

Ensayo de Investigación

Calidad del agua del río Copalita (parte baja), Oaxaca, México

Recibido: 17-06-2021 Aceptado: 20-08-2021 (Artículo Arbitrado)

Resumen

En este trabajo se estudió la calidad del agua del río Copalita localizado en Santa María Huatulco a fin de caracterizarlo. Se realizó una campaña de muestreo en febrero de 2020, la medición del caudal se llevó a cabo mediante correntómetro portátil. Las determinaciones de parámetros *in situ* (pH, temperatura, OD y conductividad eléctrica) se realizaron mediante sistema multiparámetro. Los cationes y aniones mayores analizados en el laboratorio fueron: cloruros, alcalinidad, dureza, sólidos suspendidos totales, nitratos, sulfatos, fósforo total, fluoruros y sodio de acuerdo a los métodos estandarizados descritos en el APHA-AWWA. Los análisis de Pb, Cd, Cr, Cu, Zn y As en muestras de agua y sedimentos se cuantificaron mediante equipo de emisión de plasma. Los resultados de parámetros fisicoquímicos y elementos potencialmente tóxicos en agua se encuentran por debajo de los límites permisibles de la norma oficial mexicana (NOM 127-SSA1-1994). En los sedimentos las concentraciones de los elementos analizados fueron bajas e inferiores a los valores guía ambientales canadienses. Se concluye que el agua del río Copalita es de buena calidad fisicoquímica y los sedimentos contienen bajas concentraciones de metales y metaloides por lo que no existen riesgos de presentar efectos biológicos adversos.

Abstract

In this paper, the water quality of the Copalita river located in Santa Maria Huatulco was studied. A sampling campaign was performed in February 2020, and the flow measurement was carried out by a portable current meter. Determinations of *in situ* parameters such as pH, temperature, OD and electrical conductivity were measured using a multiparameter system. The main cations and anions analyzed in the laboratory were chlorides, alkalinity, hardness, total suspended solids, nitrates, sulfates, total phosphorus, fluorides and sodium according to the standardized methods described in APHA-AWWA. Analyses of Pb, Cd, Cr, Cu, Zn and As in water and sediment samples were quantified using plasma emission equipment. The results for the physicochemical parameters and potentially toxic elements in water are below the permissible limits of the official Mexican standard (NOM 127-SSA1-1994). In the sediments, low concentrations of the elements analyzed were found and were lower than Canadian environmental guidelines. It is concluded that the water from the Copalita river is of good physicochemical quality and the sediments contain low concentrations of metals and metalloids, meaning that there is no risk of adverse biological effects.

Résumé

Dans ce travail, la qualité de l'eau du fleuve Copalita situé à Santa María Huatulco a été étudiée afin de la caractériser. Une campagne sur terrain a été réalisée en février 2020 pour prendre des échantillons et la mesure du couler a été réalisée à l'aide d'un instrument spécifique pour cela. Les déterminations des paramètres *in situ* (pH, T, OD et conductivité électrique) ont été effectuées à l'aide d'un système multiparamétrique. Les cations et anions analysés en laboratoire étaient: les chlorures, l'alcalinité, la dureté, les matières en suspension totales, les nitrates, les sulfates, le phosphore total, les fluorures et le sodium selon les méthodes normalisées décrites dans l'APHA-AWWA. Les analyses de Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn et As dans des échantillons d'eau et de sédiments ont été quantifiées au moyen d'équipements d'émission de plasma. Les résultats des paramètres physico-chimiques et des éléments potentiellement toxiques dans l'eau sont inférieurs aux limites admissibles de la Norme Officielle Mexicaine (NOM 127-SSA1-1994). Dans les sédiments, les concentrations des éléments analysés étaient inférieures aux valeurs guides environnementales canadiennes. Il est conclu que l'eau du fleuve Copalita est de bonne qualité physico-chimique et que les sédiments contiennent de faibles concentrations de métaux et de métalloïdes, il n'y a donc aucun risque de présenter des effets biologiques négatifs.

Elsa Mendoza Amézquita^{1*}
Jens Andreas Seim²

Palabras clave: Calidad del agua, sedimentos, metales, parámetros fisicoquímicos.
Keywords: Water quality, sediments, metals, physicochemical parameters.
Mots-clés: Qualité de l'eau, sédiments, métaux, paramètres physico-chimiques.

Correspondencia:
*amezquitaelsa96@gmail.com

¹Ingeniería en Energías Renovables
²Ingeniería de Petróleos
Instituto de Energía
Universidad del Istmo campus Tehuantepec

Introducción

Los ríos son sistemas dinámicos que modifican su naturaleza debido a cambios como las pendientes y la geología del lecho a lo largo de su curso (Bellos y Sawidis, 2005). Para estudiar la calidad del agua se comparan sus características físicas, químicas y bacteriológicas con unas directrices de calidad del agua o estándares establecidos en normas o reglamentos de acuerdo a criterios definidos de uso del agua (Kowalkowski et al., 2006).

En la bibliografía existen estudios de contaminación del agua superficial y subterránea que describen distintos tipos de contaminantes orgánicos, inorgánicos y bacteriológicos (Gelover et al., 2000; Méndez-García et al., 2000; Rivera-Vázquez et al., 2007).

De acuerdo a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en México las descargas de aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas y pecuarias sin tratamientos desembocan en cuerpos de agua receptores lo que provoca que se deteriore la calidad del agua (superficiales y subterráneas), lo que pone en riesgo la salud de la población y la integridad de los ecosistemas.

Actualmente gran parte de los cuerpos de agua del país presentan deterioro de la calidad del agua lo que afecta el abastecimiento de agua pública y afectación en las actividades agrícolas, así como la pérdida de la flora y fauna acuática existente. Con el incremento de contaminantes antropogénicos que no se pueden degradar se rebasa la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua. Algunos autores estiman que, en el 2025, más de la mitad de la población de la tierra se verá afectada por la escasez y deterioro del agua (Kulshreshtha, 1998).

Los metales pesados en sistemas acuáticos y sedimentos provienen de fuentes naturales y antropogénicas, la distribución y acumulación de metales son influenciadas por la composición mineralógica, textura del sedimento, procesos de adsorción, desorción, óxido-reducción y transporte físico. Sin embargo, los metales pueden ser adsorbidos en la columna de agua en la superficie de fracciones finas como limos y arcillas. Los metales también participan en varios procesos biogeoquímicos, pueden ser movilizados y bioacumulados por organismos vivos, con lo que se hacen tóxicos para el ambiente y la vida humana (Abdul-Aziz et al., 2010; Resmi et al., 2010; Ahmad et al., 2010).

La acumulación de metales pesados en los organismos acuáticos que se consumen es un riesgo directo para la salud humana puesto que éstos constituyen uno de los contaminantes más importantes en el ambiente acuático debido a su elevada toxicidad y presentan efectos desfavorables para la salud (Nava et al., 2011).

Las concentraciones de elementos potencialmente tóxicos en las aguas de corrientes fluviales asociados a sulfuros de Zn, Cu, Pb, Cd y As pueden ser atribuidos a la minería e impactan el medio ambiente. Una vez que las descargas de aguas contaminadas desembocan a cuerpos de agua, los metales y metaloides se precipitan y forman complejos con los óxidos, ácidos húmicos y se incorporan en los sedimentos, por lo que es difícil encontrarlos en fase acuosa y pueden actuar como portadores y posibles fuentes de metales, debido a que pueden ser liberados a la columna de agua por cambios en las condiciones geoquímicas tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto y quelatos orgánicos (Forstner, 1980).

Los metales pesados tienden a formar asociaciones con sustancias minerales como carbonatos y sulfatos, además de sustancias orgánicas, mediante fenómenos de intercambio iónico, adsorción, quelación, formación de compuestos químicos y otros, razón por la cual se acumulan en los sedimentos de lagos, ríos y mares (Forstner y Wittmann, 1981).

Los metales traza están asociados a partículas pequeñas de los sedimentos (Solomons y Forstner, 1984). En ellos se dan la adsorción, co-precipitación y complejación de metales en las capas superficiales de las partículas pequeñas de los sedimentos, debido a su gran área superficial comparada con su volumen y en ella se pueden retener altas concentraciones de metales. Por lo cual, se recomienda que para el estudio de metales en sedimentos se debe tomar en cuenta la porción inferior a $0.63 \mu\text{m}$ debido a que los metales de origen antropogénico, se encuentran asociados principalmente a partículas, (Rodríguez, 1988).

De acuerdo a datos de la CNA en Oaxaca el 26.7 % de la distribución porcentual de los cuerpos de agua superficial monitoreados se encuentran catalogados como contaminados por coliformes fecales y el 16.6 % como fuertemente contaminados (CNA, 2018). En el estado de Oaxaca se cuenta con pocos estudios de

calidad del agua de río y sedimentos, entre los cuales destacan el estudio de metales en los sedimentos del Sistema Lagunar Chacahua-Pastoría (Mendoza et al., 2015), estudio de indicadores de calidad de aguas residuales en el estado de Oaxaca (Camacho-Balisteros et al., 2020).

En la zona de estudio (río Copalita) se han realizado investigaciones (WWF, 2009; Sánchez-Bernal et al., 2014), sin embargo, no se incluyeron todos los parámetros fisicoquímicos que se presentan en la presente investigación. El objetivo de este trabajo fue investigar la calidad del agua del río Copalita y medición del caudal a fin de caracterizarlo, así como cuantificar la presencia de elementos potencialmente tóxicos en agua y sedimentos del río.

Materiales y métodos

Área de estudio

La cuenca hidrológica Río Copalita cuenta con una superficie de 1523 km², forma parte de la región hidrológica RH21, que corresponde a la zona administrativa de la Región V, Pacífico Sur en la Costa de Oaxaca. En este trabajo se estudió la parte baja del río Copalita en las inmediaciones de la comunidad Copalita en donde se encuentran asentados los pozos de agua de uso y consumo humano que abastecen al complejo turístico Bahías de Huatulco. En la Figura 1 se muestran las seis estaciones monitoreadas en la parte baja del río Copalita (Est 1, Est 2, Est 3, Est 4, Est 5 y Est 6), así como la medición del caudal del río Copalita (PMC), el cual se realizó mediante un correntómetro portátil (Flow Tracker) de la marca SONTEK, en 18 intervalos (ver la Figura 2).

Muestreo

La colecta de las muestras de agua del río Copalita (parte baja) se realizó por duplicado en la época de estiaje el 17 de febrero de 2020. Se ubicaron y georeferenciaron mediante GPS seis estaciones de muestreo (ver la Figura 1), las cuales se analizaron con parámetros *in situ* (temperatura, potencial hidrógeno, oxígeno disuelto y conductividad específica) mediante un sistema multiparámetro. Las muestras de agua para los análisis fisicoquímicos se recolectaron en recipientes de plástico de 2 litros, para elementos traza en recipientes de polipropileno de un litro previamente filtradas a través de membrana Millipore de 45 μm y se acidificaron a $\text{pH} < 2$ con HNO_3 de ultra

pureza. Todas las muestras se transportaron y preservaron a 4°C, de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-014-SSA1-1993 (DOF, 1994), para su posterior análisis en el laboratorio.

Para la obtención de muestras de sedimentos se colectó aproximadamente 2 kg de sedimento húmedo *in situ*, se almacenaron en bolsas de plástico previamente lavadas con HNO_3 y HCl 1N y etiquetadas. Las muestras fueron almacenadas en hielera a 4°C y se trasladaron al laboratorio para su procesamiento.



Figura 1. Estaciones del muestreo de agua (EST1 – EST6) y el punto de medición de corriente de agua (PMC) cerca del puente del río Copalita/ Huatulco en la costa de Oaxaca, México.

Fuente: Elaboración propia



Figura 2. Medición del caudal mediante correntómetro portátil del río Copalita (17 de febrero de 2020).

Fuente: Elaboración propia

Análisis de laboratorio

Los análisis de laboratorio analizados fueron: sólidos totales (ST), sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos disueltos totales (SDT) de acuerdo a la NMX-AA-034-SCFI-2001. Los cationes y aniones mayores analizados en el laboratorio fueron: cloruros, alcalinidad, dureza, sólidos suspendidos totales, nitratos, sulfatos, fósforo total, fluoruros y sodio de acuerdo a los métodos estandarizados descritos en el APHA-AWWA (2005). Para el análisis de Ca, Mg, K, Fe, Mn, Pb, Cr, Cu, Zn y As en muestras de agua del río se procedió a la digestión mediante horno de microondas, utilizando los métodos EPA-3015. Posteriormente se analizaron mediante equipo de emisión de plasma (ICP-OES), utilizando soluciones estándar de calidad reconocida.

Para el análisis de elementos traza potencialmente tóxicos (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn y As) en sedimentos se tomó en cuenta la porción inferior a $0.63 \mu\text{m}$, misma que se sometió a digestión de acuerdo al método EPA 3051, la cual consiste en una digestión ácida de sedimentos con agua regia en horno de microondas MARX PRESS CEM con potencia de 1600 Watts, 15 minutos a $160 \text{ }^\circ\text{C}$. La determinación de metales se realizó en un equipo ICP-OES iCAP 6300 Series de la marca Thermo Electron Corporation, utilizando el método de aplicación 40756. La preparación de las curvas de calibración de metales y metaloides se utilizó soluciones estándar de la marca High Purity Standard y materiales de referencia certificados CRM-ES Estuarine Sediment Solution.

Resultados y discusión

El caudal del río Copalita medido en el mes de febrero de 2020 (época de estiaje) fue de $8.32 \text{ m}^3/\text{s}$, otros autores reportaron valores similares diez años antes, al cual le llamaron año húmedo (WWF, 2009).

En la tabla 1, se presentan los resultados de los análisis de los parámetros *in situ* (temperatura, potencial hidrógeno, oxígeno disuelto y conductividad específica). Además de parámetros fisicoquímicos y elementos potencialmente tóxicos.

La conductividad osciló de 263.0 a $266.0 \mu\text{S}/\text{cm}$ valores reportados como normales para aguas naturales dulces sin contaminar (ANZECC, 2000). El valor del pH en las muestras analizadas es ligeramente alcalino oscila entre 7.41 a 7.66 , valor que coincide con los valores reportados para aguas naturales y es controlado principalmente por el sistema carbonato - bicarbonato (Stumm y Morgan, 1996).

De acuerdo a Chapman (1996), los sólidos suspendidos totales (SST) son una variable que debe ser considerada en los estudios de aguas de ríos, para estimar su dinámica. En este trabajo los valores de SST oscilaron de 45 a $147 \text{ mg}/\text{l}$ en la época de estiaje esto debido entre otros factores a la erosión del suelo por prácticas agrícolas. Se ha observado que en época de lluvias estos valores se incrementan enormemente debido al acarreo de material producto de la erosión. En México no existen normas que establezcan límites permisibles para evaluar los parámetros de calidad del agua en cuerpos de agua, sin embargo, Costa Rica establece un valor de $10 \text{ mg}/\text{L}$ para SST para garantizar la conservación y el desarrollo de la vida acuática de acuerdo al reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales de Costa Rica (MINAE y MINSa, 2007).

Los valores de fósforo total (PT) en el cauce del río Copalita parte baja fueron inferiores a $0.20 \text{ mg}/\text{L}$ en época de estiaje, lo cual de acuerdo a Carlson (1977) se encuentra debajo del índice de estado trópico. Sin embargo, falta cuantificarlos en la época de lluvias debido al agua de retorno agrícola rica en nutrientes procedente de los campos de cultivo que se da en mayor grado en época de lluvias.

Los parámetros fisicoquímicos y elementos traza potencialmente tóxicos analizados en este estudio en el agua del río Copalita (parte baja) cumplen con los límites permisibles de la NOM-127-SSA1-1994 para agua de uso y consumo humano. Cabe resaltar que el agua del río Copalita es utilizada para uso recreativo y lavado de ropa por lo cual debe investigarse la concentración de sustancias activas al azul de metileno y bacterias de origen fecal (coliformes fecales).

En la tabla 2 se presentan los resultados de las concentraciones de los elementos traza analizados en sedimentos del río Copalita, se presenta la comparación de los resultados obtenidos con los valores guía para evaluar la calidad de sedimentos de Canadá y de la US. EPA, debido a que no hay normas oficiales mexicanas para esta materia. Del análisis de los resultados se concluye que las concentraciones de cobre, níquel, zinc, plomo, cromo y arsénico en sedimentos del río Copalita son inferiores a los valores guía para evaluar la calidad de los sedimentos marinos de Canadá y de US.EPA.

Tabla 1. Resultado y evaluación en base a la norma oficial mexicana en materia de agua de consumo humano, de los análisis *in situ*, parámetros fisicoquímicos y elementos traza correspondiente al muestreo en la época de estiaje (17 de febrero de 2020) en el río Copalita, Santa María Huatulco, Oaxaca.

PARÁMETROS	EPOCA DE ESTIAJE (17/02/2020)						NOM-127*
	EST 1	EST 2	EST 3	EST 4	EST 5	EST 6	
Temperatura (°C)	25.50	25.00	25.20	26.20	26.40	26.80	N.A
pH	7.37	7.44	7.41	7.54	7.55	7.66	6.5-8.5
Conductividad (µS/cm)	264.00	266.00	264.00	263.00	263.00	265.00	N.A
OD (mg/L)	8.20	8.24	8.22	8.31	8.16	8.38	N.A
ST (mg/L)	170.00	153.33	166.67	153.33	156.67	160.00	N.A
SST (mg/L)	67.00	57.00	45.00	72.00	137.00	147.00	N.A
SDT (mg/L)	103.00	96.33	121.67	81.33	19.67	13.00	1000.00
Alcalinidad (mg/L)	120.28	121.80	121.80	120.80	122.31	121.80	N.A
Dureza total (mg/L)	105.96	105.96	108.61	106	111.26	105.96	200.00
Cloruros (mg/L)	9.43	8.93	9.43	8.93	9.43	8.93	250.00
Nitrato (mg/L)	0.65	0.40	0.31	0.25	0.20	0.19	10.00
Sulfatos (mg/L)	19.61	21.32	21.03	22.25	20.46	19.66	400.00
Fósforo Total (mg/l)	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	N.A
Fluoruro (mg/l)	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	1.50
Sodio (mg/L)	5.46	5.56	5.53	5.62	5.44	5.74	200.00
Calcio (mg/L)	48.1	44.77	41.11	45.16	40.46	43.01	N.A
Magnesio (mg/L)	8.08	6.5	7.84	8.18	8.11	8.15	N.A
Potasio (mg/L)	1.64	1.61	1.58	1.60	1.63	1.56	N.A
Hierro (mg/L)	0.13	0.22	0.11	0.19	0.11	0.30	0.30
Manganeso (mg/L)	<0.018	<0.018	<0.018	<0.018	<0.018	0.088	0.15
Arsénico (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.025
Plomo (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Cobre (mg/L)	<0.098	<0.098	<0.098	<0.098	<0.098	<0.098	2.00
Cromo (mg/L)	<0.057	<0.057	<0.057	<0.057	<0.057	<0.057	0.50
Zinc (mg/L)	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	5.00

*NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, modificada el 22 de noviembre 2000. **Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 2. Resultados de elementos traza potencialmente tóxicos en sedimentos del Río Copalita y evaluación en base a los valores guía de Calidad Ambiental de Canadá, correspondiente al muestreo en la época de estiaje (17 de febrero de 2020).

Elementos traza	Concentración	CEQG ⁽¹⁾		U.S.EPA ⁽²⁾	
	mg/kg	ISQG	PEL	PEL	SEL
Arsénico (As)	3.63	7.24	41.60	17.00	33.00
Cadmio (Cd)	<0.49	0.70	4.20	3.53	10.00
Cobre (Cu)	<1.63	18.7	108.00	197.00	110.00
Cromo (Cr)	66.23	52.30	160.00	90.00	110.00
Plomo (Pb)	1.69	30.20	112.00	91.30	250.00
Níquel (Ni)	39.37	N.A	N.A	36.00	75.00
Zinc (Zn)	144.60	124.00	271.00	315.00	820.00

CEQG (1) Canadian Environmental Quality Guideline, 2003. Valores Guías de Calidad Ambiental Canadiense para sedimentos marinos. ISQG (Interim Sediment Quality Guideline), Valor Guía Interino de la Calidad de Sedimento: concentración por debajo del cual no se presenta efecto biológico adverso. PEL (Probable Effect Level), Nivel de efecto probable: concentración sobre la cual se pueden presentar efectos biológicos adversos con frecuencia.

U.S-EPA (2) Freshwater Sediment Quality Guidelines US-EPA 2000. PEL Probable effect level, dry weight. Concentración por debajo el cual no se presenta efecto biológico adverso. SEL Severe effect level, dry weight. Concentración sobre la cual se encuentran efectos biológicos adversos con frecuencia.

N.A significa no aplica

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La medición del caudal en la época de estiaje (febrero de 2020) fue de 8.32 m³/s. Sin embargo, no representa la época de lluvias, donde el caudal se aumenta considerablemente con una carga de sedimentos elevada por procesos de erosión, que se puede ver por el color marrón y gran cantidad de sólidos sedimentables. Los resultados de parámetros fisicoquímicos y elementos potencialmente tóxicos se encuentran por debajo de los límites permisibles de la norma oficial mexicana (NOM 127-SSA1-1994), lo cual indica que tiene adecuada calidad fisicoquímica según esta norma. En muestras de sedimentos las concentraciones de Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr y As fueron bajas e inferiores a los valores guía ambientales internacionales (Canadá y U.S.EPA), lo cual indica que no existen riesgos de presentar efectos biológicos adversos debidos a estos elementos analizados.

Recomendaciones

Se recomienda medir el caudal en época de lluvias y los sedimentos en suspensión, además de analizar los parámetros analizados en este estudio incluyendo otros como demanda bioquímica de oxígeno, grasas y aceites, sustancias activas al azul de metileno, así como parámetros bacteriológicos (coliformes totales y fecales). Sensibilizar a la población del río Copalita para evitar el uso de detergentes y suavizantes que vierten al cauce del río, además elaborar un programa de manejo integral de residuos sólidos urbanos y tomar acciones en reducir el grado de erosión en la cuenca implementando programas de reforestación. Cabe resaltar que la batería de pozos de agua para uso y consumo humano que abastecen al complejo turístico se encuentran localizados en las inmediaciones del río Copalita y es la única fuente de agua cercana a este importante desarrollo turístico en crecimiento.

Agradecimientos

Al Comité de Playas Limpias de Santa María Huatulco, Oaxaca por el apoyo para la realización del presente estudio.

Bibliografía

- Abdul-Aziz, H. Omran, A. and Zakaria, W. R. (2010). H₂O₂: Oxidation of Pre-Coagulated Semi Aerobic Leachate. *Int. J. Environ. Res.* 4 (2): 209-216.
- Ahmad, M. K. Islam, S. Rahman, S. Haque, M. R. and Islam, M. M. (2010). Heavy Metals in Water, Sediment and Some Fishes of Buriganga River, Bangladesh. *Int. J. Environ. Res.* 4(2): 321-332.
- APHA-AWWA-WPCF. (2005). Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales Edit. Díaz Santos.
- ANZECC (Australian and New Zealand Environment Conservation Council). (2000). An introduction to the Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. National Water Quality Management Strategy, Canberra, Australia.
- Bellos, D. y Sawidis, T., (2005). Chemical pollution monitoring of the River Pinios (Thessalia-Greece). *J. Environ. Manage.* 76: 282-292.
- Camacho-Ballesteros, A. Ortega-Escobar, H. M. Sánchez-Bernal, E. I. y Can-Chulim, A. (2020). Indicadores de calidad físico-química de las aguas residuales del estado de Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana.* 38(2): 361-375.
- CONAGUA (2018). Estadísticas del agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Recuperado el 10 de febrero de 2020 de, http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf.
- Chapman, D. (1996). Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. E & FN Spon, Cambridge, Inglaterra.
- Carlson, R.E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanog.* 22(2): 361-369.
- Forstner, V. (1980). Trace metal analysis on polluted sediments. Assessment of sources and intersites. *Environ. Tech. Lett.* 1: 494 -505.
- Forstner, V. and Witman, C. (1981). Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag, Berlín. 120 pp.
- Kowalkowski, T. Radoslaw, Z. Jacek, S. and Boguslaw, B. (2006). Application of chemometrics in river water classification. *Water Res.* 40(4): 744 - 752.
- Kulshreshtha, S.N. (1998) A global outlook for water resources to the year 2025. *Water Resources Management.* 12: 167-184.
- Gelover, S. Bandala, E. R. Leal-Ascencio, T., Pérez, S. y Martínez, E. (2000). GC-MS determination of volatile compounds in drinking water supplies in Mexico. *Environ. Toxicol.* 15(2): 131-139.
- Méndez-García, L. Rodríguez-Domínguez, L. y Palacios-Mayorga, S. (2000). Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales en suelos. *Terra latinoamericana,* 18(4): 279-288.
- Mendoza, A. E. Seim, J. A., Contreras, R., L. y Martínez, R., V. M. (2015). Distribución de elementos traza y materia orgánica en los sedimentos del sistema Lagunar Chachahua-Pastoría, Oaxaca. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias,* 6(13): 20-29.
- MINAE y MINSAL, 2007. MINAE (Ministerio del Ambiente y Energía de Costa Rica), MINSAL (Ministerio de Salud de Costa Rica). 2007. Decreto No. 33903-MINAE-S Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. San José, Costa Rica.
- Nava-Ruiz, C. and Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch Neurocienc.,* 16(3): 140-147.
- Resmi, G., Thampi, S. G. and Chandrakaran, S. (2010). Breundimonas vesicularis. A Novel Bio-sorbent for Removal of Lead from Wastewater. *Int. J. Environ. Res.,* 4 (2), 281-288.
- Rivera-Vázquez, R. Palacios-Vélez, O. L., Chávez-Morales, J. Belmont, M. A., Nikoloski-Gavrilov, I., De la Isla de Bauer, M. L., Guzmán-Quintero, A., Terrazas-Onofre, L. y Carrillo-González, R. (2007). Contaminación por coliformes y helmintos en los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino tributarios de la parte oriental de la cuenca del Valle de México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 23(2), 69-77.
- Rodríguez, C.E. (1998). Variabilidad estacional de la hidrología y transporte litoral en la laguna de Chachahua, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 64 p.
- Sánchez-Bernal, E. I., Ortega-Escobar, M., Rodríguez-León, A., Valdez-Martínez, F., Sandoval-Orozco, G. y Camacho-Escobar, M.A. (2014). Calidad hidroquímica de las aguas del río Copalita. *Rev. Int. de Cien. y Soc.* 1(2): 27-41.
- SECOFI. (1994). Norma Oficial Mexicana. NOM-014-SSA1-1993. Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. Recuperado el 12 de agosto de 2021.
- SECOFI. (2001). NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de agua-Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. Recuperado el 01 de agosto de 2021.
- Solomons, W. and Förstner, U. (1984). Metals in the Hydrocycle. Springer Verlag, Berlín, 349 p.
- SSA (Secretaría de Salubridad y Asistencia). (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Recuperado el 23 de agosto de 2021 de, <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html>
- Stumm, W. y Morgan, J.J. (1996). Aquatic Chemistry. Wiley, Nueva York, Nueva York, EEUU.
- WWF. (2009). Memorias del taller Propuestas del Caudal Ecológico en la Cuenca Río Copalita-Zimatán, Huatulco. Recuperado el 23 de agosto de 2021 de, http://awsassets.panda.org/downloads/4_memoria_taller_ce_czh.pdf