

ANÁLISIS DE NITRÓGENO, SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y DISUELTOS TOTALES EN EL RÍO ATOYAC, OAXACA¹

[ANALYSIS OF NITROGEN, SUSPENDED SOLIDS AND TOTAL DISSOLVED IN THE ATOYAC RIVER, OAXACA]

Xitalitl Yuliana Soriano-Hernández¹, Vicente Arturo Velasco-Velasco^{2§}, Judith Ruiz-Luna², Pablo Ubaldo Caballero-Gutiérrez³, Emmanuel Ramírez-Santiago⁴, José Raymundo Enríquez del-Valle²

¹Estudiante de posgrado y ²profesor del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71230. Tel. 01 (951) 51 70788. ³Gerente del Comité Técnico de Aguas Subterráneas de los Valles Centrales de Oaxaca; Órgano Auxiliar del Consejo de Cuenca de la Costa de Oaxaca. ⁴Gerente Operativo de la Comisión de Cuenca de los ríos Atoyac y Salado, Fiallo 205, Col. Centro, Oax. Tel. 01 (951) 51 4 00 10. [§]Autor para correspondencia: (vicvel5@hotmail.com).

RESUMEN

La región Valles Centrales de Oaxaca pertenece a la cuenca hidrográfica RH20. El río Atoyac es soporte fundamental de la población y actividades productivas. En base a algunos datos proporcionados por la Red Nacional de Monitoreo, se realizó un diagnóstico de la calidad del agua a lo largo de la subcuenca y se observaron las tendencias de los parámetros que determinan la calidad del agua; se detectaron estadísticamente los años y sitios con valores mayores a los establecidos a Normas Mexicanas. Se analizó mediante un DCA con arreglo factorial asimétrico incompleto, esto es, 4 años (2012, 2013, 2014, 2015) × 25 sitios de muestreo con una sola repetición, y prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$). Se utilizó el programa Number Cruncher Statistical System (NCSS) ver 2017. El año 2015 presentó significativamente valores altos de amoníaco, nitrógeno orgánico, nitrógeno total, sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos suspendidos totales (SST) respecto a las Normas Mexicanas CE-CCA-001-189; NOM-127-SSA1-1994; NOM-001-SEMARNAT-1996. La microcuenca bajo Atoyac que se encuentran en Zimatlán de Álvarez (sitios 5, 6 y 7), y la microcuenca río Salado, que es la zona conurbada de la ciudad de Oaxaca (sitios 24 y 25), presentaron significativamente los máximos valores de NH_3^- , nitrógeno orgánico, nitrógeno total, SDT y SST.

Palabras clave: Normas Oficiales Mexicanas, Red Nacional de Monitoreo, microcuenca.

ABSTRACT

The Central Valleys region of Oaxaca belongs to the hydrographic basin RH20. The river Atoyac is fundamental support of the population and productive activities. Based on some data provided by the National Monitoring Network, a diagnosis was made of the water quality along the sub-basin and the trends of the parameters that determine the water quality were observed; Were statistically detected the years and sites with values greater than those established to Mexican rules. It was analyzed by CRD with incomplete asymmetric factorial arrangement, that is, 4 years

¹ Recibido: 29 de mayo de 2017.
Aceptado: 20 de junio de 2017

(2012, 2013, 2014, 2015) x 25 sampling sites with a single repetition, and Duncan's test ($\alpha = 0.05$). The number Cruncher Statistical System (NCSS) see 2017 was used. The year 2015 showed significantly high values of ammonia, organic nitrogen, total nitrogen, total dissolved solids (SDT) and total suspended solids (TSS) with respect to the Mexican Standards CE- CCA-001-189; NOM-127-SSA1-1994; NOM-001-SEMARNAT-1996. micro-basin under Atoyac (The sites 5, 6 and 7) located in Zimatlán de Álvarez, Salado river basin (and sites 24 and 25), which is the conurbated zone of the city of Oaxaca, showed significantly higher NH_3 -, organic nitrogen, total nitrogen, SDT and SST.

Index words: Official Mexican Standards, National Monitoring Network, micro watershed.

INTRODUCCIÓN

El bien agua es considerado el más importante en nuestro ambiente, es parte integral del ecosistema, un bien social y económico (Allan, 2010). Los ríos y arroyos del país constituyen una red hidrográfica de 633 000 km, en estos, fluye el 87% del escurrimiento superficial (INEGI, 2010). Estos escurrimientos forman “aguas superficiales” que se generan principalmente por las precipitaciones (Bocco, 2004).

La región Valles Centrales de Oaxaca pertenece a la cuenca hidrográfica RH20, que abarca el 24.48% de la superficie estatal (Rodriguez *et al.*, 2013). Uno de sus principales ríos es el Atoyac que es soporte fundamental a la población, en actividades productivas, Atoyac es un topónimo náhuatl que significa “Agua que corre” (Consejo, 2016).

El agua es indispensable, su calidad es de vital importancia para uso personal o doméstico, ésta debe ser salubre, y que por lo tanto no debe contener microorganismos o sustancias químicas o radioactivas que puedan constituir una amenaza para la salud de las personas; esto debe tener color, olor y sabor aceptable (FEA *et al.*, 2006). El 26% de los ríos, lagos y embalses son de buena calidad, en tanto que en el 74% restante el agua tiene diferentes grados de contaminación; los principales contaminantes son: materia orgánica, nutrientes (nitrógeno y fósforo) y microorganismos (coliformes totales y coliformes fecales), pero hay otros como los metales y los derivados de hidrocarburos, que se presentan en áreas con actividad industrial (CONAGUA, 2004).

La organización ambientalista Greenpeace en el 2014 ha denominado “río toxico” al Atoyac, por el incremento alarmante en su nivel de contaminación. Estos niveles son mayores a los permisibles de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas, referidas al uso público (Consejo Consultivo del Agua, 2011), consumo humano y riego agrícola, dentro de los parámetros inorgánicos, orgánicos, físicos y microbiológicos, atribuibles al desarrollo agrícola, industrial y socioeconómico (Abel, 2012). Los contaminantes presentan altas concentraciones de nitrógeno, y con carga orgánica en sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT) (arcilla, restos de papel, desechos de comida y basura), y otros indicadores como metales pesados: mercurio, plomo y cadmio) (Cabrera *et al.*, 2013).

El nitrógeno en sus diferentes presentaciones, aparece en el suelo y en las aguas superficiales por la descomposición de materiales orgánicos, esto es, proteínas vegetales, y excretas (Mendoza *et al.*, 2016). Las bacterias pueden aprovechar este material nitrogenado para realizar ciclos de

nitrificación-desnitrificación, formando diferentes compuestos como NH_3^- , NO_2^- y NO_3^- (Tribunal Latinoamericano del Agua, 2006). Su presencia en el agua potable puede provocar efectos tóxicos por la formación endógena de N-nitrocompuestos (efectos cancerígenos teratogénicos y mutagénicos), (Gait y Pieroto 2010). Los SDT, SST se refiere a la cantidad de materia disuelta en el agua, las concentraciones altas o demasiado bajas a los límites permisibles, pueden impedir la transferencia de oxígeno y limitar el crecimiento de ciertas especies acuáticas (Weber, 2003). Este proceso de alteraciones en los niveles permisibles en la calidad del agua, se convierte en un vehículo ligado al proceso salud-enfermedad (Fernández, 2010).

Es importante realizar la verificación continua en el agua natural y en el sistema de agua potable para tomar las medidas preventivas en cuanto a su uso (Tzatchkov *et al.*, 2014). Ante la importancia que se tiene para conocer la calidad del agua en la salud, la agricultura y para la mayoría de las actividades industriales (Prüss-Üstün *et al.*, 2008), el presente documento tiene por objetivo realizar un diagnóstico de la calidad del agua del río Atoyac, a partir de la base de datos proporcionada por la Red Nacional de Monitoreo del 2012 al 2015.

MATERIALES Y MÉTODOS

Antecedentes

Este trabajo se abordó a partir de la base de datos, que son resultados de análisis de laboratorio en muestras de agua superficial del río Atoyac, proporcionados por la Red Nacional de Monitoreo (RNM) para los años 2012, 2013, 2014 y 2015. La RNM es coordinada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que realiza monitoreos sistemáticos y permanentes de la calidad de las aguas nacionales: Tiene como objetivo proporcionar información representativa y confiable de la calidad del agua en el país, de una manera costo-efectiva eficiente de acuerdo con los lineamientos del Programa de Modernización y Manejo del Agua (PROMMA) y mediante una estrategia plasmada en el Programa Nacional de Monitoreo. CONAGUA promueve la creación de los Consejos de Cuenca, Comisiones de Cuenca, Comités de Cuenca (Consejos de Cuenca, 2003), Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) y Comités de Playas Limpias, que son instancias de coordinación entre los tres niveles de gobierno (regional, estatal y federal) y los usuarios del agua.

Zona de estudio

Los 25 sitios se encuentran localizados dentro de la Región Hidrológica No. 20 (RH20) “Costa Chica río verde” y Subcuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez (Figura 1). Dentro de esta subcuenca se encuentran las microcuencas Alto Atoyac, Bajo Atoyac y río Salado, en donde convergen 105 municipios. La cuenca está caracterizada por tener climas secos en la parte alta, en la parte media y baja se presentan climas lluviosos con temperaturas semicálidas y cálidas (INEGI 2015). El máximo de elevación en la cuenca es de 2 600 m (González, 2011). La vegetación dentro del Sistema Ambiental Regional (SAR) está constituida por bosque caducifolio (34%), bosque de coníferas (32.4%), pastizales (13.3%), agricultura de temporal (12.5%), agricultura de riego (2.4%), cuerpos de agua (2.0%), hidrofitas (1.9%), bosque mixto (0.7%), humedales (0.6%) y asentamientos humanos (0.2%) (Salas *et al.*, 2003). La diversidad natural de las zonas altas (humedales, corredor fluvial y estuarios) del río verde soporta una amplia variedad de flora y fauna (CONABIO, 2009). A lo largo del río se conservan los caudales naturales.

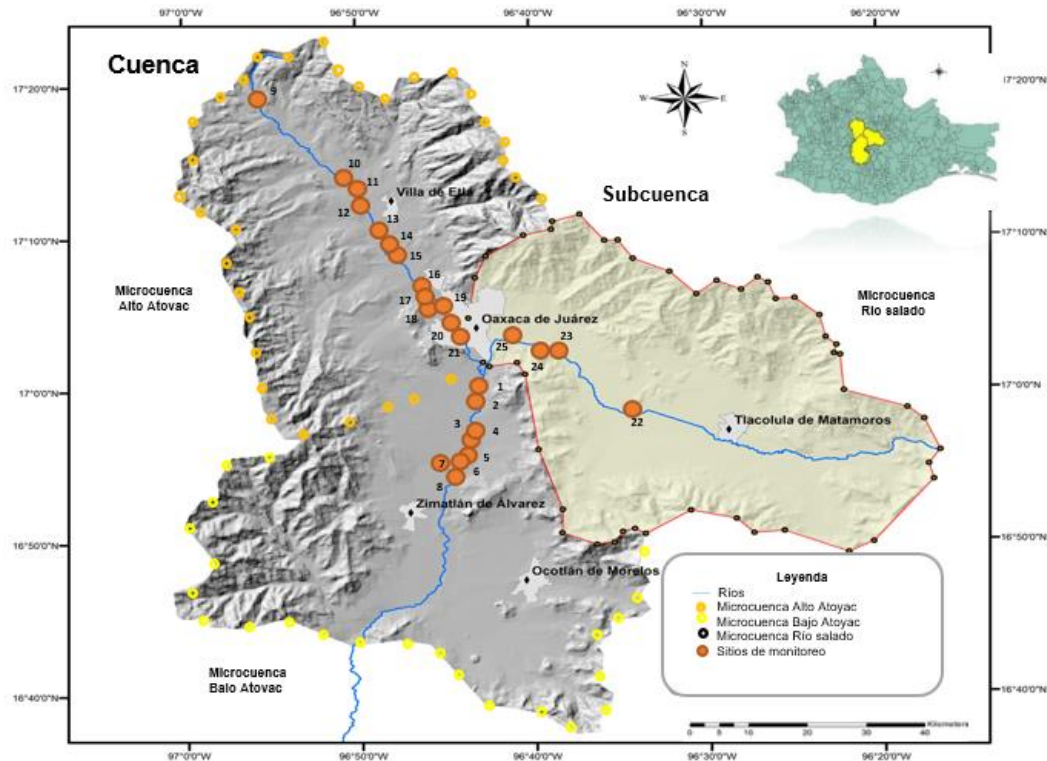


Figura 1. Cuenca Región Hidrológica No. 20 (RH20) río verde, del estado de Oaxaca, México.

Datos de referencia

Se utilizó una base de datos proporcionada por la Red Nacional de Monitoreo de los años 2012 al 2015, con 25 sitios registrados en la Cuenca Región Hidrológica No. 20 (RH20) Río Verde, del estado de Oaxaca, México. Se utilizaron las Normas Mexicanas como una referencia de comparación con los datos analizados: 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; NOM-001-SEMARNAT-1996, Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; NOM-001-ECOL-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; criterios ecológicos de la calidad del agua CE-CCA-001/89; y la Ley Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales (2015) para la comparación de los límites permisibles de la calidad del agua potable y uso de riego agrícola, con los datos arrojados por la RNM.

Variables evaluadas y análisis de datos

Los datos se analizaron mediante un diseño completamente aleatorio con arreglo factorial asimétrico incompleto, esto es, cuatro años (2012, 2013, 2014, 2015) $\times$ 25 sitios de muestreo con una sola repetición. Con el método de Duncan ($\alpha = 0.05$) se realizó la prueba de medias. Se utilizó el programa Number Cruncher Statistical System (NCSS) ver 2017 demo en internet.

Se analizó al grupo de nitrógeno que comprendió: amoníaco (NH_3^-), nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), nitrógeno orgánico, nitrógeno total. También se analizaron los sólidos suspendidos totales (SST) y los sólidos disueltos totales (SDT). De acuerdo a la RNM las muestras las analizaron distintos laboratorios certificados de acuerdo con la “Ley Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales (2015)”.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Factor años

El parámetro NH_3^- mostró valores mayores a 1.0 mg L^{-1} , de acuerdo la “CE-CCA-001/89” para uso de riego agrícola (Cuadro 1), en los años 2012 al 2015 (Cuadro 2). El año 2015 mostró significativamente (Duncan $\alpha= 0.05$) la mayor concentración de NH_3^- .

Cuadro 1. Contraste de las Normas Mexicanas en la calidad del agua y las concentraciones de los parámetros analizados.

Parámetros	CE-CCA-001-189		NOM-127-SSA1-1994	NOM-001-SEMARNAT-1996		NOM-001-ECOL-1996		L.F.D.A 2015	
mg-L ⁻¹	U.P.U.	R.A.	C.H.	U.P.U.	R.A.	U.P.U.	R.A.	U.P. U.	R.A.
NH_3^-	0.05	0.4	0.5	-	-	-	-	-	-
NO_2^-	0.05	-	1.0	-	-	-	-	0.05	-
NO_3^-	5	-	10	-	-	-	-	5	-
N-ORG	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-
N-TOT	-	-	-	60	40	60	40	-	-
SDT	500	500.0	-	150	200	200	-	500	500 ⁺
SST	1000	500.0	1000	-	-	200	150	-	-

+ Cultivos sensibles 500-1000 mg L^{-1} ; cultivos con manejo especial 1000-200 mg L^{-1} ; cultivos tolerantes en suelos permeables 200 -5000 mg L^{-1} para frutos sensibles; NH_3^- = amoníaco; NO_2^- = nitrito; NO_3^- = nitratos; N-ORG = nitrógeno orgánico; N-TOT = nitrógeno total; SDT = sólidos disueltos totales; SST= sólidos suspendido totales; U.P.U. = uso público urbano; R.A. = riego agrícola; C.H. = consumo humano; L.F.D.A. = Ley Federal de Derechos del Agua;

Para NO_2^- y NO_3^- el año 2013 mostró significativamente (Duncan $\alpha= 0.05$) los máximos valores (Cuadro 2). La Normas Mexicanas (Cuadro 1) no muestran el valor máximo de concentración de estos compuestos para uso de riego agrícola. Los años 2013 a 2015 sobrepasan los niveles de las normas “CE-CCA-001/89” y la Ley Federal del Agua, en lo referente al “uso público urbano en cuanto a los NO_2^- y NO_3^- ”; Los cuatro años mostraron valores menores a la NOM-127-SSA-1994 referente al “consumo humano”.

La concentración de N-Orgánico fue significativamente (Duncan $\alpha= 0.05$) mayor en el año 2015 (Cuadro 2), y los cuatro años mostraron valores mayores a la NOM-001-ECOL-1996, respecto al “uso de riego agrícola” (Cuadro 1). El parámetro N-Total, en los cuatro años mostró valores menores (Cuadro 2) en lo referente al “uso de riego agrícola” de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-ECOL-1996 (Cuadro 1).

Cuadro 2. Comparación por año en precipitación anual analizados en los parámetros de la calidad del agua en los cuatros años de muestreo.

Año	Precipitación total anual (mm) [¶]	amoníaco (NH ₃ ⁻)	nitrito (NO ₂ ⁻)	nitratos (NO ₃ ⁻)	nitrógeno orgánico	nitrógeno total	sólidos disueltos totales	Sólidos suspendidos totales
-----mg L ⁻¹ -----								
2012	648.7	3.824 ab	0.0204 b	0.2768 b	1.474 b	4.486 b	568.96 b	69.37 b
2013	674.9	1.013 c	0.096 a	0.4008 a	2.400 b	3.294 b	-	193.51 a
2014	654.7	2.262 bc	0.8979 a	0.149 c	4.828 b	5.787 b	4563.07 b	105.51 b
2015	767.6	4.774 a	0.074 a	0.2115 bc	6.012 a	10.88 a	681.69 a	68.77 b

Letras distintas en una columna indican diferencias estadísticas significativas (Duncan $\alpha= 0.05$). [¶]Fuente: Reporte anual del clima en México; 2012, 2013, 2014, 2015. Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA); Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), para Valles Centrales de Oaxaca.

Las normas “CE-CCA-001/89, NOM-001-SEMARNAT-1996 y Ley Federal de derechos del Agua”, respecto al “uso de riego agrícola” de acuerdo a los valores de los sólidos disueltos totales fueron mayores en el año 2012 y 2015. Los sólidos suspendidos totales, mostraron valores menores en los cuatro años referente al “uso de riego agrícola” en comparación al “CE-CCA-001/89” (Cuadro 1) y solo la lectura del año 2013 fue superior a los valores de la NOM-001-ECOL-1996, y además este año fue significativamente (Duncan $\alpha= 0.05$) mayor respecto a los otros años (Cuadro 2).

El año 2015 mostró significativamente (Duncan $\alpha= 0.05$) la mayor concentración de NH₃⁻, N-orgánico, N-Total y sólidos disueltos totales (Cuadro 2). El año 2013 mostró significativamente (Duncan $\alpha= 0.05$) los valores mayores de NO₂⁻, NO₃⁻, y sólidos suspendidos totales (Cuadro 2). Las lluvias en la primera parte del verano de 2013 ocurrieron por debajo del promedio histórico (CONAGUA, 2013) y la obtención de las muestras de agua se realizaron en el primer semestre del año, esto trajo por consecuencia una evaporación más rápida, y por lo tanto, una acumulación de contaminantes.

El 2015 fue el año que presento significativamente los mayores valores de NH₃⁻, N- Orgánico, N- Total, SDT y SST. Lo anterior pudo deberse a las grandes descargas que se realizan en el trayecto del río Atoyac (CONAGUA, 2015; Servicio Meteorológico nacional, 2015),

Factor sitio

De los 25 sitios, solo el 20% fue inferior al parámetro NH₃⁻ (Cuadro 3) en el “consumo humano” respecto a la NOM-127-SSA-1994, y para “uso de riego agrícola” en CE-CCA-001/89 (Cuadro 1). Prácticamente ningún sitio fue menor al “uso público urbano” de esta última Norma. Los sitios 5, 6 y 7 mostraron significativamente los máximos valores de NH₃⁻ (Cuadro 3) y se encuentran en los límites de Zimatlán de Álvarez.

Para NO₂⁻, el 40 % de los sitios, se encuentra por debajo de 0.05 mg L⁻¹ para “uso público urbano” referente a las Normas, CE-CCA-001/89 y Ley Federal del Agua”. Los 25 sitios muestran límites inferiores (Cuadro 3) al “consumo humano” referente a la NOM-127-SSA-1994

(Cuadro 1). Todos los sitios mostraron valores inferiores de NO_3^- (Cuadro 3) respecto al “uso público urbano” en CE-CCA-001/89 y la Ley Federal del Agua; “consumo humano” referente a la NOM-127-SSA-1994 (Cuadro 1).

El 100% de los sitios mostraron valores de N-Orgánico superiores (Cuadro 3) al “riego agrícola” en base a la NOM-001-ECOL-1996 (Cuadro 1). Los sitios 5, 6, 7 mostraron los máximos valores (11.516-15.516 mg L^{-1}) de N-Orgánico (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de los sitios analizados en parámetros de la calidad del agua.

Sitio	NH ₃ ⁻		NO ₂ ⁻		NO ₃ ⁻		N-ORG		N-TOT		SDT		SST	
	-----mg L ⁻¹ -----													
1	0.579	d	0.103	bcd	0.419 abcd		2.132	c	2.582	ef	442.3	ef	74.40	cdef
2	0.964	d	0.138 ab		0.482 a		1.323	c	2.349	ef	465.6	ef	89.74	cdef
3	1.279	d	0.126 abc		0.394 abcde		1.100	c	2.456	ef	466.6	ef	92.53	bcdef
4	1.225	d	0.187 a		0.461 ab		2.165	c	3.405	def	475.0	ef	144.89	abcdef
5	8.96	abc	0.063 bcd		0.183 dcfg		11.516 ab		19.424 abc		834.1 abc		225.74 ab	
6	10.23 ab		0.048 cd		0.170 defg		11.997 ab		20.252 ab		401	f	229.80 ab	
7	13.963 a		0.068 bcd		0.136 efg		15.516 a		28.972 a		821.0 abcd		181.15 abcd	
8	4.238	bcd	0.064	bcd	0.170 defg		11.330 ab		14.200	bcd	840.1 abc		188.98 abc	
9	3.364	cd	0.088 bcd		0.171 defg		6.303	bc	9.379	cdef	705.0 bcdef		167.26 abcde	
10	0.864	d	0.104	bcd	0.337 abcdef		0.809	c	1.915	f	593.4	cdef	154.44 abcdef	
11	0.831	d	0.073	bcd	0.273 abcdefg		0.909	c	1.595	f	594.0	cdef	111.92 abcdef	
12	0.968	d	0.067	bcd	0.246 abcdefg		3.626	c	4.325	def	598.1	cdef	141.29 abcdef	
13	0.535	d	0.027	d	0.239 abcdefg		0.493	c	0.898	f	573.1	cdef	40.95	ef
14	0.319	d	0.026	d	0.263 abcdefg		0.622	c	0.997	f	555.5	cdef	57.89	cdef
15	0.261	d	0.026	d	0.198 cdefg		0.507	c	0.787	f	461.3	ef	79.92	cdef
16	1.568	d	0.063	bcd	0.172 defg		0.591	c	2.133	f	488.4	ef	40.35	ef
17	0.091	d	0.033	d	0.449 abc		0.951	c	0.896	f	511.4	def	74.60	cdef
18	0.195	d	0.054	bcd	0.208 bcdefg		0.960	c	0.907	f	581.3	cdef	44.01	def
19	0.241	d	0.048	cd	0.172 defg		2.208	c	1.529	f	573.1	cdef	76.92	cdef
20	0.412	d	0.033	d	0.227 abcdefg		1.029	c	1.213	f	570.1	cdef	69.35	cdef
21	5.175	bcd	0.035	d	0.183	defg	6.026	bc	9.149	f	562.7	cdef	24.98	f
22	3.633	bcd	0.038	d	0.124	fg	3.386	c	7.012	def	723.3	bcde	36.05	ef
23	10.06 ab		0.094	bcd	0.106 g		3.626	c	13.383	bcde	586.4	cdef	88.90	cdef
24	1.027	d	0.053	cd	0.303 abcdef		0.782	c	1.711	f	1048.3 a		121.23 abcdef	
25	0.459	d	0.031	d	0.388 abcdef		0.980	c	1.325	f	1001.4 ab		162.44 abcdef	

Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas significativas (Duncan $\alpha=0.05$).

El parámetro N-Total, en los veinticinco sitios de muestreo no mostraron valores mayores (Cuadro 3) en lo referente al “uso público urbano y riego agrícola” referente a NOM-001-SEMANART-1996 y NOM-001-ECOL-1996 (Cuadro 1).

El 28% de los sitios mostraron valores en sólidos disueltos totales por debajo a los límites permisibles que señalan las normas CE-CCA-001/89 y la Ley Federal del Agua (Cuadro 3), respecto al “uso público urbano y riego agrícola”. Los máximos valores se alcanzaron en los sitios 5, 7, 8, 24 y 25 ($834.1 - 1048.3 \text{ mg L}^{-1}$) (Cuadro 3).

El 72% de los sitios muestran valores menores de sólidos suspendidos totales para “uso de riego agrícola” y el 92% son inferiores al “uso público urbano”, ambos referentes a la NOM-001-ECOL-1996 (Cuadro 1). El 100% de los sitios están mostraron lecturas inferiores (Cuadro 3) al “uso público urbano, riego agrícola y consumo humano” CE-CCA-001/89 y NOM-127-SSA-1994 (Cuadro 1).

Los sitios 5, 6 y 7 sobresalen por que muestran altos valores de NH_3^- , N-Org, N-Tot, y altos contaminantes con carga orgánica en SDT Y SST. Estos lugares se localizan en la microcuenca bajo Atoyac en los límites de Zimatlán de Álvarez (Figura 2). Probablemente esto se deba a que en las comunidades del Rosario y Guadalupe del municipio de Santa Inés del Monte existe un tiradero de basura a cielo abierto. Coronel (2006), menciona que se puede deber a los residuos procedentes de las actividades agropecuarias y de los desechos que provienen de la zona conurbada de la ciudad. PADHPOT (2015), describe que la descarga de agua residual en el río Atoyac se realiza sin tratamiento previo, y se estima que en promedio 8 l/s, son descargadas de esta forma. El municipio de Zimatlán de Álvarez no cuenta con la infraestructura hidráulica destinada al Saneamiento de las aguas residuales.

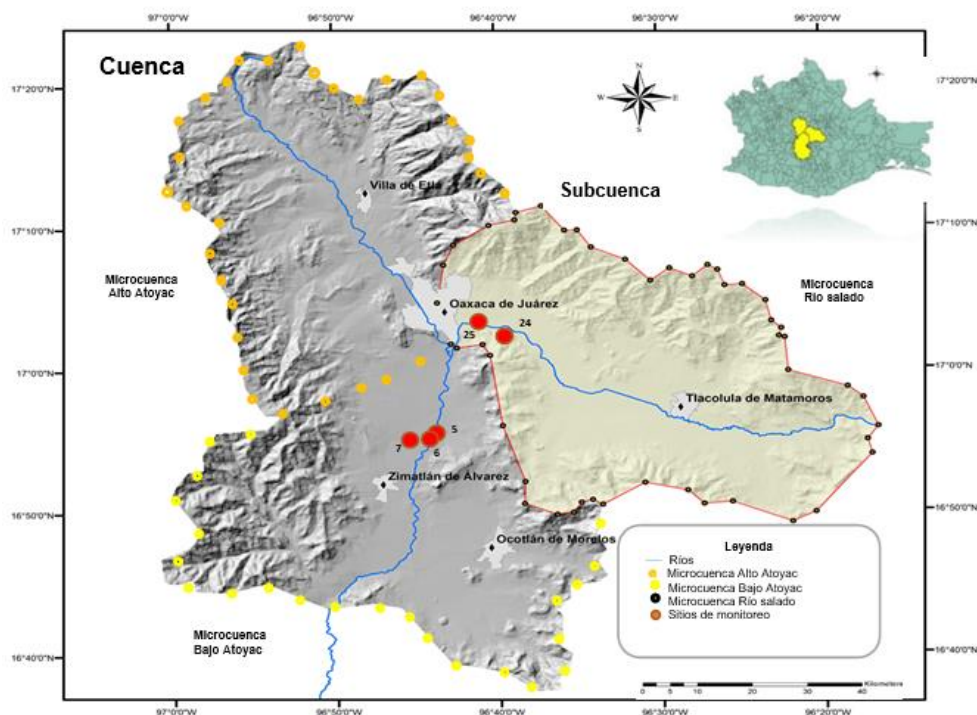


Figura 2. Sitios de la Cuenca RH20 con altos niveles permisibles a las Normas Mexicanas, Oaxaca, México.

Los sitios 24 y 25 mostraron altos valores de SDT Y SST, dichos sitios se encuentran en la zona conurbada de la microcuenca del río Salado (Figura 2). En esta zona se encuentran industrias mezcaleras y una refresquera que posiblemente estén contribuyendo con concentraciones altas de estos parámetros y al mismo tiempo arrastre en toda la microcuenca del río Salado. Un informe realizado por el Tribunal Latinoamericano del Agua (2016), señala que el deterioro del río Atoyac expresa sus altas concentraciones en: coliformes fecales, concentraciones elevadas de nitrógenos, SST y SDT, originado por las descargas municipales y descargas industriales. Esta contaminación se diversificó con descargas de talleres industriales. El tribunal declara la negligencia de las instituciones locales, estatales y federales al no efectuar los controles debidos a los vertimientos industriales que, evidentemente, violan la Legislación Mexicana.

El río Atoyac se encuentra contaminado con los parámetros NH_3^- , N-Org, nitrógeno total, y altos contaminantes con carga orgánica de SDT y SST, a lo que se refiere a riego agrícola y uso público Urbano, según las Normas Mexicanas. En otros trabajos realizados (Izurieta *et al.*, 2014) se han encontrado que los contaminantes en el río Atoyac son elevados de acuerdo al “criterio de calidad del agua para protección de vida acuática y uso público urbano” (NOM-001-1996-SEMANART).

Las partes altas del río Atoyac (sitios 9 al 21; Figura 1) que comprende Tleixtlahuaca y parte del Valle de Etla, se encuentra en condiciones por debajo a los límites permisibles dentro de las Normas Mexicanas al parámetro sólidos disueltos totales, que señalan las normas CE-CCA-001/89 y la Ley Federal del Agua (Cuadro 3), respecto al “uso público urbano y riego agrícola”

Los sitios analizados presentaron altos valores de NH_3 , N-Org, N- Tot, SDT, SST en el tramo que forma la parte conurbada a la ciudad de Oaxaca (sitios 24 y 25; Figura 2), tanto en la parte del río Atoyac como en el río Salado (San Agustín de las Juntas, su nombre se deriva por la unión de estos dos ríos Atoyac y Salado), esto es, desde el Fraccionamiento Esmeralda (San Lorenzo Cacaotepec, Etla, Trinidad de Viguera y San Jacinto Amilpas; sitios 13-20; Figura 1) hasta Zimatlán (San Juan Bautista la Raya y San Martín Lachila) (sitios 5, 6 y 7; Figura 2), esto quizás se deba, a que en esta última localidad se encuentra el tiradero de basura a cielo abierto, que en época de lluvias arrastra río abajo un sinnúmero de contaminantes. Además se aumenta la infiltración por lixiviados que afectan las fuentes de abastecimiento de aguas (Gutiérrez y Becerra, 2014).

CONCLUSIONES

El año 2015 presentó significativamente valores altos de amoníaco, N- Org, N- Total, SDT y SST de acuerdo a las Normas Mexicanas CE-CCA-001-189; NOM-127-SSA1-1994; NOM-001-SEMARNAT-1996. Los sitios 5, 6 y 7 (microcuenca bajo Atoyac) que se encuentran en Zimatlán de Álvarez, y los sitios 24 y 25 (microcuenca río Salado) que es la zona conurbada de la ciudad de Oaxaca, presentaron significativamente los máximos valores de NH_3 , nitrógeno orgánico, nitrógeno total, SDT y SST, en referencia a las Normas Mexicanas.

LITERATURA CITADA

Abel, Y. 2012. Análisis de la vulnerabilidad en áreas de inundación del río Atoyac. II Encuentro en la Ingeniería Civil ESIA. Zacatenco. Mexico.11 p.

- Allan T. 2010. Conversaciones con un premio Nobel del agua y huella hídrica. *Revista Chile Riego* 42(1): 26-29.
- Bocco G. 2004. Cartografía y sistemas de información geográfica. En el manejo integrado de cuencas. *In: H. Cotler (comp.). El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental.* Secretaria del Medio Ambiente y Recurso Natural. Instituto Nacional de Ecología. México D.F. pp. 41-48.
- Cabrera M., E., L. Hernández G., H. Gómez R y Ma. Del P. Cañizares G. 2013. Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México* 47(1): 88-92.
- CE-CCA-001/89. Criterios ecológicos de la calidad del agua. Establece los criterios de la Calidad del Agua. Diario Oficial de la Federación. Secretaria de Gobernación.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad). 2009. Cuarto informe nacional de México al convenio sobre la diversidad biológica (CDB). Edición 2009. 193 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2004. Monitoreo de la calidad del agua. México. Servicio Meteorológico Nacional. 33 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2013. Reporte anual del clima en México. Servicio Meteorológico Nacional. 23 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2015. Reporte anual del clima en México. México. Servicio Meteorológico Nacional. 30 p.
- Consejo Consultivo del Agua A.C. 2011. Gestión del agua en las ciudades de México. Indicadores de Desempeño de los sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Segundo Reporte.
- Consejo J. J. 2016. El río Atoyac: ¿entubarlo o regenerarlo? *La gaceta, casa de la ciudad*, 8:11-15.
- Consejos de Cuenca. 2003. <http://www.consejosdecuenca.org.mx/modules.php?name=Newa&fil>
- Coronel, O. D. 2006. Zapotecos de los Valles Centrales de Oaxaca: Pueblos indígenas del México contemporáneo, CDI. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. ISBN: 970: 970-7530812.2. 56 p.
- FEA (Fondo Educativo Ambiental A.C.), CEMDA, (Centro Mexicano de Derecho Ambiental), Presencia ciudadana Mexicana A.C. 2006. El agua en México: lo que todas y todos debemos saber. FEA, CEMDA, Presencia ciudadana Mexicana A.C., National Wildlife Federation., Fundación Heinrich Boll., Tfi Inker Foundation Incorporatep. 93 p.
- Fernández, R, 2010. Contaminación y contaminantes del suelo *In: Salud Ambiental Infantil: Manual para la enseñanza de grado en escuelas de Medicina.* Ministerio de la Salud de la Nación. Organización Panamericana para la Salud. Buenos Aires. pp. 49-52.
- Gait, N. y M. Pieroto. 2010. Contaminación y contaminantes del agua *In: Salud Ambiental Infantil: Manual para la enseñanza de grado en escuelas de Medicina.* Ministerio de la Salud de la Nación. Organización Panamericana para la Salud. Buenos Aires. pp. 53- 56.
- González, F. 2011. Identificación y estudios y proyectos del sector hídrico: Oaxaca, Puebla y Tlaxcala. Fundación UNAM., Instituto de Ingeniería de la UNAM., Red del Agua UNAM. México, D.F. 63 p.
- Gutiérrez, O. y S. Becerra. 2014. Estado del arte de la remediación de acuíferos contaminados. Coordinación de Hidrología-Subordinación de Hidrología Subterránea. Jiutepec, Morelos, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 87 p.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Anuario estadístico y geográfico de Oaxaca.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2012. Anuario estadístico y geográfico de Oaxaca. 112 p
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2013. Anuario Estadístico y Geográfico de Oaxaca. 98 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2014. Anuario estadístico y geográfico de Oaxaca. 118 p
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015. Anuario estadístico y geográfico de Oaxaca. 112 p.
- Izurieta, J. Alonso, P. Pica, Y. River, P. Mantilla, G. Ramírez y A. Bravo, L. 2014. Estudio para la detección de fuentes contaminantes por descargas de agua residual al río Atoyac, entre la ciudad de Oaxaca y la presa paso Ancho. In: V. Bourguett, Chávez A (eds.). Congreso IMTA 2014, Jiutepec, Morelos, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. pp. 138-144.
- Ley Federal de Derechos. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales (2015). Establece la comparación de los límites permisibles de la calidad del agua potable y uso de riego agrícola. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua.
- Mendoza A. E., A. Hernández., C. Ayora., A. Soler y E. Ramos. 2016. Potencial de lixiviación de elementos traza en jales de las minas La Asunción y Las Torres, en el Distrito Minero de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 23(1): 75-83.
- NOM-001-ECOL-1996, Norma Oficial Mexicana. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial; Secretaría de Gobernación.
- NOM-001-SEMARNAT-1996. Norma Oficial Mexicana Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales; Comisión Nacional del Agua.
- NOM-127-SSA1-1994. Norma Oficial Mexicana. Establece la Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial; Secretaría de Salud.
- PADHPOT (Programa de Apoyo al Desarrollo Hidráulico de los Estados de Puebla, Oaxaca y Tlaxcala) Agua y saneamiento. 03 de enero 2015. UNAM, Red del Agua UNAM, Instituto de Ingeniería UNAM. 21 p.
- Prüss-Üstün A. R. Bos., F. Gore., J. Bartram. 2008. Safer water, better health: costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health. World Health Organization, Geneva. 53 p.
- Rodríguez L. Y., A. Handall, M. Carcaño M., E. Mangas, G. Linares F., S. E. Silva G. y L. López R. 2013. Evaluación física y biológica del agua del río Atoyac en la microcuenca de la reserva estatal Sierra del Tentzo, Puebla. *Memorias del III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones de Geografía Ambiental. Morelia, Michoacán. pp I-95.
- Salas M. S., A. Sayez y L. Shibli. 2003. Flora de la Costa de Oaxaca, México: Lista florística de la región de Zimatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 72(1): 21-58.
- SMN. 2015. Servicio Meteorológico Nacional. Información Climatológica. <http://smn.cna.gob.mx/es/> (Consultado 03/02/2017).

- Tribunal Latinoamericano del Agua. 2006. Contaminación Industrial en los ríos Atoyac y Xochiac. Estados de Tlaxcala y Puebla. República Mexicana. Veredictos de la audiencia, México D.F.
- Tribunal Latinoamericano del Agua. 2016. Caso: contaminación industrial en los ríos Atoyac y Xochiac. Estados de Tlaxcala y Puebla. República Mexicana. Veredictos de la audiencia México D.F.
- Tzatchkov, V.G., V. H. Alcocer Y., V.J. Bourguett O y F.I. Arreguín C. 2014. Avances en la hidráulica de redes de distribución de agua potable. Jiutepec, Morelos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos. 500 p.
- Weber, C.I. 2003. Methods for measuring the acute toxicity of effluent and receiving waters to freshwater and marine organisms. Environmental Protection Agency. EPA-600/4-90-027. Canadá. 13 p.