



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química

“DISPERSIÓN DE ESPECIES QUÍMICAS METÁLICAS Y
ORGÁNICAS, CONTAMINANTES EN AGUA Y SEDIMENTO DEL RÍO
SAN JUAN”.

Tesis

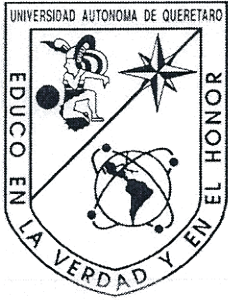
Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias Ambientales

Presenta

Armando Quistián García

Querétaro, Qro. Julio de 2013.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría en Ciencias Ambientales

“DISPERSIÓN DE ESPECIES QUÍMICAS METÁLICAS Y ORGÁNICAS, CONTAMINANTES EN AGUA Y SEDIMENTO DEL RÍO SAN JUAN”

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias Ambientales

Presenta:

Q. F. B. Armando Quistián García

Dirigido por:

M.C. Gustavo Pedraza Aboytes

SINODALES

M. C. Gustavo Pedraza Aboytes
Presidente

Firma

M. G. I. C. José Guadalupe Valtierra
Secretario

Firma

M. C. Angélica Díaz Rodríguez
Vocal

Firma

Dr. Víctor Pérez Moreno
Suplente

Firma

Dra. Maricela González Leal
Suplente

Firma

M.S.P. Sergio Pácheo Hernández
Director de la Facultad de Química

Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y Posgrado

RESUMEN

La dispersión de contaminación en el río San Juan fue evaluada mediante la cuantificación de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc en agua y sedimento, además de identificar plaguicidas organoclorados en agua y sedimento del mismo río, en la ciudad de San Juan del Río, Querétaro. Con la finalidad de comparar el efecto estacional sobre los resultados, se realizaron dos muestreos durante el mes de julio, uno durante el mes de diciembre del año 2010 y un último muestreo durante el mes de febrero del año 2011. Los métodos de prueba utilizados son los incluidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, además del método EPA 3540 C y la NMX-AA-071-1981. Respecto a los metales en agua, los valores son inferiores a los límites de detección. En cuanto a los sedimentos, al comparar las concentraciones respecto al "Límite de efectos adversos biológicos mínimos de Ontario", el cromo y el zinc presentan uno y dos valores superiores al límite establecido, respectivamente. El cadmio sobrepasa el mismo límite sólo una ocasión. Los niveles de cobre en sedimento sobrepasan el valor establecido en siete ocasiones llegando hasta quintuplicar dicho valor límite. El cobre no tiene un comportamiento predecible. No parece existir una descarga continua de cobre y su posterior acumulación en sedimento, al parecer se trata de descargas puntuales y por época. No se identificaron compuestos organoclorados en agua y sedimento del río San Juan, aunque fue notoria la presencia persistente de bis(2-etilhexil)ftalato, en sedimento, pero no en agua, quizá debido a la afinidad química del ftalato por la composición química del sedimento. La contaminación del río San Juan abarca sus sedimentos, lo cual hizo necesaria una caracterización sistemática del río que incluya estudios de especiación metálica y su biodisponibilidad.

(Palabras clave: dispersión, sedimento, especiación, biodisponibilidad)

SUMMARY

The dispersion of pollution in the San Juan River was assessed by quantification of arsenic, cadmium, copper, chromium, mercury, nickel, lead, zinc in water and sediment, in addition to identifying organochlorine pesticides in water and sediment of the river, in the city of San Juan del Rio, Queretaro. In order to compare the seasonal effect on the results, two samplings were conducted during the month of July, one during the month of December 2010 and a final test during the month of February 2011. The test methods used are included in the NOM-001-SEMARNAT-1996, and EPA 3540 method C and NMX-AA-071-1981. With regard to metals in water to values below detection limits. Regarding sediment concentrations comparing respect to "Limit adverse biological Ontario minimum" chromium and zinc featuring one and two values above the prescribed limit, respectively. The same limit cadmium exceeded only once. Copper levels in sediment exceed the value set on seven occasions coming up to five times that value limit. Copper does not have a predictable behavior. There seems to be a continuous discharge of copper and its subsequent accumulation in sediment is apparently point discharges and time. No organochlorine compounds identified in water and sediment of the river San Juan, but was noticeable the persistent presence of bis (2-ethylhexyl) phthalate in sediment, but not in water, perhaps due to the chemical affinity of phthalate by the chemical composition of sediment. The San Juan river pollution covering its sediments, which necessitates a systematic characterization of the river that includes metal speciation studies and bioavailability.

(Key words: dispersing, sediment, speciation, bioavailability)

DEDICATORIAS

A mi familia; Luz María, Itzel y Armando.

Por su apoyo incondicional, representan el aliciente principal para iniciar y terminar este proyecto.

A mis padres, José Dolores y Ma. Irene.

Porque lo que he sacado de provecho de esta vida en buena parte se lo debo a ellos. No olvido y reconozco, gracias de todo corazón.

A mis hermanos Miguel Ángel, Javier Martín, Oscar, Sergio, Elizabeth y José Dolores.

Porque siempre recibo de ellos más de lo que les doy. Este logro es también de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Al maestro Gustavo Pedraza Aboytes por su confianza, paciencia y apoyo para llevar a cabo este proyecto.

A los maestros de la maestría en Ciencias Ambientales por su particular forma de ser que estimuló e incentivó el desarrollo de este trabajo de tesis.

A mis sinodales por su apoyo, por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo y por sus pertinentes observaciones.

A mis compañeros de clases de los cuáles recibí apoyo en todo momento.

A los estudiantes de Ingeniería de Materiales, Abraham y Charly, que me aportaron ideas para el mejor desarrollo del trabajo de laboratorio además de apoyarme con el manejo del equipo analítico.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
Contaminación del agua	4
Componentes de las aguas residuales municipales	5
Microorganismos	5
Sólidos	5
Componentes inorgánicos	6
Materia Orgánica	7
Aguas residuales industriales.	9
Índice de Calidad del Agua (ICA) en México.	10
Sedimentos	11
Concepto	11
Formación de sedimentos	12
Composición de los sedimentos	13
Estudios preliminares	14
Caracterización de metales en agua	14

Caracterización de metales en sedimentos	21
Caracterización de compuestos orgánicos en agua	29
Disruptores endocrinos	30
Características particulares de los compuestos disruptores endocrinos (CDE)	33
Distribución y biodisponibilidad de compuestos orgánicos en agua y sedimento	34
Estudios preliminares en San Juan del Río, Qro.	38
Hipótesis	43
Objetivo General	43
Objetivos específicos	43
III. METODOLOGÍA	44
Muestreo	44
Agua	45
Sedimento	46
Tratamiento y Análisis	47
Metales en agua	47
Determinación de cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc por aspiración directa en una flama de aire acetileno	48
Tratamiento de muestra	48
Análisis	48
Determinación de mercurio y arsénico por absorción atómica de vapor frío	49
Tratamiento de muestra	49
Análisis	49
Compuestos organoclorados en agua	50
Tratamiento de muestra	50

Análisis	51
Compuestos orgánicos en sedimentos	51
Tratamiento de muestra	51
Análisis	52
Metales en sedimentos	52
Tratamiento de muestra	52
Análisis	52
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
V. CONCLUSIONES	72
PERSPECTIVAS	73
VI. LITERATURA CITADA	75
APÉNDICE 1	82
APÉNDICE 2	87

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1.1	Crecimiento y conurbación de la ciudad de San Juan del Río	2
2.1	Sólidos en aguas residuales.	6
2.2	Giros industriales en San Juan del Río, Qro.	10
2.3	Parámetros del ICA.	11
2.4	Tamaño de partícula de sedimentos en siete lagos naturales de Kumaun región de Uttarakhand, Provincia de la India durante 2003-2004 y 2004-2005.	14
2.5	Fuentes de metales pesados en el agua residual doméstica.	17
2.6	Porcentaje de contribución en metales en los desechos líquidos industriales por grupo de giro industrial.	18
2.7	Concentraciones de metales en agua y sedimentos en siete lagos naturales de Kumaun región de Uttarakhand, Provincia de la India durante 2003-2004 y 2004-2005.	21
2.8	Concentración total promedio de metales en muestras de biosólidos urbanos de la ciudad de Puebla y su comparación con normas nacionales e internacionales (mg kg^{-1} materia seca).	24
2.9	Sustancias tóxicas prioritarias en agua propuestas en México.	30
2.10	Compuestos industriales listados en el censo Europeo de Disruptores Endocrinos, 2001-2012.	32
2.11	Concentración de contaminantes en las diferentes zonas del río San Juan.	40
2.12	Concentración de metales y límites permisibles en el río San Juan.	41
2.13	Concentración de contaminantes orgánicos en el río San Juan y límites permisibles.	42
3.1	Ubicación de sitios de muestreo.	44
3.2	Condiciones estándar para absorción atómica.	49

4.1	Comparativo físico-químico de muestreos realizados.	55
4.2	Promedios de concentraciones de metales en agua en el río San Juan correspondientes a los muestreos de 20/07/10, 29/07/10, 21/12/10 y 12/02/11.	59
4.3	Comparativo de concentración detectada de metales en sedimento y límites permisibles (mg/kg) de muestreos efectuados del 29/07/10 al 12/02/11.	66
4.4.	Compuestos Orgánicos detectados en el río San Juan.	69
4.5.	Compuestos Orgánicos detectados-no identificados en el Río San Juan.	70
A.1	Concentraciones de metales en agua (mg/l) del muestreo hecho el 20/07/2010.	83
A.2	Concentraciones de metales en agua (mg) del muestreo hecho el 29/07/2010.	84
A.3	Concentraciones de metales en agua (mg) del muestreo hecho el 21/12/2010.	85
A.4	Concentraciones de metales en agua (mg) del muestreo hecho el 12/02/2011.	86
A.5	Comparativo de concentración detectada de metales en sedimento y límites permisibles (mg/kg) del muestreo del 20/7/10.	88
A.6	Comparativo de concentración detectada de metales en sedimento y límites permisibles (mg/kg) del muestreo del 29/07/10.	89
A.7	Comparativo de concentración detectada de metales en sedimento y límites permisibles (mg/kg) del muestreo del 21/12/10.	90
A.8	Comparativo de concentración detectada de metales en sedimento y límites permisibles (mg/kg) del muestreo del 12/02/11.	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Comparativo de demanda bioquímica de oxígeno de origen urbano e industrial en México.	8
2.2	Demanda bioquímica de oxígeno (BOD) y oxígeno disuelto (DO) en agua en siete lagos naturales de Kumaun región de Uttarakhand, Provincia de la India (Bhimtal, Naukuchiatal, Punatal, Sitatal, Ramtal, Hanumantal y Nainital) durante el verano, otoño e invierno del año 2003; primavera, verano, otoño e invierno del año 2004; y primavera y verano del año 2005.	19
2.3	Variaciones estacionales a diferentes concentraciones de los metales cadmio (Cd) y cromo (Cr) en agua en siete lagos naturales de Kumaun región de Uttarakhand, Provincia de la India (Bhimtal, Naukuchiatal, Punatal, Sitatal, Ramtal, Hanumantal y Nainital) durante el verano, otoño e invierno del año 2003; primavera, verano, otoño e invierno del año 2004; y primavera-verano del año 2005.	19
2.4	Distribución porcentual de los metales pesados en cuatro fracciones extraídas de biosólidos urbanos de la ciudad de Puebla, México.	25
2.5	Fracciones químicas de cromo y cobre en sedimento de siete lagos (Bhimtal, Naukuchiatal, Punatal, Sitatal, Ramtal, Hanumantal y Nainital) naturales de Kumaun región de Uttarakhand, Provincia de la India durante el verano, otoño e invierno del año 2003; primavera, verano, otoño e invierno del año 2004; y primavera y verano del año 2005	27
2.6	Fracciones químicas de hierro y manganeso en sedimento de siete lagos (Bhimtal, Naukuchiatal, Punatal, Sitatal, Ramtal, Hanumantal y Nainital) naturales de Kumaun región de Uttarakhand, Provincia de la India durante el verano, otoño e invierno del año 2003; primavera, verano, otoño e invierno del año 2004; y primavera y verano del año 2005.	28
3.1	Mapa Google de los sitios de muestreo.	45
3.2	Muestreadores tipo botella Van Dorn y draga Petersen utilizados para agua y sedimento, respectivamente.	46
4.1	Comparativo de resultados de DBO_5 entre los sitios de muestreo.	56

4.2	Comparativo de resultados de DQO entre los sitios de muestreo.	57
4.3	Comparativo de concentración de zinc en agua del río San Juan.	60
4.4	Comparativo de cromo en sedimento del río San Juan.	62
4.5	Comparativo de cobre en sedimento del río San Juan.	65
4.6	Concentración de zinc en sedimento del río San Juan.	66

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia la calidad del agua potable determinó el grado de bienestar humano. En el pasado era frecuente la propagación de enfermedades a través del agua contaminada con materia fecal e incluso disminuyeron poblaciones enteras. Algunas poblaciones se vieron obligadas a usar aguas insalubres tanto para beber como para irrigar hortalizas tal como sucede actualmente en algunas zonas de nuestro país. Sin embargo hoy en día generalmente la mayor preocupación sobre la seguridad del agua se centra ahora en la presencia potencial de contaminantes químicos. Éstos pueden incluir productos orgánicos e inorgánicos y metales pesados, procedentes de fuentes industriales, agrícolas y de escorrentía urbana (Manahan, 2007).

El crecimiento económico e industrial de Querétaro se considera dentro de los primeros lugares en el país según lo confirma el indicador trimestral de la actividad económica estatal (ITAEE) durante el cuarto trimestre de 2011, donde se menciona que las entidades de Sonora y Querétaro tuvieron los mayores crecimientos en su actividad económica, 8.2 y 8 %, respectivamente. Además de que en actividades secundarias también sobresale el crecimiento de la entidad queretana con un 12.9 %, sólo por debajo del crecimiento que presentaron los estados de Sonora y San Luis Potosí quienes presentaron el crecimiento más alto (14.3 % y 13.3 %, respectivamente), (INEGI, 2011a). Por ello es de esperarse que los fenómenos de contaminación del medio ambiente se magnifiquen. El municipio de San Juan del Río, Querétaro, es el segundo en importancia económica dentro de la entidad debido a las actividades industriales que ahí se desarrollan desde los años 1960-1970 y es una fuente de trabajo para las regiones circunvecinas debido a la alta tasa de crecimiento urbano como se muestra en el Cuadro 1.1.

Cuadro 1.1. Crecimiento y conurbación de la ciudad de San Juan del Río.

Año	Superficie total (ha)	Crecimiento (ha)	Tasa Anual %
1973	541.79	541.79	N/A
1988	2,364.99	1823.20	6.1 %
2005	3,305.83	940.83	4.9 %
2010	4,968.69	1662.86	8.5%

Fuente: Centro Queretano de Recursos Naturales (2011).

El río San Juan se origina en la Presa San Ildefonso, localizada en los límites con el Estado de México, así como del agua proveniente de la Presa Huapango a través del río Arroyo Zarco. Se le suman los aportes estatales a través de los arroyos Hondo, Tuna Mansa y San Antonio, entre los más importantes. Atraviesa la zona urbana de la cabecera municipal y descarga sus aguas en la Presa Centenario, ya en el municipio de Tequisquiapan (Centro Queretano de Recursos Naturales (2011)).

En el año 1885 sobre el cauce del río San Juan se comenzó a construir una presa cercana a la cañada llamada Lomo de Toro que surtiría de agua potable a la población sanjuanense debido a que la mayoría de los pozos existentes en aquella época sufrían infiltraciones nocivas que volvían insalubres sus aguas. Poco después, en 1891, se comenzó a gestionar el aprovechamiento de las aguas del río San Juan; primero para la irrigación de las tierras y después para la producción de energía. Desde entonces, las aguas del río San Juan se han ido reteniendo en presas y diques. En tiempos de lluvias abundantes, corre bastante agua por el río pero no con la intensidad de antes (Ayala, 2006).

Asimismo el río San Juan recibió y recibe aguas domésticas e industriales, las cuáles no han sido tratadas totalmente o sólo a pequeña escala. La contaminación actual del río es muestra evidente de esta falta de homogeneidad en cuanto al tratamiento de aguas domésticas e industriales se refiere.

El avance en materia de legislación y prevención ambiental que se ha tenido en las últimas décadas en México no ha sido suficiente para detener el

notorio deterioro ambiental del río San Juan y aunado a esto el crecimiento industrial viene acompañado de fenómenos de contaminación variables en tipo y cantidad dependientes de los giros industriales de la localidad, entre otros factores, tal como lo demuestra el crecimiento fabril que en los últimos 20 años ha tenido China, que ha ocasionado que nueve de sus ríos sobrepasen los valores estándar de demanda química de oxígeno, nitrógeno amoniacal, demanda bioquímica de oxígeno de cinco días, fenoles y fósforo total, además de que en algunos casos se sobrepasan los valores límites de aceites y coliformes fecales. Sin embargo los niveles de flúor, cadmio, mercurio, plomo, arsénico, aceites y fósforo total están por debajo de los valores límite (Qing Lu et al., 2008).

Por ello las acciones específicas en tipo y nivel tendientes a contrarrestar la contaminación en agua implican necesariamente evaluar de manera cualitativa y cuantitativa su calidad considerando la distribución espacial y temporal de los contaminantes orgánicos e inorgánicos. La evaluación de la dispersión de los contaminantes debe incluir también los sedimentos del mismo cuerpo de agua dado que son considerados como sumideros de contaminantes.

Se busca con el presente trabajo evaluar la distribución de contaminantes orgánicos e inorgánicos en agua y sedimento del río San Juan ubicado en la ciudad San Juan del Río, Querétaro, de acuerdo con las metodologías actuales nacionales y mundiales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Contaminación del agua

Los contaminantes del agua son de diversa índole; inorgánicos, orgánicos y biológico-infecciosos. La contaminación de los recursos hidráulicos puede ser consecuencia directa del desagüe de aguas negras o de descargas industriales (fuentes puntuales), o indirecta de la contaminación del aire o de desagües agrícolas o urbanos (fuentes no puntuales o difusas) (Glynn y Heinke, 1999).

Se han incrementado los vertidos de fuentes puntuales debido a la industrialización y alto nivel de vida en países desarrollados pese a regulaciones ambientales (Karaer F. y Kucukballi A., 2006). Sin embargo, Cotman et al. (2008), insisten en que un aspecto importante a considerar en la protección de los cuerpos de agua en movimiento ante los contaminantes es la regulación de las fuentes puntuales de contaminación. En México, la contaminación de origen industrial, ha sido sobredimensionada y se han ignorado otras fuentes que contribuyen de manera muy significativa a la contaminación ambiental. A principios de los años setenta en nuestro país los diferentes ejes de la regulación anticontaminantes avanzaron de manera anárquica, aplicando soluciones tecnológicas comunes a cada tipo de empresa sin tomar en cuenta los efectos diferenciales de la emisión de contaminantes sobre cada ecosistema en particular. La Nueva Política Ambiental hacia la industria del gobierno mexicano busca desarrollar nuevos instrumentos que orienten las decisiones de inversión de las empresas industriales hacia medidas preventivas antes de medidas correctivas; a tomar en cuenta los efectos ambientales diferenciados sobre cada ecosistema y en esa medida atender el interés público sin lesionar innecesariamente intereses privados, (De los Ríos, 1997).

Componentes de las aguas residuales municipales

Las aguas residuales municipales o aguas negras son una mezcla compleja de agua con contaminantes orgánicos e inorgánicos que se presentan tanto en suspensión como disueltos.

Microorganismos

Las aguas negras resultan ser un medio propicio para el crecimiento y desarrollo de agentes patógenos y no patógenos debido a:

- a. La gran cantidad de nutrientes que son enviados por las fuentes domésticas.
- b. La exposición a atmósferas ricas en oxígeno del aire (aún en condiciones anóxicas existen microorganismos igualmente peligrosos que se adaptan al medio).
- c. Si las aguas negras se encuentran estancadas durante un lapso de su recorrido pueden igualmente verse sometidas a condiciones que les permitirán desarrollarse a los agentes patógenos y no patógenos.

Sólidos

Los sólidos presentes en cuerpos de agua, sea cual sea su origen, son una medida indirecta de contaminación. El cuadro 2.1 muestra los criterios para clasificación de los tipos de sólidos inorgánicos y orgánicos presentes en aguas municipales.

Cuadro 2.1. Sólidos en aguas residuales.

	Sólidos totales Residuos a 103 °C	Inorgánicos Residuos a 550 °C	Orgánicos Pérdida a 550 °C
Sin filtrar (En suspensión más disueltos)	Sólidos totales (ST)	Sólidos totales fijos	Sólidos totales volátiles
Filtrada (disueltos)	Sólidos totales disueltos (STD)	Sólidos fijos disueltos	Sólidos volátiles disueltos
Por diferencia	Sólidos en suspensión (SS)		Sólidos volátiles en suspensión (SVS)

Fuente: NOM-AA-34-1981.

De las categorías mostradas, los sólidos en suspensión (SS) y los sólidos volátiles en suspensión (SVS) son los más útiles dado que son indicativos de la cantidad de materia orgánica presente en aguas municipales además de que en el control de la contaminación de corrientes, todos los sólidos en suspensión se consideran como sólidos sedimentables (Glynn y Heinke, 1999), y por ello en nuestro país, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha establecido los Sólidos Suspendidos Totales (Sólidos Sedimentables), como uno de los 15 parámetros ponderados que en conjunto se conocen como Índice de Calidad del Agua (ICA).

Componentes inorgánicos

Los componentes inorgánicos comunes de las aguas residuales incluyen:

- a. Cloruros y sulfatos: se encuentran normalmente en el agua y en residuos generados por humanos.
- b. Nitrógeno y fósforo se encuentran en residuos humanos ya sea en forma orgánica e inorgánica, además del fósforo correspondiente a detergentes.
- c. Carbonatos y bicarbonatos: normalmente presentes en el agua y en los residuos como sales de calcio y de magnesio.

- d. Varios metales pueden estar presentes en residuos domésticos, los cuales provienen de:
- i. Drenaje doméstico: transporta metales desechados por el metabolismo y lixiviados de los materiales de construcción de las tuberías (Cu, Pb, Zn, Cd, Fe, Mn, Cr, Ni, Co, B y As).
 - ii. Drenaje pluvial: puede contener metales, dependiendo del tipo de camino y material de construcción de los mismos, de la cantidad de tráfico, planeación urbanística y uso de suelo.
 - iii. El lixiviado que se produce en los rellenos sanitarios normalmente contiene metales como Cu, Zn, Pb y Hg
 - iv. La quema de combustibles fósiles es la principal fuente de metales hacia la atmósfera y fuente potencial de contaminación de cuerpos superficiales de agua (Volke et al., 2005).

Además de estos componentes químicos se puede encontrar gases disueltos como el oxígeno y aniones como el H^+ (expresados como pH).

Materia Orgánica

Se compone de excrementos y orina humanos, residuos de alimentos, polvo y suciedad proveniente del baño y del lavado de ropa, y productos de limpieza (Glynn y Heinke, 1999). Los principales parámetros que permiten evaluar la carga contaminante orgánica, de origen municipal y no municipal, se conocen como demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO_5), las cuáles cuantifican la materia orgánica total y la materia orgánica biodegradable, respectivamente.

La concentración de oxígeno disuelto en cuerpos de agua durante los meses lluviosos de noviembre a junio, se eleva, pero sufre un decremento en los meses de verano y otoño debido al aumento de la temperatura ambiente. Estas variaciones estacionales en la concentración del oxígeno, se deben al efecto que tiene la temperatura en la solubilidad del oxígeno en agua. Una baja en la concentración de oxígeno en agua residual, como sucede en épocas de estiaje, es

de esperar que dé lugar a un aumento en las concentraciones de demanda química y demanda bioquímica de oxígeno, sin embargo, no siempre es así; ello dependerá ocasionalmente de otros factores particulares como el cierre estacional de fuentes puntuales de contaminación (Karaer y Kucukballi, 2006).

En nuestro país, los centros urbanos generan en promedio 239 m³/s de aguas residuales de las cuales 187 m³/s se recolectan en el alcantarillado. Lo anterior genera alrededor de 1.86 millones de toneladas de DBO anual de las que solamente 0.22 millones se remueve en los sistemas de tratamiento. Por otra parte, existen mil 374 plantas de agua residual industrial en el país. La industria genera 170 m³/s, lo que representa 7.66 millones de toneladas de DBO anual y de las cuales solamente se remueven 0.85 millones de toneladas (Fig. 2.1) en los sistemas de tratamiento existentes (SEMARNAT, INE, reporte 2000).

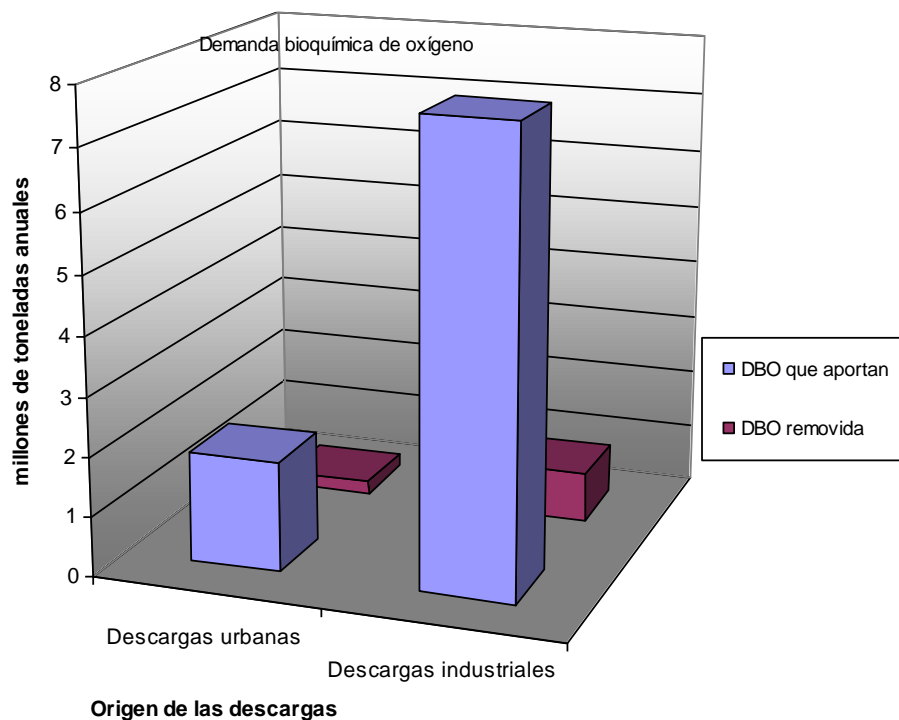


Figura 2.1. Comparativo de demanda bioquímica de oxígeno de origen urbano e industrial en México.

Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales incluyen los desechos sanitarios y los desechos derivados de los procesos industriales que se efectúen, es decir, las aguas residuales industriales incluyen la suma de aguas con contaminantes de diverso tipo, con propiedades físicas y químicas diferentes. El impacto al medio ambiente de las aguas residuales, es un caso específico y depende de la composición del efluente, incluyendo su variabilidad temporal y los volúmenes descargados (Cotman et al., 2008).

Dos tercios de la descarga de aguas residuales provienen de la industria y el tercio restante proviene del sector de servicios y de aguas domésticas. Los principales contaminantes de éstas aguas residuales incluyen: mercurio, cadmio, cromo, plomo, zinc, arsénico, cianuros, flúor, azufre, selenio, alcanos, bencenos sustituidos, hidrocarburos policíclicos aromáticos, ftalatos ácidos de ésteres, compuestos inorgánicos y microorganismos entéricos patógenos (Qing et al., 2008). La fabricación de productos químicos inorgánicos es una fuente potencial de contaminación del agua con elementos traza. Entre las industrias reguladas por su potencial para contaminar el agua con elementos traza, están la industria cloro-álcali y las que producen ácido fluorhídrico, dicromato de sodio (procesos a base de sulfato y cloruro de ilmenita), fluoruro de aluminio, pigmentos de cromo, sulfato de cobre, sulfato de níquel, bisulfato y bisulfito de sodio, dióxido de titanio y cianuro de hidrógeno o ácido cianhídrico (Manahan, 2007).

En nuestro país casi el 80% del consumo del agua del sector industrial lo realizan solamente los giros industriales azucarero, químico, petróleo, celulosa y papel, textil y bebidas (SEMARNAT, INE, reporte 2000), siendo los tres últimos parte de los principales sectores manufactureros asentados en San Juan del Río de acuerdo con el Directorio Maestro Empresarial (DIME)(SEDESU, 2012), (Cuadro 2.2). Sin embargo, aunque se conocen los giros industriales actuales en San Juan del Río, no existen estudios que cuantifiquen la contribución de éstos a la contaminación acuática local.

Cuadro 2.2. Giros industriales en San Juan del Río, Qro.

Sector
Alimentos
Eléctrica y electrónica.
Industria de la madera.
Metal mecánica.
Metal básica.
Materiales no metálicos.
Productos metálicos y autopartes.
Papel, imprenta y editorial.
Servicios a la industria.
Textil y prendas de vestir.
Química, Caucho y Plástico

Fuente: Directorio Maestro Empresarial, SEDESU, página oficial del Estado de Querétaro.

Índice de Calidad del Agua (ICA) en México.

En México se cuenta con datos públicos sobre la calidad del agua desde 1990; sin embargo, la forma en que el gobierno ha medido la misma ha variado, provocando así una gran dificultad para conocer cómo ha evolucionado la calidad del agua (Jiménez, 2007). Básicamente ha habido dos procedimientos para evaluar la calidad del agua. El primero se basa en el Índice de Calidad del Agua o ICA el cual es calculado a partir de los 15 parámetros mostrados en el Cuadro 2.3, usados para medir la contaminación. El ICA varía entre 0 y 100, donde cero representa la peor calidad y 100 la mejor (León, 1991). Este índice, no incluye contaminantes orgánicos, como plaguicidas, ni inorgánicos, como metales pesados, los cuales son potencialmente tóxicos y revisten diferentes grados de toxicidad dependiendo del tipo y concentración (SEMARNAT, 2008). Por ello es que este índice fue usado en algunos países y rápidamente abandonado en la mayor parte de ellos por la carencia de significado físico. A pesar de ello, el ICA fue usado entre los años 1990 y 2001 por la Comisión Nacional del Agua, que lo aplicó variando, sin explicación alguna, los límites para clasificar la calidad del agua.

El segundo método, empleado a partir del año 2002, toma en cuenta únicamente un tipo de contaminante: la materia orgánica. Aunque ésta se puede medir de muchas formas, la CONAGUA consideró sólo dos de ellas: como materia orgánica biodegradable de cinco días (DBO₅) o como materia orgánica químicamente oxidable (DQO).

Cuadro 2.3. Parámetros del ICA.

Parámetro	Parámetro
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Nitrógeno amoniacal (NH ₃)
Demanda química de oxígeno (DQO)	Alcalinidad
Oxígeno disuelto	Dureza total
Coliformes fecales	Potencial de hidrógeno (pH)
Coliformes totales	Sólidos suspendidos
Fenoles	Cloruros (Cl ⁻)
Fosfatos totales (PO ₄ ³⁻)	Temperatura
Nitratos (NO ₃ ⁻)	

Fuente: León 1991.

Sedimentos

Concepto

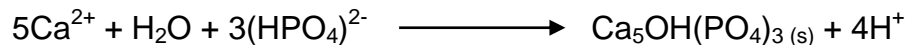
Los sedimentos se consideran capas de materia fina, mezcla de minerales (tamaño variable) con materia orgánica. Los sedimentos pueden variar su composición desde un bajo porcentaje de materia inorgánica con un alto contenido orgánico y viceversa. Lo anterior es importante porque dependiendo del contenido orgánico del sedimento, será el grado de afinidad por compuestos orgánicos contaminantes, o bien por materiales inorgánicos. De ahí que los sedimentos se consideren un sumidero de contaminantes orgánicos e inorgánicos, además de

que tienen participación en la transferencia de especies químicas a las cadenas alimenticias.

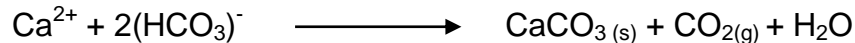
Formación de sedimentos

Existen varios tipos de reacciones químicas que originan sedimentos:

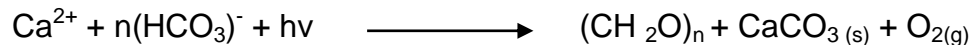
- a. La dureza del agua debida al catión calcio en presencia de fosfatos, origina hidroxiapatita sólida.



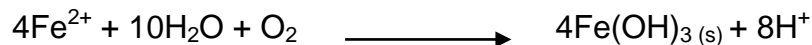
- b. El mismo catión Ca^{2+} en presencia de bicarbonatos, genera carbonato de calcio y bióxido de carbono.



- c. Los mismos reactivos anteriores, pero en presencia de luz visible, dan lugar a un aumento en el pH al generarse también carbonato de calcio.

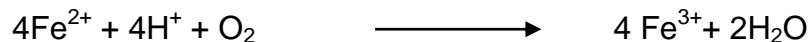


- d. La oxidación del Fe^{2+} a Fe^{3+} , genera una especie insoluble de hidróxido férrico.

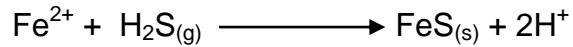


- e. Una reducción en el pH provoca un aumento en la concentración de sustancias húmicas (humina, ácido húmico y ácido fúlvico), las cuáles se pueden definir como material residual, de origen vegetal, resistente a la degradación.

- f. La actividad biológica bacteriana (Ferrobacillus, Gallionella y algunas formas de Sphaerotilus) utilizan compuestos de hierro para extraer energía para sus necesidades metabólicas.



- g. En condiciones anóxicas, algunas bacterias usan el anión sulfato como un receptor de electrones, resultando la formación de ácido sulfhídrico. Existen también especies bacterianas que catalizan la reducción de Fe^{3+} a Fe^{2+} . Cuando los anteriores productos reaccionan, se forma un precipitado negro de sulfuro de hierro:



Composición de los sedimentos

Los sedimentos se componen de forma general de tres tipos de partículas: arenas, limo y arcilla, además de materia orgánica.

- a) Las arenas se definen como partículas menores de 2 mm pero mayores de 0.05 mm. Debido a su tamaño y forma, los espacios entre éstas son grandes permitiendo el paso del aire y del agua, además de contar con una superficie de contacto pequeña. Por lo anterior, los suelos arenosos tienen poca capacidad para retener el agua.
- b) Los limos son definidos como partículas menores a 0.05 mm pero mayores a 0.002 mm. Los limos poseen una mayor superficie de contacto y un espacio menor entre ellos, por lo que tienen una mayor capacidad de retención del agua y cierta plasticidad, cohesión y capacidad de adsorción.
- c) Las arcillas son definidas como partículas de tamaño menor a 0.002 mm, al ser las arcillas partículas tan pequeñas tienen una superficie de contacto mucho más grande que las arenas y los limos, lo que les confiere una gran capacidad para adsorber agua, nutrientes y gases.
- d) Otro componente muy común de los suelos es la materia orgánica, la cual está formada por una gran variedad de sustancias, producto de las actividades metabólicas de plantas y otros organismos vivos, así como de los remanentes de seres vivos sujetos a procesos de descomposición llevados a cabo por los microorganismos presentes en el suelo.

Los contenidos de arcilla en cuerpos de agua son variables, dependerán de la naturaleza del sitio (mar, río, lago o laguna), y aún de las condiciones en que éstos se encuentran. Un ejemplo son los contenidos de arcilla en muestras de lagos naturales, sin recibir descargas industriales aparentes, que pueden ir desde

9.3 % hasta 24.5 % (Cuadro 2.4) (Singh et al., 2007). Por el contrario, los cuerpos que reciben descargas industriales, aunque sea de manera indirecta, tienen una composición promedio de sus sedimentos de: 60 % de arcilla, 20 % de arena y 20 % de limo (Barceló et al., 2002). Lo anterior es relevante debido a que los sedimentos más finos (arcillas) contienen generalmente las concentraciones más altas de contaminantes y se acumulan en aguas sin movimiento aparente como por ejemplo, lagos, presas, etc. (Salomons, 1985).

Cuadro 2.4. Tamaño de partícula de sedimentos en siete lagos naturales de Kumaun región de Uttarakhand, Provincia de la India durante 2003-2004 y 2004-2005.

Lago	% Arenas	% Limos	% Arcillas
Bhimtal	78.3	5.5	16.2
Naukuchiatal	87.2	3.5	9.3
Punatal	74.3	2.7	23.0
Sitatal	76.0	3.3	20.7
Ramtal	73.7	2.7	23.7
Hanumantal	76.5	2.5	21.0
Nainital	73.3	2.2	24.5

Fuente: Singh et al., 2007.

Estudios preliminares

Caracterización de metales en agua

Los metales en suelo y agua, se encuentran en estos sustratos de forma natural. En algunos casos, las cantidades habituales no siempre son inocuas, pueden llegar a ser tóxicas, pero éstas se presentan por el desgaste natural de rocas, escorrentía, emanaciones, entre otras, propias del lugar. Las actividades humanas siempre han representado una alteración del medio ambiente, pero dicha alteración se ha intensificado con el progresivo desarrollo industrial. Es así,

como los metales, material inorgánico y orgánico, además de material biológico, llegan a cuerpos de agua como material ajeno, resultando en contaminación.

La concentración de metales en agua residual doméstica es generalmente baja y proviene de compuestos específicos (Cuadro 2.5), mientras que es alta en algunas descargas industriales (Cuadro 2.6) (Jiménez, 2005). El Cuadro 2.6 permite ubicar la posible contribución en cuanto a metales según el giro industrial. Es importante hacer notar que de acuerdo con los Cuadros 2.2 y 2.6, en San Juan del Río se asientan industrias de los giros industriales indicados en ambos cuadros y por tanto se requiere evaluar cuantitativamente los metales en agua y sedimento del Río San Juan. El Cuadro 2.6 por ejemplo, indica que una posible contaminación por cromo se debería mayormente al giro de la metalurgia con un 39 % de participación o bien que la industria del papel puede estar aportando el 55 % de una posible contaminación por zinc. Por otra parte, si la concentración de metales en agua es baja, es prioridad indagar la posible presencia de los mismos en el sedimento, y más aún, es imprescindible evaluar su biodisponibilidad.

La influencia de los cambios estacionales en las concentraciones de metales en agua, y en general de los contaminantes presentes en cuerpos de agua, están documentados ampliamente. Generalmente las épocas secas ocasionan un aumento en la concentración de especies metálicas y por el contrario, las épocas de lluvia están asociadas con reducción de las concentraciones por dilución de las mismas (Singh et al., 2007; Ettler et al., 2008; González et al., 2009). Un ejemplo de estos cambios estacionales es el caso particular de siete lagos ubicados en la India observándose en la Figura 2.2 una elevación en los niveles de demanda bioquímica de oxígeno hasta 3 mg/l poco antes del período de lluvia. En congruencia con estos datos se observa un descenso en los niveles de oxígeno disuelto en los mismos lugares y época del año. La Figura 2.3 muestra como los niveles de cadmio descienden abruptamente en período de lluvia, otoño 2004, no es así con el caso del cromo, el cuál presenta un comportamiento más mesurado, aunque también presenta un descenso en la estación de lluvias (Singh et al., 2007). Sin embargo el cadmio junto con plomo,

zinc y cobre pueden incrementar sus concentraciones en época de lluvias debido a una disolución de óxidos básicos de hierro y carbonato de calcio (Ettler et al., 2008).

Cuadro 2.5. Fuentes de metales pesados en el agua residual doméstica.

FUENTE	Al	Sb	As	Be	Bi	Cd	Cr	Co	Cu	Fe	Pb	Mn	Hg	Mo	Ni	Se	Ag	Sn	Ti	V	Zn	
Aceites				X					X		X											X
Combustibles				X					X		X											
Cosméticos	X			X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X			X
Desinfectantes													X									
Extinguidores	X						X			X												X
Fotografía	X						X			X	X		X				X	X				
Limpiadores	X						X		X	X										X		X
Llenadores	X																					X
Lubricantes				X			X				X			X								X
Lustradores	X			X					X								X					X
Medicinas	X	X	X		X			X	X	X												X
Papel	X			X			X	X		X	X									X		X
Pesticidas	X		X			X	X		X	X	X	X	X	X								X
Pigmentos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X			X
Pinturas	X		X	X			X	X		X	X	X	X							X		X
Polvos	X									X												X
Preservativos										X	X											X
Productos	X		X	X			X	X		X	X			X						X		X
Automotrices																						
Secadores	X																				X	
Supositorios					X																	X
Tintas	X								X											X		X
Ungüentos	X				X		X	X					X									X
Tratamiento de agua	X								X	X		X										X

Fuente: Jiménez, 2005

Cuadro 2.6. Porcentaje de contribución en metales en los desechos líquidos industriales por grupo de giro industrial.

Actividad	Porcentaje del metal							Participación en el gasto
	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn	
Bienes no perecederos	<1	9	<1	7	2	22	2	<1
Alimentos	3	14	11	25	25	12	17	51
Eléctricos y electrónicos	<1	3	17	3	3	<1	2	6
Fabricación de metálicos	25	4	13	12	--	27	5	<1
Metalurgia	<1	39	1	<1	9	1	2	4
Papel	<1	3	--	9	9	4	55	14
Químicas	<1	10	19	10	4	7	19	16
Ropa	<1	--	<1	<1	--	--	27	<1
Servicios	59	2	13	15	32	5	12	1

Fuente: Lester, 1987.

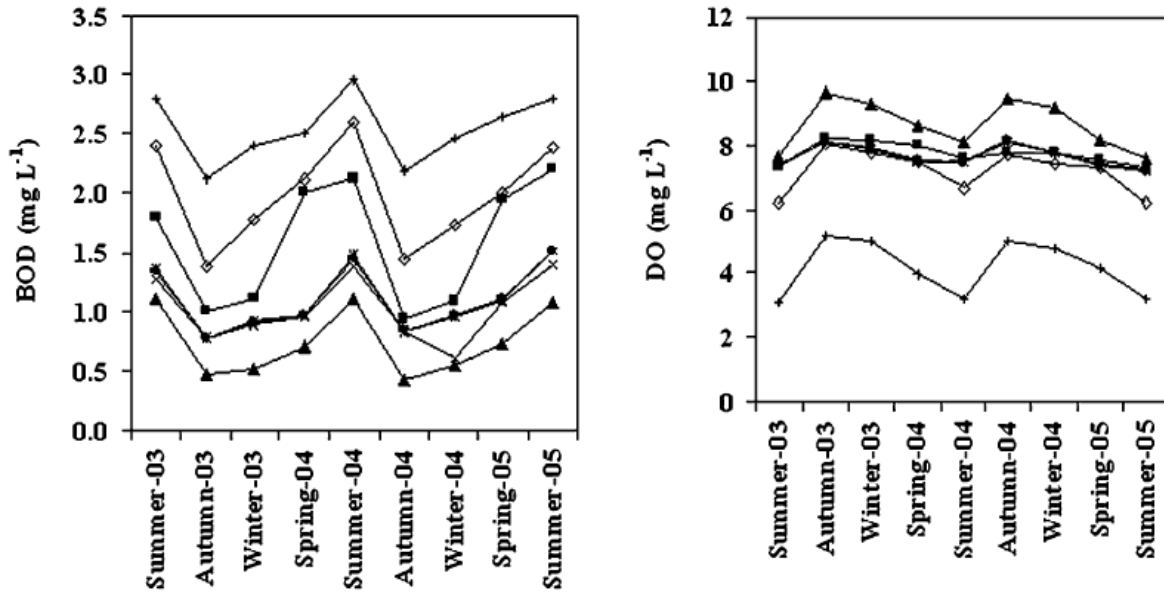


Figura 2.2. Demanda bioquímica de oxígeno (BOD) y oxígeno disuelto (DO) en agua en siete lagos naturales de Kumaun región de Uttarakhand, Provincia de la India (Bhimtal, Naukuchiatal, Punatal, Sitatal, Ramtal, Hanumantal y Nainital) durante el verano, otoño e invierno del año 2003; primavera, verano, otoño e invierno del año 2004; y primavera y verano del año 2005. Fuente: Singh et al., 2007.

◇ Bhimtal ■ Naukuchiatal ▲ Punatal ✖ Sitatal * Ramtal ◆ Hanumantal + Nainital

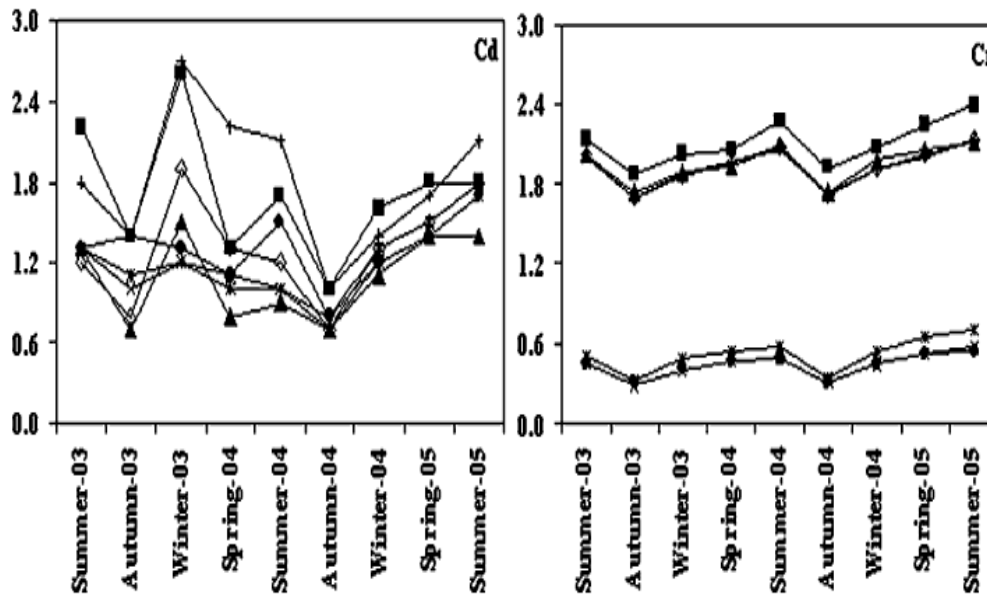


Figura 2.3. Variaciones estacionales a diferentes concentraciones de los metales cadmio (Cd) y cromo (Cr) en agua en siete lagos naturales de Kumaun región de Uttarakhand, Provincia de la India (Bhimtal, Naukuchiatal, Punatal, Sitatal, Ramtal, Hanumantal y Nainital) durante el verano, otoño e invierno del año 2003; primavera, verano, otoño e invierno del año 2004; y primavera-verano del año 2005. Fuente: Singh et al., 2007.

La determinación de metales en agua requiere una comprensión de las interacciones químicas entre metales, agua y demás sustancias en medio acuoso que dan lugar a una particular biodisponibilidad de los metales. Algunos metales en agua, se encuentran en sus formas iónicas (Sr^{2+} , Ba^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Co^{2+} , Li^+ , Rb^+ y Cs^+), mientras que otros metales predominan como complejos de carbonatos: ZnCO_3 , NiCO_3 , $[\text{NiHCO}_3]^+$, PbCO_3 , $[\text{PbHCO}_3]^+$ y $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$ (Ettler, 2008). Estas aguas están sobresaturadas con oxihidróxidos de fierro III, carbonato de calcio y otras fases carbonatadas. Se ha demostrado que, en algunas aguas de lixiviados contaminados, una importante parte de algunos metales se asocia con coloides de $<0,01 \mu\text{m}$ de diámetro (Jensen et al. 1999). Los precipitados inorgánicos (nanocristales de calcita u oxihidróxidos de hierro) u orgánicos probablemente podría formar estos coloides debido a: (a) la sobresaturación de las soluciones fuertes con respecto a estas fases y (b) altas concentraciones de carbono orgánico disuelto, respectivamente (Ettler et al., 2008).

Por ello, al cambio de pH se han asociado e identificado tres mecanismos de atenuación de metales en los lixiviados contaminantes sobre aguas superficiales:

- a. Precipitación espontánea de metales como carbonatos de elementos traza: Fe, Mn, Mg, Sr, Ba, Pb, Zn, Ni;
- b. Precipitación de oxihidróxidos de Fe(III), principalmente goetita, $\text{FeO}(\text{OH})$, Pb, Zn, Cu, Ni; y
- c. Adhesión a materia orgánica como sedimento (Cu) (Ettler et al., 2008).

Las concentraciones de metales en agua pueden variar de lugar a lugar (Singh et al., 2007) tal como lo muestran los rangos establecidos para varios metales en agua indicados en el Cuadro 2.7, e incluso dentro de un mismo sitio (Barceló et al., 2002). Los metales se distribuyen notoriamente en mayor cantidad en sedimentos que en agua, aunque la relación de distribución puede variar (Singh et al., 2007). Los metales pueden encontrarse en agua y sedimento hasta en una relación de 1/1000: mg/l y mg/kg, respectivamente (Adomako et al., 2007).

Cuadro 2.7. Concentraciones de metales en agua y sedimentos en siete lagos naturales de Kumaun región de Uttarakhand, Provincia de la India durante 2003-2004 y 2004-2005.

Metal	Agua Rango ($\mu\text{g/l}$)	Sedimentos Rango ($\mu\text{g/g}$)
Cromo	0.29 - 2.39	14.3 - 21.5
Manganeso	10.3 - 38.3	90.1 - 197.5
Fierro	431- 1407	5,265 - 6,428
Níquel	1.0 - 6.6	17.7 - 45.9
Cobre	5.3 - 12.1	13.4 - 32.0
Zinc	12.6 - 166.3	40.0 - 149.2
Cadmio	0.7 - 2.7	11.1 - 14.6
Plomo	3.9 - 27.1	88.9 - 167.4

Fuente: Singh, 2007.

Caracterización de metales en sedimentos

Es importante puntualizar que ya se ha establecido que el daño a los ecosistemas acuáticos debido a la contaminación por metales pesados está en función de la fracción del metal biodisponible y no en función de la cantidad total del metal presente en aguas o sedimentos (Chester y Voutsinou, 1981). Cuando un metal se encuentra débilmente unido a una especie química, su biodisponibilidad es alta porque el metal puede ser solubilizado con ligeros cambios en las condiciones ambientales del suelo, como una reducción del pH o del potencial redox (Alloway, 1995).

La Comunidad Europea a través del Programa de Pruebas y Medidas Estándar, ha implementado un método de extracción secuencial de metales presentes en sedimento conocido como BCR por sus siglas en inglés (Community

Bureau of Reference), que a partir del año 2002 se denomina Standard Measurement and Testing Program (SM & TP), el cual divide el contenido total del metal en estudio, presente en una muestra, en cuatro fracciones, las cuales se liberan mediante una secuencia de extracción en orden de movilidad y peligrosidad decreciente. Las cuatro fracciones ordenadas de mayor a menor biodisponibilidad, denominadas fracción soluble en ácido, fracción reducible, fracción oxidable y fracción residual, se liberan por extracción secuencial en condiciones operativas bien definidas utilizando sucesivamente ácido acético, clorhidrato de hidroxilamina y peróxido de hidrógeno (Tokalioglu et al., 2000). Las fracciones consideradas en el esquema BCR, son las siguientes:

- a) Fracción intercambiable o soluble en medio ácido. Metales en solución, unidos a carbonatos e intercambiables. Se extraen los metales intercambiables y solubles en medio ácido, incluyendo los metales adsorbidos. Estos metales son liberados a través de un intercambio iónico, mediante un extractante ácido como el ácido acético. Es la primera fracción extraída por el método BCR y por tanto la fracción con mayor biodisponibilidad.
- b) Fracción reducible. Metales ligados a oxihidróxidos de hierro y manganeso. Se liberan los metales unidos a óxidos de fierro y manganeso, inestable bajo condiciones reductoras (los óxidos se disuelven y se liberan las trazas de metal adsorbidas).
- c) Fracción oxidable. Metales unidos a materia orgánica y sulfuros. Degradación de la materia orgánica bajo condiciones oxidantes, liberando los metales solubles enlazados a ésta o a sulfuros.
- d) Fracción residual. Metales unidos a minerales primarios como los silicatos. En algunas ocasiones, se omite éste paso dado que es la fracción más estable.

En estudios de biosólidos provenientes de tratamientos de aguas municipales en nuestro país, es importante hacer notar que pese a la naturaleza de las muestras, los resultados del análisis indican que dichos biosólidos no

poseen cantidades de metales que sobrepasen las normas nacionales e internacionales (Cuadro 2.8), (González, 2009). Campos et al., 2009, proponen para mejorar la fertilidad de suelos, la reutilización de lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento biológico debido a que encontraron resultados en cuanto a los nutrientes potasio (K), sodio (Na), calcio (Ca), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y fósforo (P) y de elementos potencialmente tóxicos como el plomo (Pb) y cadmio (Cd), que no rebasan la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, en la cual se marcan los límites máximos permisibles de metales pesados y agentes patógenos y parásitos en lodos y biosólidos. Sin embargo aunque estos lodos constituyen una fuente de macro y micronutrientes en una zona eminentemente agrícola, antes de establecer un sistema de disposición en suelos es recomendable realizar experimentos de campo y complementar con información sobre el entorno natural, analizando la necesidad de someter a los lodos a un composteo aeróbico previo o de estabilización. Las propuestas para la aplicación de los lodos deben hacerse para cada planta de tratamiento en particular, su uso debe llevarse a cabo bajo estrictas condiciones de control y manejo (Campos et al., 2009; Ortiz et al., 1995; Mahamud et al., 1996).

Cuadro 2.8. Concentración total promedio de metales en muestras de biosólidos urbanos de la ciudad de Puebla y su comparación con normas nacionales e internacionales (mg kg⁻¹ materia seca).

Metal	Concentración Determinada	NOM-004-SEMARNAT-2002		USEPA 503		Comunidad Europea	
		Excelente	Bueno	LG	CE	pH<7	pH>7
Cd	4.4 ± 0.22	39	85	85	39	20	40
Cr	16.7 ± 1.95	1200	-	-	-	1000	1500
Cu	173.4 ± 26.71	1500	4300	1500	1500	1000	1750
Ni	49.7 ± 1.15	420	420	420	420	300	400
Pb	170.9 ± 13.20	300	840	840	300	750	1200
Zn	234.9 ± 8.89	2800	7500	7500	2800	2500	4000

LG, límite general; CE, calidad excelente. Se muestreó un día por semana, durante 5 semanas consecutivas entre los meses de noviembre y diciembre del año 2006. Fuente: González et al., 2009.

Además, las concentraciones de metales pesados presentes en estos mismos biosólidos urbanos(en las fracciones obtenidas por el procedimiento de extracción secuencial BCR), muestran que los valores más altos corresponden a las formas químicas más estables: la fracción oxidable y la fracción residual, indicando con ello, una baja biodisponibilidad (Figura 2.4).

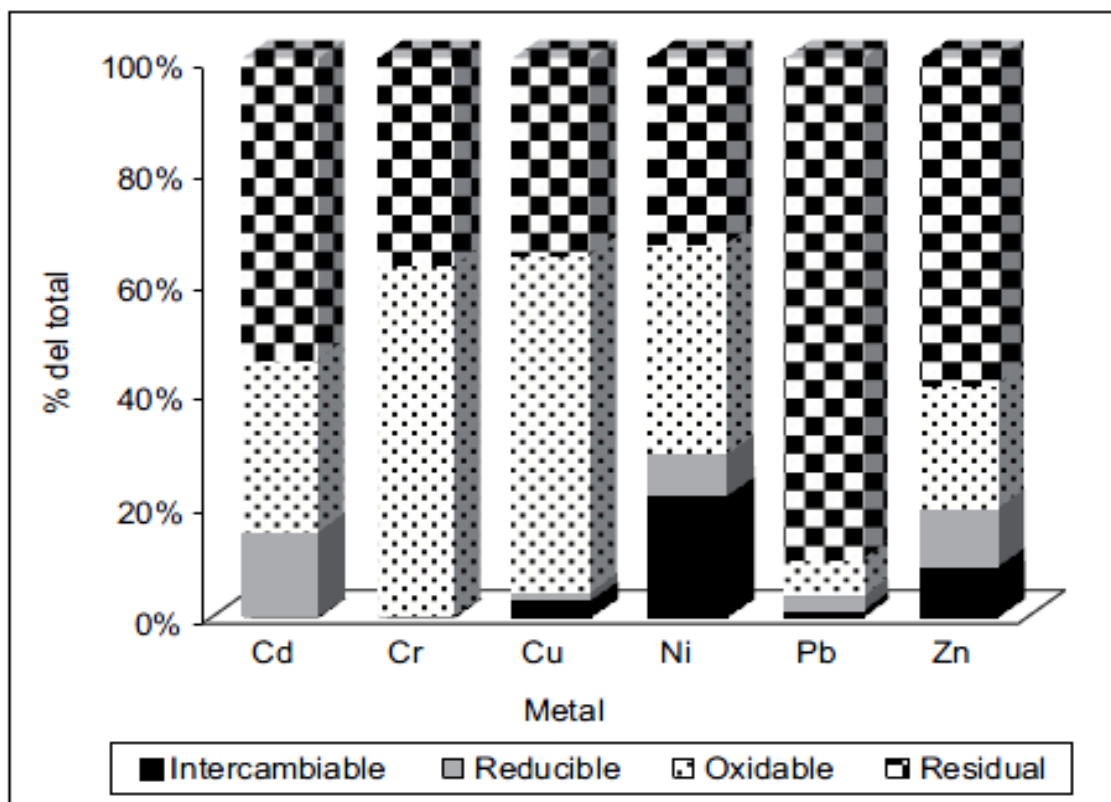


Figura 2.4. Distribución porcentual de los metales pesados en cuatro fracciones extraídas de biosólidos urbanos de la ciudad de Puebla, México. Fuente: González, 2009.

La metodología BCR es una adaptación de la establecida por Tessier et al. (1979), existen otras variantes como la propuesta por Ahnstrom et al. (1999), la cual consiste en extraer cinco fracciones denominadas F1 (fracción soluble en agua e intercambiable), F2 (fracción enlazada a carbonatos), F3 (fracción oxidable), F4 (fracción reducible) y F5 (fracción residual). Aun así, con ambas metodologías, las fracciones más abundantes encontradas en sedimento, son las fracciones más estables según Singh et al. (2007) y González et al. (1999).

Las Figuras 2.5 y 2.6, específicamente la parte que corresponde a cromo y hierro, muestran como la fracción F1, de mayor biodisponibilidad (leyenda de líneas inclinadas hacia la izquierda), se encuentra en primer término de abajo hacia arriba para cada uno de los sitios analizados observándose un área muy pequeña con respecto a la fracción residual (leyenda de líneas horizontales), la de menor biodisponibilidad. La baja biodisponibilidad de manganeso y cobre también se presenta para los mismos sitios, aunque la distribución de las demás fracciones es más equitativa.

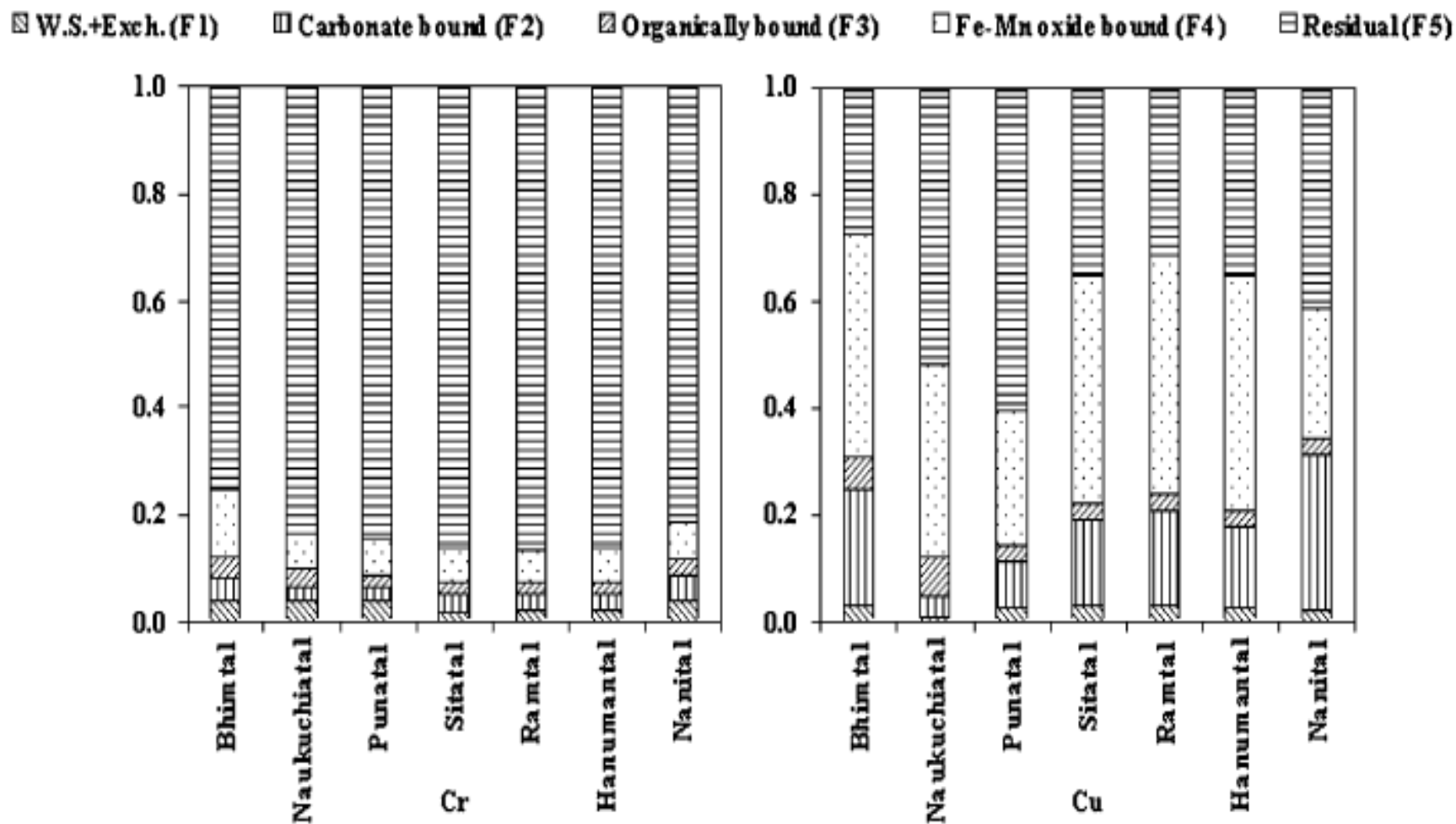


Figura 2.5. Fracciones químicas de cromo y cobre en sedimento de siete lagos (Bhimtal, Naukuchiatal, Punatal, Sitatal, Ramtal, Hanumantal y Nainital) naturales de Kumaun región de Uttarakhand, Provincia de la India durante el verano, otoño e invierno del año 2003; primavera, verano, otoño e invierno del año 2004; y primavera y verano del año 2005. Fuente: Singh et al., 2007.

W.S.+Exch.(F1)
 Carbonate bound (F2)
 Organically bound (F3)
 Fe-Mn oxide bound (F4)
 Residual(F5)

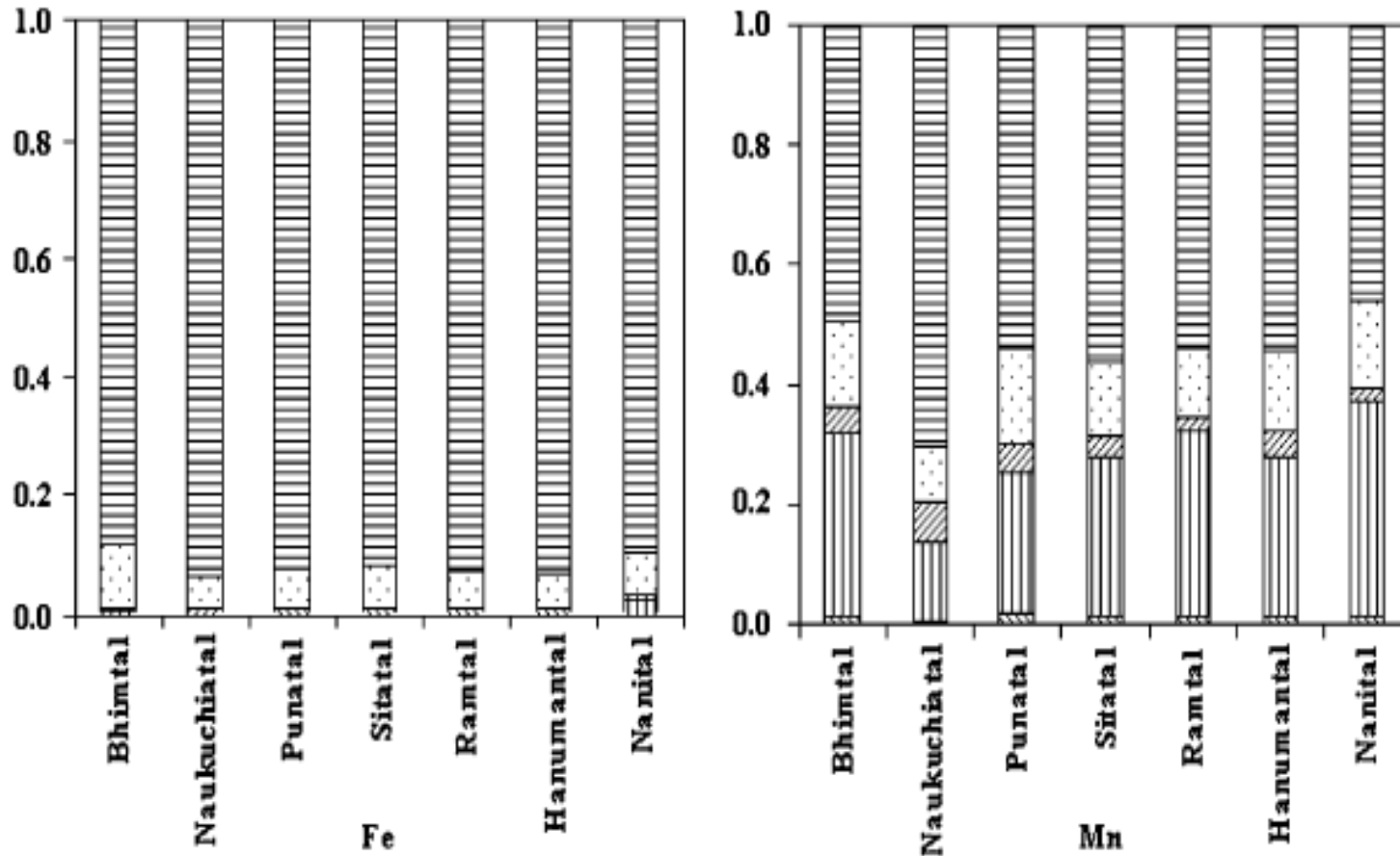


Figura 2.6. Fracciones químicas de hierro y manganeso en sedimento de siete lagos (Bhimtal, Naukuchiatal, Punatal, Sitatal, Ramtal, Hanumantal y Nainital) naturales de Kumaun región de Uttarakhand, Provincia de la India durante el verano, otoño e invierno del año 2003; primavera, verano, otoño e invierno del año 2004; y primavera y verano del año 2005. Fuente: Singh et al., 2007.

Caracterización de compuestos orgánicos en agua

Los cuerpos de agua, cualquiera que sea su tamaño, suelen ser el destino final de una gran cantidad de desechos orgánicos volátiles y no volátiles, de origen doméstico, industrial o agrícola. Actualmente se conocen alrededor de 80,000 sustancias orgánicas, y ante la imposibilidad de controlarlas todas, se efectúa una selección para determinar cuáles son las de mayor interés. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) ha seleccionado 126 sustancias que son susceptibles de considerarse tóxicas (Jiménez et al., 1994), la Comunidad Europea ha seleccionado 129, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comisión del Rin mencionan alrededor de 80. El instituto de Ingeniería de la UNAM, a partir de un estudio bibliográfico, propuso un total de 52 sustancias de las cuales el 77 % corresponde a plaguicidas y el 23 % (cuadro 2.9) son de origen industrial (Arévila et al., 1997). Esta selección tiene como fundamento su frecuencia a escala nacional, la persistencia en zonas agrícolas, su toxicidad, la bioacumulación, la bioconcentración, y la movilidad de los contaminantes en cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

Los pesticidas y productos químicos agrícolas no son constituyentes comunes de las fuentes puntuales de contaminación, sino que suelen incorporarse como consecuencia de escurrimientos de parques, campos agrícolas y tierras abandonadas (Jiménez, 2005).

Cuadro 2.9. Sustancias tóxicas prioritarias en agua propuestas en México.

1	1,1,1-tricloroetano	27	Forato
2	2,4-D	28	Fosetil-al
3	Aldicarp	29	Imazapir
4	Benceno	30	Imazetapir
5	Captofol	31	Isoforona
6	Carbaril	32	Lindano
7	Cianuros	33	Maneb
8	Clordano	34	Metomilo
9	Cloroformo	35	MSMA
10	Clorotalonil	36	Naftaleno
11	Clorotolurón	37	Oxadiazón
12	Cloruro de metileno	38	Paraquat
13	Comp. De Cobre	39	Pentaclorofenol
14	Dalapón	40	Prometrina
15	Dazomet	41	Quinometilonato
16	Diclorvos	42	Quitozeno
17	Dicofol	43	Setoxidin
18	Dietilftalato	44	Simazina
19	Diflubenzurón	45	Terbutrina
20	Dimetoato	46	Tetracloruro de carbono
21	Endosulfán	47	Thiabendazol
22	EPN	48	Tolueno
23	Fenitrotión	49	Tricloroetileno
24	Fenol	50	Triflurarina
25	Fluometurón	51	Triflorina
26	Folpet	52	Vinclozólín.

Fuente: Jiménez, 2005.

Disruptores endocrinos

La descripción de alteraciones en la función reproductiva de una cantidad creciente de especies animales, junto a la demostración de la exposición humana y animal a sustancias químicas con actividad hormonal, principalmente estrogénica, dio lugar desde mediados de la década de los años 80's del siglo XX a lo que se conoce hoy día con el nombre de "disrupción endocrina". Este fenómeno suele ir acompañado de disfunciones del aparato reproductor, neoplasias, malformaciones, algunas formas de neurotoxicidad o una disminución de la respuesta inmune.

A nivel de la salud pública, en las últimas cuatro décadas se han observado fenómenos relacionados con problemas en el sistema endocrino-reproductivo, tales como disminución del recuento y la funcionalidad espermática y aumento en la aparición de cáncer de mamas, próstata y testículos. Sin embargo, mientras que se cuenta con abundante información de exposición de individuos o poblaciones a compuestos con propiedades disruptoras, por ejemplo la mayoría de los ciudadanos europeos tienen niveles detectables de algún compuesto disruptor endocrino en el organismo, las evidencias de una asociación entre exposición y enfermedad todavía son controvertidas (Argemi et al., 2005).

En 1999 la Comisión de Comunidades Europeas (CEC, por sus siglas en inglés) publicó la Estrategia Comunitaria en materia de alteradores endocrinos, que estableció las líneas de actuación de la Unión Europea a corto, medio y largo plazo para hacer frente a los riesgos para la salud y el medio ambiente ocasionados por los disruptores endocrinos. A lo largo de los años 2001, 2004, 2007 y 2012 la Comisión ha ido publicando informes sucesivos sobre la aplicación de la estrategia.

Según CEC (2012) en la actualidad se conocen 564 compuestos disruptores endocrinos, los cuales han sido introducidos en los circuitos ambientales y están presentes en la vida cotidiana. De estos, sin embargo, sólo 66 compuestos presentan evidencia clara de actividad de alteración endocrina y los seres humanos se consideran propensos a estar expuestos a sólo 60 de ellos, tal como los que se muestran en el Cuadro 2.10.

Cuadro 2.10. Compuestos industriales listados en el censo Europeo de Disruptores Endocrinos, 2001-2012.

	Producción	Persistencia	Categoría	Grupo
Estireno	•		1	I
Octaclorostireno		•	3	III
Clorofenoles	•		2	II
Hexaclorobenceno	•		1	I
Alquilfenoles	•		1	II
Bis-2-etilhexiladipato	•		3	III
Ftalatos	•		1,2,3	I,II
Bisfenol A	•		1	I
Epiclorohidrin	•		3	III
Difenil	•		3	III
o-fenilfenol	•		2	II
PCB		•	1,2,3	I, II
PBB		•	1,2	I, II
Naftol	•	•	3	III
Dioxinas		•	1	I
Furanos		•	1,2	I, II
TBT	•		1	I, II
3,4-Dicloroanilina.	•		1	I
4-Nitrotolueno	•		1	III
Benzofenona	•		3	III
Disulfuro de carbono	•		2	II
Dimetilformamida	•		3	III
Etilenglicol	•		3	III
Percloroetileno	•		2	II
Fenol	•		3	III
Resorcinol	•		1	I
Acetato de vinilo	•		3	III
Metales	•		3	III
<ul style="list-style-type: none"> • Si Categoría 1: Evidencia de disrupción endocrina. Categoría 2: Sospecha de disrupción endocrina. Categoría 3: Sin datos.		Grupo I: Alto nivel de exposición a animales y humanos. Grupo II: Nivel medio de exposición. Grupo III: Bajo nivel de exposición o ausencia de datos.		

Fuente: Argemi et al., 2005.

Características particulares de los compuestos disruptores endocrinos (CDE)

- Pueden actuar a dosis muy bajas: los niveles de exposición a los que los CDE pueden afectar la salud humana son extremadamente bajos (en el rango de partes por billón, ppb). La población está expuesta en la actualidad a estos niveles debido a la contaminación del aire de los hogares, los alimentos o la presencia de CDE en artículos de consumo.
- Momento de exposición: el momento puede tener aún más importancia que el nivel de exposición. Los fetos y los bebés son especialmente sensibles a la exposición a CDE.
- La relación dosis-efecto no es lineal, pudiendo, por ejemplo, generar efectos dañinos para la salud a dosis muy bajas o altas y no generar efectos a dosis de exposición intermedias.
- Efecto cóctel: los CDE pueden actuar conjuntamente, de forma aditiva o sinérgica y la exposición a bajas dosis de una mezcla de CDE puede provocar efectos negativos a niveles de exposición considerados seguros para las sustancias individuales componentes de la mezcla. Por ello es necesario abordar los CDE como un grupo, no sustancia a sustancia.
- Efecto multigeneracional: los CDE pueden afectar a varias generaciones al interferir en el mecanismo mediante el que se expresan los genes.
- Latencia: los efectos negativos de los CDE pueden manifestarse muchos años después de que ocurre la exposición; además los efectos de la exposición prenatal se manifiestan principalmente en la edad adulta.
- Ubicuidad de la exposición: se han detectado CDE en sangre de cordón umbilical, pelo y orina de bebés, niños y sangre y grasa de adultos. Los análisis de alimentos, artículos de consumo, aire, agua, polvo doméstico, etc., muestran la ubicuidad de la exposición a CDE.
- No es posible establecer umbrales de exposición seguros a CDE.

Distribución y biodisponibilidad de compuestos orgánicos en agua y sedimento

Es preciso destacar que los compuestos orgánicos por su naturaleza se distribuirán de forma mínima y superficial sobre fases acuosas, en el aire en forma gaseosa (dependiendo de su naturaleza volátil), y principalmente en sedimentos. La adsorción isotérmica de sustancias químicas en sedimentos depende de las propiedades fisicoquímicas del contaminante y del adsorbente. Un ejemplo de esto es la adsorción de bisfenol A (soluble en soluciones alcalinas) en sedimento del río Amarillo en China, donde el pH del sedimento es alcalino (pH 7.5-8.5) debido a su alto contenido de carbonato (6 % a 17.5 %), (Staples et al., 1998). El aumento de la concentración de Ca^{2+} en sedimento incrementa la adsorción de bisfenol A en el mismo, mientras que el incremento de K^+ disminuye la adsorción de bisfenol A (Sun et al., 2005). Una posible explicación de este fenómeno es que el Ca^{2+} disminuye la solubilidad de los carbonatos y por lo tanto el pH del sistema agua-sedimento disminuye ocasionando que el bisfenol A disminuya su solubilidad y aumente su adsorción.

Existe correlación positiva entre carbono orgánico total en sólidos suspendidos y adsorción de bisfenol A, pero no sucede así con el sedimento. No siempre un aumento en la concentración del carbono orgánico total del sedimento corresponde con una mayor adsorción de bisfenol A (Sun et al., 2005). Además del bisfenol A, la concentración de contaminantes en sedimento, como nonilfenol, octilfenol, y bifenilospoliclorados no está relacionada con el carbono orgánico total (Khim et al., 1999). En el suelo se tiene una correlación positiva entre carbono orgánico total y adsorción de plaguicidas sólo si el suelo tiene más de un 5 % de materia orgánica, si el nivel de la misma en el suelo es menor al 5 %, el carbono orgánico total tiene poca influencia en los procesos de adsorción (Spark and Swift, 2002).

La adsorción de sustancias químicas puede estar relacionada con la interacción carbono orgánico total y minerales; las interacciones mineral-mineral y

mineral-materia orgánica pueden disminuir el número de sitios de adsorción del sedimento o suelo (Bekbolet et al., 1999; Spark and Swift, 2002). En la atmósfera el bi(etil-hexil)ftalato se fotodegrada con una vida media de un día, mientras que en el agua tarda mucho más. En medios ácidos es muy resistente. Se acumula en suelos, sedimentos y en la biota existente en el agua, debido a su baja solubilidad en agua y elevado coeficiente de partición octanol-agua. El di(etil-hexil)ftalato se adsorbe a las partículas reduciéndose su velocidad de degradación. En las aguas residuales urbanas están entre los contaminantes orgánicos más abundantes. Los efluentes de las plantas de tratamiento contienen, en líneas generales, muy baja concentración de bi(etil-hexil)ftalato comparada con los lodos crudos debido a su capacidad de adsorción a las partículas sólidas del lodo. Debido a los procesos anteriores las concentraciones de ftalatos en el ambiente suelen ser bajas (ng/m³ en aire y ppb en agua) (Fernández et al., 2004).

La caracterización de los sedimentos permite predecir el tipo de compuestos orgánicos que pueden encontrarse en el fondo de un cuerpo de agua contaminado.

La profundidad del cuerpo de agua y sedimento a la cual se toma las muestras, influye en los resultados de análisis. Sustancias químicas con actividad disruptiva endocrina ha sido detectada en las costas de Japón; 51 de 57 extractos tienen alguna actividad estrogénica y las concentraciones de dichas sustancias en muestras de agua de río van desde 0.7 a 4.01 ng/l, en muestras de agua de mar van desde 0.34 a 2.52 ng/l: y en la superficie de sedimentos van desde 2.07 a 12.1 ng/g (Hashimoto et al., 2004).

Otro tipo de contaminantes cotidianos son los pesticidas organoclorados, los cuales forman un grupo muy diverso de sustancias con características físico-químicas y estructuras muy diversas, teniendo aplicaciones tanto en la industria como en la agricultura. Al igual que los policíclicos aromáticos, son compuestos persistentes en el medio ambiente y muy hidrofóbicos; ambos tienen tendencia a bioacumularse y biomagnificarse dentro de la cadena trófica.

Existen compuestos organoclorados de interés industrial como los bifenilospoliclorados (PCBs), el hexaclorobenceno (HCB) y aquellos utilizados como plaguicidas. Los pesticidas clorados pueden clasificarse en tres grupos según su estructura química: compuestos derivados de la cloración del etano, como el DDT; los ciclodienos como el clordano, aldrin, dieldrin, y los hexaclorociclohexanos como el lindano.

Los pesticidas organoclorados se pueden transportar en el agua de ríos a través de diferentes vías de entrada, como la escorrentía de fuentes no puntuales, descargas industriales, la deposición atmosférica y la desorción de sedimentos. Los ríos son una de las fuentes más importantes para el suministro de agua potable y la agricultura de riego. Por lo tanto, los residuos de pesticidas organoclorados podrían pasar a la gente a través del consumo de agua potable, productos del campo y de peces (Tanabe et al, 1994; Kawano et al., 1988; Oehme y Mano, 1988; Iwata et al, 1993). China es el productor y consumidor más grande de pesticidas en el mundo (Zhou et al., 2007). El hexaclorociclohexano (HCH) y el 1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)-etano (DDT) fueron ampliamente usados en China desde 1952 a 1983. Durante varios siglos el agua del río Qiantang ha sido usada para el riego de campos de arroz y de naranjos; a estos campos durante los años sesenta del siglo pasado se les aplicaron grandes cantidades de pesticidas organoclorados. Pese a la prohibición del uso de HCH y DDT en China en 1983, se siguieron usando hasta el año 2000 y se siguen produciendo debido a la demanda de exportación de dicofol (Zhang et al., 2002; Qiu et al., 2004; Tao et al., 2005).

Las concentraciones totales de los pesticidas organoclorados en el agua del río Qiantang pueden encontrarse entre 7.68–615.2 ng/l; la mayor concentración de pesticidas organoclorados en agua superficial puede atribuirse a la agricultura extensiva a lo largo de las orilla del río y a la deposición atmosférica. Y de ellos, el 50 % de los pesticidas organoclorados presentes en agua corresponden a los hexaclorociclohexanos (HCH alfa y beta), seguidos de Aldrin, Heptachlor y epóxido de Heptachlor. Las concentraciones de pesticidas

organoclorados son mayores en superficies de agua en primavera y verano; probablemente la temporada de lluvias desencadena la desorción de pesticidas a partir de sedimento o bien el arrastre de suelo erosionado y contaminado hacia el río (Zhou et al. 2007).

Por otra parte los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) se encuentran en aire, suelo y agua, aunque por su naturaleza lipídica por lo general no se disuelven en esta última y es fácil encontrarlos adheridos en partículas sólidas que tienden a depositarse en el fondo de ríos o lagos. La concentración de HAP's presente en las plantas y en los animales que viven en el suelo o en el agua puede ser más alto que las concentraciones de HAP's presentes en el suelo o en el agua. Los HAP's se degradan en períodos que van de días a semanas por efecto de radiación solar. La degradación de HAP's en suelo y agua está mediada por microorganismos (ATSDR, 2010a).

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) seleccionó 17 de estos compuestos debido a que existe una mayor información con respecto a los demás, se establece que son más peligrosos y que exhiben efectos representativos de los HAP's, además, existe una mayor posibilidad de estar expuesto a ellos y de todos los que han sido analizados, estos 17 compuestos fueron encontrados en las más altas concentraciones en sitios de residuos peligrosos en la Lista de Prioridades Nacionales de los Estados Unidos de Norteamérica (ATSDR,2010a). Los 17 HAP's prioritarios son: acenaftileno, acenafteno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k) fluoranteno, benzo(g,h,i) perileno, criseno, dibenzo(a,h) antraceno, fluoranteno, fluoreno,indeno(1,2,3-cd) pireno, naftaleno, fenantreno y pireno. Estos compuestos tienen de 2-6 anillos fusionados y pesos moleculares de 128-278 g/mol. Los valores de solubilidad van desde altamente insoluble a ligeramente soluble y las presiones de vapor de altamente volátiles a relativamente no volátiles (ATSDR, 2010a).

Estos compuestos se forman durante la combustión incompleta de carbón, aceite, gas, madera, basura u otras sustancias orgánicas como el tabaco y la carne asada. Pueden encontrarse en el asfalto utilizado en la construcción de caminos, en sustancias como aceite crudo, carbón, alquitrán de carbón, entre otros (ATSDR, 2010a).

En zonas costeras donde se recibe aguas residuales de áreas industriales, los hidrocarburos aromáticos policíclicos encontrados como contaminantes, se caracterizan por tener de 3 a 4 anillos e incluyen pireno, fluorantreno, fenantreno y fluoreno. La concentración de policíclicos aromáticos en sedimento de las costas Shantou, China, varía entre 884.1 y 13,183 ng/g, con una concentración promedio de 3,413 ng/g (Maskaoui y Hu, 2007).

Las constantes inundaciones en todo el mundo, particularmente en aquellos lugares con un largo historial de contaminación de ríos, se están convirtiendo en un factor más que influye en la biodisponibilidad de compuestos orgánicos resistentes. Los sedimentos con altos niveles de bifenilospoliclorados, después de una inundación, no parecen aumentar su concentración en suelo de manera significativa, pero no sucede así con niveles altos de hidrocarburos policíclicos aromáticos e isómeros de los DDT's presentes también en sedimento, los cuales después de períodos de inundaciones, presentan niveles mucho más altos en el suelo que los correspondientes a bifenilos clorados (Pulkrabóva et al., 2008).

Estudios preliminares en San Juan del Río, Qro.

Existe como antecedente de evaluación del agua del río San Juan, un trabajo titulado "Evaluación del riesgo sanitario ecológico en la cuenca del río San Juan", publicado en Mayo del 2008, por la Dra. Silvia Vega Gleason, CONAGUA. En dicho estudio, se informa que el río San Juan se dividió en 8 zonas que incluye Aculco, Nadó, Arroyo Zarco, San Juan del Río, San Pedro Ahuacatlán-San Nicolás, Tequisquiapan, Ezequiel Montes y Tecozautla. Se muestreó en 19

estaciones de monitoreo, además de 22 descargas en zonas de confluencia industrial y municipal.

El Cuadro 2.11 muestra, al parecer, un resumen de las concentraciones de contaminantes en diferentes zonas del río San Juan, aunque no se especifica de qué zonas del río se trata. La nomenclatura de las zonas de monitoreo no está clara, además de que no se especifica el significado de las unidades de toxicidad. En cuanto a metales, no se observa que en ningún caso se sobrepasen los valores límites permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996. En cambio, el Cuadro 2.12 muestra que en descargas al río San Juan se sobrepasan los mismos límites para el caso de cromo, níquel y zinc. Ya en mediciones en el río, el cromo no cumple con los límites para abastecimiento y vida acuática.

Cuadro 2.11. Concentración de contaminantes en las diferentes zonas del río San Juan.

Monitores por zona	Unidades de toxicidad	Arsénico mg/l	Cromo mg/l	Plomo mg/l	Zinc mg/l	Fenol mg/l	Dimetilfenol mg/l	Bis(2etilhexil)ftalato mg/l	DietilFtalato	Coliformes fecales NMP/100 ml
RM 1	0.99									9
RM 2	5.13					0.009	0.013	0.021	0.006	2.8 E+6
RM 3	6.13			0.01	0.07	0.074	0.062	0.045	0.004	2.4 E+6
RM 4	11.87		0.05			0.005		0.031		1.5 E +6
II										
RM 5	0.09		0.005	0.001						21,000
RM 6	0.75									2,400
III										
RQ 7	0.45			0.001						9
IV										
RQ 8	0.94									
RQ 9	0.29									
RQ 10	9.04									43
RQ 11	8.28		0.1	0.01	0.041	0.022		0.029	0.019	11 E +6
V										
RQ 12	42.65		0.09	0.01	0.1	0.069		0.023	0.007	240 E+9
RQ 13	5.04			0.01	0.08	0.081		0.018	0.006	240 E+9
RQ 14	5.75				0.06	0.038		0.010		240 E+9
VI										
RQ 15	1.11					0.025		4.608	0.008	43,000
RQ 16	4.4			0.01			0.010	0.040		750 E+9
VII										
RH 17	0.02									
RH 18	0	0.02	0.06				0.036	0.073	0.006	110,000
VIII										1.1 E+6
RH 19	0.82		0.06			0.119	0.024	0.017		430

Fuente: CONAGUA, 2008.

Cuadro 2.12. Concentración de metales y límites permisibles en el río San Juan.

Metal	Concentración máxima medida en descargas (mg/l)	Límite en descargas P.M. (mg/l)	Concentración máxima en muestras del río (mg/l).	Límites para abastecimiento y vida acuática (mg/l).
Aluminio	0.78	--	--	0.02 - 0.5
Arsénico	0.04	0.1 - 0.2	0.02	0.05 - 0.2
Cadmio	0.01	0.05 - 0.2	--	0.004 - 0.01
Cromo	2.6	0.50 - 1.0	0.1	0.05
Mercurio	--	0.005 - 0.01	--	0.0005 - 0.001
Níquel	3.1	2	--	0.01 - 0.06
Plomo	0.092	0.2 - 5	0.01	0.03 - 0.05
Zinc	20.6	10	0.1	0.02 - 5
Cianuro	0.98	1 - 2	--	0.002 - 0.005

Fuente: CONAGUA, 2008. P.M= promedio mensual.

Los Cuadros 2.11 y 2.13 provenientes del estudio de CONAGUA (2008) muestra como el bis(2-etilhexil) ftalato sobrepasa con mucho los límites de abastecimiento y vida acuática. Es notorio como este analito en agua del río San Juan está notablemente concentrado con respecto a las descargas, lo cual sugiere un estancamiento prolongado del agua del río San Juan. Actualmente, la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) (EPA, 2012) establece un máximo permisible de 6 ppb en agua para beber. La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA por sus siglas en inglés) limita la concentración de bis(2-etilhexil)ftalato en el aire del trabajo a 5 miligramos por metro cúbico (mg/m³) de aire durante una jornada de 8 horas diarias. En México, la norma NOM-127-SSA1-1994, llamada Agua para uso y consumo humano, límites máximos permisibles de la calidad del agua, control y vigilancia de los sistemas de almacenamiento, establece un límite máximo permisible de 8 microgramos por litro de bis(2-etilhexil)ftalato en agua para abastecimiento.

Cuadro 2.13. Concentración de contaminantes orgánicos en el río San Juan y límites permisibles.

Sustancias	Concentración máxima en las descargas (mg/l)	Límite permisible en descargas (mg/l)	Concentración máxima en aguas del río (mg/l)	Límites en abastecimiento y vida acuática. (mg/l)
Bis(2-etilhexil)ftalato	0.59	ND	4.608	0.0094-0.032
1,2diclorobenceno	0.178	ND	0.006	2.7
Diethylftalato	0.040	ND	0.019	17
2,4.dimetilfenol	0.15	ND	0.062	0.38
Fenol	0.835	ND	0.119	21
Hexacloroetano	0.29	ND	–	0.0014
2,4,5-triclorofenol	0.22	ND	0.027	1.8

Fuente: CONAGUA, 2008. N.D= no determinado en norma.

Es necesaria una evaluación fisicoquímica del río San Juan que permita avanzar en el conocimiento de sus contaminantes, sus fuentes y la forma en que actualmente interactúan todos sus componentes, sean éstos ajenos o no, al cuerpo de agua.

Hipótesis

La calidad del agua y sedimento del río San Juan, en la ciudad de San Juan del Río, Querétaro, no cumple con la normatividad mexicana correspondiente en materia de metales (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y Zn) y de plaguicidas organoclorados.

Objetivo General

Evaluar la dispersión de Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo, Zinc y de plaguicidas organoclorados en el agua y sedimento del río San Juan, en la ciudad de San Juan del Río, Querétaro.

Objetivos específicos

- a. Cuantificar Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo, Zinc, de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, en agua y sedimento del río San Juan, en San Juan del Río, Querétaro.
- b. Identificar plaguicidas organoclorados de acuerdo con la NMX-AA-071-1981 y el método EPA 3540 C en agua y sedimento del Río San Juan, en la ciudad de San Juan del Río, Querétaro.

III. METODOLOGÍA

Muestreo

En base a información generada en proyectos anteriores se seleccionaron nueve puntos de muestreo, a lo largo del río San Juan, los que se pueden ver en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Ubicación de sitios de muestreo.

SITIO	COORDENADAS		
1. Presa "Constitución 1917"	20°25'5.1"N,	100°4'25.1"O,	1923 m SNM
2. Central Camionera	20°22'32.1"N,	100°0'12.1"O,	1917 m SNM
3. Parque "Los Abuelos"	20°22'51.3"N,	99°59'56.6"O,	1911 m SNM
4. Puente de Hierro	20°23'50"N,	100°0'5.2"O,	1904 m SNM
5. San Isidro	20°24'25.8"N,	99°59'38.4"O,	1899 m SNM
6. Después de la descarga de Ponderosa	20°25'17.8"N,	99°59'11.4"O,	1908 m SNM
7. Después de la descarga de JAPAM	20°25'30.1"N,	99°59'11.1"O,	1900 m SNM
8. Presa "La Llave"	20°27'45.7"N,	99°59'38.8"O,	1900 m SNM
9. Presa "Centenario"	20°30'31"N,	99°54'0.9"O,	1893 m SNM

SNM= sobre el nivel del mar.

Se realizaron cuatro muestreos puntuales en diferentes días de la semana, de agua y sedimento, en diferentes horarios en los días 20/julio/2010, 29/julio/2010, 21/diciembre/2010 y 12/febrero/2011.

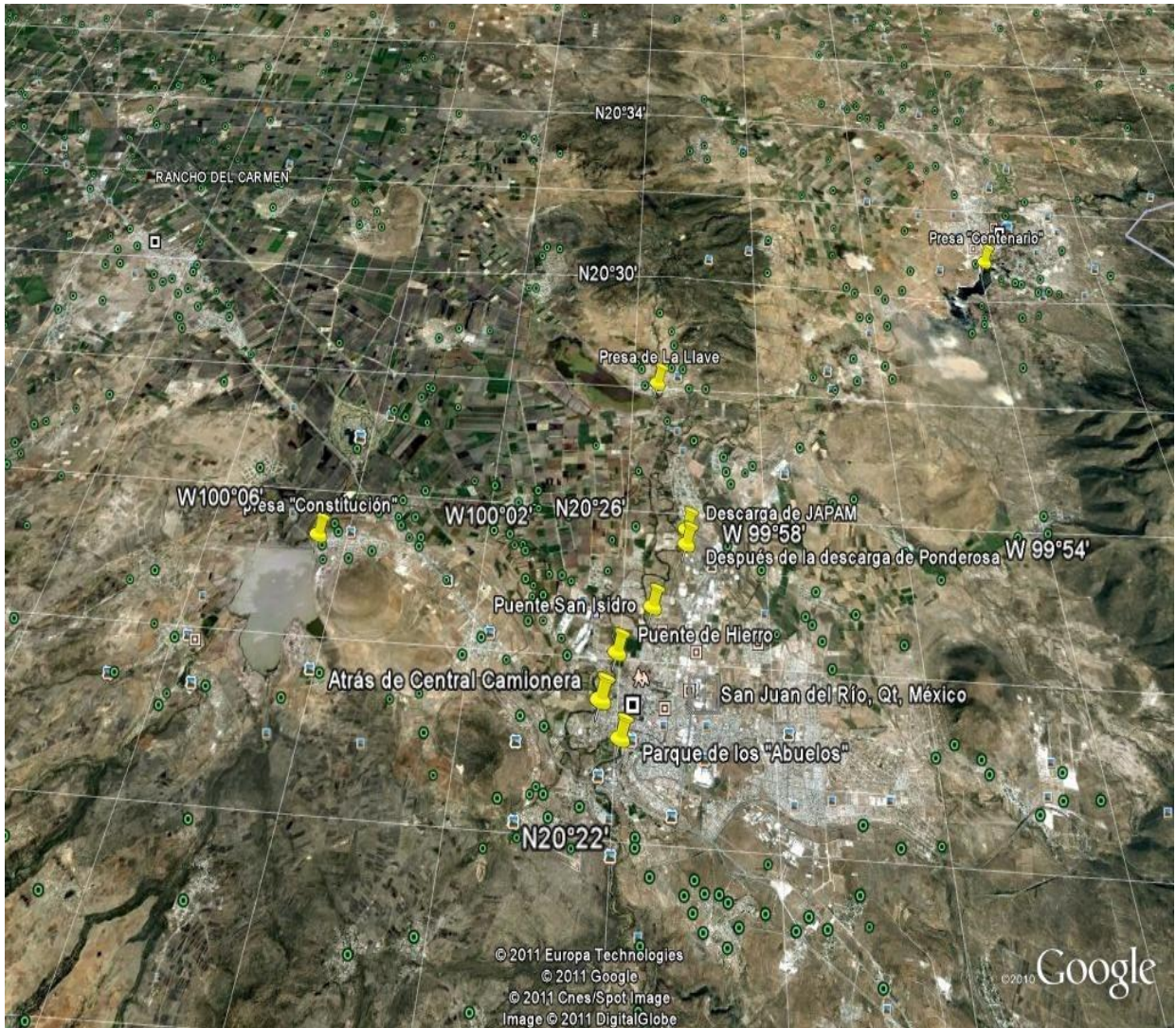


Figura 3.1 Mapa Google de los sitios de muestreo.

Agua

El muestreo se realizó bajo la Norma Mexicana NMX-AA-03-1980, que establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas. Se tomaron muestras puntuales mediante el uso de la botella Van Dorn y vaciando en frascos de polietileno, de un litro de capacidad. Los frascos se identificaron con etiquetas pegadas, las cuáles se rotularon con la información que

indica la norma. Las muestras se preservaron durante el transporte por medio de un baño de hielo y se conservaron las muestras en refrigeración a una temperatura de 4°C hasta su posterior análisis.



Figura 3.2 Muestreadores tipo botella Van Dorn y draga Petersen utilizados para agua y sedimento, respectivamente.

Sedimento

Para los estudios de metales pesados en sedimento, se tomaron muestras mediante una draga de Petersen en aguas poco profundas cerca de la orilla del río, se recolectaron en bolsas de polietileno y se trasladaron al laboratorio manteniéndolas en hielo, se conservaron las muestras en refrigeración (al menos 4°C) hasta su posterior análisis.

Se realizó la extracción y análisis de compuestos orgánicos en agua, con base en la norma NMX-AA-071-1981, "Análisis del agua-determinación de plaguicidas organoclorados. Método de cromatografía de gases". El equipo utilizado fue un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas. Los compuestos orgánicos reportados como presentes en agua, fueron aquellos correspondientes a resultados que mostraron al menos un 91 % de correspondencia con respecto a alguna referencia de la biblioteca del espectrómetro de masas.

Los compuestos orgánicos en sedimentos, fueron extraídos de acuerdo con el método EPA 3540 C, Extracción de Compuestos Orgánicos no volátiles y semivolátiles, de sólidos, lodos y desechos; y el análisis se realizó de acuerdo con la norma NMX-AA-071-1981, de igual forma en que se realizó para los compuestos orgánicos en agua.

Tratamiento y Análisis

Metales en agua

Se cuantificaron los metales: Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc, además del no metal Arsénico, mediante espectroscopía de absorción atómica, en agua y sedimento, en base a la norma oficial NMX-AA-051-1981, Análisis de agua-Determinación de metales-Método espectrofotométrico de absorción atómica, que establece el método espectrofotométrico de absorción atómica para la determinación de bario, cadmio, plomo, cromo, cobre, mercurio, selenio, arsénico, níquel y zinc que se encuentran disueltos y suspendidos en aguas naturales y residuales. La norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y bienes nacionales, fue tomada como referencia para determinar los niveles de contaminación.

Determinación de cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc por aspiración directa en una flama de aire acetileno

Tratamiento de muestra

Las muestras de agua (50 ml) se acidificaron (pH igual o menor a 2) con HNO_3 concentrado para mantener los iones en solución. Posteriormente se digirieron cada una de las muestras y para ello se colocaron en vasos de precipitados (de 100 ml) y se calentaron en parrillas eléctricas de tal forma que no hirvieran, dentro de campana de extracción, añadiendo porciones (5 ml) de ácido nítrico concentrado sucesivamente hasta obtener un residuo líquido claro. En ese momento, se dejaron enfriar las muestras a temperatura ambiente. Una vez frías cada una de las muestras, se filtraron con papel filtro y embudo, recibiendo el filtrado en matraces volumétricos (50 ml) y finalmente se aforaron con agua destilada. Se almacenaron las muestras para su posterior análisis.

Análisis

Para el análisis se usó un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer, Modelo Analyst 100. Se encendió regulador y equipo en ese orden, se instaló una lámpara de cátodo hueco del metal deseado en el aparato y se procedió a fijar condiciones (Cuadro 3.2) según el metal analizado. Se dejó que el equipo se mantuviera al menos 20 minutos con las condiciones establecidas y la lámpara encendida; se optimizó la intensidad de la señal ajustando el quemador en sentido vertical, horizontal y transversal sin flama para enseguida suministrar aire y acetileno en una relación de 4/2 y se realiza un ajuste más preciso del quemador mediante la lectura en modo continuo de una solución checadora del metal analizado hasta observar el máximo de absorción (alrededor de 0.20 unidades de absorbancia). Se procedió a obtener una curva de calibración y se midió la absorbancia de las muestras problema ya digeridas de agua residual y sedimento. Entre cada lectura se atomiza una solución de ácido nítrico 1.5 gr/l para limpiar el sistema.

Cuadro 3.2. Condiciones estándar para absorción atómica.

Elemento	Longitud de onda (nm)	Slit (nm)	Gases de flama	Concentración característica cheCADORA (mg/l)	Rango lineal (mg/l)
As	193.7	0.7	A-Ac	45.0	100.0
Cd	228.8	0.7	A-Ac	1.5	2.0
Cu	324.8	0.7	A-Ac	4.0	5.0
Cr	357.9	0.7	A-Ac	4.0	5.0
Hg	253.7	0.7	A-Ac	200.0	300.0
Ni	232.0	0.2	A-Ac	7.0	2.0
Pb	283.3	0.7	A-Ac	20.0	20.0
Zn	213.9	0.7	A-Ac	1.0	1.0

A-Ac= aire-acetileno.

Determinación de mercurio y arsénico por absorción atómica de vapor frío

Tratamiento de muestra

Las muestras de agua no se digieren.

Análisis

Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer, Modelo Analyst 100. Para la evaluación de la señal se usó una lámpara de cátodo hueco de mercurio junto con una celda de cuarzo en forma de T y para la propulsión de los líquidos se empleó una bomba peristáltica la cual mantiene un flujo constante de la solución reductora de NaBH₄/NaOH al 1 %.

Las muestras se hacen reaccionar con una solución reductora en un contenedor donde tiene lugar la reducción del mercurio contenido en la muestra a mercurio elemental (Hg⁰) el cual es un vapor atómico. Seguidamente este vapor entra en contacto con un flujo de argón, utilizado como gas de arrastre, el cual

conduce al Hg^0 hacia una celda de cuarzo para ser medido y finalmente cada lectura es registrada cuando se alcanza la máxima absorción espectral, tan pronto como se registra se deja de suministrar argón. De igual forma se leen los estándares de la curva de calibración. No se utiliza llama. Para el caso del arsénico, el procedimiento es idéntico, sólo que si se utiliza flama.

Compuestos organoclorados en agua

Los compuestos orgánicos volátiles se cuantificaron conforme a la norma NMX-AA-071-1981, “Análisis del agua-determinación de plaguicidas organoclorados. Método de cromatografía de gases”. El equipo de cromatografía de gases fue acoplado a un espectrómetro de masas.

Tratamiento de muestra

Todas las muestras fueron mantenidas en hielo o en refrigeración desde la recolección hasta la extracción (4 °C). En el sitio de muestreo, se ajustó el pH de las muestras con ácido clorhídrico 6N, a un valor inferior a 2.0 para retardar la degradación microbológica en aguas no cloradas. Antes de comenzar las extracciones, la cristalería a ser usada se lavó con jabón neutro, se enjuagó con agua de la llave, después con solución sulfocrómica, con agua destilada y se dejó escurrir. Se adicionó acetona grado reactivo para un secado más rápido. Se enjuagó con hexano grado plaguicida.

Se midió un litro de agua residual y se mezcló con (50 ml) hexano grado plaguicida en un embudo de separación (2 litros), se invirtió el embudo con la mezcla (10 veces) para permitir la interacción de las fases, se dejó reposar (5 minutos) y se separaron las fases acuosa y orgánica. Se repite la operación de extracción (dos veces más). La fase acuosa se desechó y la fase orgánica se hizo pasar por una columna de (5 cm) de sulfato de sodio anhidro (pretratado 2 horas a 500 °C). Se recibieron los extractos en un matraz de fondo plano de (500 ml) y se concentraron los extractos con ayuda de vacío en un evaporador rotatorio (hasta

un volumen aproximado de 1 ml). Se guarda este residuo en un vial, el cuál inmediatamente es sellado y refrigerado (4 °C) para su posterior análisis.

Análisis

Los componentes de cada muestra fueron separados, identificados y medidos mediante la inyección de una alícuota (2 µl) del extracto concentrado en hexano, en una columna capilar de sílice fundida de alta resolución de un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas. Se establecieron condiciones de operación en el cromatógrafo de gases de tal manera que los compuestos eluidos de la columna presentaran buena resolución y fueran identificados mediante la comparación de sus espectros de masas contra la base de datos del equipo marca Agilent, modelo 5973 Network.

Compuestos orgánicos en sedimentos

Las muestras se trataron de acuerdo con el método EPA 3540C, el cual establece un procedimiento para la extracción de compuestos orgánicos no volátiles y semivolátiles de sólidos como los suelos, lodos y residuos; en preparación para técnicas cromatográficas, por extracción Soxhlet. El material de vidrio se preparó anteriormente en el procedimiento de tratamiento de muestra de compuestos organoclorados.

Tratamiento de muestra

Se decantó y desechó cualquier exceso de agua del sedimento, además de cualquier objeto extraño como palos, hojas y rocas. Se mezcló (5 g) la muestra sólida con (5 g) sulfato de sodio anhidro y se colocaron en un dedal de extracción. Se colocó (100 ml) hexano en un matraz de fondo plano (con 2 a 3 perlas de ebullición). Se colocó el dedal al extractor y se extrajo la muestra (16 horas a 4-6 ciclos por hora). Se dejó enfriar el extracto después de que la extracción se completó.

Se pasó el extracto por una columna de (5 cm) de sulfato de sodio anhidro. Se recogió el extracto libre de humedad. Los extractos así obtenidos fueron reducidos con rotaevaporador al vacío hasta aproximadamente 1 ml, sellados y almacenados en viales a 4 °C para su posterior análisis.

Análisis

Se procede tal como lo indica el procedimiento de análisis de compuestos organoclorados mencionado anteriormente.

Metales en sedimentos

Tratamiento de muestra

Previamente al análisis, se decantó y desechó cualquier exceso de agua del sedimento, además de cualquier objeto extraño como palos, hojas y rocas. Las muestras se secaron (105 °C durante 24 horas), se enfriaron a la temperatura del laboratorio, se molieron en un mortero y se homogeneizaron. Se tomó una muestra seca (0.5 gramos), se digirió con porciones de agua (5 ml) y ácido nítrico concentrado (5 ml), hasta obtener un residuo claro.

Análisis

El análisis de metales se realizó conforme los procedimientos efectuados en la determinación de cadmio y determinación de mercurio mencionados anteriormente

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros de sólidos sedimentables, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno fueron analizados como complemento al análisis de metales y compuestos orgánicos presentes en agua del río San Juan de acuerdo con las normas oficiales mexicanas NMX-AA-004-SCFI-2000, NMX-AA-028-SCFI-2001 y NMX-AA-030—SCFI—2001, respectivamente. El valor más alto de sólidos sedimentables es de 40 ml/l y corresponde al sitio de muestreo # 7 (Después de la descarga de JAPAM), la NOM-001-SEMARNAT-1996, establece un promedio de 1 a 2 ml/l (Cuadro 4.1). Cabe destacar que este valor fuera de norma se detectó en el muestreo del 20 de julio del 2010, antes de las primeras lluvias de temporada. Casi una semana después, el 29 de julio, después de una lluvia intensa en la zona, se detectó un valor de 10 ml/l de sólidos sedimentables en la misma zona, lo cual probablemente se debe a un efecto de dilución (Cuadro 4.1).

En el caso de la demanda bioquímica de oxígeno, la NOM-001-SEMARNAT-1996, establece un límite máximo promedio mensual de 30 mg/l y de 60 mg/l promedio diario (Cuadro 4.1); para protección de la vida acuática, presentado los valores más altos los tres últimos sitios de muestreo: Después de la descarga de JAPAM, presa “La Llave” y Presa “Centenario” (Figura 4.1). La demanda química de oxígeno (DQO) muestra un comportamiento similar tal como se observa en la Figura 4.2, no existe normatividad en México contra que comparar.

En la mayoría de los casos, el nivel más contaminante en cuanto a DBO_5 y DQO, se presenta para el sitio 7, Después de la descarga de JAPAM (Cuadro 4.1, Figura 4.1 y Figura 4.2). Es notorio la similitud de resultados del sitio Después de la descarga de JAPAM con respecto a un solo muestreo de los sitios; Después de la descarga de Ponderosa, Presa “La Llave” y Presa “Centenario”, lo cual puede deberse a un estancamiento del agua en las presas, mientras que en el caso del sitio Después de la descarga de Ponderosa, el origen del valor alto de

DQO puede deberse a algún sólido disuelto dado que las muestras en general de este sitio sólo mostraron una apariencia opaca y temperatura ambiental (Cuadro 4.1, Figura 4.1 y Figura 4.2). De acuerdo con datos actuales de INEGI (2011b), en el municipio de San Juan del Río Querétaro, se asienta una población de 241,699 habitantes y por lo tanto la frecuencia mínima de muestreo y análisis debería ser mensual según lo establece la NOM-001-SEMARNAT-1996, a fin de darle seguimiento a la evolución de los niveles de contaminación encontrados.

Cuadro 4.1. Comparativo físico-químico de muestreos realizados.

L.M.P.: límite máximo permisible, P.M.: promedio mensual, P.D.: promedio diario, --- sin muestra (los sitios de muestreo se encuentran semisecos y/o secos).

Sitio	Sólidos Sedimentables (ml/l)				DBO ₅ (mg/l)				DQO (mg/l)			
	L.M.P.: P.M. 1, P.D. 2				L.M.P.: P.M. 30, P.D. 60							
	20/7/2010	29/7/2010	21/12/2010	12/02/2011	20/7/2010	29/7/2010	21/12/2010	12/02/2011	20/7/2010	29/7/2010	21/12/2010	2/02/2011
Presa "Constitución 1917".	<1	<1	<1	<1	4	15	30	1	51	25	52	43
Central Camionera.	<1	<1	<1	<1	3	15	47	3	42	26	62	22
Parque "Los Abuelos".	<1	<1	<1	<1	1	20	26	8	60	29	45	26
Puente de Hierro.	<1	<1	<1	1.5	3	11	36	4	53	19	138	95
San Isidro.	<1	<1	<1	<1	18	37	49	10	126	104	113	65
Después de la descarga de Ponderosa.	<1	<1	<1	<1	11	39	111	18	56	96	387	186
Después de la descarga de JAPAM.	40.0	10.0	<1	<1	130	152	173	129	185	183	389	298
Presa "La Llave".	0.8	4.0	---	---	87	38	---	---	296	133	---	---
Presa "Centenario"	2.5	<1	1	<1	72	55	33	20	160	275	134	95

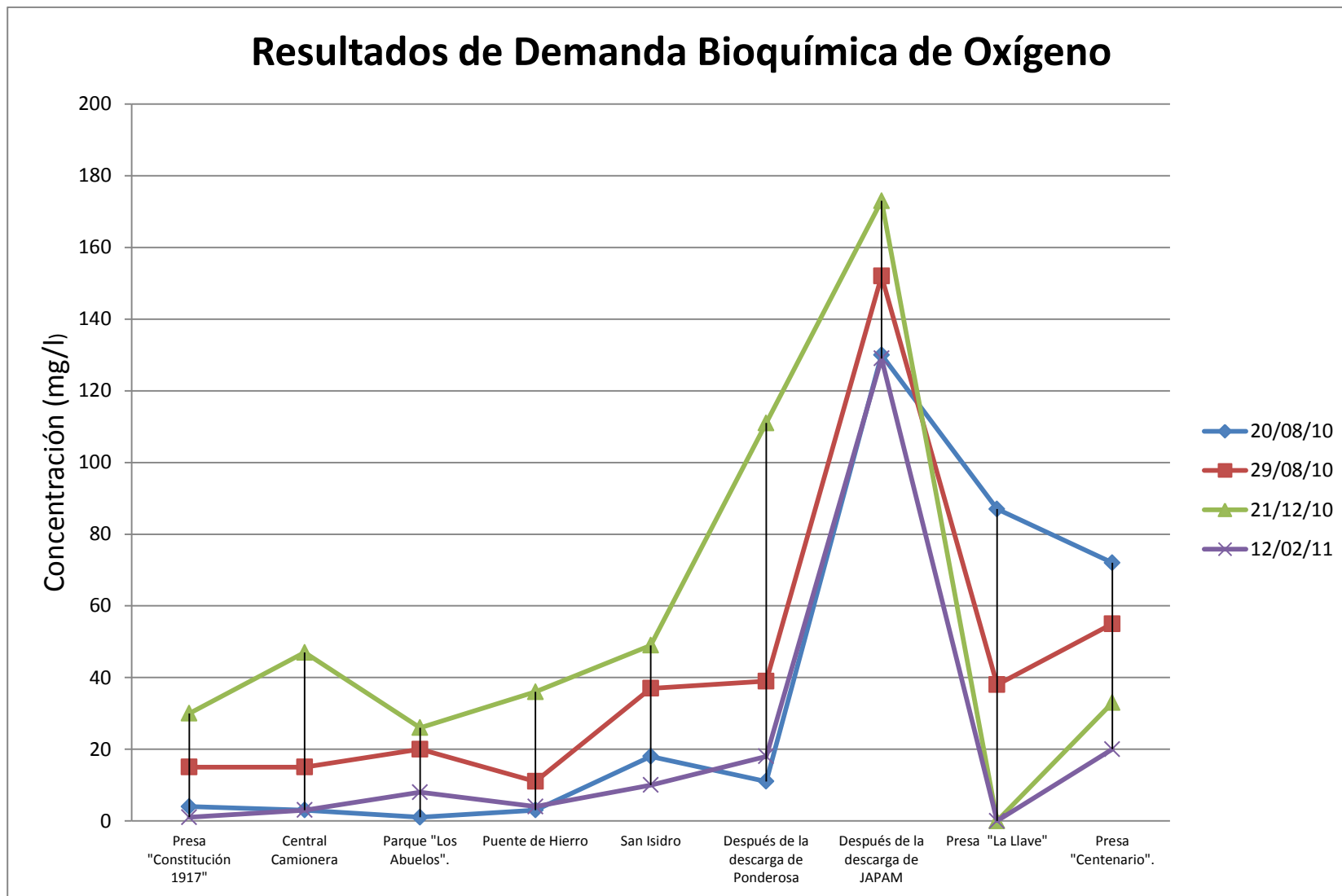


Figura 4.1. Comparativo de resultados de DBO₅ entre los sitios de muestreo.

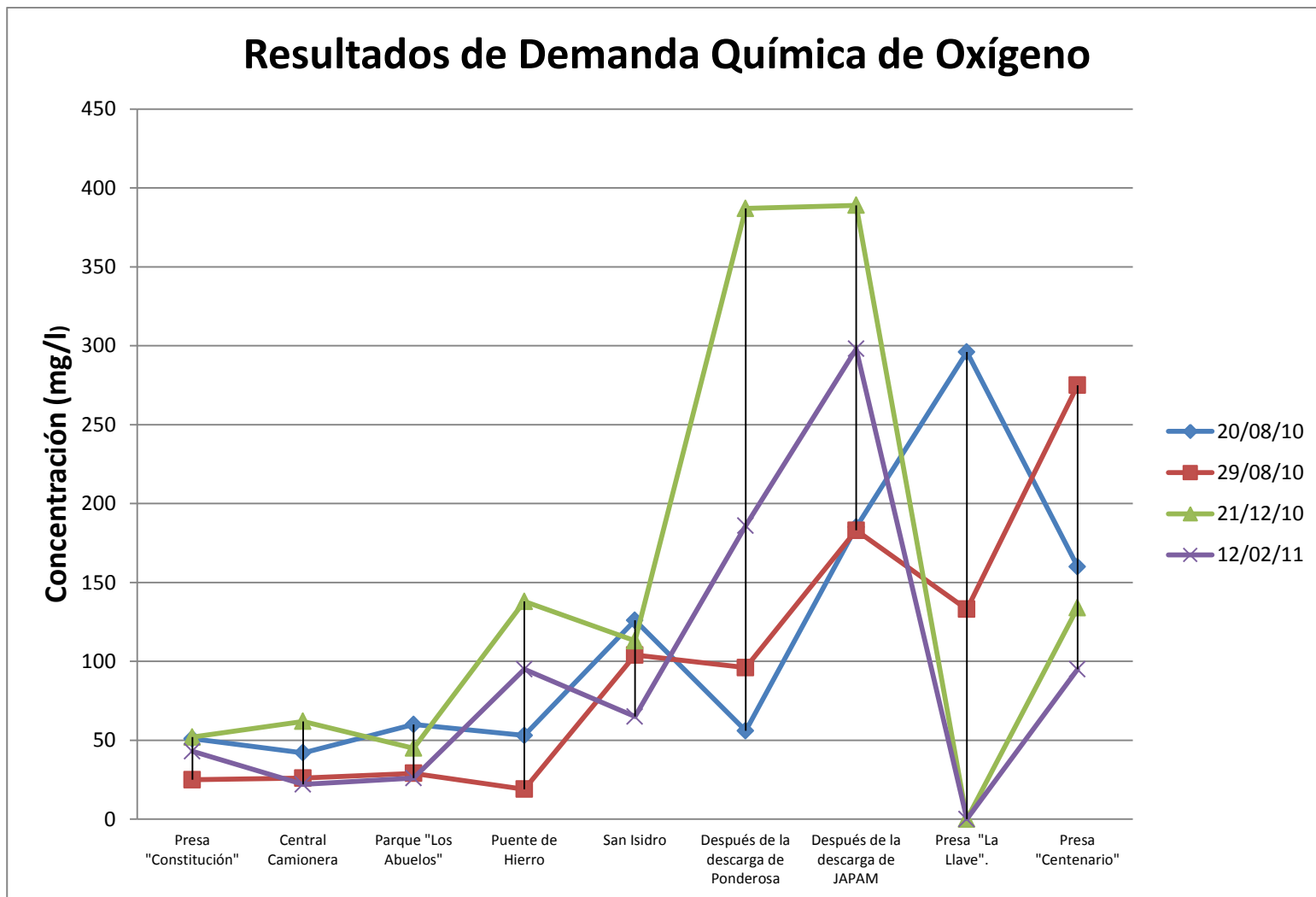


Figura 4.2. Comparativo de resultados de DQO entre los sitios de muestreo.

En cuanto a los metales plomo, cadmio y níquel no son detectados en ninguno de los sitios de muestreo de agua. El cobre, no es detectado en la mayoría de las veces, y cuando aparece, se encuentra muy por debajo de los límites establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 (Cuadro 4.2 y Apéndice 1). El zinc generalmente no se detecta, existen pocos casos y están por debajo de los límites permisibles para la protección de vida acuática (Cuadro 4.2), aun cuando el sitio denominado Después de la descarga de JAPAM alcanza una concentración única de 7.55 mg/l de zinc en el primer muestreo realizado el 20 de julio del 2010 (estiaje) y en el segundo muestreo del 29/7/10 no es detectado, debido probablemente a una lluvia previa al muestreo (Figura 4.3 y Apéndice 1). Tanto los microorganismos como ciertas plantas y animales acuáticos concentran los metales. Sin embargo, no todos los metales se comportan de la misma manera; el Pb, Zn, Cu y Cd no se magnifican a lo largo de la cadena alimenticia (Leal, et al., 2009). El zinc es un elemento considerablemente móvil, ya que tiene tendencia a disociarse de moléculas orgánicas e inorgánicas en las que se encuentran y forman especies químicas solubles que permanecen estables a pH neutro o ligeramente alcalino (Gale et al., 2004). Es posible que si las lluvias se hubieran mantenido varios días y se hubieran realizado muestreos posteriores, la cantidad de zinc en agua habría aumentado por la disolución de óxidos básicos de hierro y carbonato de calcio (Ettler et al., 2008).

El cromo tiene una presencia constante, en los muestreos del mes de diciembre y febrero, sin llegar al límite máximo permisible. Arsénico y mercurio no son detectados en ningún caso.

No son comparables los anteriores resultados contra la NOM-001-SEMARNAT-1966 porque se muestrearon de manera puntual todos los sitios de muestreo y no fueron generados a partir de mezclas compuestas, lo cual permitiría comparar contra promedios diarios y mensuales que indica la norma. Un muestreo sistemático por lo menos anual con una frecuencia de muestreo y análisis mensual (NOM-001-SEMARNAT-1996) de los sitios con mayor flujo, permitiría establecer patrones de contaminación.

Cuadro 4.2. Promedios de concentraciones de metales en agua en el río San Juan correspondientes a los muestreos de 20/07/10, 29/07/10, 21/12/10 y 12/02/11.

	As	Hg	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
Promedios (mg/l)	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	0.0694	<L.D.	<L.D.	0.4046
Límites máximos permisibles P.M.(mg/l)*	0.1	0.005	0.1	4.0	0.5	2.0	0.2	10.0
Límite de detección mg/l	<0.0016	<00047	<0.0397	<0.0117		<0.1599	<0.3596	

*Según la NOM-001-SEMARNAT-1996. P.M.=promedios mensuales.

El hecho de que los límites de metales en aguas del río San Juan no sobrepasen los límites establecidos en la normatividad mexicana puede deberse a la baja capacidad de renovación del agua del río San Juan, asociado al hecho demostrado de que los metales se concentran en los sedimentos, aun cuando las concentraciones en agua son bajas.

Los límites máximos de metales en descargas deberían ser diferentes cuando los cuerpos receptores son de circulación restringida y por lo tanto no debieran establecerse límites máximos permisibles de aplicación uniforme en todo el país (Leal et al., 2009)

Concentración de zinc en agua del río San Juan

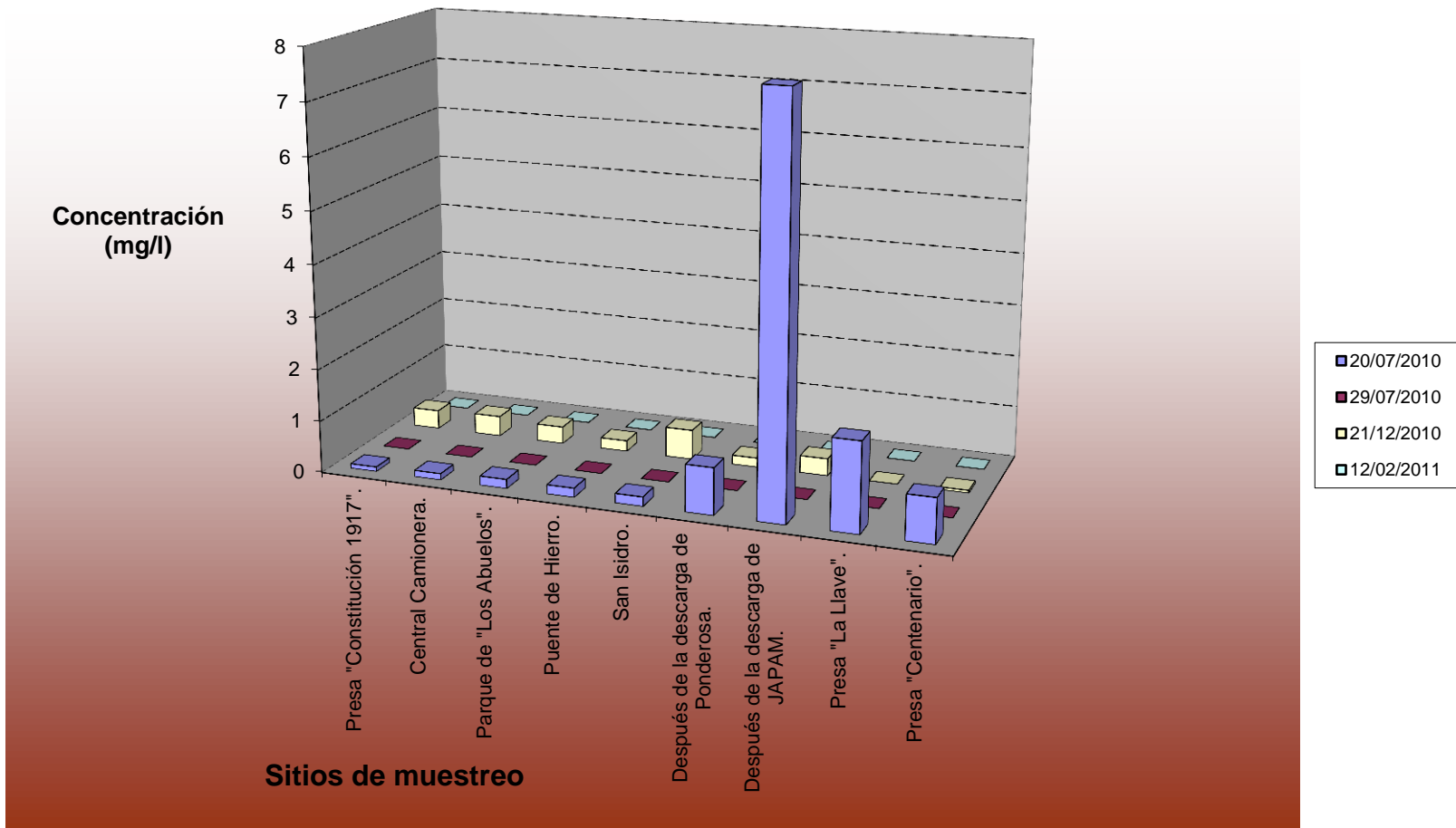


Figura 4.3. Comparativo de concentración de zinc en agua del río San Juan.

Existen al menos cuatro parámetros internacionales contra los cuales se pueden comparar los niveles de metales en sedimento (NOAA, 1999; Irwin et al., 1997; Van Der Weiden et al., 1994; Persaud et al., 1993). Este conjunto de parámetros ha demostrado tener cierta capacidad predictiva aunque no explica la biodisponibilidad química y no se basa en experimentos en los que se haya determinado la causalidad (Long y MacDonald, 1998). Uno de ellos, que establece límites permisibles más estrictos, se conoce como “Límite de efectos adversos biológicos mínimos de Ontario”. Tomando como referencia este último límite; los metales plomo, mercurio, arsénico y níquel, no sobrepasan los valores de límite permisibles (Cuadro 4.3 y Apéndice 2). El cadmio aparece cerca del valor límite en una sola ocasión en sedimentos, en el último muestreo del mes de febrero realizado en el sitio denominado Después de la descarga de JAPAM (Apéndice 2). Este caso esporádico podría tener un seguimiento más adecuado con una frecuencia de muestreo y análisis mensual tal como lo indica la NOM-001-SEMARNAT-1996 de muestras compuestas y determinar si se trata de descargas puntuales o no, además de estudiar la movilidad reconocida del cadmio (Gale et al., 2004).

La presencia de cromo en valores cercanos a límite permisible se detecta en los meses de agosto y diciembre, en los sitios de muestreo Central Camionera y San Isidro (Apéndice 2, Cuadro 4.3 y Figura 4.4). El límite permisible es sobrepasado en el mes de diciembre en el sitio de muestreo denominado Después de la descarga de JAPAM. De igual forma que con el cadmio, una frecuencia mensual de muestreo y análisis (NOM-001-SEMARNAT-1996) nos permitiría darle seguimiento a la evolución del nivel de concentración de cromo en sedimento.

Concentración de cromo en sedimento del río San Juan

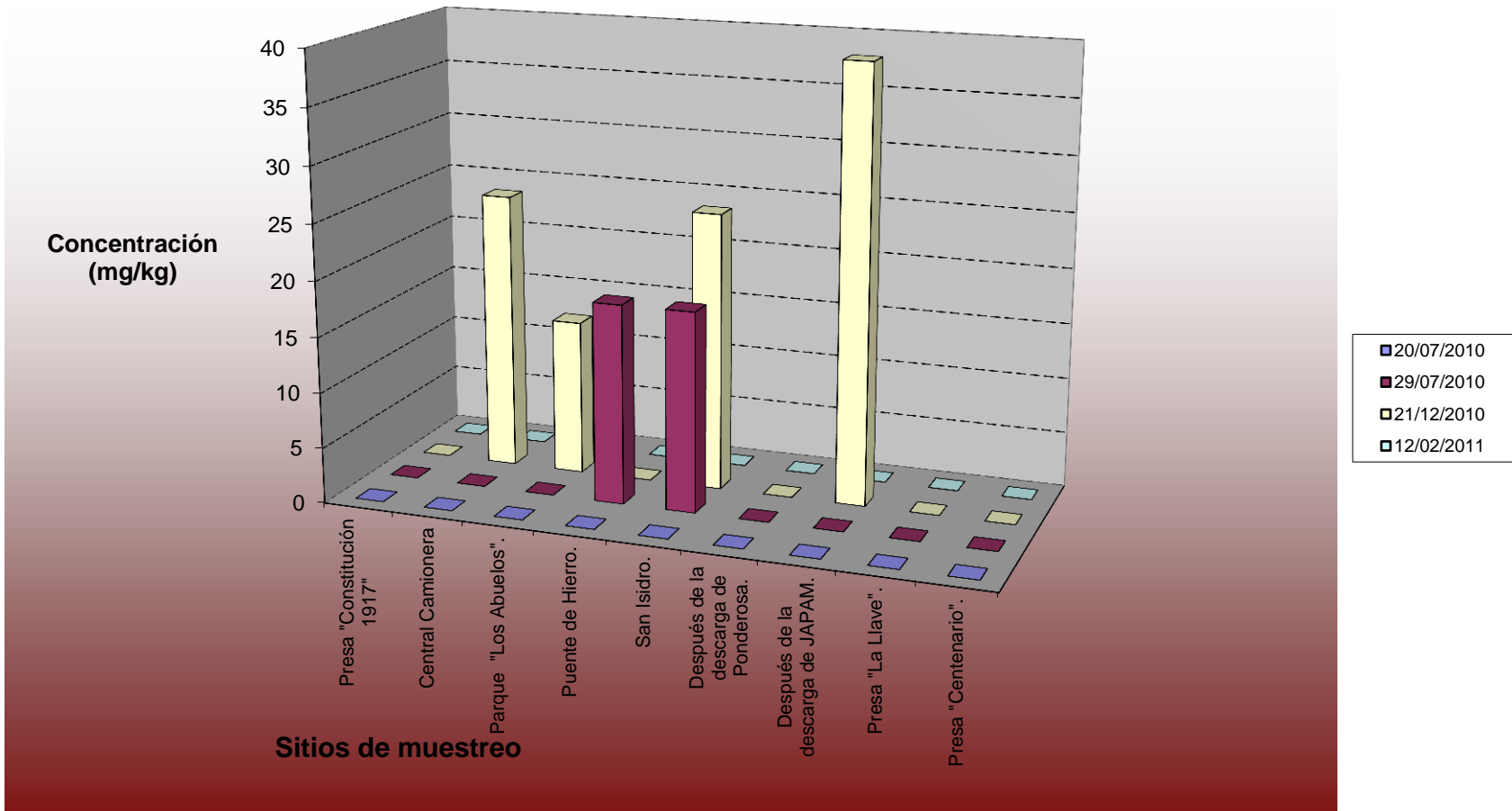


Figura 4.4. Comparativo de cromo en sedimento del río San Juan.

Los niveles de cobre en sedimento son sobrepasados en siete ocasiones. En el primer muestreo de julio, son sobrepasados los límites permisibles en los sitios Presa Constitución, Parque de los Abuelos y en el que corresponde al sitio denominado Después de la descarga de JAPAM (Apéndice 2, Cuadro 4.3 y Figura 4.5). En el segundo muestreo de julio, la contaminación por cobre en sedimento disminuye ya que sólo se sobrepasó el límite permisible en el sitio San Isidro (Apéndice 2, Cuadro 4.3 y Figura 4.5). En el muestreo de diciembre, se sobrepasan los límites permisibles en los sitios Central Camionera y Después de la descarga de JAPAM (Apéndice 2, Cuadro 4.3 y Figura 4.5). Finalmente, sólo en el sitio de San Isidro se sobrepasa el límite permisible para cobre en el mes de febrero (Apéndice 2, Cuadro 4.3 y Figura 4.5). De las siete ocasiones en que se sobrepasan los niveles permisibles de cobre en sedimento indicados por “Límite de efectos adversos biológicos mínimos de Ontario, sólo dos valores se encuentran cerca del valor límite de 16 mg/kg y sólo uno de los cinco datos restantes llega hasta quintuplicar dicho valor límite. No parece existir una descarga continua de cobre y su posterior acumulación en sedimento, al parecer se trata de descargas puntuales y por época. Una evaluación de la biodisponibilidad del cobre en sedimento combinada con la frecuencia de muestreo y análisis tal como lo indica la NOM-001-SEMARNAT-1996 ayudaría a comprender mejor la evolución del nivel contaminante de este metal y probablemente se explicarían la falta de uniformidad en los datos encontrados.

De igual forma el zinc no tiene un comportamiento regular, aunque en todos los sitios se detecta por lo menos hasta en tres de los cuatro muestreos efectuados. En el muestreo del 29/07/10 se alcanza apenas a rebasar el límite de referencia para el zinc en el sitio denominado Puente de Hierro y el valor máximo se alcanza en el tercer muestreo del 21/12/10 en el sitio llamado “Después de la descarga de JAPAM” casi triplicando el valor límite de referencia (Apéndice 2, Cuadro 4.3 y Figura 4.6).

La contaminación por metales en sistemas acuáticos se refleja en sedimentos, macrofitas y organismos bénticos, más que en concentraciones

elevadas en agua (Dallinger *et al.*, 1987; Chapman,1992; Sing *et al.*, 2007; Szalinska *et al.*, 2007).

Concentración de cobre en sedimento del río San Juan

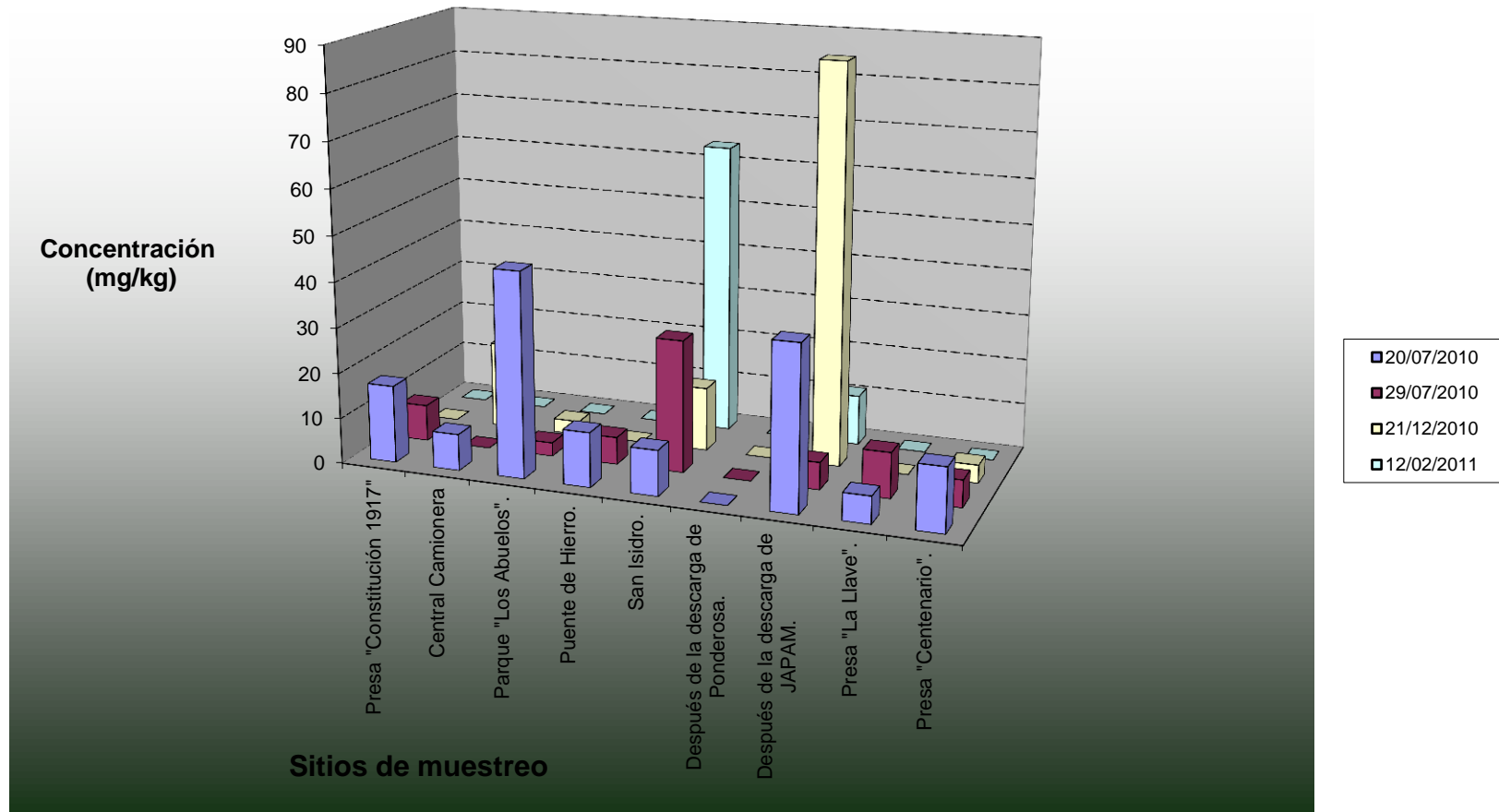


Figura 4.5. Comparativo de cobre en sedimento del río San Juan.

Concentración de zinc en sedimento del río San Juan

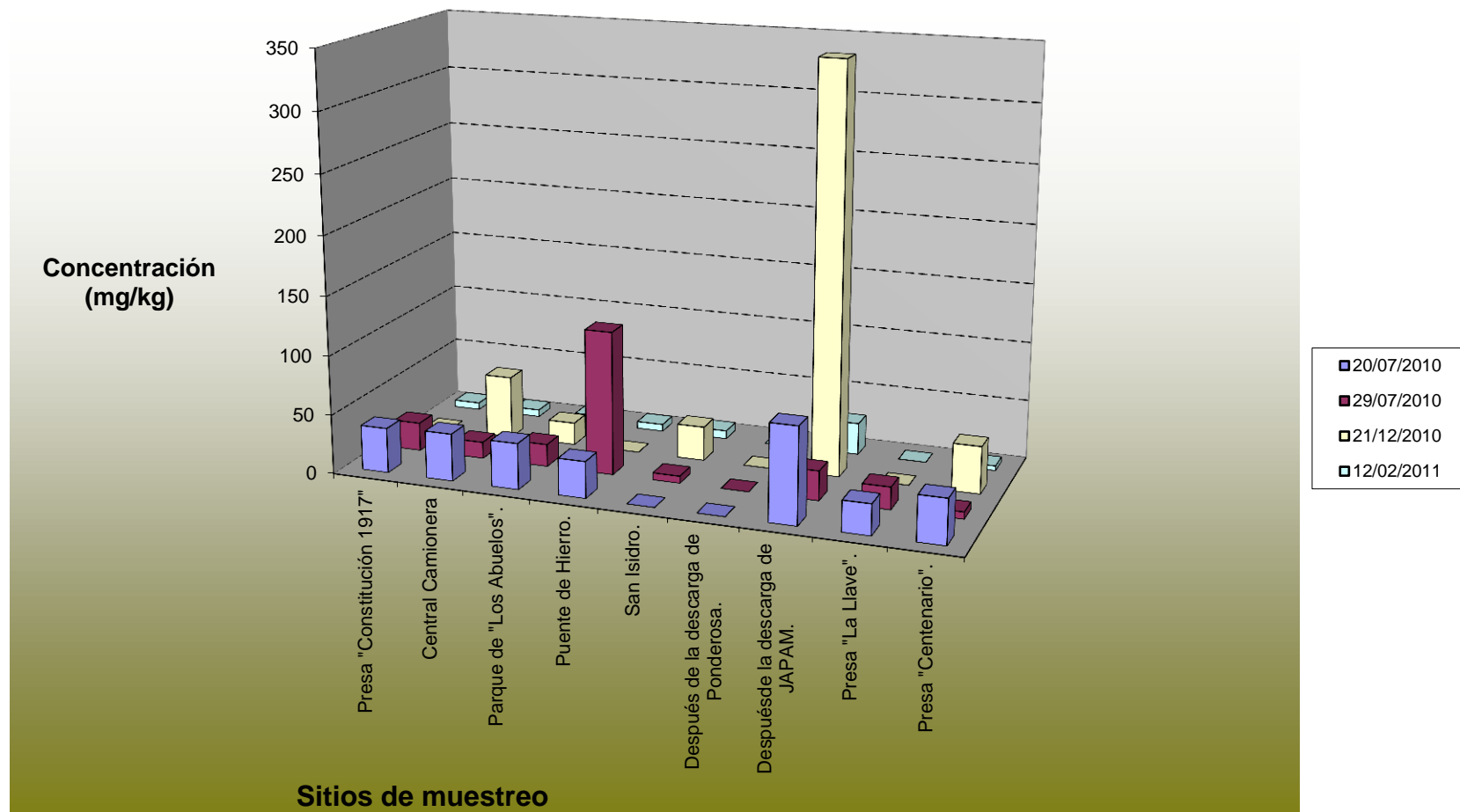


Figura 4.6. Comparativo de zinc en sedimento del río San Juan.

Cuadro 4.3. Comparativo de concentración detectada de metales en sedimento y límites permisibles (mg/kg) de muestreos efectuados del 29/07/10 al 12/02/11

	As				Hg				Cd				Cr				Cu				Ni				Pb				Zn								
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D					
Límite de apreciación de pocos efectos biológicos adversos de Canadá ¹ .	20				0.17				1				37				35				18				35				120								
Límite de efectos adversos biológicos mínimos de Ontario ² .	6				0.20				1				26				16				16				31				120								
Límite de efectos adversos biológicos severos de Ontario ² .	33				2				10				110				110				75				250				820								
Valores guía para efectos biológicos medianos de USA ³ .	70				0.71				9.6				370				270				51.6				218				410								
Límite máximo de metales en sedimentos ⁴ .	55				10				12				SR				73				SR				530				620								
Presa "Constitución 1917"	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	SS	<L.D.	17	8	SS	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	38	24	SS	6	
Central Camionera	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	25	<L.D.	8	SS	19	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	40	14	53	6	
Parque de "Los Abuelos"	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	14	<L.D.	45	3	3	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	39	19	19	7	
Puente de Hierro	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	18	SS	<L.D.	12	6	SS	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	31	121	SS	6	
San Isidro	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	18	25	<L.D.	10	29	14	64	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	SS	6	29	7	
Después de la descarga de Ponderosa	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	
Después de la descarga de JAPAM	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	12	<L.D.	<L.D.	39	<L.D.	36	6	87	11	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	81	25	343	27	
Presa "La Llave"	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	<L.D.	<L.D.	SS	SS	<L.D.	<L.D.	SS	SS	6	10	SS	SS	<L.D.	<L.D.	SS	SS	<L.D.	<L.D.	SS	SS	<L.D.	<L.D.	SS	SS	26	19	SS	SS	
Presa "Centenario"	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	18	<L.D.	14	6	4	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	7	38	6	40	4
Límite de detección del equipo (mg/l).	0.16				0.47				3.97				3.19				1.17				15.99				35.96				0.91								

1. Irwin et al., 1997. 2. Persaud et al., 1993. 3. NOAA, 1999. 4. Van der Weiden et al., 1994
2. 20/07/10=A, 29/07/10=B, 21/12/10=C, 12/02/11=D
3. NA= No aplica; la metodología no es apropiada para sedimentos. SS= sin sedimento, SR=sin referencia, L.D.=límite de detección.

En el caso del análisis cualitativo de compuestos orgánicos en agua y sedimento, se consideró que un analito estaba presente en los extractos inyectados en el cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas cuando existía al menos una concordancia del 90 % con alguno de los espectros de la biblioteca del equipo de medición.

Es notoria la presencia persistente de bis(2-etilhexil) ftalato en sedimento (Cuadro 4.4), pero no en agua, lo cual concuerda con su naturaleza química no polar y con el hecho de que es el ftalato más ampliamente utilizado (ECPI, 2001). Dicho compuesto no es detectado en el segundo muestreo del 29/07/2010 (Cuadro 4.4) y en el cuarto muestreo del 12/02/2011 (Cuadro 4.4). En el primer caso podría deberse a un efecto de dilución por la presencia de lluvias previas al momento del muestreo. La ausencia de bis(2-etilhexil)ftalato en el cuarto muestreo podría deberse que se puede degradar aeróbicamente en agua y aire (Fernández et al., 2004), aunque faltan elementos para determinar las causas verdaderas de su disminución. Se detectan también dos compuestos más en una sola ocasión para el muestreo del 29 de julio del 2010 (Cuadro 4.4) en sedimento; diisooctiladipato (sitio de muestreo 3, Jardín de “Los Abuelos”) y azufre octatómico cíclico (sitio de muestreo 7, Después de la descarga de JAPAM). Estos dos últimos compuestos parecen ser resultado de contaminación puntual porque aparecen en una sola ocasión y en un solo sitio.

En general los ftalatos son líquidos poco solubles en agua y poco volátiles (ATSDR, 2010a), lo cual combinado con el relativo estancamiento de las aguas del río San Juan puede estar provocando que el bis(2-etilhexil)ftalato aparezca predominantemente en sedimento.

El bis(2-etilhexil)ftalato se agrega a plásticos para darle mayor flexibilidad además de ser usado como aditivo y lubricante en medicamentos, productos de arreglo personal e incluso en alimentos (ATSDR, 2010a). Su presencia en el medio ambiente no es de extrañar dado su amplio uso, pero su utilización diaria es controversial dado que no existen datos concluyentes sobre su toxicidad en

humanos, la EPA establece un límite máximo permisible de 6 ppb en agua de beber, mientras que en nuestro país la norma NOM-127-SSA1-1994, llamada Agua para uso y consumo humano, límites máximos permisibles de la calidad del agua, control y vigilancia de los sistemas de almacenamiento, establece un límite máximo permisible de 8 microgramos por litro de bis(2-etilhexil)ftalato en agua para abastecimiento.

En el presente trabajo no existe punto de comparación pero dado que este compuesto aparece en sedimento pero no en agua, sería recomendable evaluar su biodisponibilidad y su distribución espacial y temporal de inicio con una frecuencia de muestreo y análisis mensual (NOM-001-SEMARNAT-1996), si no existiera otra normatividad más adecuada.

Se detectaron un total de 24 sustancias orgánicas principalmente en sedimento, pero no se identificaron por no estar presentes en un mínimo de 90 % de concordancia con respecto a la biblioteca del equipo de medición. Un grupo de 5 de ellas, se presentan hasta en ocho sitios de muestreo (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.4. Compuestos Orgánicos detectados en el río San Juan.

	MUESTREO 1		MUESTREO 2		MUESTREO 3		MUESTREO 4	
	Agua	Sedimento	Agua	Sedimento	Agua	Sedimento	Agua	Sedimento
COMPUESTOS DETECTADOS								
Ácidobenzendicarboxílico	ND	1,	ND	2	ND	3, 2	ND	ND
bis(2-etilhexil)ftalato	ND	1, 2, 4, 5, 7, 8, 9	ND	ND	ND	1, 2, 3, 4	ND	ND
Diisooctiladipato	ND	ND	ND	3	ND	ND	ND	ND
azufre octatómico cíclico	ND	ND	ND	7	ND	ND	ND	ND

ND=NO DETECTADOS

Los números indican los sitios de muestreo en los cuales se detectó el compuesto orgánico correspondiente.

SITIOS DE MUESTREO

1. Presa "Constitución".
2. Central Camionera.
3. Parque de los Abuelos.
4. Puente de Hierro.
5. San Isidro.
6. Después de la descarga de Ponderosa.
7. Después de la descarga de JAPAM.
8. Presa de "La Llave".
9. Presa "Centenario".

Cuadro 4.5. Compuestos Orgánicos detectados-no identificados en el Río San Juan.

	MUESTREO 1		MUESTREO 2		MUESTREO 3		MUESTREO 4	
	Agua	Sedimento	Agua	Sedimento	Agua	Sedimento	Agua	Sedimento
Compuestos orgánicos analizados								
Sustancia 1					3			
Sustancia 2				3				
Sustancia 3			3	3				
Sustancia 4	8	3			5	4		4
Sustancia 5.	8	3		9	4,5.			4
Sustancia 6	8	3		9	5			9
Sustancia 7	8	3		9	4,5.			4
Sustancia 8	8	3	8	9			5	4,7, 9
Sustancia 9	8	3			5			9
Sustancia 10	8	3		9	5		4	
Sustancia 11	8	3		9	4, 5.			4, 9
Sustancia 12				3				
Sustancia 13				3				
Sustancia 14				9	4			
Sustancia 15	8			9	4,5.			4
Sustancia 16	8			9	4,5			4,9
Sustancia 17	8			9	4,5			4
Sustancia 18	8			9	4,5.			4
Sustancia 19								4
Sustancia 20	8			9				4
Sustancia 21	8				5			
Sustancia 22		7,9						
Sustancia 23		7		7				
Sustancia 24				7				

V. CONCLUSIONES

El agua del río San Juan presenta concentraciones de materia orgánica que sobrepasan los límites establecidos en forma de demanda bioquímica de oxígeno de cinco días en la NOM-001-SEMARNAT-1996. La distribución de la materia orgánica en agua a lo largo del río San Juan no es uniforme. Todos los sitios de muestreo presentan un comportamiento cíclico de niveles de contaminación de menos a más con dos excepciones. La primera excepción es la presa “La Llave” la cual paulatinamente se fue quedando sin agua durante la realización de los muestreos. La segunda excepción es la presa Centenario, la cual muestra un descenso en las concentraciones de materia orgánica del primer al cuarto muestreo. En general se requiere una evaluación sistemática espacial y temporal del río San Juan en cuanto a materia orgánica se refiere de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996 que permita tener un perfil más cercano a la realidad del río San Juan.

Las concentraciones de As, Hg, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, y Zn en agua del río San Juan no sobrepasan los límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996. Sin embargo los sedimentos presentan concentraciones de Cr, Cu, Cd y Zn que sobrepasan uno de los niveles máximos permisibles internacionales más estrictos.

La mayoría de los sitios tienen presencia de cromo, excepto los puntos más alejados entre sí, es decir, las presas, lo cual sugiere contaminación de los sedimentos del río con cromo por descargas industriales y municipales, siendo esta última más importante ya que el sitio “Después de la descarga de JAPAM”, es el único que sobrepasa el límite de referencia.

El cobre no tiene un comportamiento predecible. No parece existir una descarga continua de cobre y su posterior acumulación en sedimento, al parecer se trata de descargas puntuales y por época. De igual forma el zinc no tiene un comportamiento regular.

Una vez más se justifica la evaluación sistemática del río San Juan en cuanto a metales en agua y sedimento que permita estudiar, en este caso, fuentes específicas de contaminación por época y lugar, además de evaluar la captación de metales por parte de la flora nativa.

No se identifican compuestos organoclorados en agua y sedimento del río San Juan, sólo se identifica el bis(2-etilhexil)ftalato en sedimentos. Se requiere investigación sistemática selectiva dirigida de los analitos detectados identificados o no para posteriormente cuantificarlos.

Los sedimentos por sí solos representan un enigma en cuanto a su composición y tamaño de partícula lo cual determina su interacción actual con las especies metálicas y orgánicas presentes a lo largo del río San Juan.

PERSPECTIVAS

- a. Se requiere monitoreo sistemático de agua y sedimento que permitan una comparación (promedio diario y promedio mensual) adecuada a la NOM-001-ECOL-1996 y límites máximos permisibles internacionales. Los muestreos puntuales efectuados en el presente trabajo no pueden ser comparados con los promedios de muestreos diarios de muestras compuestas y mucho menos con los promedios mensuales que indica la norma referida. El presente trabajo es sólo una aproximación para conocer las condiciones ambientales del río San Juan.
- b. Se necesita evaluar la biodisponibilidad de metales en sedimento. La ausencia de metales en agua del río San Juan de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996 no garantiza que no exista contaminación con metales en el río. Conocer las propiedades fisicoquímicas de los sedimentos y su relación con los metales circulantes en el río permitirá establecer los mecanismos bajo los cuáles se está afectando o se puede afectar la viabilidad del río San Juan.

- c. La cualificación de compuestos orgánicos en sedimento debe complementarse con su cuantificación. Es necesario establecer los riesgos que tiene todo ser vivo al hacer uso del río de manera directa e indirecta en función de los analitos y sus cantidades que circulan por el río San Juan.
- d. Los compuestos orgánicos detectados no identificados en agua y sedimento requieren una evaluación posterior que los identifique. Un censo previo al análisis de los desechos industriales, domésticos y agrícolas posibles predominantemente usados en la región serviría para establecer prioridades y eficientizar recursos.
- e. Se propone monitorear sistemáticamente durante al menos un ciclo anual, los siguientes sitios de muestreo:
 - Presa Constitución 1857
 - Parque de los Abuelos
 - San Isidro
 - Después de la descarga de JAPAM
 - Presa Centenario

Los anteriores sitios son los de mayor flujo visible de agua observado durante los muestreos realizados en el presente estudio, de fácil acceso y en cada sitio se han encontrado niveles de contaminación con diferente graduación. Se propone que los muestreos en presas se hagan en la cortina de las mismas por ser un punto de fácil acceso, además de que son puntos de reunión de los contaminantes, sí es que existieran en el momento. Los demás sitios cuentan con un puente que facilita el acceso. Es obligado considerar la normatividad mexicana vigente aplicable al muestreo y análisis de las muestras o cuando no existieran, otras normatividades internacionales.

VI. LITERATURA CITADA

- Adomako D., B. J. B. Nyarco, S. B. Dampare, Y. Serfor-Armah Y., S. Osaе, J.R. Fianko and E. H. K. Akaho. 2007. Determination of toxic elements in waters and sediments from River Subin in the Ashanti Region of Ghana. *Environ Monit Assess* (2008) 141:165–175.
- Ahnstrom, Z. S., Parker and D. R. Parkerd. 1999. Development and assessment of a sequential extraction procedure for the fractionation of soil cadmium. *Soil Science Society of America Journal*, 63, 1650–1658.
- Alloway B.J. 1995. *Heavy Metals in Soils*. Second Edition. Blackie Academic and Professional, Glasgow, p 11-13.
- Arévila A., B. Jiménez, y J. Ramos.1997. Evaluación de la contaminación dispersa por agroquímicos en México, *Revista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, año 9, # 31, pp. 22-32, enero-marzo.
- Argemi F., N. Cianni y A. Porta. Disrupción endocrina: perspectivas ambientales y salud pública. *Acta bioquím. clín. latinoam.* [revista en la Internet]. 2005 Sep [citado 2012 Dic 29]; 39(3): 291-300. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-29572005000300004&lng=es.
- ATSDR. 2010a. Toxicological profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- ATSDR. 2010b. Toxic Substances Portal. (DEHP) [Di(2-ethylhexyl) phthalate]. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Ayala E. R. 2006. *Geografía e Historia*, San Juan del Río, 3ª Edición, Presidencia Municipal de San Juan del Río.
- Barceló Q.I.D., A.L. Bussy, H.E. Solís, P. Avila, L. Carapia y L.A. Barrios. 2002. Evaluación de los contaminantes metálicos de los sedimentos de la Presa J. A. Alzate en el estado de México. *Memorias del XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Cancún, México, 27 al 31 de Octubre, 2002.
- Bekbolet, M., Yenigun, O. and Yucel, I. 1999. 'Sorption studies of 2,4-D on selected soils', *Water, Air, and Soil Pollution* 111(1), 75-88.
- Campos M.E., Norma G.R., Alma V.R., y Magdalena G.F. Análisis básico del rehuso de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales en suelos de pradera del parque nacional Nevado de Toluca. *Quivera* [en línea] 2009, vol. 11 ISSN 1405-8626. [citado 2012-09-23]. Disponible en Internet: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=40113786003>.
- Centro Queretano de Recursos Naturales. 2011. *Diagnóstico Ambiental Integral de la Ciudad de San Juan del Río, Querétaro*, Octubre 2011, CONCYTEQ. Tomo XVII-Reporte técnico, páginas 29 y 68.

- Chapman, D. 1992. Water Quality Assessments: A guide to the use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. UNESCO, WHO, UNEP. Chapman & Hall. Inglaterra.
- Chester, R., & Voutsinou, F. 1981. The essential assessment of trace metal pollution in coastal sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 12, 84–91.
- CEC (COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES). Bruselas: Commission staff working document on implementation of the Community Strategy for Endocrine Disrupters. 1999.
- CONAGUA. 2008. Evaluación del riesgo sanitario ecológico en la cuenca del Río San Juan del Río. Subgerencia de Estudios de Calidad del Agua e Impacto Ambiental.
- Cotman M., Drolc A. and Zagorc K. J. 2008. Assessment of Pollution Loads from Point and Diffuse Sources in Small River Basin: Case Study Ljubljanica River. *Environmental Forensics*, 9:246–251.
- Dallinger, R., Prosi, F., Segner, H., Back, H. 1987. Contaminated food and uptake of heavy metals by rainbow trout (*Salmo gairdneri*): A field study. *Oecologia* 73: 91-98.
- De los Ríos, D. C. F. G. 1997. Políticas ambientales industriales en México: prácticas de licenciamiento. Memorias del Taller Internacional sobre Prácticas de Regulación Directa y Certificación Ambiental. San Juan del Río, Querétaro del 19 al 21 Mayo de 1997.
- ECPI. 2001. European Council for Plasticisers and Intermediates. Eco-profile of high volume commodity phthalate esters (DEHP/DINP/DIDP). ECOBILAN. Price Waterhouse Coopers. La Défense, France.
- EPA. 1995. http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/upload/525_2SOCs.pdf Method 525.1, Determination of Organic Compound in Drinking Water by Liquid-Solid Extraction and Capillary Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry. Review 2.0. Last updated on Monday, May 21, 2012.
- EPA. 2007. www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/.../3540c.pdf. Method 3540C, Procedure for extracting nonvolatile and semivolatile organic compounds from solids such as soils, sludges, and wastes (Soxhlet extraction). Review 3.0. Last updated on Monday, May 21, 2012.
- EPA. 2012. <http://water.epa.gov/drink/contaminants/basicinformation/di2-ethylhexylphthalate.cfm>. Last updated on Monday, May 21, 2012.
- Ettler V., Mihaljevic M., Matura M., Skalová M., Sebek O., Bezdicka P. 2008. Temporal Variation of Trace Elements in Waters Polluted by Municipal Solid Waste Landfill Leachate. *Bull Environ Contam Toxicol* (2008) 80:274–279.
- Fernández B. A., Mario Y. R. y José C. D. 2004. Compiladores. Las sustancias tóxicas persistentes en México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. INE.

- Gale, N.L., Adams, C., Wixson, B., Loftin, K., Huang, Y. 2004. Lead, zinc, copper, and cadmium in fish and sediments from the Big River and Flat River Creek of Missouri's Old Lead Belt. *Environmental Geochemistry and Health* 26: 37-49.
- Glynn J. G. y Heinke G. W. 1999. *Ingeniería Ambiental*, 2ª Edición, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, México, página 422.
- González F. E., Tornero C. M. A., Ángeles C. Y. y Bonilla y F. N. 2009. Concentración total y especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano. 2008. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, v. 25, n. 1, México.
- Hashimoto S., Horiuchi A., Yoshimoto T., Nakao M., Omura H., Kato Y., Tanaka H., Kannan K., Giesy J.P. 2004. Horizontal and Vertical Distribution of Estrogenic Activities in Sediments and Waters from Tokyo Bay, Japan. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 48, 209–216 (2005).
- INEGI. 2011a. Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (ITAEE) durante el cuarto trimestre de 2011. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. 2011b. *Perspectiva Estadística de Querétaro*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Irwin RJ, M van Mouwerik, L Stevens, MD Seese & W Basham. 1997. *Environmental contaminants encyclopedia*. National Park Service, Water Resources. Division, Fort Collins, Colorado [en línea] <http://www.nature.nps.gov/hazardssafety/toxic/index.cfm>
- Iwata, H., Tanabe, S., Sakai, N., Tatsukawa, R. 1993. Distribution of persistent organochlorines in the oceanic air and surface seawater and the role of ocean on their global transport and fate. *Environmental Science and Technology*, 27, 1080-1098.
- Jensen D.L., Ledin A. and Christensen T.H. 1999. Speciation of heavy metals in landfill leachate polluted groundwater. *Water Res* 33:2642–2650.
- Jiménez B., Navarro I. y Ramos J. 1994. "Tratamiento de tóxicos prioritarios". *Revista de Ingeniería Ambiental, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, año 7, 24, 38-52. México, D.F
- Jiménez C. B. E. 2005. *La contaminación ambiental en México, causas, efectos y tecnología apropiada*, p.50, México, D.F.
- Jiménez C. B. E. 2007. *Información y calidad del agua en México Trayectorias*, vol. IX, núm. 24, mayo-agosto, pp. 45-56. Universidad Autónoma de Nuevo León México.
- Karaer F. and Kucukballi A. 2006. Monitoring of water quality and assessment of organic pollution load in the Nilufer Stream, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* (2006) 114: 391–417.
- Kawano, M. T., Inoue, T., Wada, H., Tatsukakawa, R. 1988. Bioconcentration and residue patterns of chlordane compounds in marine animals: invertebrates,

- fish, mammals, and seabirds. *Environmental Science and Technology*, 22, 792-797.
- Khim , S. J., Kannan, K., Villeneuve, L. D., Koh, H. C. and Giesy, P. J.1999. 'Characterization and distribution of trace organic contaminants in sediment from Massan Bay, Korea. I. Instrumental analysis', *Environ. Sci. Technol.* 33(23):4199-4025.
- Leal M.T., Saúl M., Elena M. O.S., Francisco P. G. y Alberto J. G. 2009. Contaminación por metales en la laguna El limón, Chiapas, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10: 425-421.
- León V. L. F. 1991. Índices de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Paseo Cuauhnáhuac # 8532, 62550 Jiutepec, Morelos, México.
- Lester J. N. 1987. *Heavy Metals in Wastewater and Sludge Treatment Processes*, Vol. II, Treatment and Disposal, Ed. CRC Press, 183 pp. Estados Unidos.
- Long ER and D.D. MacDonald. 1998. Recommended uses of empirically derived sediment quality guidelines for marine and estuarine ecosystems. *Human Ecol Risk Assess* 4:1019–1039
- Mahamud L.M., Antonio G.L. y Herminio S.A. 1996. Biosólidos generados en la depuración de aguas (I): planteamiento del problema. *Ingeniería del Agua*. Vol. 3 Num. 2 (junio 1996) p. 47.
- Manahan E. Stanley. 2007. *Introducción a la Química Ambiental*. 1ª Edición, Editorial Reverte, UNAM, Barcelona España, páginas 74 y 146.
- Maskaoui Khalid, Hu Zong E. 2007. Contamination and Ecotoxicology risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Shantou Coastal Waters, China. *Bull Environ Contam Toxicol* (2009) 82:172–178.
- NOAA. 1999. National Oceanic Atmospheric Administration. *Sediment Quality Guidelines*.
- 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.
- Norma Mexicana NMX-AA-003-1980, Aguas Residuales-Muestreo, que establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las normas de métodos de pruebas correspondientes.
- Norma Mexicana NMX-AA-004-SCFI-2000, que establece el método de prueba para la determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

- Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos. -Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
- Norma Mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001, que establece el método de análisis para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
- Norma Mexicana NMX-AA-030-SCFI-2001, que especifica dos métodos para la determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
- Norma Mexicana NOM-AA-34-1981, que establece los métodos para la determinación del contenido de sólido totales, sólidos totales volátiles, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos disueltos totales y sólidos disueltos volátiles, en aguas naturales y residuales.
- Norma Mexicana NMX-AA-051-1981, que establece el método espectrofotométrico de absorción atómica para la determinación de bario, cadmio, plomo, cromo, cobre, mercurio, selenio, arsénico, níquel y zinc que se encuentran disueltos y suspendidos en aguas naturales y residuales.
- Norma Mexicana NMX-AA-071-1981 que establece el método para la determinación de plaguicidas organoclorados por cromatografía de gases en aguas naturales y residuales.
- Norma Mexicana NOM-127-SSA1-1994 que establece límites máximos permisibles de la calidad del agua, control y vigilancia de los sistemas de almacenamiento en agua para uso y consumo humano.
- Oehme, M., Mano, S. 1984. The long range transport of organic pollutants to the Arctic. *Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie*, 319, 141-146.
- Ortiz H.Ma.L., Margarita E.G.R. y Enrique S.S. 1995. Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del Valle de Cuernavaca, Estado de Morelos, México.
- Persaud, D., Jaagumagi, R., Hayton, A. 1993. Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario. Queen's Printer for Ontario. Canadá. 24 pp.
- Pulkrabová J, Suchanová M, Tomaniová M., Kocourek V. And Hajslová J. 2008. Organic Pollutants in Areas Impacted by Flooding in 2002. A 4 -Year Survey. *Bull Environ Contam Toxicol* (2008) 81:299-304.
- Qing Lu Wen, HuaXie Shao, Shan Zhou Wen, Hui Zhang Shao and Lin Liu Ai. 2008. Water Pollution and Health Impact in China : A Mini Review. *Open Environmental Sciences*, 2008, 2, 1-5.
- Qiu, X. H., Zhu, T., Li, J., Pan, H. S. 2004. Organochlorine Pesticides in the air around the Taihu Lake, China. *Environmental Science and Technology*, 38, 1368-1374.

- SEDESU. Directorio Maestro Empresarial, página oficial del Gobierno del Estado de Querétaro consultada el 20 de Agosto del 2012.
- SEMARNAT. Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Gestión e Información Ambiental, Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental, reporte 2000, páginas 114, 125 y 126.
- SEMARNAT. Norma Oficial Mexicana. NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- SEMARNAT. Informe de la situación del medio ambiente en México, Compendio de Estadísticas Ambientales, Edición 2008, capítulo 6 y dimensión ambiental.
- Salomons W. and Förstner U. 1980. Trace Metals Analysis on Polluted Sediments. Part 2. *Envir. Technol. Lett.*, **1**, 506-517.
- Salomons W., 1985, Sediments and water quality. *Sci. Technol. Lett.*, **6**, 315-326.
- Singh A. P., Srivastava P.C. & Srivastava P. 2007 (Published online). Relationships of Heavy Metals in Natural Lake Waters with Physico-chemical Characteristics of Waters and Different Chemical Fractions of Metals in Sediments. *Water Air Soil Pollut*, 2008, 188:181-193.
- Spark, K. M. and Swift, R. S. 2002. 'Effect of soil composition and dissolved organic matter on pesticide sorption', *The Science of the Total Environment* 298 (1-3), 147-161.
- Staples, A. C., Dorn, B. P., Klecka, M. G., O'Block, T. S. and Harris, R.L. 1998. 'A review of the environmental fate, effects, and exposures of Bisphenol A', *Chemosphere* 36 (10), 2149-2173.
- Sun W. L., J. R. Ni, K.C. O'Brien, P.P. Hao and L.Y. Sun. 2005. Adsorption of Bisphenol A on Sediments in the Yellow River. *Water, Air, and Soil Pollution* (2005) 167: 353-364.
- Szalinska, E., Haffner, G.D., Drouillard, K.G. 2007. Metals in the sediments of the Huron-Erie Corridor in North America: Factors regulating metal distribution and mobilization. *Lake & Reservoirs: Research and Management*. 12: 217-236.
- Tanabe, S. Iwata, H. Tatsukawa, R. 1994. Global contamination by persistent organochlorine and their ecotoxicological impact on marine mammals. *Science of the Total Environment*, 154, 163-177.
- Tao, S., Xu, F. L., Wang, J., Liu, W. X., Gong, Z. M., Fang, J., et al. 2005. Organochlorine pesticides in agriculture soil and vegetables from Tianjin, China. *Environmental Science and Technology*, 39, 2494-2499.
- Tieser A., Campell P.G.C. and Bisson M. 1979. Secuential Extraccion Procedure for the Speciation of Particulate Metals. *Anal. Chem.*, 51, 844-851.

- Tokalioglu, S., S. Kart and S. Gunes. 2000. Determinations of heavy metals in soil extract and plant tissues at around of a zinc smelter. *Intl. J. Environ. Anal. Chem.*, 80: 2010-2017.
- Van Der Weiden MEJ, De Bruijn JHM & Van Leeuwen CJ. 1994. Environmental quality objectives in the Netherlands. Risk Assessment and Environmental Quality Division, Directorate for Chemicals, External Safety and Radiation Protection, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, The Hague.
- Volke, T., Velasco, J. y De la Rosa, D. 2005. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Instituto Nacional de Ecología. Pp 23.
- Zhang, G., Andrew, P., Alan, H., Mai, B. X. 2002. Sedimentary records of DDT and HCH in the Pearl River Delta, South China. *Environmental Science and Technology*, 36, 3671-3677.
- Zhou Rongbing, Yuyun Chen Lizhong Zhu. 2007. Levels and source of organochlorine pesticides in surface waters of Qiantang River, China. *Environ Monit Assess* (2008) 136:277–28.

APÉNDICE 1

Cuadros comparativos de concentraciones detectadas de metales en agua y límites permisibles de muestreos efectuados del 20/07/10 al 12/02/11.

Cuadro A.1. Concentraciones de metales en agua (mg/l) del muestreo hecho el 20/07/2010.

SITIOS	Arsénico	Mercurio	Cadmio	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
Presa "Constitución 1917".	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.0886
Central Camionera.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.1219
Parque "Los Abuelos".	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.1773
Puente de Hierro.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.1770
San Isidro.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.1800
Después de la descarga de Ponderosa.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.9
Después de la descarga de JAPAM.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7.7562
Presa "La Llave".	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.7174
Presa "Centenario".	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.8587
Límite de detección (mg/l)	0.0016	0.0170	0.0397	0.0117	0.0319	0.1599	0.3596	0.0091
Límite de cuantificación (mg/l)	0.0026	0.0284	0.0595	0.0176	0.0479	0.2399	0.5394	0.0137
Límite máximo permisible (mg/l)	P.M. 0.01 P.D. 0.2	P.M. 0.005 P.D. 0.01	P.M. 0.1 P.D. 0.2	P.M. 4.0 P.D. 6.0	P.M. 0.5 P.D. 1.0	P-M. 2 P.D. 4	P.M. 0.2 P.D. 0.4	P.M. 10 P.D. 20

P.M. promedio mensual, P.D. promedio diario. . *= Área seca. nd= no detectable.

Cuadro A.2. Concentraciones de metales en agua (mg/l) del muestreo hecho el 29/07/2010.

SITIOS	Arsénico	Mercurio	Cadmio	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
Presa "Constitución 1917".	nd	nd nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Central Camionera.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Parque de "Los Abuelos".	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Puente de Hierro.	nd	nd	nd	nd	0.8246	nd	nd	nd
San Isidro.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Después de la descarga de Ponderosa.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Después de la descarga de JAPAM.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Presa "La Llave".	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Presa "Centenario".	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Límite de detección (mg/l)	0.0016	0.0170	0.0397	0.0117	0.0319	0.1599	0.3596	0.0091
Límite de cuantificación (mg/l)	0.0026	0.0284	0.0595	0.0176	0.0479	0.2399	0.5394	0.0137
Límite máximo permisible (mg/l)	P.M. 0.01 P.D. 0.2	P.M. 0.005 P.D. 0.01	P.M. 0.1 P.D. 0.2	P.M. 4.0 P.D. 6.0	P.M. 0.5 P.D. 1.0	P-M. 2 P.D. 4	P.M. 0.2 P.D. 0.4	P.M. 10 P.D. 20

P.M. promedio mensual, P.D. promedio diario . *= Área seca. nd= no detectable.

Cuadro A.3. Concentraciones de metales en agua (mg/l) del muestreo hecho el 21/12/2010.

SITIOS	Arsénico	Mercurio	Cadmio	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
Presa "Constitución 1917".	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.3623
Central Camionera.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.3933
Parque "Los Abuelos".	nd	nd	nd	nd	0.0717	nd	nd	0.3319
Puente de Hierro.	nd	nd	nd	nd	0.1075	nd	nd	0.2089
San Isidro.	nd	nd	nd	nd	0.0717	nd	nd	0.5773
Después de la descarga de Ponderosa.	nd	nd	nd	nd	0.0717	nd	nd	0.1784
Después de la descarga de JAPAM.	nd	nd	nd	nd	0.1075	nd	nd	0.3319
Presa "La Llave".	*	*	*	*	*	*	*	*
Presa "Centenario".	nd	nd	nd	nd	0.0717	nd	nd	0.0500
Límite de detección (mg/l)	0.0016	0.0170	0.0397	0.0117	0.0319	0.1599	0.3596	0.0091
Límite de cuantificación (mg/l)	0.0026	0.0284	0.0595	0.0176	0.0479	0.2399	0.5394	0.0137
Límite máximo permisible (mg/l)	P.M. 0.01 P.D. 0.2	P.M. 0.005 P.D. 0.01	P.M. 0.1 P.D. 0.2	P.M. 4.0 P.D. 6.0	P.M. 0.5 P.D. 1.0	P-M. 2 P.D. 4	P.M. 0.2 P.D. 0.4	P.M. 10 P.D. 20

P.M. promedio mensual, P.D. promedio diario. . *= Área seca nd= no detectable.

Cuadro A.4. Concentraciones de metales en agua (mg/l) del muestreo hecho el 12/02/2011.

SITIOS	Arsénico	Mercurio	Cadmio	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
Presa "Constitución 1917".	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Central Camionera.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Parque "Los Abuelos".	nd	nd	nd	nd	0.0717	nd	nd	nd
Puente de Hierro.	nd	nd	nd	nd	0.1075	nd	nd	nd
San Isidro.	nd	nd	nd	0.2000	0.0717	nd	nd	nd
Después de la descarga de Ponderosa.	nd	nd	nd	nd	0.0717	nd	nd	nd
Después de la descarga de JAPAM.	nd	nd	nd	nd	0.1075	nd	nd	nd
Presa "La Llave".	*	*	*	*	*	*	*	*
Presa "Centenario".	nd	nd	nd	nd	0.0717	nd	nd	nd
Límite de detección (mg/l)	0.0016	0.0170	0.0397	0.0117	0.0319	0.1599	0.3596	0.0091
Límite de cuantificación (mg/l)	0.0026	0.0284	0.0595	0.0176	0.0479	0.2399	0.5394	0.0137
Límite máximo permisible (mg/l)	P.M. 0.01 P.D. 0.2	P.M. 0.005 P.D. 0.01	P.M. 0.1 P.D. 0.2	P.M. 4.0 P.D. 6.0	P.M. 0.5 P.D. 1.0	P-M. 2 P.D. 4	P.M. 0.2 P.D. 0.4	P.M. 10 P.D. 20

P.M. promedio mensual, P.D. promedio diario. *= Área seca. nd= no detectable.

APÉNDICE 2

Cuadros comparativos de concentraciones detectadas de metales en sedimento y límites permisibles de muestreos efectuados del 20/07/10 al 12/02/11.

Cuadro A.5. Comparativo de concentración detectada de metales en sedimento y límites permisibles (mg/kg) del muestreo del 20/07/10.

	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Límite de apreciación de pocos efectos biológicos adversos de Canadá ¹ .	20	0.17	0.6	37	35	18	35	120
Límite de efectos adversos biológicos mínimos de Ontario ² .	6	0.2	0.6	26	16	16	31	120
Límite de efectos adversos biológicos severos de Ontario ² .	33	2	10	110	110	75	250	820
Valores guía para efectos biológicos medianos de USA ³ .	70	0.71	9.6	370	270	51.6	218	410
Límite máximo de metales en sedimentos ⁴ .	55	10	12	SR	73	SR	530	620
Presa "Constitución 1917".	N.A.	N.A.	nd	nd	17	nd	nd	38
Central Camionera	N.A.	N.A.	nd	nd	8	nd	nd	40
Parque "Los Abuelos".	N.A.	N.A.	nd	nd	45	nd	nd	39
Puente de Hierro	N.A.	N.A.	nd	nd	12	nd	nd	31
San Isidro	N.A.	N.A.	nd	nd	10	nd	nd	SS
Después de la descarga de Ponderosa	N.A.	N.A.	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Después de la descarga de JAPAM	N.A.	N.A.	10.0	nd	36	nd	nd	81
Presa "La Llave".	N.A.	N.A.	nd	nd	6	nd	nd	26
Presa "Centenario".	N.A.	N.A.	nd	nd	14	nd	nd	38
Límite de detección (mg/l)	0.0016	0.0047	0.0397	0.0319	0.0117	0.1599	0.3596	0.0091
Límite de cuantificación (mg/l)	0.0026	0.0284	0.0595	0.0176	0.0479	0.2399	0.5394	0.0137

1. Irwin et al., 1997 , 2. Persaud et al., 1993, 3. NOAA, 1999. 4. Van Der Weiden et al., 1994

NA= No aplica; la metodología no es apropiada para sedimentos. SS= Sin sedimento. SR= sin referencia.

Las concentraciones de metales en sedimento pueden ser divididas por un factor de 50 sólo para efectos de comparar con los límites de detección y cuantificación.

Cuadro A.6. Comparativo de concentración detectada de metales en sedimento y límites permisibles (mg/kg) del muestreo del 29/07/10.

	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Límite de apreciación de pocos efectos biológicos adversos de Canadá ¹ .	20	0.17	0.6	37	35	18	35	120
Límite de efectos adversos biológicos mínimos de Ontario ² .	6	0.2	0.6	26	16	16	31	120
Límite de efectos adversos biológicos severos de Ontario ² .	33	2	10	110	110	75	250	820
Valores guía para efectos biológicos medianos de USA ³ .	70	0.71	9.6	370	270	51.6	218	410
Límite máximo de metales en sedimentos ⁴ .	55	10	12	SR	73	SR	530	620
Presa “Constitución 1917”	N.A.	N.A.	nd	nd	8	nd	nd	24
Central Camionera	N.A.	N.A.	nd	nd	SS	nd	nd	14
Parque “Los Abuelos”.	N.A.	N.A.	nd	nd	3	nd	nd	19
Puente de Hierro	N.A.	N.A.	nd	18	6	nd	nd	121
San Isidro	N.A.	N.A.	nd	18	29	nd	nd	6
Después de la descarga de Ponderosa	N.A.	N.A.	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Después de la descarga de JAPAM	N.A.	N.A.	10.0	nd	6	nd	nd	25
Presa “La Llave”.	N.A.	N.A.	nd	nd	10	nd	nd	19
Presa “Centenario”.	N.A.	N.A.	nd	nd	6	nd	nd	6
Límite de detección (mg/l).	0.0016	0.0047	0.0397	0.0319	0.0117	0.1599	0.3596	0.0091
Límite de cuantificación (mg/l)	0.0026	0.0284	0.0595	0.0176	0.0479	0.2399	0.5394	0.0137

1. Irwin et al., 1997 , 2. Persaud et al., 1993, 3. NOAA, 1999, 4. Van Der Weiden et al., 1994

NA= No aplica; la metodología no es apropiada para sedimentos.SS= Sin sedimento SR= sin referencia

Las concentraciones de metales en sedimento pueden ser divididas por un factor de 50 sólo para efectos de comparar con los límites de detección y cuantificación.

Cuadro A.7. Comparativo de concentración detectada de metales en sedimento y límites permisibles (mg/kg) del muestreo del 21/12/10.

	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Límite de apreciación de pocos efectos biológicos adversos de Canadá ¹ .	20	0.17	0.6	37	35	18	35	120
Límite de efectos adversos biológicos mínimos de Ontario ² .	6	0.2	0.6	26	16	16	31	120
Límite de efectos adversos biológicos severos de Ontario ² .	33	2	10	110	110	75	250	820
Valores guía para efectos biológicos medianos de USA ³ .	70	0.71	9.6	370	270	51.6	218	410
Límite máximo de metales en sedimentos ⁴ .	55	10	12	SR	73	SR	530	620
Presa "Constitución 1917".	N.A.	N.A.	nd	SS	SS	nd	nd	SS
Central Camionera	N.A.	N.A.	nd	25	19	nd	nd	53
Parque "Los Abuelos".	N.A.	N.A.	nd	14	3	nd	nd	19
Puente de Hierro	N.A.	N.A.	nd	SS	SS	nd	nd	SS
San Isidro	N.A.	N.A.	nd	25	14	nd	nd	29
Después de la descarga de Ponderosa	N.A.	N.A.	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Después de la descarga de JAPAM	N.A.	N.A.	nd	39	87	nd	nd	343
Presa "La Llave".	N.A.	N.A.	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Presa "Centenario".	N.A.	N.A.	nd	18	4	nd	nd	40
Límite de detección (mg/l).	0.0016	0.0047	0.0397	0.0319	0.0117	0.1599	0.3596	0.0091
Límite de cuantificación (mg/l)	0.0026	0.0284	0.0595	0.0176	0.0479	0.2399	0.5394	0.0137

1. Irwin et al., 1997, 2. Persaud et al., 1993, 3. NOAA, 1999, 4. Van Der Weiden et al., 1994

NA= No aplica; la metodología no es apropiada para sedimentos. SS= Sin sedimento. SR= sin referencia

Las concentraciones de metales en sedimento pueden ser divididas por un factor de 50 sólo para efectos de comparar con los límites de detección y cuantificación

Cuadro A.8. Comparativo de concentración detectada de metales en sedimento y límites permisibles (mg/kg) del muestreo del 12/02/11.

	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Límite de apreciación de pocos efectos biológicos adversos de Canadá ¹ .	20	0.17	0.6	37	35	18	35	120
Límite de efectos adversos biológicos mínimos de Ontario ² .	6	0.2	0.6	26	16	16	31	120
Límite de efectos adversos biológicos severos de Ontario ² .	33	2	10	110	110	75	250	820
Valores guía para efectos biológicos medianos de USA ³ .	70	0.71	9.6	370	270	51.6	218	410
Límite máximo de metales en sedimentos ⁴ .	55	10	12	SR	73	SR	530	620
Presa Constitución	N.A.	N.A.	nd	nd	nd	nd	nd	6
Central Camionera	N.A.	N.A.	nd	nd	nd	nd	nd	6
Parque “Los Abuelos”.	N.A.	N.A.	nd	nd	nd	nd	nd	7
Puente de Hierro	N.A.	N.A.	nd	nd	nd	nd	nd	6
San Isidro	N.A.	N.A.	nd	nd	64	nd	nd	7
Después de la descarga de Ponderosa	N.A.	N.A.	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Después de la descarga de JAPAM	N.A.	N.A.	11.8	nd	11	nd	nd	27
Presa “La Llave”.	N.A.	N.A.	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Presa “Centenario”.	N.A.	N.A.	nd	nd	nd	nd	7	4
Límite de detección (mg/l).	0.0016	0.0047	0.0397	0.0319	0.0117	0.1599	0.3596	0.0091
Límite de cuantificación (mg/l)	0.0026	0.0284	0.0595	0.0176	0.0479	0.2399	0.5394	0.0137

1. Irwin et al., 1997, 2. Persaud et al., 1993, 3. NOAA, 1999, 4. Van Der Weiden et al., 1994

NA= No aplica; la metodología no es apropiada para sedimentos. SS= Sin sedimento. SR= sin referencia.

Las concentraciones de metales en sedimento pueden ser divididas por un factor de 50 sólo para efectos de comparar con los límites de detección y cuantificación