Se elaboraron gráficas de dos factores, en las cuales se asociaron las microcuencas, por cada tipo de sólido.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estadística básica de las concentraciones de los sólidos en la corriente del río Zahuapan se encuentra en la Tabla 1. El número de datos que se recopilaron fue de 924 para ST, SST

Variable	n	Promedio	Mínimo	Máximo	DE
ST	924	627,3	90,0	3156,0	353,9
SFT	732	485,8	00,0	2244,0	307,0
SVT	732	150,1	04,0	1432,0	110,1
SST	924	156,0	02,0	2000,0	270,6
SDT	924	469,8	06,0	2840,0	228,9

TABLA 1. ESTADÍSTICA BÁSICA DE LOS DATOS DE CONCENTRACIÓN (mg L<sup>-1</sup>) DE SÓLIDOS DEL RÍO ZAHUAPAN. DE= Desviación estándar.

Basic statistics of solids concentration (mg L<sup>-1</sup>) from Zahuapan River.



y SDT, y 732 para SFT y SVT. Los promedios tuvieron el orden  $SFT > SDT > SST \approx SVT$ . El promedio de ST fue el mayor de los cinco tipos de sólidos, porque es la suma de las concentraciones de SDT y SST. La diferencia de los promedios entre los SFT y los SVT fue de  $335,7 \text{ mg L}^{-1}$ . Entre los valores mínimos y máximos, en cada tipo de sólido, hubo diferencias de tres órdenes de magnitud. La dispersión de los datos, medida con la desviación estándar, resultó mayor para los ST y menor para los SVT. Estos resultados mos-

traron que en el río Zahuapan predominan los sólidos fijos o de tipo mineral y en menor medida los sólidos volátiles o de tipo orgánico. Una fuente de sólidos fijos puede ser la erosión del suelo, debido a que en el Estado de Tlaxcala el 93.7% de la superficie se encuentra erosionada (Alvarado et al. 2007).

La Fig. 2 muestra las concentraciones de los sólidos desagregadas temporalmente con base en los años de 2000 a 2007 y de 2012 a 2014, en total estos lapsos comprenden 11 años. Los promedios en el gráfico se ubicaron

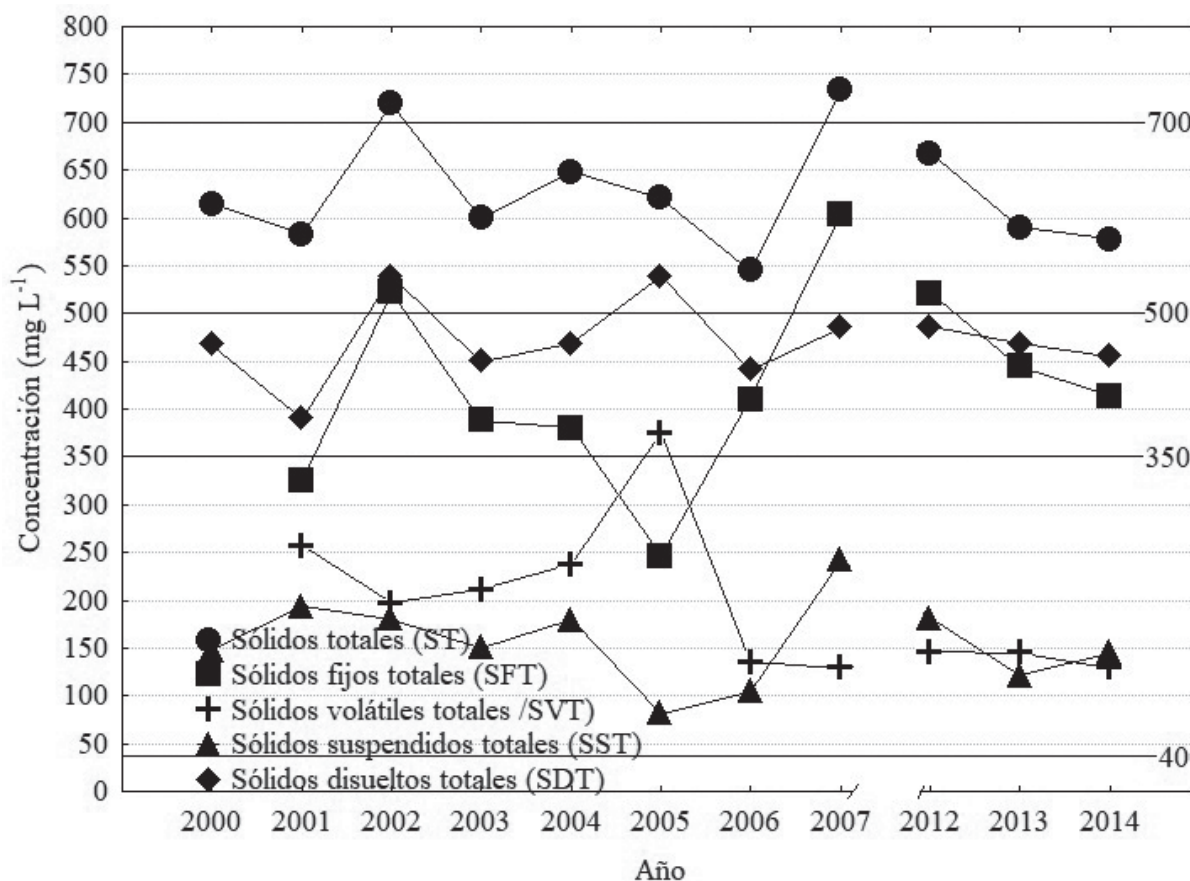


FIGURA 2. CONCENTRACIONES PROMEDIO DE SÓLIDOS DEL RÍO ZAHUAPAN, 2000-2014.

Solid concentration average from Zahuapan River, 2000-2014.

en el orden ST>SDT>SFT>SVT>SST. Se ve claramente que las concentraciones de ST, SDT y SFT fueron mayores a las de SVT y SST, exceptuando en el año 2005 donde las tendencias de SFT y SVT se cruzaron. Los ST, SFT y SST tuvieron sus máximos promedios en 2007, los SDT en 2002 y 2005, y los SVT en 2005. Las tendencias aumentaron y disminuyeron en lapsos de uno a cuatro años, por ejemplo, los SVT tuvieron una tendencia a aumentar de 2002 a 2005 y por otro lado la tendencia de los SFT fue disminuir en estos años. Comparados con las concentraciones máximas establecidas en la legislación, el resultado fue que los promedios de ST, en los años considerados, fueron menores al límite de 1500 mgL<sup>-1</sup> (OMS 2006) pero estuvieron alrededor de los 700 mgL<sup>-1</sup>. Metcalf & Eddy (2003) establecen que una concentración de sólidos totales de 720 mgL<sup>-1</sup> es la reportada para agua residual cruda generada con un consumo medio de agua de 460 L•d<sup>-1</sup>•persona<sup>-1</sup>. Es decir, con base en los niveles de ST, el agua del río Zahuapan puede ser considerada como este tipo de agua. En cuanto a los SDT, los promedios superaron en los años 2002 y 2005 el límite de 500 mgL<sup>-1</sup>, establecido en los criterios ecológicos de la legislación mexicana (SDUE 1989). Los promedios de SST rebasaron en los once años considerados, el límite de 40 mgL<sup>-1</sup> para la protección de la vida acuática establecida en la NOM-001-SEMARNAT-1996 (MSMARN 2003). En la literatura no se reportan límites máximos de SFT y SVT para ríos. En las aguas residuales crudas las concentraciones promedio de estos sólidos es de alrededor de 350 mgL<sup>-1</sup> (Metcalf & Eddy 2003).

En la Fig.2 se observa que exceptuando el año 2005, en todos los demás años la corriente del río tuvo promedios de SFT mayores a las del agua residual cruda, y este resultado se invirtió para los SVT. Por lo tanto, con base en estos resultados, es posible afirmar que la

inversión realizada por los gobiernos local y federal, del Estado de Tlaxcala y de México, de aproximadamente cinco mil millones de pesos de 2005 a la fecha (comunicación personal de un ex funcionario del gobierno local), no haya dado los resultados esperados en favor de la disminución de la contaminación del río Zahuapan.

Los datos de concentración de sólidos, agrupados con base en los meses de los años considerados en este trabajo, tuvieron los promedios que se muestran en la Fig. 3. Las líneas de ST, SFT y SDT se ubicaron por encima de las de SST y SVT. Los promedios de ST, SFT y SST aumentaron en abril hasta alcanzar su máximo valor en junio y luego la tendencia fue disminuir de junio a octubre, los SDT descendieron de mayo a octubre. De octubre a enero estos cuatro tipos de sólidos tuvieron variaciones sin cambios importantes. Los promedios de SVT no mostraron cambios estacionales durante todo el año. En los meses de mayo, junio, julio y agosto los ST fueron mayores al valor de 700 mgL<sup>-1</sup>. Los SST fueron mayores al límite de 40 mgL<sup>-1</sup> en todos los meses. Los SDT superaron el límite de 500 mgL<sup>-1</sup> en los meses de febrero a mayo. Los promedios de SFT superaron el valor de 350 mgL<sup>-1</sup> en los doce meses y los SVT fueron menores a este valor durante todo el año.

En relación a las áreas de captación de los afluentes del río, en total se delimitaron 12 microcuencas, para distinguirlas se les asignaron letras mayúsculas de la A a la L. Las concentraciones de los sólidos ordenados de acuerdo a las microcuencas del río Zahuapan se muestran en la Fig. 4. Las concentraciones de los cinco tipos de sólidos se incrementaron en dirección del flujo del río que pasa por las microcuencas. En la microcuenca B hubo un incremento de concentración que sobresale de las demás. Las concentraciones de SFT y SDT tuvieron variaciones de manera que, en algunas microcuencas, los SFT fueron mayo-

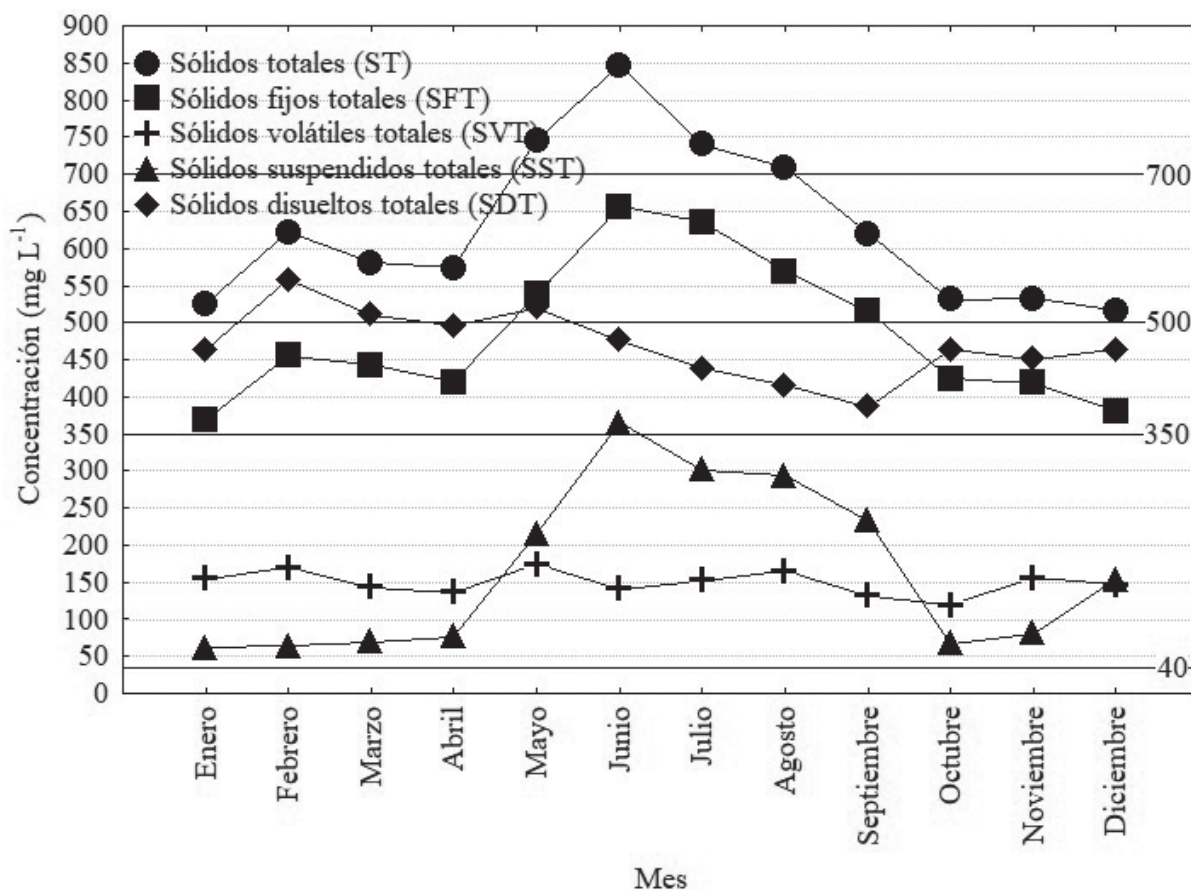


FIGURA 3. CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS PROMEDIO MENSUAL ( DE LOS AÑOS CONSIDERADOS EN ESTE TRABAJO) DEL RÍO ZAHUAPAN.

Solid concentration monthly average (of the years considered in this work) of the Zahuapan river.

res que los SDT y en otras microcuencas las concentraciones se invirtieron. Este comportamiento fue igual para las concentraciones de SVT y SST. Los promedios de ST fueron mayores al valor de  $700 \text{ mgL}^{-1}$  a partir de la microcuena H a la L. Los promedios de SFT fueron mayores de  $350 \text{ mgL}^{-1}$  en todas las microcuencas, exceptuando las microcuencas A y C. Los promedios de SDT fueron mayores de  $500 \text{ mgL}^{-1}$  a partir de la microcuena H hasta la microcuena L, éstas son las últimas microcuencas del río Zahuapan antes de su confluencia con el río Atoyac. En todas las microcuencas del río los promedios de SST resultaron mayores al límite de  $40 \text{ mgL}^{-1}$

(MSMARN 2003), incluso en las últimas dos microcuencas los promedios fueron iguales a este límite multiplicado por seis. Los promedios de SVT fueron menores al valor de  $350 \text{ mgL}^{-1}$  en todas las microcuencas. Por los promedios de SFT, la corriente del río puede considerarse como agua residual cruda pero por los promedios de SVT, esta afirmación se debe tomar con reserva.

El histograma de frecuencia de ocurrencia de las concentraciones de ST, agrupadas en categorías de  $100 \text{ mg L}^{-1}$ , resultó unimodal como se muestra en la Fig. 5. Las barras del histograma se ubicaron a la izquierda con respecto a la curva de distribución normal,



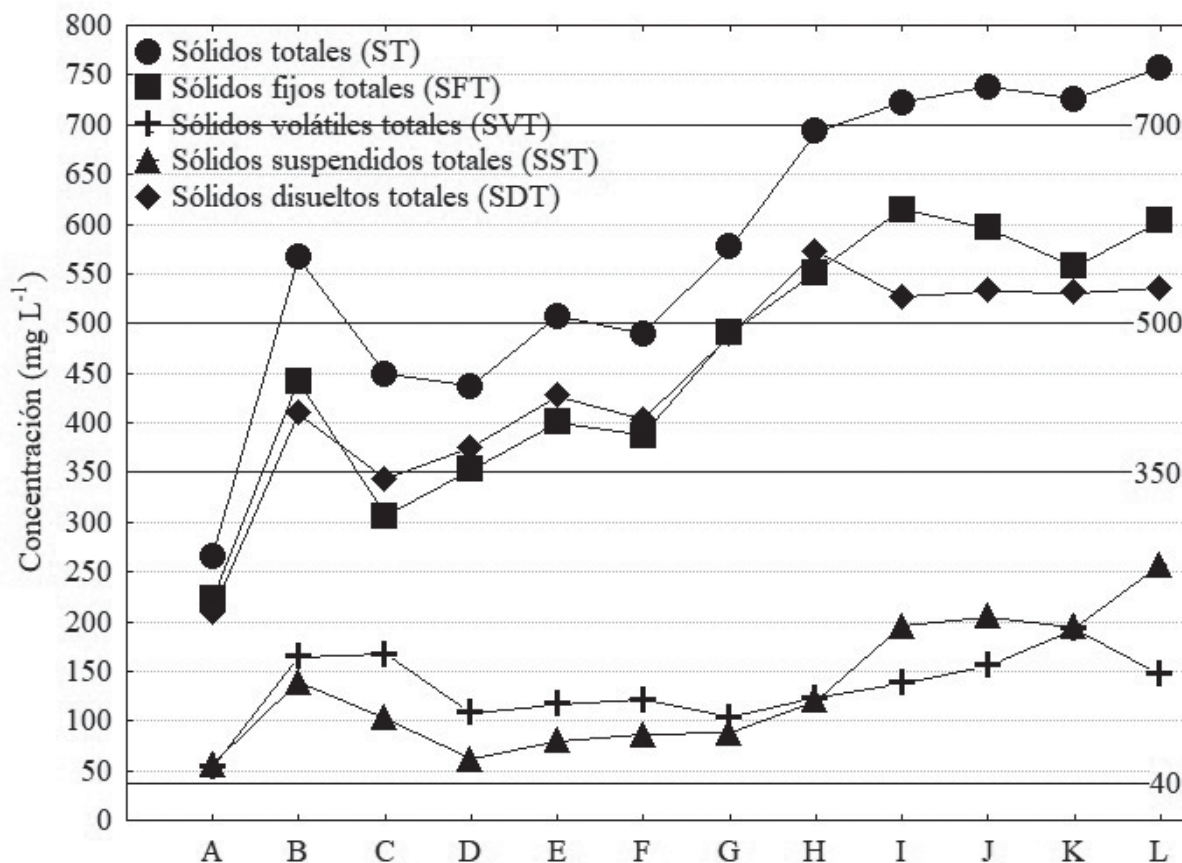


FIGURA 4. CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS PROMEDIO DE LAS MICROCUENCAS (LETRAS MAYÚSCULAS) EN EL RÍO ZAHUAPAN.

Solid concentration average of micro-watershed (capital letters) from Zahuapan River.

representada por la línea continua. Este comportamiento también resultó en los histogramas (no mostrados) de SFT, SVT, SST y SDT. La distribución sesgada mostró que los datos tuvieron una distribución no normal, este resultado coincidió con lo que mencionan Schuenemeyer & Drew (2011), en el sentido de que muchas series de datos de las ciencias de la tierra presentan este tipo de sesgo. Esta apreciación se corroboró con la prueba de Shapiro-Wilk (Tabla 2), en la cual el estadístico calculado con los datos crudos ( $W_{cal}$ ), resultó menor que el valor crítico de la prueba ( $W_{tab}$ ), por lo que la  $H_0$  de que los datos

tienen una distribución normal fue rechazada. Por la forma del histograma se ve que los datos tuvieron una distribución log-normal, este tipo de distribución puede modificarse a una que tengan una distribución normal, mediante una transformación logarítmica base e de los datos crudos (Malamud & Turcotte 2013). La prueba de Shapiro-Wilk (Tabla 2) con los datos transformados, mostró que esta operación logarítmica logró que los datos de ST, SST y SVT se distribuyeran normalmente, aunque para SVT no de manera contundente porque el valor de  $W_{cal}$  fue igual a 0,938 mientras que el  $W_{tab}$  fue de 0,947. La transformación logarítmica de los datos de SFT y SDT arrojó

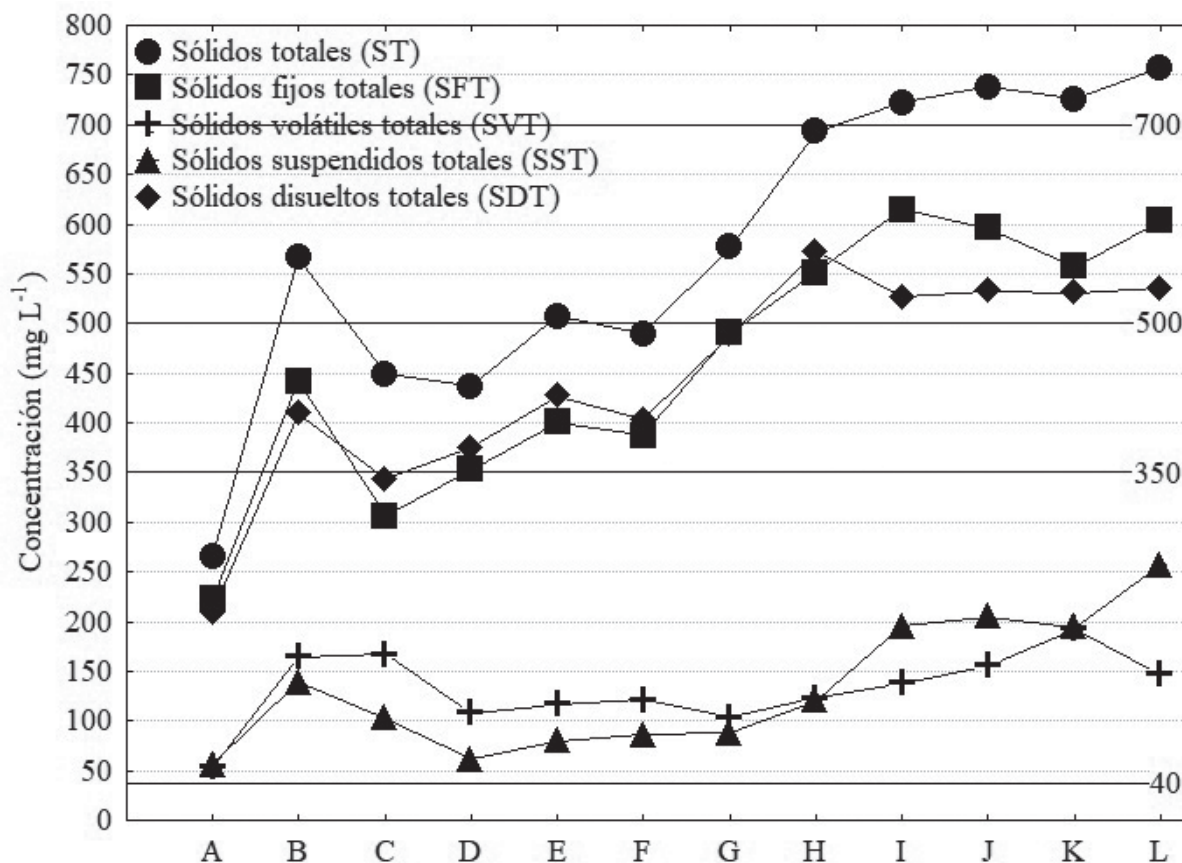


FIGURA 5. HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DEL RÍO ZAHUAPAN.

Frequency-of-occurrence histogram of concentration of total solids from Zahuapan River.

valores de  $W_{cal}$  menores que  $W_{tab}$ , lo cual indica que los datos mantuvieron su distribución no normal

Los dos métodos de extracción, el de componentes principales y el de máxima verosimilitud, arrojaron cargas factoriales similares. Los resultados que se describen a continuación corresponden al primer método. La Figura 6a muestra la gráfica construida con los valores propios (eje vertical izquierdo) y las varianzas explicadas acumuladas (eje vertical derecho) contra su correspondiente número de valor propio. Hasta el valor propio número 3 los cinco tipos de sólidos tu-

vieron un valor mayor de 1, a partir del valor propio número cuatro los SST tuvieron un valor menor de 1 y los otros cuatro tipos de sólidos a partir del cinco. En el valor propio 1 los valores fueron igual a 5,95 para SST, 4,38 para SFT, 4,2 para ST, 3,14 para SVT y 2,46 para SDT, este orden no se mantuvo para los demás valores propios. En cuanto a los porcentajes de la varianza explicada por los valores propios, se obtuvo que el valor propio 1 explicó el 49,5% para SST, 36,5% para SFT, 35,0% para ST, 26,2% para SVT y 20,5% para SDT. Los dos primeros valores propios explicaron más del 50% de la varian-

Tipo	Dato	Wcal	Wtab	H0	p
ST	Crudo	0,748	0,947	Rechazar	1,77e+28>0.05
	Ln	0,948	0,947	Aceptar	-0,0023<0.05
SFT	Crudo	0,832	0,947	Rechazar	9,36e+20>0.05
	Ln	0,795	0,947	Rechazar	7,01e+19>0.05
SVT	Crudo	0,780	0,947	Rechazar	8,14e+25>0.05
	Ln	0,938	0,947	Rechazar	-0,0003<0.05
SST	Crudo	0,44	0,947	Rechazar	1,48e+41>0.05
	Ln	0,982	0,947	Aceptar	0,000<0.05
SDT	Crudo	0,798	0,947	Rechazar	2,25e+24>0.05
	Ln	0,877	0,947	Rechazar	6,3e+14>0.05

TABLA 2. PRUEBA DE SHAPIRO-WILK PARA LOS DATOS DE CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS DEL RÍO ZAHUAPAN.

The Shapiro-Wilk test for solid concentration data from Zahuapan River.

za de los datos de los sólidos considerados, exceptuando SDT, en el cual explicaron 35%. Un porcentaje entre 60 y 70% de la varianza de los datos fue explicado por los primeros tres valores propios para ST, SFT, SVT y SST, para SDT este porcentaje se alcanzó hasta el valor propio cinco.

Las gráficas de las cargas factoriales, de los primeros dos factores, se muestran en la Fig. 6 (b, c, d, e y f). De manera general, en las gráficas se observa que el análisis factorial dio como resultado que las microcuencas, representadas por los puntos, formaron aglomeraciones en los cinco tipos de sólidos. Para los ST se distinguen dos aglomeraciones una integrada por las microcuencas A, B, C, D, E, F y G ubicadas cerca del origen del eje cartesiano, con bajas cargas menores a 0,5 en valor absoluto (de la Fuente 2011), para los dos factores 1 y 2; y otra, y otra por las microcuencas I, J, K y L asociada con alta carga factorial al factor 1. La microcuenca H estuvo fuertemente asociada al factor 2. En cuanto a los SFT, las microcuencas A, B, D, E, F, G, J, K y L formaron una aglomeración con bajas

cargas para los factores 1 y 2. Las microcuencas C e I mostraron asociación con el factor 1 y la H con el factor 2. Para SVT las microcuencas A, B, C, D, E, I, K y L no estuvieron asociados a ningún factor; las microcuencas F, G y H tuvieron fuerte asociación con el factor 1 y la microcuenca J con el factor 2. Respecto a los SST, las microcuencas A, B, C, D, E, G, H e I mostraron baja asociación con los dos factores; las microcuencas J, K y L tuvieron alta carga factorial con el factor 2 y la microcuenca F con el factor 1. En cuanto a los SDT, las microcuencas tuvieron bajas cargas factoriales para los dos factores por lo que formaron una aglomeración alrededor del origen del plano cartesiano, exceptuando las microcuencas E y K, las cuales tuvieron fuerte asociación con los factores 2 y 1, respectivamente.

## CONCLUSIONES

Los datos de concentración de sólidos, de 2000 a 2007 y de 2012 a 2014, mostraron que

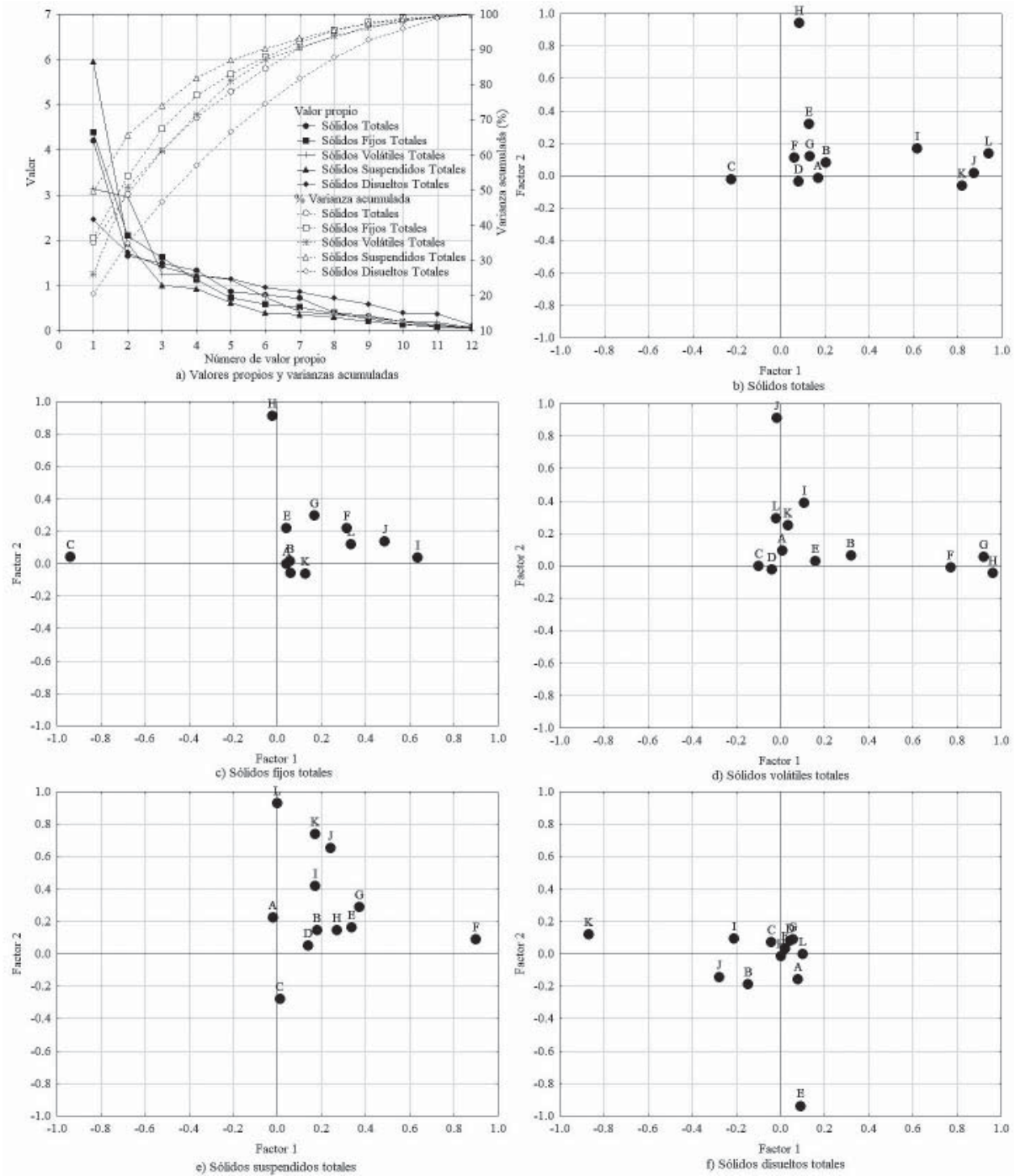


FIGURA 6. VALORES PROPIOS Y VARIANZAS ACUMULADAS (a), Y CARGAS FACTORIALES (b, c, d, e, y f) DEL ANÁLISIS FACTORIAL. LAS LETRAS MAYÚSCULAS INDICAN LAS MICROCUENCAS DEL RÍO ZAHUAPAN.

Eigenvalues and cumulative variances (a), and factor loadings (b, c, d, e, and f) of factorial analysis. Micro-watersheds of Zahuapan River are indicated by capital letters.



en la subcuenca del río Zahuapan predominan los de tipo mineral, una posible fuente de estos sólidos puede ser la erosión, un porcentaje mayor del 90% de la superficie del estado está erosionado.

Las altas concentraciones promedio anuales de los sólidos mostraron que las acciones que han realizado los gobiernos, Federal y Estatal, no han dado los resultados deseados, que son disminuir los niveles de contaminación del río Zahuapan.

Los datos de concentraciones de sólidos, agrupados anualmente, evidencian que los ST, SFT, SST y SDT, tuvieron variación estacional y aumentaron en la época de lluvias, en el área de estudio las precipitaciones pluviales ocurren de mayo a octubre. Los SVT, no fueron afectados por este fenómeno meteorológico.

El análisis de las concentraciones de sólidos, con base en las microcuencas de sus afluentes, mostró que éstos tienen un efecto aditivo, debido a que las concentraciones aumentaron en dirección de la corriente del río.

El análisis factorial arrojó que las microcuencas de los afluentes del río son diferentes entre sí, para SFT y SDT. Las microcuencas de F a L, mostraron asociación con uno o dos factores para ST, SVT y SST. Esto quiere decir que las microcuencas de A a E tienen características que no comparten. Por lo tanto, en las acciones de saneamiento del río, deben considerarse las microcuencas como unidades independientes.

#### LITERATURA CITADA

- ALVARADO CM, COLMENERO RJA & AML VALDERRÁBANO (2007) La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el estado de Tlaxcala, México. *Ciencia Ergo Sum* 14: 317-326.
- BILOTTA GS, BRAZIER RE, HAYGARTH PM, MACLEOD CJA, BUTLER P, GRANGER S, KRUEGER T, FREER J & J QUINTON (2008) Rethinking the contribution of drained and undrained grasslands to sediment-related water quality problems. *Journal of Environmental Quality* 37: 906-914.
- CONAGUA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA) (2010) Estadísticas del Agua en la Cuenca del Río Balsas. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F. 170 pp.
- DE LA FUENTE S (2011) Análisis factorial. Editorial Facultad de Ciencias Económicas Empresariales Universidad Autónoma de Madrid, Madrid 34 pp.
- FLORES LJS & J NÁVAR (2002) An assessment of stream water quality of the Rio San Juan, Nuevo León, Mexico, 1995–1996. *Journal of Environmental Quality* 31: 1256-1265.
- GUTIÉRREZ M & E CARREÓN-HERNÁNDEZ (2004) Salinidad en el bajo Río Conchos: aportes y tendencias. *Terra Latinoamericana* 22: 499-506.
- GUZMÁN QA, PALACIOS VOL, CARRILLO GR, CHAVÉZ MJ & GI NIKOLSKII (2007) La contaminación del agua superficial en la cuenca del Río Texcoco, México. *Agrociencia* 41: 385-393.
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA) (1999) Estratificación de datos en formato dxf de los conjuntos de datos vectoriales: Carta topográfica, escala 1:50,000 versión 4. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Aguascalientes México, archivos electrónicos.
- MALAMUD BD & DL TURCOTTE (2013) Time series: analysis and modelling. En: Wainwright J & M Mulligan (eds) *Environmental modelling finding simplicity in complexity*: 27-43. Wiley-Blackwell, Oxford 475 pp.
- METCALF & EDDY (2003) *Wastewater engineering treatment and reuse*. McGraw Hill, New York. 1.819 pp.
- MSCFI (MÉXICO SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL) (2001) Análisis de agua-determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. *Diario*



- Oficial de la Federación, México D.F. 18 pp.
- MSMARN (MÉXICO SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES) (2003) Norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación, México D.F. 33 pp.
- MUENZ TK, GOLLADAY SW, VELLIDIS G & LL SMITH (2006) Stream buffer effectiveness in an agriculturally influenced area, Southwestern Georgia: Responses of water quality, macroinvertebrates, and amphibians. *Journal of Environmental Quality* 35: 1924-1938.
- OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD) (2006) Guías para la calidad de agua potable: Primer apéndice a la tercera edición. Organización Mundial de la Salud, Ginebra 398 pp.
- QUESADA S, TENA A, GUILLÉN D, GINEBREA A, VERICAT D, MARTÍNEZ E, NAVARRO-ORTEGA A, BATALLA RJ & D BARCELÓ (2014) Dynamic of suspended sediment borne persistent organic pollutants in a large regulated Mediterranean river (Ebro, NE Spain). *Science of the Total Environment* 473-474: 381-390.
- RENWICK WH, VANNI MJ, ZHANG Q & J PATTON (2008) Water quality trends and changing agricultural practices in a Midwest U.S. Watershed, 1994-2006. *Journal of Environmental Quality* 37: 1862-1874.
- RIVERA-VÁZQUEZ R, PALACIOS-VÉLEZ OL, CHAVÉZ MJ, BELMONT MA, NIKOLSKI-GAVRILOV I, DE LA ISLA DE BAUER ML, GUZMÁN-QUINTERO A, TERRAZAS-ONOFRE L & R CARRILLO-GONZÁLEZ (2007) Contaminación por coliformes y helmintos en los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino tributarios de la parte oriental de la cuenca del Valle de México. *Revista Internacional Contaminación Ambiental* 23: 69-77.
- SCHUENEMEYER JH & LJ DREW (2011) *Statistics for earth and environmental scientists*. John Wiley and Sons Inc., New Jersey 407 pp.
- SDUE (SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA) (1989) Criterios ecológicos de calidad del agua. Diario Oficial de la Federación, México D.F. 15 pp.
- SIBETHEROS IA, NERANTZAKI S, EFS-TATHIOU D, GIANNAKIS G & NP NIKOLAIDIS (2013) Sediment transport in the Koi-liaris river of Crete. *Procedia Technology* 8: 315-323.
- SILVA GSE, MUÑOZ OA, DE LA ISLA DE BAUER ML & S INFANTE (2002) Contaminación ambiental en la región de Atlixco: 1. AGUA. *Terra Latinoamericana* 20: 243-251.
- TOLEDO A (2003) Ríos, costas, mares: hacia un análisis integrado de las regiones hidrológicas de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Instituto Nacional de Ecología/El Colegio de Michoacán, México 116 pp.
- WERNER G (2012) *Los suelos en el Estado de Tlaxcala Altiplano Central Mexicano*. Gobierno del Estado de Tlaxcala/Universidad Autónoma de Tlaxcala, Ciudad de Tlaxcala 213 pp.
- ZENG X & TC RASMUSSEN (2005) Multivariate statistical characterization of water quality in Lake Lanier, Georgia, USA. *Journal of Environmental Quality* 34: 1980-1991.

Recibido 16/9/2016; aceptado 20/12/2016