

LA IMPORTANCIA DE INCLUIR ANÁLISIS DE TOXICIDAD EN DESCARGAS INDUSTRIALES Y MUNICIPALES QUE AFECTAN A LOS CUERPOS RECEPTORES.

Pilar Saldaña, Alicia Lerdo de Tejada, Ma. Antonieta Gómez, Rogelio López

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnahuac No. 8532 Jiutepec, Morelos
C.P. 62250
Tel y Fax: 01 (777)3 20 86 38
Correo electrónico: psaldana@tlaloc.imta.mx

RESUMEN

Los usos consuntivos municipales e industriales generan cerca de 12.9 km³/año de aguas residuales que son vertidas en la mayoría de los casos a los cuerpos receptores, y solo aproximadamente el 13% (1.67 km³/año) reciben tratamiento (CNA, 2000). La norma que actualmente regula las descargas es la NOM-001-ECOL-1996 que únicamente toma en cuenta parámetros convencionales, algunos metales y cianuros, por lo que en la mayoría de los casos, tanto las industrias como los municipios cumplen con lo establecido. Sin embargo cuando se analizan desde el punto de vista toxicológico, éstas detectan niveles de toxicidad. Por lo que con la prueba de toxicidad empleando bacterias (*Photobacterium phosphoreum*) se analizaron algunas de las principales descargas de la ciudad de Puebla y se compararon con lo obtenido con los parámetros de la norma. El 72% de las industrias sobrepasaron la norma y el 82% presentaron altos niveles de toxicidad. Por lo anterior es importante incluir pruebas de toxicidad en la normatividad para asegurar y proteger la salud del cuerpo receptor.

INTRODUCCION

Las extracciones de agua superficial y subterránea para los usos consuntivos a nivel nacional indican que para los servicios públicos se extrae un volumen aproximado de 13.5 km³/año, mientras que para el uso industrial se extraen aproximadamente 4.1 km³/año, lo que representa el 17% y el 5.1% respectivamente del total nacional. Estos usos generan cerca de 12.9 km³/año de aguas residuales, de las cuales un volumen aproximado de 1.67 km³/año (13%) sólo recibe tratamiento, por lo que el 87% de las aguas residuales son vertidas en la mayoría de los casos a los cuerpos receptores (CNA, 2001). Con este panorama no es difícil suponer los impactos negativos que soportan los cuerpos receptores y por consiguiente la fauna y flora acuática que en varios sistemas se ha disminuido y en otros se ha perdido (Fig. 1).

La norma ecológica, NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de algunos de los contaminantes que descargan los municipios y las industrias toman en cuenta ocho parámetros básicos, nueve metales, cianuros y coliformes fecales. La contaminación que es aportada a las aguas superficiales y subterráneas ha evolucionado de acuerdo al desarrollo industrial y crecimiento poblacional de los países (Fig. 2), así se tiene que antes del desarrollo industrial, la contaminación era de tipo doméstico y el primer impacto en los cuerpos de agua fue la disminución del oxígeno disuelto y el incremento en el contenido de bacterias y materia orgánica medida como DBO₅; para disminuir este impacto, los sistemas de tratamiento primario fueron implementados para el control de las descargas, sin embargo, los nutrientes no eran removidos, por lo que el efecto posterior se presentó con la eutroficación de lagos y ríos, durante la década de los 70s, el incremento gradual de la concentración de metales pesados en agua y sedimentos aumento considerablemente, causando problemas de bioacumulación en la cadena trófica de los ecosistemas acuáticos, pasando a problemas de salud humana por el consumo de peces con consecuencias ecotoxicológicas. Siguiendo con la evolución, la acidificación e incremento de contaminantes orgánicos de la agricultura y la industria de extracción de productos derivados de combustibles fósiles, el aumento en las actividades agrícolas provoco, a través de las fuentes de contaminación difusa la alteración en la calidad del agua de las aguas subterráneas con la detección de nitratos en el agua de consumo humano (Michel Meybeck, 1990, Carpenter, et.al. 1998).

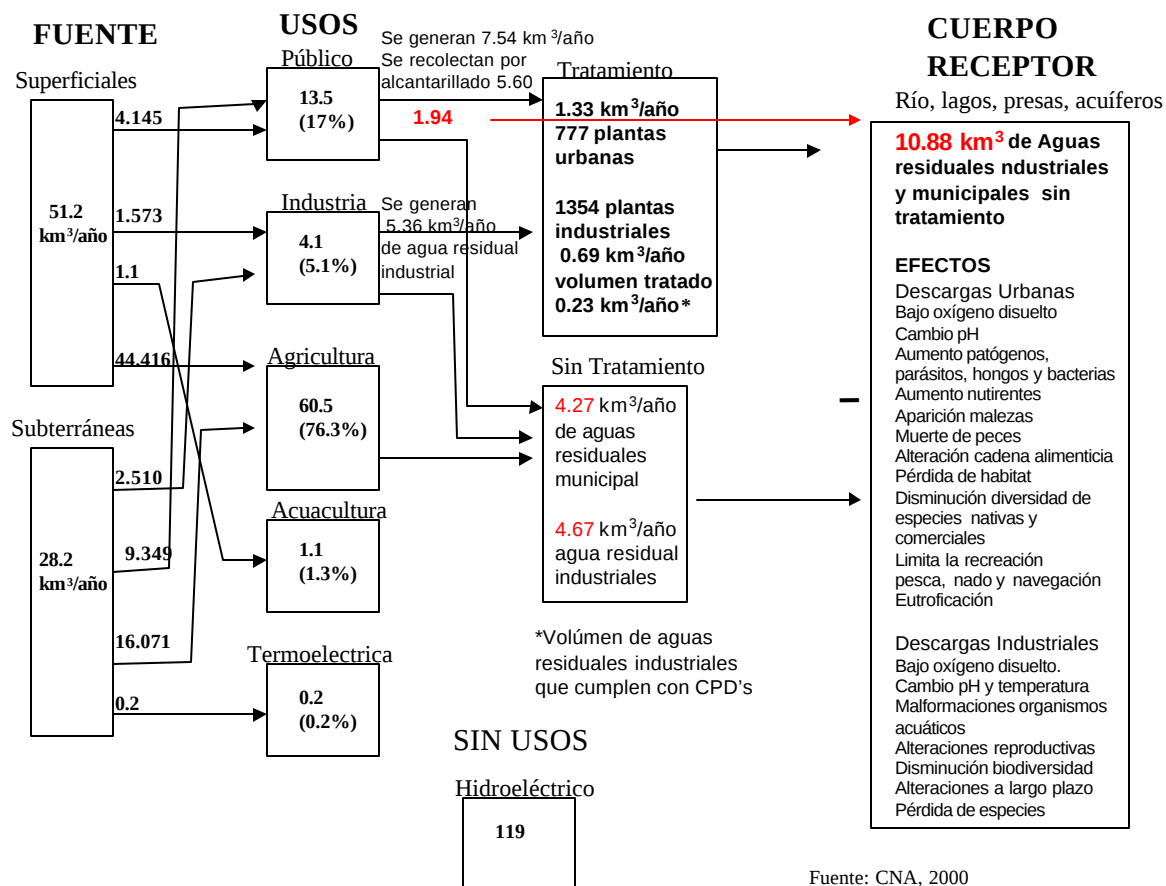


Figura 1. Extracciones, usos y aportaciones de aguas residuales a los cuerpos receptores.

En los países desarrollados para controlar la contaminación de tipo puntual (descargas industriales y municipales) los sistemas de tratamiento primario, secundario y avanzado han ayudado a disminuir los problemas de contaminación, así como, con criterios o estándares de calidad del agua estrictos, son impuestos para proteger los usos del agua y la salud del ecosistema

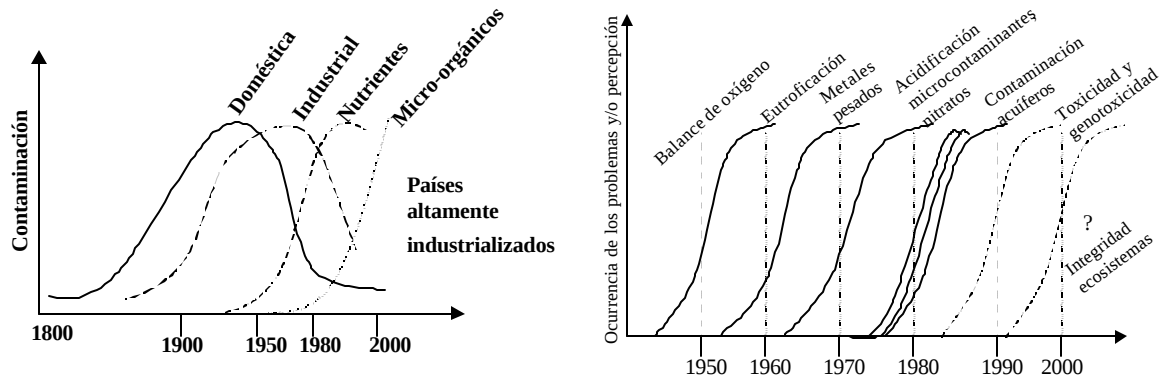


Figura 2 Tendencia de los problemas de contaminación

acuático, al tener una alta cobertura de saneamiento en las poblaciones y en las industrias una tecnología apropiada para sus procesos (Fig. 3).

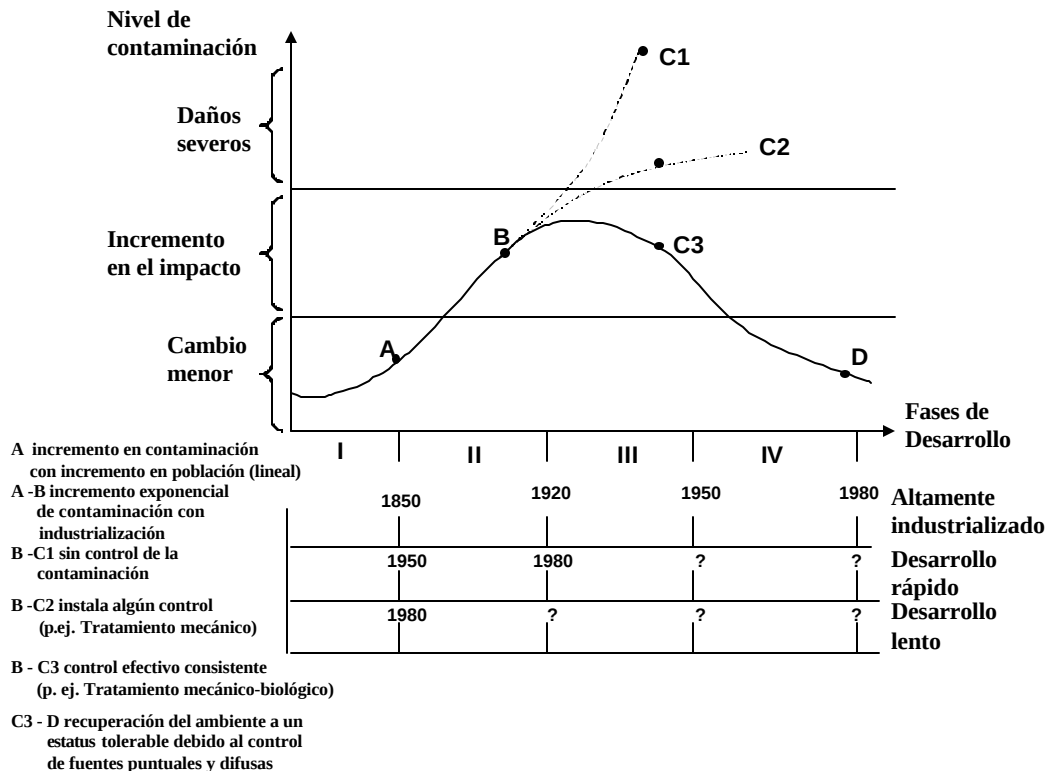


Figura 3 Niveles de contaminación y saneamiento para evitar daños al ecosistema acuático.

En México, el saneamiento de las descargas municipales e industriales es relativamente bajo, 777 y 1354 plantas de tratamiento respectivamente (CNA, op. cit), la escasa cobertura de infraestructura, de los sistemas de tratamiento presentan deficiencias en la remoción de contaminantes por la mezcla de sustancias tóxicas aportadas por las industrias que limitan los procesos de remoción, y aunado a lo anterior los estándares de calidad del agua impuestos a través de la NOM-001-ECOL-1996 provoca que las descargas de diferentes giros industriales en la mayoría de los casos cumplan con los parámetros impuestos y los contaminantes específicos de cada giro no sean tomados en cuenta provocando que la incorporación de sustancias tóxicas deteriore el ambiente acuático y cause la pérdida de flora y fauna, así como limite los usos del cuerpo receptor.

Por lo anterior, en este trabajo se plantea la necesidad de incluir análisis de toxicidad que puedan identificar aquellas descargas que introducen sustancias tóxicas, y que no son detectadas por los análisis convencionales, ya que con la respuesta de los organismos de prueba se pueden identifiquen las descargas que alteran y afectan la calidad del agua de los cuerpos receptores, de tal manera que a la industria aportadora se le adicione un nivel permisible de toxicidad, para disminuir el impacto de los contaminantes en el cuerpo receptor y de esta forma proteger la salud del ecosistema y los usos del recurso.

ÁREA DE ESTUDIO Y MÉTODOS

En el Estado de Puebla el desarrollo industrial de los giros textil, químico, materiales de construcción, electromecánica y automotriz son los principales y se concentran en 12 parques industriales, que descargan sus aguas residuales a los ríos Atoyac y Alseseca, al igual que las descargas municipales de las poblaciones por las que atraviesan en su recorrido hasta llegar a la presa Valsequillo (SHCP, 1999).

El río Atoyac es el principal cuerpo receptor que cruza el municipio de Puebla, nace de los deshielos y escurrimientos del volcán Iztaccihuatl; en su recorrido por el valle de Puebla recibe como tributarios a los ríos Xopanac, Zanja Real y La Cadena, así como al río Zahuapan, que en su trayectoria cruza por el estado de Tlaxcala; recibe además aguas de los ríos Zapatero, el Rabanillo, Ometlapanapa y San Francisco. Tiene una trayectoria oriente-poniente a lo largo de los límites geográficos de los estados de Puebla y Tlaxcala.

Este río tiene una trayectoria de 28.65 km. de recorrido en el municipio de Puebla y 16 km dentro de la mancha urbana de la ciudad. El caudal medio anual antes de la descarga en la presa Valsequillo es de $6.7\text{m}^3/\text{segundo}$. El caudal medio anual de las aguas residuales de Puebla es de $1.73\text{m}^3/\text{segundo}$. De acuerdo a la información anterior, la participación de las aguas residuales representan el 26% del caudal medio anual del río Atoyac.

El río Alseseca nace de las numerosas barrancas y corrientes intermitentes que descienden de las faldas de la montaña Malinche; se forma básicamente con las descargas del drenaje sanitario de la ciudad de Puebla, su caudal medio anual es de $0.8\text{m}^3/\text{segundo}$, compuesto por $0.7\text{m}^3/\text{segundo}$ de descargas de alcantarillado sanitario (88%) y $0.1\text{m}^3/\text{segundo}$ de otros escurrimientos (12%).

Tiene una trayectoria de 32.2 Km. de recorrido en el municipio de Puebla, de los cuales 15 cruzan la mancha urbana.

En materia de aguas residuales, el padrón registra 1,756 usuarios, con 7,453 descargas que al amparo de 110 permisos por 153,640 Mm³, vierten anualmente a diversos cuerpos receptores un volumen anual aproximado de 727,319 Mm³. De las 522 descargas registradas en el Estado de Puebla, se tienen que 168 corresponden a industrias y 132 a municipales que vierten sus aguas residuales a un cuerpo receptor, las restantes lo hacen al subsuelo, infiltración o pozos de absorción.

De las descargas municipales e industriales que se generan en el municipio de Puebla y que descargan al río Atoyac o al río Alseseca o ha Barrancas y que confluyen a alguno de estos dos cuerpos receptores se tienen 115 descargas registradas (CNA, 1999).

Con este universo de descargas, se localizaron y seleccionaron las principales, y se llevó a cabo un muestreo instantáneo de aguas residuales, en época de estiaje, en los puntos de vertido al cuerpo receptor. En cada una de las descargas se tomaron parámetros de campo como oxígeno disuelto, conductividad, temperatura del agua y pH. Así mismo, se tomaron las muestras de agua para el análisis de DBO₅ y DQO, los cuales fueron realizados en el laboratorio de la Comisión Nacional del Agua en Puebla y en el laboratorio del IMTA se analizaron nitrógeno total, fósforo total, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y toxicidad de acuerdo a lo establecido en los procedimientos de acreditamiento del laboratorio ante la Entidad Mexicana de Acreditamiento.

En las tablas 1 y 2 se presentan los equipos empleados y los métodos de referencia de los análisis realizados.

Tabla 1. Métodos utilizados en la determinación de parámetros ambientales.

PARAMETRO	EQUIPO	RANGO	PRECISION
Potencial de Hidrógeno	Potenciómetro Orion	0-14 unidades	± 0.02 un.
Oxígeno disuelto, temperatura y conductividad	Oxímetro YSI 85	0 a 20 mg/L. 0 – 200% aire sat. 0 - 100 °C -2 a 50 °C	± 0.3% mg/L± 0.2% sat. De aire± 0.05 de 0 – 70 °C ± 1

Tabla 2. Métodos utilizados en la determinación de parámetros fisicoquímicos, y toxicológicos de calidad del agua.

PARAMETRO	METODO Y REFERENCIA
Sólidos suspendidos totales (SST)	NMX-AA-34, 1981
Plomo, zinc, cobre	Espectrofotometría de absorción atómica. Standard Methods, 1992, 18, ed.
Fósforo Total	NMX-AA-29,1982

PARAMETRO	METODO Y REFERENCIA
Nitrógeno total Kjeldahl	IMTACAQAF6-27
Demanda Química de Oxígeno	NMX-AA-30-1981
Demanda Bioquímica de Oxígeno	NMX-AA-28-1981
Sólidos sedimentables	NMX-AA-4-1977
Toxicidad	Toxicidad aguda con <i>Photobacterium phosphoreum</i> . NMX-AA-112-1995-SCFI

Como parte importante del análisis en las descargas, la toxicidad se analizó mediante el protocolo aprobado por la normatividad nacional, a través de la Norma Mexicana NMX-AA-112-1995-SCFI.

La prueba de toxicidad utiliza a la bacteria luminiscente, *Photobacterium phosphoreum* y consiste en exponer bajo condiciones controladas en el laboratorio, a una población de bacterias (100,000 organismos)(Microbics, 1992, T.R. Crompton, 1997) a una muestra de la descarga total a diferentes concentraciones (100, 50, 25 y 12.5%), las bacterias emiten luz en condiciones normales, con la presencia de un tóxico en la muestra la emisión de luz que produce este organismo disminuye de forma proporcional a la concentración del o los contaminantes de la muestra obteniéndose la concentración efectiva que mata al 50% de la población (CE_{50}). El efecto es calculado en términos porcentuales respecto al abatimiento de la emisión de luz. Posteriormente para calcular las unidades de toxicidad, se divide cien entre la concentración efectiva media (EC_{50}) para la clasificación de la descarga (Tabla 3).

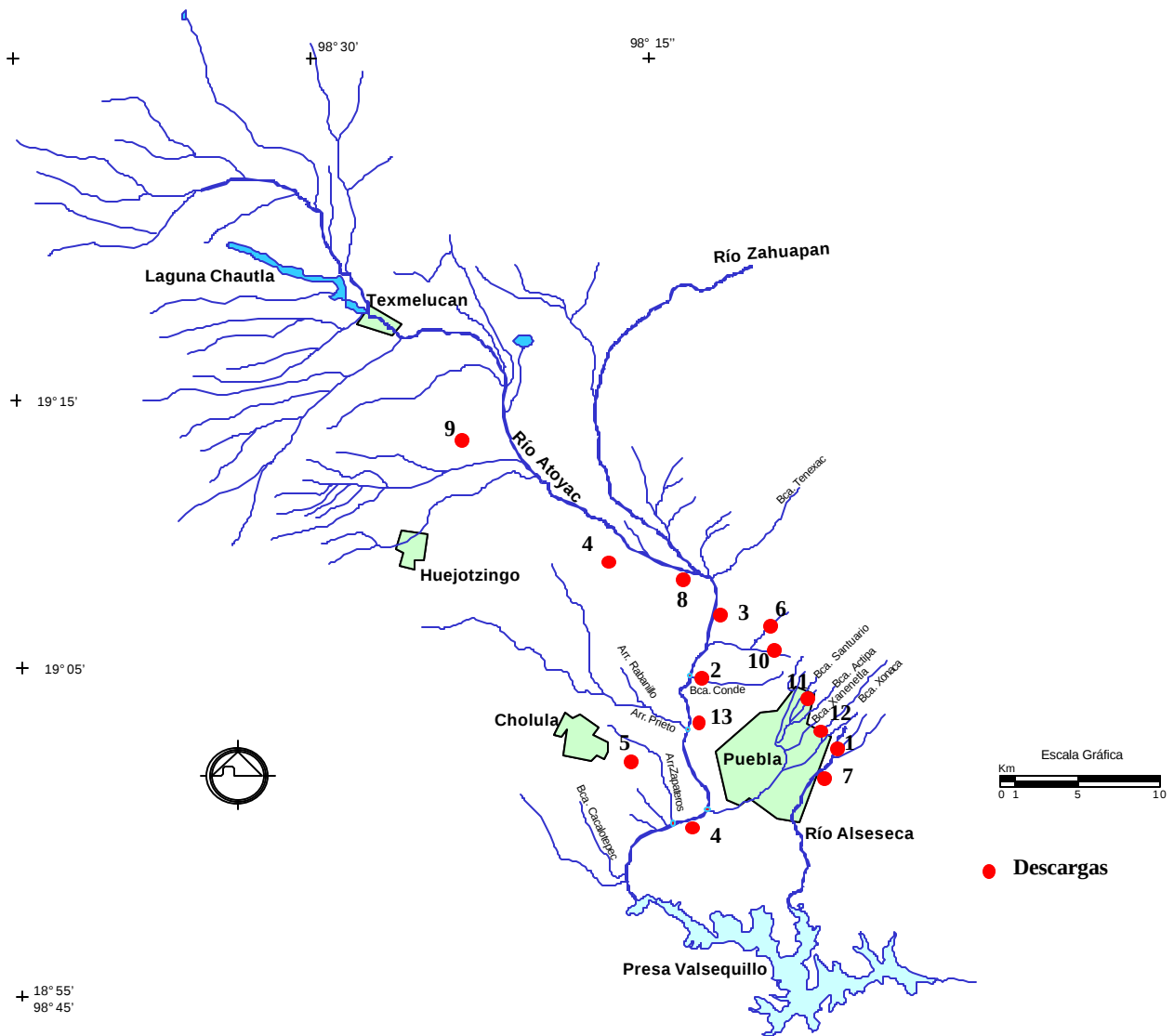
Tabla 3. Clasificación de toxicidad basada en Unidades de Toxicidad (UT).

Toxicidad (UT)	Clasificación	Concentración efectiva (CE_{50}) %
> 4	Muy tóxico	>25
2 - 4	Tóxico	50 – 25
1.33 – 1.99	Moderadamente tóxico	75 - 50
< 1.33	Ligeramente tóxico	< 75

Finalmente, de acuerdo con los resultados del laboratorio, se clasificaron a las empresas a partir de los valores de toxicidad, además de comparar los resultados instantáneos de los contaminantes básicos con lo establecido en la NOM-001-ECOL-1996.

Las muestras tomadas fueron almacenadas a 4°C y transportadas al laboratorio para su análisis posterior. Las industrias evaluadas fueron del giro textil, químico, metalúrgico, refresquero y alimenticio, así como un colector industrial y uno municipal. En la figura 4 se presentan las descargas evaluadas y su localización en la cuenca del río Atoyac.

Figura 4. Área de estudio y localización de las estaciones (descargas) evaluadas.



RESULTADOS

Los ríos Atoyac y Alseseca, así como sus afluentes y barrancas directas, de acuerdo a la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (CNA, 2001), se encuentran clasificados como cuerpos receptores Tipo B “ Ríos con uso público urbano”. De acuerdo a esta clasificación los límites permisibles que deben de cumplir las descargas en mg/L son: SST-125, DBO₅-125, S. Sed.-2, NT-40, PT-20, As-0.1, Cd-0.2, Cu-4.0, Cr-0.5, Hg-0.005, Ni-2.0, Pb-0.2, Zn-10; para el pH la descarga debe de cumplir con un intervalo de 5 -10 unidades de pH y temperatura menor de 40°C. En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos para las industrias de diferente giro y de dos colectores evaluados.

Tabla 4. Resultados de los análisis de varios giros industriales, colector industrial y municipal que afectan a los ríos Atoyac y Alseseca, Puebla. (mg/L, UT unidades de toxicidad).

	pH	T°C	NT	PT	SST	DBO5	S. Sed.	Pb	Cr	Cd	Zn	UT	DOO
Descargas	Textiles												
1	11.03	27.3	53.6	3.38	10770	201	475	0.45	*	*	50.4	11.4	685.44
2	11	42.4	43.4	<0.12	53	2420	0.1	*	*	*	*	775	4334
3	7.59	33.5	17.8	9.02	52	87	0.5	*	*	*	*	1.16	483.84
4	8.3	30	6.48	7.24	61	181	0.1	*	*	*	*	14.6	1048.3
5	7.93	23	33.7	4.37	47	120	0.4	*	*	*	*	5.3	403.2
	Metalurgica												
6	1.67	31	18.1	<0.12	38	2010	0.2	175.2	1.15	0.11	47.6	1165	7056
7	10	24	34	<0.12	34.5	11.1	1.5	0.28	*	*	*	26	100.8
8	7.4	29	13	0.13	13	21.1	0.1	*	*	*	*	7.8	80.64
	Alimenticia												
9	8.1	29.8	282	29.1	199	1406	0.5	0.26	*	*	*	254	1774.1
	Curtiduría												
10	7.75	21.7	135	1.09	475	2010	1.1	0.21	16.1	*	*	20	3306.2
	Petroquímica												
11	7.2	24.2	0.9	2.03	44	40	<0.3	*	*	*	*	2.4	60.48
	Colector Industrial												
12	9.2	28	45.5	5.6	158	422	4.5	*	*	*	*	5.1	1612.8
	Colector Municipal												
13	7.5	25	41.2	7.48	475	141	4	*	*	*	*	6.8	218.34
LMP	5 - 10	40	40	20	125	125	2	0.2	0.5	0.2	10	> 1.33	

* Menor al limite de detección

LMP Límite máximo permisible

Como se observa en la tabla 4, de las trece descargas evaluadas con la NOM-001-ECOL-1996, la descarga 1 no cumple con ocho parámetros, las descargas 2, 6, 9, 4, 12 y 13 no cumplen con cuatro, las descargas 4 y 7 no cumplen con un parámetro, y las descargas 3, 5, 8, y 11 cumplen con todos los parámetros de la norma.

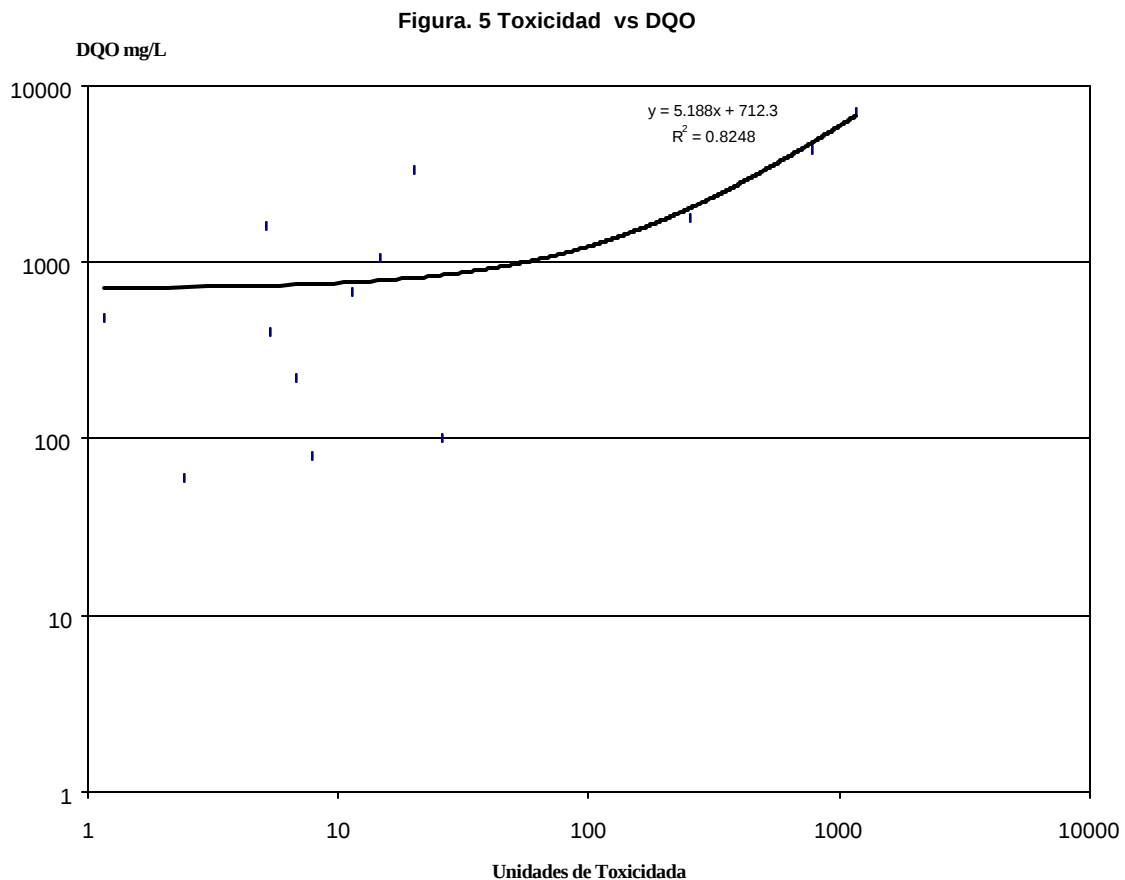
En cuanto a los resultados de toxicidad y de acuerdo a la clasificación en unidades de toxicidad (UT) en todas las descargas se detectó respuesta de los organismos a la presencia de sustancias tóxicas, que va desde ligeramente tóxica (descarga 3), tóxica (descarga 11), hasta altamente tóxicas (descargas 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12 y 13). Por lo que, aún cuando las descargas 3, 5, 8 y 11 cumplieron con lo establecido en la NOM-001-ECOL-1996, con la prueba de toxicidad se consideran potencialmente tóxicas para el cuerpo receptor. Lo anterior denota que los análisis químicos no pueden predecir o medir los efectos biológicos en el sistema acuático, y con las pruebas de toxicidad se integra la información de los efectos que la descarga total del efluente podría causar al cuerpo receptor, este enfoque integrado fue adoptado por la Agencia de Protección Ambiental de Estado Unidos (EPA) desde 1984, al incluir en sus monitoreos de calidad del agua, el análisis químico y biológico del efluente total y del cuerpo receptor. Con esta integración de la medición de los efectos en el efluente y en el cuerpo receptor la EPA desarrolla los enfoques de evaluación de riesgo de los efluentes, con el propósito de proteger los sistemas acuáticos para los usos a que son destinados (Donald R. Grothe, 1996). Además de utilizarlos para evaluar las eficiencias y los cambios en tecnología de procesos y control de la contaminación. De las industrias evaluadas, la del giro metalúrgico (descarga 6), fue la que presentó los valores de toxicidad y demanda química de oxígeno más altos, además de detectarse

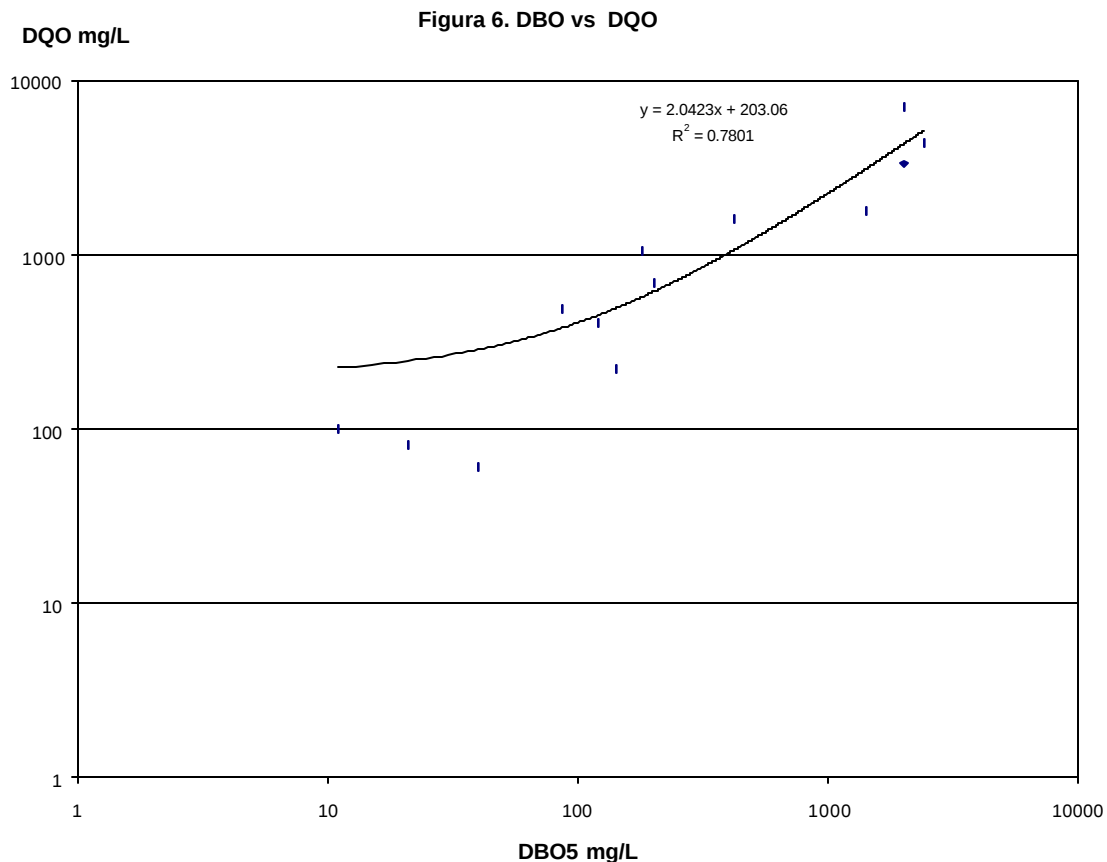
cuatro metales, de los cuales el plomo, cromo y zinc se presentaron por arriba de los límites permisibles. De todas las industrias la descarga 1, que corresponde al giro textil fue la que rebaso los límites de ocho parámetros, además de que en los muestreos, el impacto de las descargas textiles en el cuerpo receptor es principalmente el color, parámetro que no es considerado en la norma y que para este tipo de giros es indispensable adicionar, dado que se observó a los ríos en algunos tramos con tonalidades de amarillo, rojo y azul.

La descarga 9 que representa el giro alimenticio, y que rebaso cuatro parámetros, dentro de los cuales, el nitrógeno total fue el de mayor concentración.

De las descargas que cumplieron con la norma, en todas se detectó toxicidad, lo que indica la presencia de sustancias tóxicas que pueden estar en concentraciones trazas que afectan a los organismos de prueba, como pudieran ser los metales y compuestos orgánicos que son aportados por la industria petroquímica y que por ser aportaciones continuas, no solo afectan a los organismos de prueba en el corto plazo, sino que también en el largo plazo pueden causar alteraciones a nivel genético en los organismos, ocasionando malformaciones y pérdida de especies en el cuerpo receptor (Randall, 1997).

Además de los parámetros de la norma, la necesidad de incluir los análisis de toxicidad, que integran la respuesta biológica para proteger el ecosistema, la demanda química de oxígeno (DQO) es otro parámetro importante que determina la agresividad de las aguas residuales industriales, ya que estos presentan una correlación alta de $R^2 = 0.82$, incluso esta correlación es más alta que la que se presenta con la DBO₅ (Fig. 5 y 6).





En cuanto a las descargas de los colectores industriales y municipales, se presenta un comportamiento similar en cuanto a los parámetros que rebasan la norma y a la toxicidad que se presentó, por lo que esto determina que los colectores municipales en la mayoría de los casos reciben descargas industriales que cuando se plantea el tratamiento del agua residual municipal no consideran la incorporación de sustancias tóxicas que afectan los sistemas de tratamiento biológico reduciendo su eficiencia.

CONCLUSIONES

La evaluación de las descargas industriales con la norma vigente se encontró que aún cuando en cuatro de las industrias se cumple con los límites permisibles establecidos, se detectaron efectos adversos en los organismos de prueba al identificarse niveles de toxicidad de 1.16 hasta 7.8 UT.

De la industria textil la descarga 1 fue la que rebaso los límites de cinco parámetros básicos y de dos metales, en este giro en particular es importante adicionar el parámetro de color, que afecta no solo la calidad del agua de los ríos desde el punto de vista fisicoquímico y biológico, sino también el estético.

Una de las descargas del giro metalúrgico (descarga 6) presentó los niveles de toxicidad más altos, así como la concentración de DQO, relacionándose estos niveles por las concentraciones de metales pesados detectados en la descarga.

Aun cuando en la mayoría de los casos los problemas bacteriológicos no se han solucionado en su totalidad por la falta de sistemas de tratamiento, y que en los países desarrollados esto ya fue resuelto con el saneamiento e infraestructura, si tenemos que adicionar parámetros que son tomados en cuenta en los países desarrollados, ya que el uso de compuestos y sustancias tóxicas en la actualidad es alto, por lo que el incluir pruebas de toxicidad en la NOM-001-ECOL-1996, identificaría aquellas descargas que afectan la salud del ecosistema y por consiguiente a largo plazo la salud humana.

La demanda química de oxígeno también es un parámetro importante para evaluar la agresividad de las descargas tanto industriales como municipales que deterioran la calidad del cuerpo receptor.

La relación entre toxicidad y demanda química de oxígeno es alta ($R^2 = 0.82$), por lo que es necesario realizar más estudios y análisis de diferentes giros industriales para poder establecer tanto los límites permisibles más adecuados como una relación de los efectos de la contaminación, tanto en las descargas como en el cuerpo receptor, para reforzar los criterios establecidos y así proteger el ecosistema acuático.

BIBLIOGRAFIA

- Comisión Nacional de Agua (2001). *Compendio Básico del Agua en México*, México D.F., pp. 71
- Comisión Nacional del Agua (2000). *Ley Federal de Derechos en Materia de Agua*, México, D.F, pp 124.
- Comisión Nacional del Agua (1999) *Lineamientos Estratégicos de la Región IV, Balsas*, México,D.F., 1999.
- Carpenter S, Chair, Nina F. Caraco, David L. Correll, Robert W. Howarth, Andrew, N. Sharpley, and Val H. Smith. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Issues in Ecology*, Number 3., 1998. Washington, D.C., pp.12
- Donald R. Grothe, Kenneth L. Dickson, Donna K. Reed-Judkins (Ed.)(1996). *Whole effluent toxicity testing: An evaluation of methods and prediction of receiving system impacts*. A Special Publication of SETAC (Society Environmental Toxicology and Chemistry). pp. 347.
- Michel Meybeck, Deborah Chapman & Richard Helmer (1990) *Global freshwater quality*. A first assessment, WOH, UNEP, pp. 306.
- Microbics Corporation (1992). *Microtox Manual*. Volume 1 Getting Started. A Toxicity Testing Handbook. pp. 85.
- Randall, M.Gary and Petrocelli, R. Sam. (1997) *Fundamentals of aquatic toxicology*, Hemisphere Publishing Corporation, Washington. D.C., pp. 666.
- SHCP, BANOBRAS, CEPEP (1999). *Metodologías y casos prácticos en evaluación socioeconómica de proyectos*, México, D.F. (CD-ROOM).
- T.R. Crompton. (1997). *Toxicants in the aqueous ecosystem*. Ed. JohnWiley. England. Pp. 382.