

EVALUACIÓN TOXICOLÓGICA DEL RÍO ATOYAC, PUE., Y SU RELACIÓN CON LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Bravo Inclán, Luis Alberto, Sánchez Chávez, José Javier, Izurieta Dávila, Jorge Luis
Tomasini Ortiz, Ana Cecilia

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col Progreso, Jiutepec, Mor. C.P. 62550
lubravo@tlaloc.imta.mx; jjsanche@tlaloc.imta.mx; izurieta@tlaloc.imta.mx; atomasini@tlaloc.imta.mx

Resumen

Por varias décadas, el río Atoyac ha sufrido un marcado deterioro de su calidad del agua, en parte por el desarrollo industrial y demográfico presente. Durante la época de secas del 2015, se llevó a cabo un monitoreo de calidad del agua, en tres tipos de agua (1.- de río, cauce principal y afluentes; 2.- descargas municipales; y 3.- descargas industriales) a lo largo de 85 km del río. El número total de estaciones fue de 79, divididas en: 21 estaciones en el río y afluentes, 16 descargas municipales y 42 industriales. Se monitorearon y evaluaron por el Métodos Estándar (APHA, 1998) un total de 5 parámetros de campo y más de 12 parámetros fisicoquímicos. Se planteó obtener un diagnóstico de calidad del agua en los ríos Atoyac, Zahuapan y Xochiac entre otros, con énfasis en evaluar la toxicidad del agua en las zonas críticas (bioindicador = *Vibrio fischeri*). Los resultados indican que el río Atoyac es impactado por un rápido incremento de descargas en su recorrido, de modo que en la tercera estación presenta un grado de anoxia muy importante, posteriormente el río ya no se recupera en todo su trayecto hasta desembocar a la presa Valsequillo. Las industrias que tienen una alta contaminación del agua se encuentran, principalmente en las zonas finales 5 y 6. De ellas, y por el número de veces que se presentan en los primeros lugares de mayor contaminación del agua, sobresalen las descargas DI-44 Productos Confitados, DI-27B Ciba descarga B y DI-35 Industrial de Abastos.

Palabras clave: Bioindicador; Calidad del Agua; río Atoyac, Puebla; Toxicidad;

Introducción

En los últimas décadas, la demanda de agua potable (y de otros usos, como recreativo, industrial, etc.) en las grandes ciudades se ha incrementado considerablemente debido, en gran medida, al incremento de la población en estas ciudades.

La subcuenca del río Atoyac se ubica entre los estados de Puebla y Tlaxcala y forma parte del inicio de la cuenca del río Balsas, en la región hidrológica Núm. 18 parcial, el río Zahuapan confluye con el río Atoyac a unos 10 km al norte de Puebla. Históricamente este río y su afluente río Xochiac han sufrido deterioro en su calidad con motivo de las descargas de aguas residuales provenientes de procesos industriales y asentamientos humanos. La actividad industrial cuenta con los giros de alimentos, textil, química, petroquímica, automotriz, papelería, bebidas, hierro y acero, farmacéutica, curtido de pieles, metalmecánica, siderúrgica y servicios. La actividad

agrícola se caracteriza por la producción de maíz, hortalizas, alfalfa, forrajes, frijol y otros.

No hay muchos trabajos que evalúen la contaminación ambiental por la que ha pasado la cuenca del río Atoyac, a pesar de ello, se puede destacar el estudio realizado por Sandoval-Villasana *et al.* (2009), sobre evaluación toxicológica, mutagénica, así como del proceso de degradación ambiental que sufre la cuenca del río Atoyac.

Durante el año de 2005 y trabajando “hombro con hombro” con la Gerencia de Calidad del Agua, así como con la Gerencia Estatal de Puebla, ambas dependencias pertenecientes a la Conagua, se realizaron dos campañas de muestreo durante la época de secas (cuando la contaminación es más alta), con el objetivo múltiple de elaborar un diagnóstico de calidad del agua, la realización del estudio de clasificación y el anteproyecto de Declaratoria de Clasificación, del río (Bravo-Inclán *et al.*, 2005; Rosales-Cristerna *et al.*, 2012). Cabe comentar que el IMTA, ha tenido experiencias de clasificación en lugares como: río Pánuco, Tamps. (Ruiz-López *et al.*, 1997), río Turbio, Gto. (Ruiz-López *et al.*, 2002); parte alta del río Lerma, Edo. de Mex. (Pica-Granados *et al.*, 2008), río Santiago (Izurieta-Dávila *et al.*, 2010), río Atoyac, Oaxaca (Bravo-Inclán *et al.*, 2014); entre otros.

Objetivos

En el presente trabajo, se plantea evaluar la toxicidad encontrada en el río Atoyac y descargas municipales e industriales; por otro lado, se pretende revisar el impacto de la contaminación del sistema acuático con la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, de acuerdo con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996, así como en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89).

Área de Estudio

La sección del río Atoyac que se estudió inicia 1.40 km aguas arriba de la descarga municipal Santa Rita Tlahuapan, estado de Puebla, antes de la confluencia con el río Atotonilco y finaliza en la desembocadura de la presa Valsequillo “Manuel Ávila Camacho” (SRH, 1970) y tiene una longitud de 84.97 km (Figura 1); por otro lado el afluente río Xochiac, fue también evaluado a detalle por tener un número de descargas industriales y municipales, y que se incluyó en un tramo de 31.6 km. La subcuenca del río Atoyac queda comprendida en

el Eje Neovolcánico. Las formaciones geológicas predominantes en la región del Alto Balsas o Atoyac, se componen principalmente de rocas volcánicas del Plioceno Superior al reciente, predominando lavas, brechas y tobas andesíticas y riolíticas.

La subcuenca del río Atoyac tiene una superficie total de 2,189.4 km², de esta superficie poco más de tres cuartas partes (75.6%) se ubica en 19 municipios del estado de Puebla; y el 17.0% se distribuye en 12 municipios de Tlaxcala. La subcuenca tiene un uso de suelo principalmente agrícola (63.6%), seguida de una superficie relativamente baja de bosque (22.0%) y de pastizal (4.95%); por último, la zona urbana ocupa el 7.6 por ciento.

El clima presente en la subcuenca del río Atoyac, presenta un predominio de 78.3% de los templados subhúmedos, con lluvia en verano (C (w1); C (w2); en segundo lugar, con un 21.4%, se encuentran climas en las porciones altas de semifrío subhúmedo (Cb' (w2)) y una zona muy pequeña (0.26%) de clima frío (E (T)). En la región se presenta una baja precipitación anual (812 mm), que junto con una importante evaporación media anual (1,427.00 mm), provoca que el volumen escurrido resultante sea insuficiente para lograr una adecuada autodepuración natural.

La presa más importante en la subcuenca del río Atoyac es la presa Valsequillo "Manuel Ávila Camacho", con una capacidad de almacenamiento de 304 millones de m³ y una superficie aproximada de 3,000 ha. Recibe principalmente las aguas de dos ríos, el Atoyac y Alseseca (superficie = 240 km²), siendo el primero el más importante por su caudal aportado (SRH, 1970).

Por último, la Declaratoria de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales es un instrumento técnico y legal mediante el cual la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) determina la capacidad de asimilación y dilución, las metas de calidad del agua, los plazos para alcanzarlas, así como los límites máximos de descarga en un cuerpo de agua específico.

Metodología

Con relación al diagnóstico de la calidad del agua se realizaron dos campañas de monitoreo, en julio y noviembre. De un total de 85 estaciones se evaluaron 52 descargas de aguas residuales, distribuidas en 42 descargas industriales y 10 descargas municipales; además, se incluyeron 6 estaciones en los influentes y efluentes de tres plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Además, se realizó un total de 21 estaciones en ríos y afluentes. Se establecieron un total de diez estaciones de monitoreo en el río Atoyac y comprendió una estación testigo, aguas arriba de la población de Tlahuapan hasta una estación aguas arriba de la derivadora Echeverría. Las estaciones de muestreo, en esquema, se presenta – sólo, a modo de ejemplo, el tramo 3 de 3–, en la Figura 3.



Figura 1. Localización del área de estudio

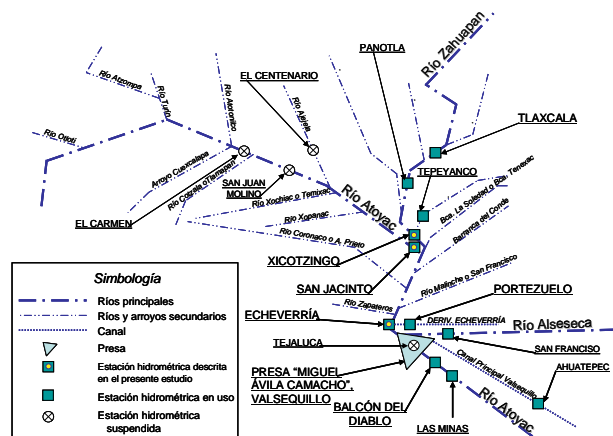


Figura 2. Croquis de los principales ríos y estaciones hidrométricas sobre la Subcuenca Alta del río Atoyac

El tipo de parámetros por muestras de agua que se incluyeron en la presente evaluación fueron:

- *Mediciones de campo in situ.*- los parámetros de temperatura (°C), conductividad eléctrica (µS/cm), sólidos disueltos totales (mg/L), pH, salinidad (mg/L), Eh (mV), oxígeno disuelto (mg/L) y turbidez (NTU), por medio de una sonda multiparamétrica marca YSI modelo 6600-D, previa calibración con estándares vigentes y de marca. El aforo y muestreo de las fuentes puntuales de contaminación fue de tipo compuesto de 24 horas, conforme a la NOM-001-SEMARNAT-1996. Los muestreos y aforos en cada punto se realizaron de manera simultánea
- *Parámetros fisicoquímicos.*- Entre otros, se realizó: Demanda bioquímica y química de oxígeno (DBO₅ y DQO), sólidos suspendidos totales y sedimentables (SST y Ssed), nitrógeno y fósforo total (NT y PT), grasas y aceites (GyA). A menos de que se mencione los análisis

2º Congreso Nacional AMICA 2015

de laboratorio se realizaron de acuerdo con los Métodos Estándar o, en inglés, los “*Standard Methods*” (1998).

- *Parámetros biológicos.- Coliformes fecales y toxicidad por medio del bioindicador, la bacteria Vibrio fischeri.*

Se realizó de acuerdo a la normatividad de muestreo señalada en la metodología publicada en la Unidad Didáctica para la Aplicación de la NMX-AA-003-1980 Aguas Residuales – Muestreo (Sánchez y Lerdo, 2004) que estipula la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, para descargas a lagos naturales y artificiales, las muestras simples serán tomadas siguiendo el procedimiento acreditado del Laboratorio de Calidad del Agua del IMTA, y en cumplimiento de la NMX-AA-014-1980 (Bravo, 2004).

Evaluación Cualitativa de la Calidad del Agua (ECCA)

Con el fin de realizar un análisis global de la información de calidad del agua en las estaciones del río, se realizó una evaluación cualitativa de los principales parámetros de calidad de agua. Para obtener una evaluación sintetizada de cada estación, se acudió a dos parámetros estadísticos; a partir de los valores promedio (\bar{V}_x) de las estaciones, se obtuvieron tres valores: a) Un valor de la media aritmética (V_{med}), calculado a partir de todos los datos de muestreo; b) un valor mínimo (V_{min}), esto es, el resultado de la media aritmética menos la desviación estándar de los datos; y c) un valor máximo (V_{max}), que fue igual a la media aritmética más la desviación estándar. A continuación, se evaluó, parámetro por parámetro, en que intervalo se ubicaba cada valor promedio (\bar{V}_x) de las diez estaciones y se les asignó un valor cualitativo denominado “Evaluación Cualitativa de Calidad del Agua” ($ECCA_i$), donde

| | |
|--|------------------------|
| Si $\bar{V}_x \geq V_{max}$ (equivalente a muy bien); | entonces, $ECCA_i = 3$ |
| si $\bar{V}_x < V_{max}$ y $> V_{med}$ (equivalente a bien); | entonces, $ECCA_i = 2$ |
| si $\bar{V}_x < V_{med}$ y $> V_{min}$ (equivalente a regular); y | entonces, $ECCA_i = 1$ |
| si $\bar{V}_x \leq V_{min}$ (equivalente a mal). | entonces, $ECCA_i = 0$ |

La ventaja de este índice con respecto a otros, es que incluye todos los parámetros del estudio en los que se obtuvo un valor y que, además, denota con la concentración del parámetro una evaluación de buena o mala calidad.

Resultados

Se contabilizaron un total de 73 descargas industriales (repartidas en 64 industrias) de ellas, 55 descargas (51 industrias) se ubicaron en Puebla y 18 (13 industrias) en Tlaxcala. De acuerdo con el REPGA, el caudal permitido que se registró para ambos estados es de 270.5 y 36.5 L/s, respectivamente, y que suman un total de 307.0 L/s.

En las Tabla 1, se presenta un resumen de los giros industriales y de los tipos de tratamiento realizados en las 73 descargas industriales. En la primera tabla, destacan por su

giro la industria textil (18 en Puebla y 6 en Tlaxcala), química-farmacéutica (13 y 6) y de alimentos y bebidas (con 11 en Puebla).

El caudal del río Atoyac aumentó considerablemente debido a grandes descargas a lo largo de su recorrido. En la estación RA-1 el río empezó con un caudal de 273.33 L/s y finalizó en la presa Valsequillo con 5,685.77 L/s, resaltando como el aporte más significativo el río Zahuapan, en la zona cuatro, con un caudal de 1,916.55 L/s, seguido por las plantas de tratamiento Barranca del Conde, San Francisco y Atoyac Sur los cuales aportaban al río 309.33, 1,389.58 y 243.72 L/s, respectivamente.

Cabe señalar que las plantas de tratamiento en la zonas 5 y 6 contribuyeron con el 70% del caudal descargado al río Atoyac, las municipales directas al río aportaron el 13%, los colectores industriales el 7% y la industria Petroquímica el 4%.

Al analizar las diez estaciones evaluadas sobre el río Atoyac, los valores de oxígeno disuelto disminuyeron de modo significativamente marcado, de una etapa aerobia en las dos primeras estaciones (con 8.97 y 8.29 mg/L, respectivamente), a un nivel de marcada anoxia (<0.34 mg/L) y, por lo tanto a partir de la tercera estación (RA-5), ya no se logró recuperar el sistema (Figura 4).

Las industrias que tuvieron una alta contaminación del agua se encuentran, en gran medida, de las zonas 5 y 6. De ellas y por el número de veces que se presentaron en los primeros lugares de mayor contaminación del agua, sobresalieron las descargas DI-44 Productos Confitados, DI-27B Ciba descarga B y DI-35 Industrial de Abastos.

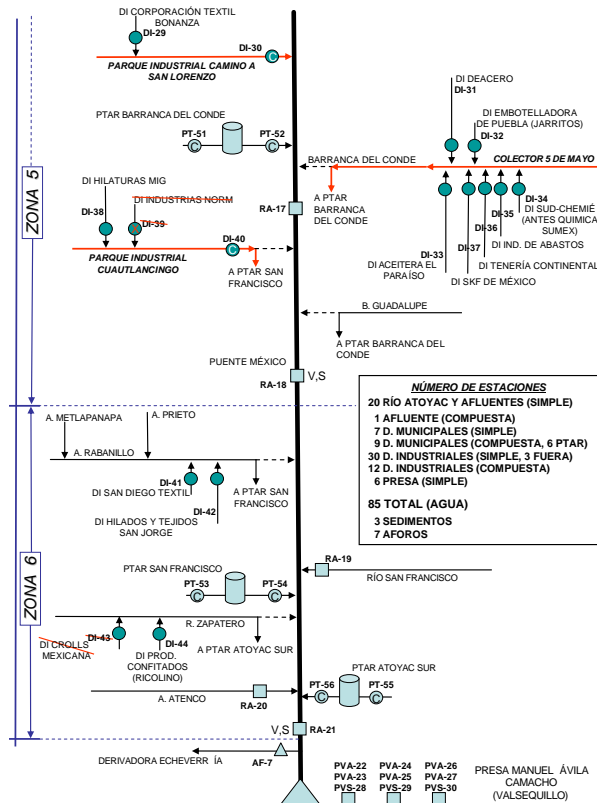


Figura 3. Esquema final (3 de 3) de las estaciones en ríos, afluentes, descargas municipales e industriales, parte sur del río Atoyac

De un total de 42 descargas industriales y colectores industriales, las estaciones que sobrepasaron cuando menos en una ocasión la NOM-001-SEMARNAT-1996 fueron: 27 para grasas y aceites (G y A); 30 para sólidos suspendidos totales (SST), 16 para sólidos sedimentables, 10 para nitrógeno total, 3 para fósforo total, 35 para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), 37 para coliformes fecales, 3 para plomo y 2 para cromo.

El arsénico, cadmio, cianuro, cobre, mercurio, níquel y zinc, presentaron concentraciones por debajo de la NOM-001-SEMARNAT-1996. Sin embargo, sí se excedió la norma para cromo y el plomo en dos y tres descargas, respectivamente; dichas industrias pertenecen el giro textil y químico-farmacéutico para el cromo y metalúrgico y químico-farmacéutico para el plomo (Jiménez, 2002).

Las descargas municipales con más alto grado de contaminación se ubicaron en la zona 1 la DM-46 Tlalcalegua, en la zona 3a (río Xochiac) la DM-37 Santa María Xalmimilulco y en la zona 2 las DM-35 San Baltazar Temaxcalac y DM-48 Santa María Moyotzingo. Los afluentes altamente contaminados fueron dos: el arroyo Atenco RA-20 en la zona 6 y el río Xopanac RA-10 en la zona 3; estos dos cauces resaltaron por sus altos valores de DBO₅, DQO y nutrientes.

Tabla 1. Giros de las industrias ubicados en la zona de estudio

| Estado de Puebla | | Estado de Tlaxcala | |
|---------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| Giro industrial | Núm. | Giro industrial | Núm. |
| Textil | 18 | Textil | 6 |
| Química-farmacéut. | 13 | Química-farmacéut. | 6 |
| Alimentos y bebidas | 11 | Acabados metálicos | 2 |
| Metalúrgica | 5 | Eléctrico y electrónica | 2 |
| Metalmecánica | 2 | Minerales no metálicos | 2 |
| Petroquímica | 2 | TOTAL: | 18 |
| Automotriz | 2 | | |
| Cerámica | 1 | | |
| Papelera | 1 | | |
| TOTAL: | 55 | | |

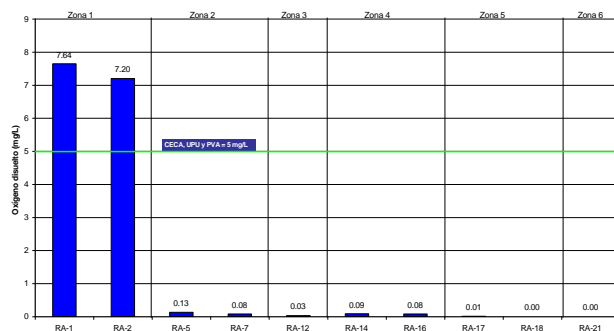


Figura 4. Comportamiento del oxígeno disuelto en el cauce del río Atoyac

Para el caso de las tres plantas de tratamiento de aguas residuales presentes en la zona urbana de Puebla, se evaluaron tanto sus influentes como efluentes. Los parámetros que rebasaron la NOM-001-SEMARNAT-1996 fueron: 6 (100%) para SST, para DBO₅, para G y A y para coliformes fecales; 4 para N-total y 2 para SSed. Con respecto a los nutrientes, las estaciones que sí cumplieron con la norma para N-total fueron el influente y efluente San Francisco; las seis estaciones de plantas también cumplieron con los LMP de P-total; cuatro de las seis PTAR para SSed, excepto los influentes de Barranca del Conde y Atoyac Sur que excedieron el límite máximo permisible.

Con respecto a la toxicidad presente en el estudio, sobrepasaron los valores de cinco descargas industriales (DI), que son: a) En la zona 5, la DI-36 Tenería Continental, con 169.49 UT; en la misma zona (5), la DI-40 Parque Industrial Cuautlancingo y Ciba descarga B, con 77.82 y 75.52 UT; b) una DI de la zona 2, DI-3 Oxiquímica con 101.31 UT; y c) La zona 6, la DI-44 Productos Confitados, con 81.10 UT. Cabe aclarar que un valor igual o mayor a 5 UT, se clasifica como toxicidad alta.

Por último, se realizó una denominada "Evaluación cualitativa de la calidad del agua" (ECCA), en el que se consideraron

todos los parámetros convencionales de calidad de agua, y su valor se agrupó cualitativamente en un número; para el caso de las descargas directas, el diagnóstico de los resultados mostraron lo siguiente:

- En la Figura 5, se apreció una concordancia que podemos calificar de buena a regular entre las calificaciones del ECCA y los valores de toxicidad.
- Se presentó la mayor contaminación en las zonas 5, 2 y 1. Los datos más extremos, tanto en la calificación del ECCA, como en su toxicidad fueron: correspondieron a DI-27B Ciba, descarga B, con 27.67 puntos y una toxicidad record de 75.5 UT; seguida un tanto más abajo por dos descargas de la zona 2 y una de la zona 1 y que fueron la DM-35 San Baltazar Temascalac, DI-5 Colector Industrial Quetzalcóatl y DM-46 Tlalancaleca, con calificaciones de 10.6, 9.1 y 8.9, respectivamente.
- En la cuestión salud de los habitantes, y debido al tipo de industrias que prevalecen en la región, es posible suponer que las rutas de exposición incluyan la inhalación e ingestión para la población general, y contacto dérmico para agricultores o trabajadores del campo.

Conclusiones

La clasificación de ríos es un instrumento técnico – legal que permite al gobierno conocer, por tramos y a nivel descarga, el grado de contaminación puntual en un área de estudio dada (así como la carga de contaminación puntual presente, en ton/año). Con ello, se puede implementar un programa de control y vigilancia de descargas municipales e industriales, que permitan sanear o rehabilitar el río en estudio de una cuenca dada. El caso aquí descrito es, después de 10 años de realizado, un estudio “*in vivo*”, que está permitiendo a las autoridades el conocer, negociar y tratar los problemas de manera práctica con los integrantes responsables de la contaminación de la cuenca (industriales, presidentes municipales, público en general).

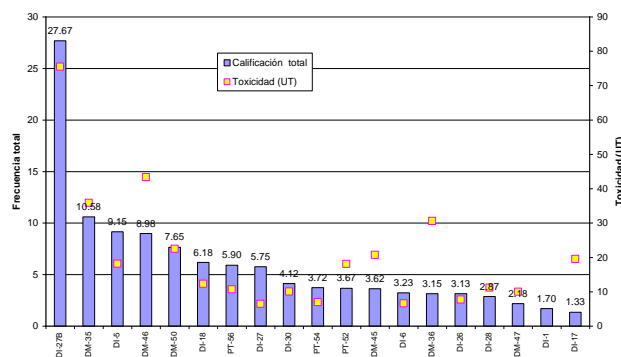


Figura 5. Calificación de la contaminación del agua y la toxicidad en las descargas directas.

Se observó que las zonas 4, 5 y 6 son las más densamente pobladas, además de ser las que se encuentran expuestas a una mayor concentración y diversidad de analitos potencialmente tóxicos. Las descargas industriales con más toxicidad, así como con un mayor número de incumplimiento de la NOM-

001, son los sitios en donde los inspectores de la CONAGUA deben tener más control, así como el exigir un mejor cumplimiento de sus descargas. De otro modo, se debe imponer la idea de que “el que contamina, paga”.

Se recomienda revisar y/o implementar el tratamiento primario avanzado que actualmente reciben las plantas ubicadas en la ciudad de Puebla, las cuales son: PTAR Barranca del Conde, PTAR San Francisco y PTAR Atoyac Sur. Es importante aclarar que las PTAR son una ayuda para disminuir el algo grado de contaminación imperante, pero que si los industriales y los municipios no ponen su } “granito de arena”, la contaminación presente en el río Atoyac, va a seguir siendo un problema presente y que se va a trasladar a los habitantes presentes río debajo de dicha descarga puntual. Destaca la importancia de implementar y dar seguimiento a las actividades de reforestación y de rehabilitación del suelo en la subcuenca del río Atoyac.

Las metas del presente estudio están asociadas al interés gubernamental de detener y revertir la contaminación de los recursos agua, aire y suelo, con el propósito de sanear la cuenca, así como el de garantizar su conservación y sustentabilidad para las futuras generaciones

Agradecimientos

Este trabajo se realizó con el amable apoyo de la Conagua, proyecto clave IMTA TC-0529. Se agradece de modo especial la notable y continua asesoría del Dr. Eric Gutiérrez López, así como del M. en C. Fernando Rosales Cristerna (†) y del M. en C. José Alfredo Rojas García, de la Gerencia de Calidad del Agua, Conagua; así como al Ing. Enrique Baños Gamboa (†), de la Gerencia Estatal de Puebla.

Referencias

Bravo-Inclán L. (2004). Unidad didáctica para la aplicación de la NMX-AA-014-1980, cuerpos receptores - muestreo. Serie Autodidáctica en materia de normas técnicas relacionadas con la inspección y verificación, *Manual de la Serie Naranja, Núm. 13*. SEMARNAT, CNA, IMTA. Jiutepec, Mor., 50 pp.

Bravo-Inclán L., Izurieta-Dávila J., Sánchez-Chávez J., Saldaña-Fabela P, Ordoñez, F.A., Ruiz, L.A. Cortés, M.J., Ruiz, L.A., Mijangos, C.M. y Sandoval V.A. (2005). Estudio de clasificación del río Atoyac, Puebla-Tlaxcala. Subcoordinación de Hidrobiología y Evaluación Ambiental. Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua. IMTA, SEMARNAT (*Convenio CNA-IMTA-SGT.GRB.MOR-05-004-RF*). Jiutepec, Mor.

Bravo-Inclán, L., Izurieta-Dávila, J. y Hernández-López, R. (2014) Diagnóstico de calidad del agua y grado de contaminación en el río Atoyac Oaxaca. *Congreso Interamericano AIDIS 2014* (Monterrey, N.L.) del 2 al 6 de noviembre.

Izurieta-Dávila, J, Hernández-López, R., Bravo-Inclán, L., Pica, G.Y, González V.R., Flores, H.F. Saldivar, V.A y S.E.

2º Congreso Nacional AMICA 2015

Salcedo, 2010. Actualización del estudio de calidad del agua del río Santiago (desde su nacimiento en el lago de Chapala, hasta la presa Santa Rosa). Subcoordinación de Hidrobiología y Evaluación Ambiental. Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua. IMTA, SEMARNAT (*Convenio No. CEA-UEAS-IMTA-01/2010*). Jiutepec, Mor.

Jiménez B. E. (2002). La contaminación ambiental en México. Cap. 2. *La Contamin. del Agua*. Limusa. Méx. pp. 33-315.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. (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, 6 - enero - 1997.

Pica-Granados, Y. *et al.* (2008) Caracterización toxicológica de la calidad del agua en la cuenca alta del río Lerma. Proyecto de tipo externo (*Convenio No. CONAGUA-CONACyT-2008-01-85258*).

Rosales-Cristerna, F., Gutiérrez-López, E. y Rojas-García J.A (2012). Calidad de cuerpos de agua en México y acciones para su control. Gerencia de Calidad del Agua, Conagua (rep. Int.).

Ruiz-López A., Izurieta-Dávila, J., Mijailova-Nacheva, P. Saldaña-Fabela, P., Ordoñez-Ferrusco A, López-López, R., Gómez-Balandra, A., Sandoval-Villasana A., *et al.* (1997). Estudio de clasificación del río Pánuco, Tamps. Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua. IMTA, SEMARNAP, PEMEX. Jiutepec, Mor.

Ruiz-López A., Izurieta-Dávila, J., Mantilla-Morales, G, Ordoñez-Ferrusco A, Sandoval-Villasana A., Bravo-Inclán L., y Maricela J.M. (2002). Actualización del estudio de clasificación del río Turbio, Gto. Subcoordinación de Hidrobiología y Evaluación Ambiental. Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua. IMTA, SEMARNAT (*Convenio CNA-GRLSP-ST-2002-038-GDL*). Jiutepec, Mor.

Sánchez, C.J. y A. Lerdo de Tejada, B. (2004). Unidad didáctica para la aplicación de la NMX-AA-003-1980. Aguas residuales – Muestreo. Serie autodidáctica en materia de normas técnicas relacionadas con la inspección y verificación. Manual de la Serie Naranja, Núm. 9. SEMARNAT, CNA, IMTA. Jiutepec, Mor., 50 pp.

Sandoval-Villasana A., Pulido-Flores G., Monks S., Gordillo-Martínez A. J. y Villegas-Villareal E.C. (2009). Evaluación fisicoquímica, microbiológica y toxicológica de la degradación ambiental del río Atoyac, México. *Interciencia*, **34**(12), 880-886.

SRH (1970). Boletín Hidrológico de la región hidrológica Núm. 18 parcial.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998). 20th edn, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.