



Gobierno de Puebla
Hacer historia. Hacer futuro.



**Secretaría
de Educación**

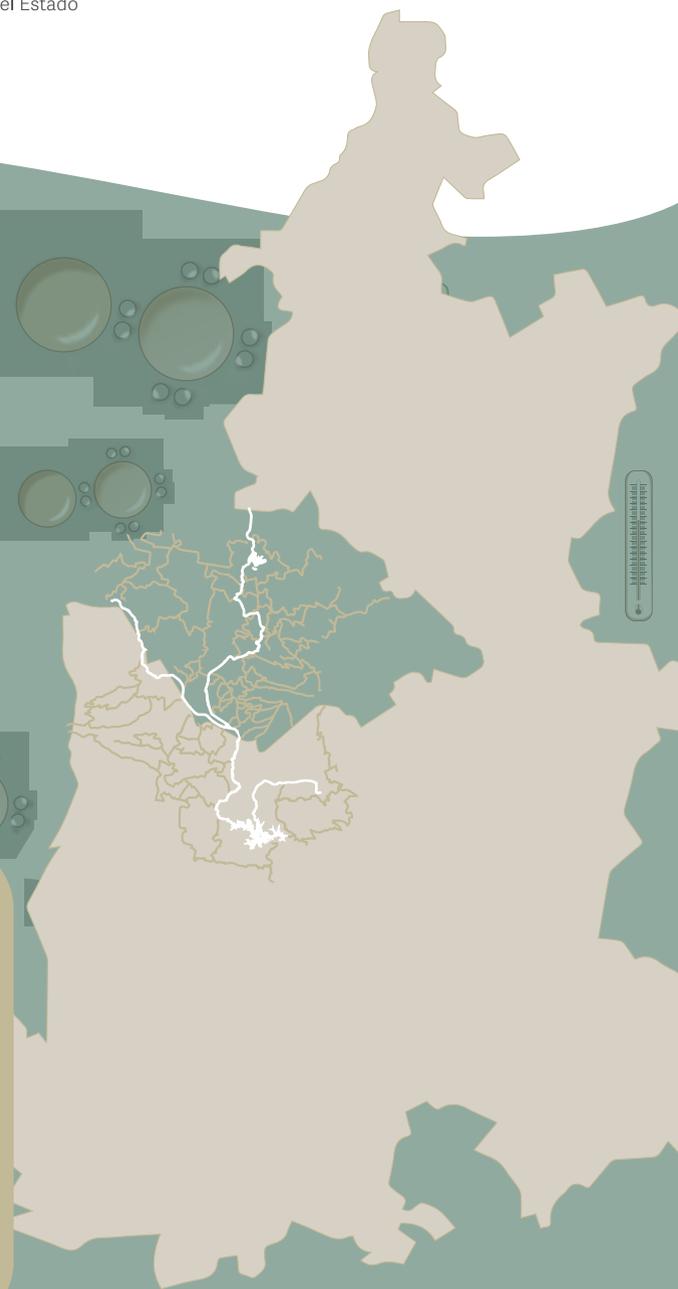
CONCYTEP

Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Puebla

◀ **Compilador: Dr. Daniel Hernández Castillo**

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad de las aguas del río Atoyac y presa Valsequillo

Compilación de estudios 1996 - 2020



Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad de las aguas del río Atoyac y presa Valsequillo

Compilación de estudios 1996 - 2020

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad de las aguas del río Atoyac y presa Valsequillo

Compilación de estudios 1996 - 2020



Gobierno de Puebla
Hacer historia. Hacer futuro.



Secretaría
de Educación

CONCYTEP

Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Puebla

AGRADECIMIENTOS

Dra. Estefanía Martínez Talavera
Universidad Popular Autónoma de Puebla

Dra. Gabriela Pérez Castresana
Universidad Iberoamericana, Puebla

Dra. Pilar Saldaña Fabela
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Dr. Pedro F. Rodríguez Espinosa
Instituto Politécnico Nacional (CIEMAD)

Miguel Barbosa Huerta
GOBERNADOR CONSTITUCIONAL DEL ESTADO DE PUEBLA

Ana Lucía Hill Mayoral
SECRETARIA DE GOBERNACIÓN DEL ESTADO DE PUEBLA

Melitón Lozano Pérez
SECRETARIO DE EDUCACIÓN DEL ESTADO DE PUEBLA

Sergio Salomón Céspedes Peregrina
PRESIDENTE DE LA JUNTA DE GOBIERNO Y COORDINACIÓN POLÍTICA
DEL H. CONGRESO DEL ESTADO LIBRE Y SOBERANO DE PUEBLA

Victoriano Gabriel Covarrubias Salvatori
DIRECTOR GENERAL DEL CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEL ESTADO DE PUEBLA

Daniel Hernández Castillo
COMPILADOR

Maricruz Vázquez Bañuelos
RESPONSABLE DEL ÁREA DE PUBLICACIONES

Abigail Ramírez Beltrán
RESPONSABLE DE DISEÑO EDITORIAL

Luis Gerardo Aguirre Rodríguez
DISEÑADOR EDITORIAL

Eduardo Jáuregui Sainz de Rozas
CORRECTOR DE ESTILO

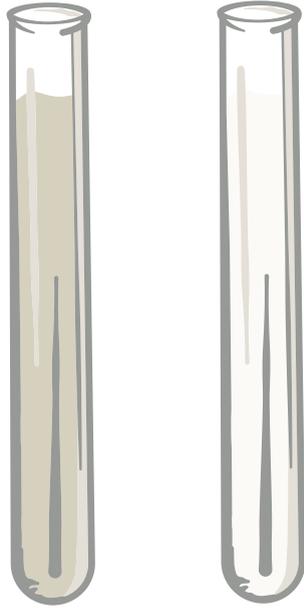
Primera edición, México, 2021
Publicado por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla
(CONCYTEP) Privada B Poniente de la 16 de Sept. 4511, Col. Huexotitla, 72534. Puebla, Pue.

ISBN: 978-607-99506-1-3

La información contenida en este documento puede ser reproducida total o parcialmente por cualquier medio, indicando los créditos y las fuentes de origen respectivas.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1	ESTUDIOS REALIZADOS	15
MARCO TEÓRICO	3	Período 1996 a 1997	16
Composición de caudales de aguas residuales vertidas a los ríos	3	Período 1998 a 1999	17
Contaminantes de importancia en el tratamiento de aguas .	3	Período 2000 a 2001	21
Determinación de parámetros fisicoquímicos	4	Período 2005	25
Turbidez	4	Período 2006 a 2007	28
Temperatura	4	Período 2007	31
Potencial de hidrógeno (pH)	4	Período 1999 a 2008	38
Conductividad (λ)	4	Período 2008	42
Oxígeno Disuelto (OD)	5	Período 2010	46
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días, DBO ₅)	5	Período 2010 a 2011	47
Demanda química de oxígeno (DQO ₅)	5	Período 2011	60
Sólidos	5	Período 2013	72
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	6	Período 2013 a 2014	77
Sólidos disueltos totales (SDT)	6	Período 2014	98
Coeficiente de absorción espectral (SAC)	6	Período 2015	99
Potencial de óxido reducción (ORP)	6	Período 2015 a 2016	107
Potencial de hidrógeno, conductividad y potencial de óxido-reducción	6	Período 2016	125
Métodos analíticos	7	Período 2017	128
Determinación de parámetros microbiológicos	7	Período 2018	131
Metales pesados.	7	Período 2019	144
Parámetros de toxicidad	8	Período 2020	157
Normatividad mexicana en calidad de aguas	8	TRABAJOS EN SEDIMENTOS	224
Evaluación de calidad de aguas.	12	CONCLUSIONES.....	227
Factores que considerar durante la caracterización fisicoquímica y biológica del agua:	13	BIBLIOGRAFÍA.....	228
a.- Origen y caudales de las aguas residuales.	13		
b.- Variaciones en las concentraciones de los contaminantes del agua residual.	13		
Análisis de datos de carga de agua residual.	14		



INTRODUCCIÓN

El río Atoyac recibe grandes cantidades de agua residual sin tratamiento. De acuerdo con el marco legal vigente, estas descargas son ilegales y por ello, frecuentemente, se encuentran ocultas por la vegetación de galería o sumergidas. Además de las descargas directamente de industrias y viviendas, el río recibe las aguas de las siguientes plantas de tratamiento: Barranca del Conde, San Francisco y Atoyac Sur, las cuales no cumplen con los criterios de calidad de descarga, rebasando los *límites máximos permisibles* de acuerdo la PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 para sólidos suspendidos, DBO5, grasas y aceites, así como para coliformes fecales (Comité Vive Atoyac, 2018; Pérez-Castresana, 2019). Por lo cual, es de imperante necesidad conocer la caracterización fisicoquímica y biológica del río con miras para determinar los parámetros de diseño y dimensionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales vertidas a lo largo del cause del río Atoyac.

Conforme a datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), más de un tercio de los sitios de monitoreo en el país, que son parte de la Red Nacional de Monitoreo, presentaron una calidad mala o muy mala, en cuanto al parámetro de Demanda Química de Oxígeno (DQO), el cual indica la presencia de materia orgánica e inorgánica (CONAGUA Atlas del Agua, 2015). Existe una relación estrecha entre la contaminación del agua y el crecimiento económico. Prácticamente toda actividad económica genera algún subproducto y ese a menudo se descarga en los cuerpos de agua. Al mismo tiempo, la presencia de contaminación de esta impacta indudablemente en la economía, al aumentar los costos de salud, reduciendo la productividad laboral y aumentando costos para las empresas. Incluso puede existir una reducción de los rendimientos agrícolas (Azíz y Ortega, 2020).

Es claro que los problemas de contaminación en los cuerpos de agua se deben principalmente a las descargas puntuales que son vertidas sin previo tratamiento y a las que pasan por algún proceso de tratamiento que remueve ligeramente los contaminantes, debido a una baja eficiencia de remoción, o bien a que el sistema de tratamiento no es el adecuado para el tipo de compuestos que se descargan; lo

que pone de manifiesto que, para que tanto las industrias como los municipios mejoren sus sistemas de tratamiento y/o en su caso, inviertan en infraestructura que les asegure la remoción de los contaminantes eficazmente, es necesario la realización de estudios de clasificación del cuerpo receptor que deben hacerse caracterizando todas las fuentes de contaminación que son aportadas al río, así como determinar la calidad del agua del río antes y después de la descarga para establecer la capacidad de asimilación y dilución del cuerpo de agua, como lo estipula la Ley de Aguas Nacionales en su artículo 87 (CNA, 2004) y sus reglamentos. Y con base en el conocimiento de los límites máximos permisibles de contaminantes permitido de acuerdo al uso y aprovechamiento del cuerpo de agua receptor como lo marca el artículo 278-A de la Ley Federal de Derechos (CNA, 2005). Así como con la información generada de las fuentes puntuales y la comparación de los límites máximos permisibles de la normatividad vigente (NOM-001-SEMARNAT-1996), se debe estimar la carga de contaminantes que recibe un río para determinar su capacidad de asimilación de contaminantes. La clasificación del cuerpo receptor identificará los tramos de mayor contaminación y las descargas que están impactando la calidad del agua, de tal forma que se detecte la descarga o descargas que deterioran la calidad del cuerpo de agua y se determine el tratamiento más adecuado, así como mediante la publicación de la Declaratoria de Clasificación en el Diario Oficial de la Federación, los generadores de las descargas tanto privadas como públicas o municipales se involucren para mejorar las condiciones de calidad del agua del cuerpo receptor a nivel de subcuenca y cuenca (Saldaña y Gómez, 2002b).

Mejorar la calidad del agua de los ríos de México debe ser una política prioritaria y tratarse como un tema de agenda urgente en los ámbitos de la salud pública, la economía y el medio ambiente. La naturaleza de los problemas de calidad del agua es compleja y multifacética, por lo cual sus soluciones implican enfoques que puedan articular esa complejidad (Azíz y Ortega, 2020).

La determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua residual a eliminar de una determinada población es fundamental a la hora de proyectar las instalaciones para su recolección, tratamiento y evacuación final en un río.



Con el fin de obtener un diseño adecuado a las necesidades de la población y también, con el objetivo de llevar una adecuada reducción y equitativo reparto de los costos entre los diversos municipios agrupados para tratar conjuntamente sus aguas residuales, es preciso conocer datos fiables sobre las características fisicoquímicas de sus aguas vertidas que se requieran tratar (Metcalf y Eddy, 1995).

El objetivo de este documento es compilar la información de las características fisicoquímicas de las aguas del río Atoyac, con base los diversos estudios realizados por instituciones de educación e investigación, y presentar un estudio de los parámetros fisicoquímicos y biológicos de la calidad de las aguas de los ríos Atoyac, Zahupan, afluentes y la presa Valsequillo.

El estudio fue realizado a través de la recopilación de información de diferentes artículos y reportes de investigación obtenidos en bancos de informática, que fueron desarrollados por diferentes instituciones, centros de investigación y la red de monitoreo de agua de la Comisión Nacional de Agua que ha realizado proyectos de caracterización de la calidad de aguas en diferentes partes del cause de los ríos Atoyac, Zahuapan y la presa Manuel Ávila Camacho a lo largo del tiempo.

El conjunto de **tablas** y **graficas** presentadas en el presente escrito, fueron elaboradas a partir del análisis y la integración de la información proporcionada por los diversos autores, con el fin de realizar una síntesis de datos necesarios que sirvan de base para el diseño y dimensionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales que se descargan en el río Atoyac.



MARCO TEÓRICO

El tratamiento de las aguas residuales se refiere a los procesos que limpian el agua de contaminantes y permiten su reincorporación a los cuerpos de agua o a los sistemas de alcantarillado. El vertido de aguas residuales no tratadas en los cuerpos de aguas nacionales tiene un impacto en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas que, a su vez, afecta la cantidad de recursos hídricos disponibles para uso directo (SEMARNAT, 2015), tiene efectos nocivos para la salud humana y afecta el bienestar de las comunidades y los medios de subsistencia de las personas (WAAP, 2017; Aziz *et al.*, 2020).

Los impactos socioambientales del vertido de aguas residuales sin tratamiento van desde los malos olores hasta la destrucción de acuíferos, degradación de ecosistemas fluviales, lacustres y de aguas subterráneas (acuíferos) y riesgos inminentes en la salud humana (De Anda, 2017; WAAP, 2017). Las comunidades que viven en las adyacencias a los ríos altamente contaminados con aguas residuales (entre 1 y 2 kilómetros) se encuentran en riesgo sanitario, dada en su exposición a las sustancias tóxicas y organismos patógenos a través de la inhalación de vapores y partículas suspendidas en el aire, así como la ingestión de alimentos y agua contaminada (CONAGUA, 2008; Pérez-Castresana, 2017; Aziz, 2020).

Existe la necesidad de una gestión interdisciplinaria en el uso del agua del territorio, el tipo de actividades realizadas en las cuencas, el análisis de composición fisicoquímica y biológica del agua, información ambiental, poblacional y socioeconómica son herramientas para el estudio y combate de la contaminación de cuencas e información necesaria para la gestión de cuencas (Torres, 2013; Aziz, 2020).

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para el desarrollo del proyecto de infraestructura tanto de recolección como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, así como para gestión de la calidad medioambiental.

En el país, en los últimos años se ha invertido mucho dinero en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales. Desafortunadamente, el funcionamiento de muchas de estas instalaciones no ha satisfecho plenamente las condiciones exigidas por las normativas sobre descargas. En muchos casos y con sobrecostos se tienen que ser replanteadas y modificadas instalaciones de tratamiento de aguas residuales recién construidas debido a errores desde los parámetros de diseño, que se traducen finamente en incumplimiento de las normas de descarga existentes, por lo cual, se requiere del diseño de plantas de tratamiento moderno, cuya operación y mantenimiento sea más sencillo y eficaz (Metcalf y Eddy, 1995).

COMPOSICIÓN DE CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES VERTIDAS A LOS RÍOS

La composición de los caudales de aguas residuales de una comunidad depende del tipo de sistema de recolección que se emplee y puede incluir los siguientes componentes:

- Agua residual doméstica (o sanitaria). Procedente de zonas residenciales o instalaciones comerciales y similares.
- Agua residual industrial. En la cual, dominan diversos vertidos industriales.
- Infiltraciones y aportaciones incontroladas. Que entran de manera directa o indirecta a la red de alcantarillado por ejemplo aguas pluviales. Así como infiltraciones que entran al sistema de alcantarillado a través de juntas defectuosas, fracturas y grietas del sistema de suministro de aguas (Metcalf y Eddy, 1995).

CONTAMINANTES DE IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. Muchos de estos parámetros están relacionados entre sí. Por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad biológica como la cantidad de gases disueltos en el agua, las normas que regulan los tratamientos secundarios del agua, están basadas en las tasas de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en el agua. Sin embargo las normas



implantadas recientemente incluyen el control de la eliminación de nutrientes y de los contaminantes prioritarios y cuando se pretende reutilizar el agua, las exigencias normativas incluyen también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y en algunos casos sólidos inorgánicos disueltos (Metcalf y Eddy, 1995).

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Dentro de las diferentes alternativas para mejorar la gestión de la calidad del agua del río Atoyac, el monitoreo continuo puede ser un factor clave para optimizar recursos y esfuerzos enfocados a la vigilancia de descargas de tipo residual en la cuenca, ya que este tipo de monitoreo funciona para verificar la calidad de los cuerpos de agua y tener un control de contaminantes con la intención de mitigar los impactos ambientales a través de la medición de diferentes parámetros (sensores) asociados a la calidad del agua (Di Blasi *et al.*, 2013). El principal propósito de un sistema de monitoreo de la calidad del agua en un río o una cuenca hidrográfica es proporcionar información suficiente para permitir la gestión respecto a la exposición a la salud en sistemas de suministro de agua potable. El segundo propósito puede incluir problemas de monitoreo del ambiente como la identificación de fuentes de contaminación, o posibles contaminadores, incluso operaciones de saneamiento en caso de derrames accidentados o deliberados (Telci *et al.*, 2009; Hernández-Rodríguez, 2019).

TURBIDEZ

La turbidez en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas. Materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos (NMX-AA-038-SCFI- 2001; Martínez-Tavera, 2016).

TEMPERATURA

De la temperatura dependen las velocidades de posibles reacciones químicas y sus equilibrios, pero también los posibles procesos microbiológicos dentro del agua que se va a analizar. Por lo general, se estima

que una reacción química aumenta su velocidad al doble cuando la temperatura crece en 10 K (Geissler 2011; Martínez-Tavera, 2016).

El valor de temperatura es un criterio de calidad del agua para la protección de la vida acuática y para las fuentes de abastecimiento de agua potable. Es también un parámetro establecido como límite máximo permitido en las descargas de aguas residuales y una especificación de importancia en los cálculos de balance de energía y de calor de los procesos industriales (NMX-AA-007-SCFI-2000; Martínez-Tavera, 2016).

POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)

El pH tiene una escala de valores que va de 0 a 14; siendo el pH=7 el punto de referencia. El pH en aguas naturales, residuales o industriales juega un papel fundamental, ya que obteniendo su valor se puede saber si las aguas son ácidas o alcalinas; siendo lo ideal que se encuentre en un intervalo de 6.5 a 8.5 como lo marca la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-1994 (que establece los límites máximos permisibles LMP para el agua para uso y consumo humano). Asimismo, es importante para el funcionamiento efectivo de los procesos de tratamiento de aguas y su control (por ejemplo, floculación y desinfección de cloro), el control de plumbosolencia de aguas potables y tratamiento biológico de aguas residuales y los vertidos de aguas residuales (NMX-AA-008-SCFI-2011; Martínez-Tavera, 2016).

CONDUCTIVIDAD (λ)

La conductividad es un indicador de sales disueltas en el agua, sales que pueden tener origen natural o antropogénico. La erosión del suelo y el intemperismo de rocas y posiblemente las cenizas provenientes de las exhalaciones del volcán Popocatepetl pueden contribuir de forma natural al aumento de este índice, pero también actividades antropogénicas de origen residencial e industrial. Es por ello que es un parámetro general que permite conocer la contaminación de origen natural-antropogénico. Desde luego que máximos importantes corresponden sin duda a actividades antropogénicas (Martínez-Tavera, 2016).



La conductividad no es un parámetro que se encuentre normalizado, pero guarda proporcionalidad con los sólidos disueltos totales que son básicamente aquellos que están constituidos por sales binarias cuya composición proviene de metales alcalinos y alcalinotérreos (Grupo IA y IIA de la tabla Periódica y no metales del grupo VII Cloro, Bromo, Yodo y Flúor); entre las más conocidas están el NaCl (cloruro de sodio). Estas sales binarias son excelentes electrolitos y por lo tanto conducen fácilmente la corriente eléctrica, esto es tienen una alta conductividad. En la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-1994 los sólidos disueltos totales tienen como LMP 1000 mg/L (Martínez-Tavera, 2016).

OXÍGENO DISUELTO (OD)

El oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, por lo que está muy influido por las turbulencias del río (que aumentan el OD) (NMX-AA-012-SCFI- 2000).

Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, por lo que ríos con muchas plantas en días de sol pueden presentar sobresaturación de OD. Otros factores como la salinidad, o la altitud s.n.m. (debido a que cambia la presión) también afectan los niveles de OD. La cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) depende de la temperatura. El agua más fría puede contener más oxígeno en ella que el agua caliente.

Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 7 y 12 partes por millón (ppm o mg/l). A veces se expresan en términos de Porcentaje de Saturación. Los niveles bajos de OD pueden encontrarse en áreas donde el material orgánico (vertidos de plantas de tratamiento, granjas, plantas muertas y materia animal) está en descomposición. Las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos y, por lo tanto, disminuyen el oxígeno del agua. La disminución de oxígeno se interpreta como baja calidad del agua. Cuando se presentan condiciones críticas de contaminación el oxígeno disuelto tiende a ser cero (Martínez-Tavera, 2016).

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (5 DÍAS, DBO₅)

DBO₅ es el parámetro que se maneja para tener una medida de la materia orgánica biodegradable. Se define como la cantidad de oxígeno necesaria para la descomposición biológica aeróbica (mediante microorganismos) de la materia orgánica biodegradable contenida en el agua. Sus unidades, por lo tanto, son mg O₂/L. Se calcula midiendo la disminución en la concentración de oxígeno disuelto en el agua después de incubar una muestra durante 5 días a 20 °C. La reacción se lleva a cabo en la oscuridad para evitar la producción de oxígeno por algas, a dilución adecuada, y manteniendo el pH entre 7-7,5. En estas condiciones de reacción en 5 días se degrada un 60-70% la materia orgánica carbonada. La nitrificación del amoníaco producido por las proteínas comienza entre los 6 y 10 días. Unos valores elevados de DBO₅ indican una alta concentración de materia orgánica biodegradable (NMX-AA-028-SCFI-2001; Martínez-Tavera, 2016).

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO₅)

La DQO₅ mide la cantidad de materia orgánica total susceptible de oxidación química (bio y no biodegradable). En esta medida se sustituyen los microorganismos por un poderoso agente químico como el dicromato o el permanganato de potasio en medio ácido (APPHA-AWWA- WPCF 5220 D; NMX-AA-030-SCFI- 2001). Se expresa como la cantidad de oxígeno equivalente necesaria para la oxidación química de la materia orgánica oxidable contenida en el agua. Sus unidades, por lo tanto, son las mismas que la DBO₅, es decir, mg O₂/L. Entre las ventajas sobre la medida de DBO₅ cabe destacar el tiempo considerablemente inferior del análisis (3 h) (Martínez-Tavera, 2016).

SÓLIDOS

Los sólidos son los materiales suspendidos o disueltos en aguas limpias o en aguas residuales. Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.



SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

Sólidos Totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los sólidos totales suspendidos, o porción de sólidos totales retenidos por un filtro, y los sólidos disueltos totales o porción que atraviesa el filtro. El tipo de soporte del filtro, el tamaño del poro, la porosidad, el área y el espesor del filtro, así como la naturaleza física y el tamaño de las partículas y la cantidad de material depositado en el filtro son los factores principales que afectan a la separación de los sólidos suspendidos y los disueltos (APHA-AWWA-WPCF 2540; Martínez-Tavera, 2016).

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que está disueltas en el agua (NMX-AA-034-SCFI 2001).

Se ha establecido un límite de 500 mg/l de sólidos disueltos para el agua potable. El análisis de sólidos disueltos es también importante como indicador de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico en aguas reutilizadas (APHA-AWWA-WPCF 2540 C; (Martínez-Tavera, 2016).

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ESPECTRAL (SAC)

Tradicionalmente los componentes biodegradables de las aguas residuales se miden por una serie de métodos de química húmeda, de los cuales el más importante se considera ser la prueba de DBO_5 , sin embargo, es inadecuada para el control eficaz y eficiente del proceso debido al tiempo requerido para completar la prueba (5 días) y la dificultad en la consecución de mediciones consistentes y precisas. Otras pruebas químicas tales como la demanda química de oxígeno (DQO) y la prueba de carbono total orgánica (TOC), a pesar de ser más rápida que la prueba de la DBO_5 , no distinguen entre materia orgánica “biodegradable” y “no biodegradable”. Por lo cual suele utilizarse

el Coeficiente de Absorción Espectral (SAC), que es la correlación de la absorbancia UV a 254 nm y la materia orgánica biodegradable. En otras palabras, es medición indirecta de la DBO_5 (Reynolds y Ahmad 1997). La concentración de materia orgánica se puede expresar en unidades de coeficiente de Absorción espectral SAC, DQO, DBO_5 , TOC u oxidabilidad al permanganato potásico entre otros. La correlación entre SAC y otros parámetros como pueden ser DQO, TOC, etc. Es de la misma calidad que la que existente entre por ej. DQO y TOC (Martínez-Tavera, 2016).

POTENCIAL DE ÓXIDO REDUCCIÓN (ORP)

El ORP es un parámetro complementario al pH, no se encuentra normado en México, se mide en mili volts (mV) y representa la actividad de los electrones que tienen carga negativa y que están en flujo en la muestra de agua. Se complementa con el pH. El ORP es un parámetro que tiene una gran relevancia ya que a través de él es posible establecer si el agua presenta procesos de oxidación o reducción, los cuales representan la pérdida o ganancia de electrones. En otras palabras, potenciales oxidantes (+) significan que hay materia orgánica o inorgánica presente que se está descomponiendo (oxidándose) o que se trata de aguas de pH con tendencia a la alcalinidad. Las aguas ácidas presentarían el contraste, es decir, potenciales reductores (-), que significa que hay componentes altamente reactivos y que están buscando reaccionar para completar su carga electrónica y esto también es nocivo en las aguas ya que significa que hay muy poca cantidad de oxígeno disuelto y por lo tanto se trata de aguas anóxicas (Martínez-Tavera, 2016).

POTENCIAL DE HIDRÓGENO, CONDUCTIVIDAD Y POTENCIAL DE ÓXIDO-REDUCCIÓN

El pH, Conductividad y Potencial de Óxido Reducción son parámetros muy importantes que reflejan a través de la medición de concentración de iones hidronio (H_3O^+) para el pH; del inverso de la resistividad ($1/r$) a través de la conductividad que mide el flujo de la corriente eléctrica en $\mu\text{Siemens/cm}$ y el ORP que indica el potencial de óxido reducción que evalúa la corriente de electrones que están participando en estos dos procesos (oxidación = pérdida de electro-



nes; reducción = ganancia de electrones). El pH y el ORP se miden a través de un electrodo y la conductividad de una celda y son considerados métodos potenciométricos (Martínez-Tavera, 2016).

MÉTODOS ANALÍTICOS

Para la caracterización del agua se emplean tanto métodos de análisis cuantitativos, para la determinación precisa de la composición química del agua, como análisis cualitativos para el conocimiento de las características físicas y biológicas. Los métodos cuantitativos pueden ser gravimétricos, volumétricos o fisicoquímicos. Estos últimos, se utilizan para determinar parámetros no relacionados con las propiedades másicas o volumétricas del agua, e incluyen métodos instrumentales como la turbidimetría, colorimetría, potenciometría, polarografía, espectrometría de adsorción, fluorometría, espectroscopía y radiación nuclear. Los detalles relativos a los diversos análisis pueden encontrarse en la publicación de Métodos Estándares y las Normas Técnicas que constituyen la referencias más ampliamente aceptadas que detallan los procedimientos para llevar a cabo el análisis del agua (Metcalf y Eddy, 1995). En la tabla 1, se presenta para cada uno de los parámetros el método normalizado empleado (Martínez-Tavera, 2016).

Tabla 1. Parámetros y métodos normalizados comúnmente empleados

No.	Mediciones	PARÁMETRO	MÉTODOS NORMALIZADOS DE ANÁLISIS	
			MEXICO	INTERNACIONAL
1	Campo	pH	NMX-AA-008-SCFI-2011	APHA-AWWA-WPCF 4500-H ⁺ B
2		Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2000	APHA-AWWA-WPCF 2550 B
3		Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2001	APHA-AWWA-WPCF 2510 B
4		OD	NMX-AA-012-SCFI-2001	APHA-AWWA-WPCF 4500-O G
5		Redox	ASTM-D1498-08	
6		Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001	APHA-AWWA-WPCF 2130 B
7		SAC	METODO EPA 4153	
8	Laboratorio	DQO	NMX-AA-030-SCFI-2001	APHA-AWWA-WPCF 5520 D
9		DBO ₅	NMX-AA-028-SCFI-2001	APHA-AWWA-WPCF 5210 B
10		SST	NMX-AA-0034-SCFI-2001	APHA-AWWA-WPCF 2540 D

Martínez-Tavera, 2016.

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

En el análisis microbiológico de las aguas no se buscan directamente las bacterias o virus patógenos, sino algunas bacterias indicadoras de contaminación como heces fecales existen diversas técnicas de análisis microbiológico que permiten detectar la presencia de ciertos microorganismos indicadores de contaminación tales como el método de filtración por membrana, la técnica del NMP o fermentación en tubos múltiples, los cuales son utilizados como control de calidad de agua donde se requiere procesar un gran número de muestras (Vargas, 2000).

El grupo de bacterias coliformes fecales tiene importancia relevante como indicadores de contaminación de agua, ya que están asociados a fuentes de patógenos. Comprende un grupo muy reducido de microorganismos, entre los que se destaca *Escherichia coli*, siendo el más reconocido representante de contaminación de calidad de agua (Suárez, 2002). Esta bacteria tiene un origen específicamente fecal, pues está siempre presente en grandes cantidades en las heces de los seres vivos de sangre caliente. Desde hace tiempo se reconoce que los organismos del grupo coliformes son un buen indicador microbiano de la calidad del agua y si se halla la presencia de *Escherichia coli* en muestras de agua, indica la existencia de fallas en la eficacia de tratamiento de aguas, en la integridad del sistema de tratamiento y por tanto evidencia de contaminación de diferentes orígenes: suelo, superficies de agua dulce y tracto digestivo (Chávez, 2002). Esta bacteria se encuentra en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en sedimentos del fondo (Ecofluidos ingenieros S.A. 2012).

METALES PESADOS

La determinación cuantitativa y especiación de metales pesados a bajos niveles de concentración en muestras de carácter ambiental es necesaria debido a su toxicidad, y a que, a diferencia de los residuos orgánicos, los metales no se degradan y se acumulan en los suelos y sedimentos, por lo que afectan a los ecosistemas de forma prolongada. El mercurio, el plomo y el cadmio se encuentran entre los metales pesados de mayor peligro ambiental, ya que se utilizan de forma



masiva en procesos industriales y algunas de sus formas químicas poseen una elevada toxicidad. Al ser transportados en gran medida por el aire asociados a partículas sólidas, pueden encontrarse como contaminantes de aguas naturales de procedencia diversa y alejadas de los focos reales de contaminación (Ecofluidos ingenieros, 2012).

PARÁMETROS DE TOXICIDAD

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

La prueba de toxicidad utiliza a la bacteria luminiscente, *Photobacterium phosphoreum* y consiste en exponer bajo condiciones controladas en el laboratorio, a una población de bacterias (100,000 organismos) (Microbics, 1992, Crompton, 1997) a una muestra de la descarga total a diferentes concentraciones (100, 50, 25 y 12.5%), las bacterias emiten luz en condiciones normales, con la presencia de un tóxico en la muestra la emisión de luz que produce este organismo disminuye de forma proporcional a la concentración del o los contaminantes de la muestra obteniéndose la concentración efectiva que mata al 50% de la población (CE50). El efecto es calculado en términos porcentuales respecto al abatimiento de la emisión de luz. Posteriormente para calcular las unidades de toxicidad, se divide cien entre la concentración efectiva media (EC50) para la clasificación de la descarga (tabla 2) (Saldaña y Gómez, 2002b).

Tabla 2. Clasificación de toxicidad basada en Unidades de Toxicidad (UT)

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

Saldaña y Gómez, 2002b

NORMATIVIDAD MEXICANA EN CALIDAD DE AGUAS

La NOM-001-SEMARNAT-1996 es la norma que establece límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (tablas 3, 4 y 5). Este instrumento normativo regula veinte parámetros: ocho parámetros básicos, ocho metales pesados, cianuros, potencial de hidrógeno (pH), coliformes fecales y parásitos. Se considera que esta norma, vigente desde 1996, es laxa e insuficiente pues la contaminación que es aportada a las aguas superficiales y subterráneas ha evolucionado de acuerdo con el desarrollo industrial y crecimiento poblacional de los países. Los parámetros que establece la norma no evitan la contaminación del agua, ya que hay descargas que cumplen con esta y que pueden aportar contaminantes tóxicos a ríos y otros cuerpos de agua (Saldaña *et al.*, 2006; McCulligh, 2007; Aziz *et al.*, 2020).

Los límites máximos permisibles previstos en la norma vigente son insuficientes para combatir la contaminación de los cuerpos receptores. Por ejemplo, un estudio del IMTA realizado en 2014 señala que, aun cumpliendo las descargas con la NOM-001-SEMARNAT-1996, las metas de calidad del agua en el río Santiago se ven superadas. Asimismo, a partir del “Estudio para la Clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan”, la Comisión Nacional del Agua determinó que incluso con el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 no es suficiente para alcanzar la calidad del agua requerida para los usos de dichos cuerpos de agua (Aziz *et al.*, 2020).



Tabla 3. Límites máximos permisibles establecidos para las descargas (mg/L)

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																					
PARÁMETROS	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)		
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)				
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Temperatura °C (1)	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia Flotante (3)	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A	N.A	1	2	
Sólidos Suspensos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A	N.A	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A	N.A	75	150	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A	N.A	N.A.	N.A.	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A	

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

P.D. = Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual;

N.A. = No es aplicable.

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

NOM-001-SEMARNAT-1996



Tabla 4. Límites máximos permisibles de metales y metaloides establecidos para las descargas (mg/L)

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																				
PARÁMETROS (*)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)			
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario P.M. = Promedio Mensual N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

NOM-001-SEMARNAT-1996



Tabla 5. Límites máximos permisibles de coliformes y huevos de Helmintos según la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Coliformes fecales (NMP) Número más probable		Parásitos huevos de Helmintos	
Vertidas en aguas	Vertidas en suelo	Riego agrícola restringido	Riego no restringido
1,000	2,000	1 huevo por litro	5 huevos /litro

La otra norma que regula las descargas de aguas residuales es la NOM-002-SEMARNAT-1996. Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, siendo de observancia obligatoria para cualquiera que realice descargas a la red de alcantarillado municipal (tabla 6). Verificar el cumplimiento de esta norma es facultad de los municipios. Es de vital importancia que los municipios se aseguren que los parámetros que contempla la NOM-002 sean cumplidos, ya que toda el agua que se descarga al sistema de alcantarillado municipal acabará en las plantas de tratamiento municipales. Al no cumplirse los parámetros de la NOM-002, descargando sustancias no contempladas por esta, se podría comprometer el funcionamiento de las plantas de tratamiento municipales (Aziz *et al.*, 2020).

Tabla 6. Límites máximos permisibles establecidos para las descargas (mg/L)

PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

NOM-002-SEMARNAT-1996

En 2018 se presentó el Proyecto de Modificación de la 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 (PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017). El proyecto propone incluir nuevos parámetros como toxicidad, color y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Además, busca reducir los límites máximos permisibles para los parámetros ya existentes. Durante la consulta pública de este proyecto de actualización, a través del Sistema de Manifestación de Impacto Regulatorio de la CONAMER-SIMIR, diversos actores realizaron comentarios al anteproyecto. Las instituciones que representan a la sociedad civil y a la academia consideraron que la inclusión del parámetro toxicidad aguda representa un avance con respecto a la NOM vigente, ya que permite determinar si las descargas de aguas residuales tienen efectos adversos en organismos vivos. Asimismo, consideran que este proyecto de modificación a la NOM no garantiza un tránsito eficiente de la grave contaminación actual hacia un control efectivo de la contaminación de los cuerpos de agua en México pues no toma en cuenta el control de sustancias químicas pueden ser genotóxicas



(daños en el material genético debido al efecto de sustancias químicas tóxicas), mutagénicas (modificaciones genéticas), teratogénicas (alteraciones en el desarrollo embrionario), carcinogénicas, así como generadoras de impactos toxicológicos y daños al sistema endocrino. Tampoco contempla modificaciones sustantivas en los límites para metales pesados y cianuros, en comparación con la norma vigente (Aziz *et al.* 2020).

Este proyecto de actualización aún no ha sido aprobado. Sin embargo, su aprobación es importante, ya que existen descargas de aguas residuales que aun cumpliendo con los parámetros establecidos en la NOM vigente están contaminando los cuerpos receptores de aguas nacionales permitiendo altos niveles de toxicidad o color, por lo que no ofrece la suficiente protección para los cuerpos de agua del país (Aziz *et al.*, 2020).

La Manifestación de Impacto Regulatorio del Proyecto de NOM que elaboró la SEMARNAT indica que, a pesar de que el volumen total de agua tratada se ha incrementado, esto no se ha visto reflejado en la calidad, pues cumplir con la norma vigente no es suficiente para controlar la contaminación del agua. Sin embargo, la aprobación del Proyecto de la NOM-001-2017-SEMARNAT es importante para establecer estándares más estrictos de límites máximos permisibles y prever una mayor cantidad de contaminantes cuyas descargas se deben controlar (Aziz *et al.*, 2020).

EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS

La evaluación de la calidad del agua superficial se lleva a cabo con base en ocho indicadores: Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST) y Coliformes Fecales (CF), *Escherichia Coli* (E.COLI) Enterococos (ENTEROC), Porcentaje de Oxígeno disuelto (OD%) y Toxicidad (TOX). La calidad del agua en sitios superficiales también se determina a través de un semáforo el cual considera tres colores: verde, amarillo y rojo. A partir de esos indicadores medidos la CONAGUA conforma el semáforo en el cual, se determina la calidad de agua superficial en los distintos sitios de monitoreo (Aziz *et al.*, 2020).

Las determinaciones de los parámetros fisicoquímicos y biológicos se llevan a cabo en la Red Nacional de Laboratorios, la cual está constituida por 13 laboratorios ubicados en los Organismos de Cuenca, 14 en las direcciones Locales y un Laboratorio Nacional de Referencia, ubicado en la ciudad de México. Los sitios con monitoreo de calidad de agua están ubicados en zonas con alta influencia antropogénica. La escala de clasificación de calidad de agua se muestra en la tabla 7 (CONAGUA, 2014; Martínez-Tavera, 2016).

Tabla 7. Indicadores de Calidad del Agua de acuerdo a CONAGUA

Sólidos Suspendedos Totales (SST)		
SST ≤ 25	EXCELENTE. Clase de excepción, muy buena calidad.	AZUL
25 < SST ≤ 75	BUENA CALIDAD. Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto.	VERDE
75 < SST ≤ 150	ACEPTABLE. Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido.	AMARILLO
150 < DQO ≤ 400	CONTAMINADA. Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido.	NARANJA
SST > 400	FUERTEMENTE CONTAMINADA. Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces.	ROJO

Fuente: CONAGUA. Subdirección General Técnica.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)		
DBO ₅ ≤ 3	EXCELENTE. No contaminada BUENA CALIDAD. Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.	AZUL
3 < DBO ₅ ≤ 6	ACEPTABLE. Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	VERDE
6 < DBO ₅ ≤ 30	CONTAMINADA. Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	AMARILLO
30 < DBO ₅ ≤ 120	FUERTEMENTE CONTAMINADA. Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	ROJO
DBO ₅ ≤ 120		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)		
DQO ≤ 10	EXCELENTE. No contaminada BUENA CALIDAD. Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable.	AZUL
10 < DQO ≤ 20	ACEPTABLE. Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	VERDE
20 < DQO ≤ 40	CONTAMINADA. Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	AMARILLO
40 < DQO ≤ 200	FUERTEMENTE CONTAMINADA. Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	ROJO
DQO > 200		

Martínez-Tavera, 2016

FACTORES QUE CONSIDERAR DURANTE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL AGUA:

A.- ORIGEN Y CAUDALES DE LAS AGUAS RESIDUALES

Caudal o Gasto

El caudal o gasto es uno de los parámetros importantes en las determinaciones que se realizan “*in-situ*” ya que de él dependerán en gran parte las concentraciones de los contaminantes en las muestras. Cuanto mayor sea el caudal, menor será impacto de la contaminación. Este parámetro se evalúa determinando la velocidad de la corriente del río y la sección de forma aproximada y se calcula con la siguiente expresión $q = AV$ (m³ /seg); donde Q es el caudal, A es la sección aproximada y V , la velocidad del agua (Ecofluidos ingenieros, 2012). La cuantificación del gasto en las zonas residenciales, centros comerciales, centros educativos e instituciones gubernamentales constituyen las principales fuentes de generación de aguas residuales domésticas necesaria para la determinación de caudales a tratar. En adición en muchos casos, a las aguas industriales, a las aguas pluviales e infiltraciones de una región o comunidad. Todas ellas presentan variaciones espacio-temporales que es necesario conocer para el diseño de una planta de tratamiento de aguas (Metcalf y Eddy, 1995).

Pero en el presente estudio, sólo nos enfocaremos en la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales.

B.- VARIACIONES EN LAS CONCENTRACIONES DE LOS CONTAMINANTES DEL AGUA RESIDUAL

Desde el punto de vista de los procesos de tratamiento, el diseño de una planta de tratamiento basado sólo en valores medios de los caudales y los valores medios de la DBO₅ y de los sólidos suspendidos (SS) constituye un grave error, puesto que se omite la existencia de condiciones extremas que dan lugar a valores punta (Metcalf y Eddy, 1995).

Habitualmente, las puntas de caudales y cargas de DBO₅ y SS no se dan simultáneamente por lo que, un proyecto basado en la concu-



rrencia de las diferentes puntas puede resultar sobredimensionado. El análisis de registros existentes es el mejor método para estimar las cargas punta y sostenidas apropiadas es más conveniente determinar el efecto que pueda causar los vertidos que se van a descargar y para ello, es importante conocer los principales factores responsables de la variaciones de las cargas que son:

1. Las costumbres de los residentes de la población, que producen variaciones a corto plazo (horarias, diarias y semanales), La variación de la concentración de la DBO_5 sigue la misma curva que los caudales y su concentración punta suele presentarse a última hora de la tarde, alrededor de las 21 horas. El agua residual procedente de redes de alcantarillado combinado suele tener un contenido más alto de materia inorgánica que la que procede de sólo aguas domésticas, debido a la mayor cantidad de aguas pluviales que entran en las redes unitarias.
2. Condiciones de carácter estacional, que producen variaciones a mayor plazo. Considerando sólo el agua de origen doméstico y despreciando la infiltración, las aportaciones unitarias de contaminación (por habitante) y la concentración del agua residual procedente de la mayoría de las comunidades de carácter estacional, tales como centros turísticos, no varían prácticamente a lo largo del año, aun cuando el caudal total si presente variaciones. No obstante, la masa total de DBO_5 y de SS del agua residual aumenta directamente con la población a la que sirve la red. Las variaciones estacionales responden fundamentalmente a la cantidad de agua pluvial que entra al red de alcantarillado. En presencia de aguas pluviales, las concentraciones medias de estos contaminantes suelen ser menores que la concentraciones que se presentan en la aguas de origen doméstico. Por lo general los valores de la DBO_5 se hayan por debajo de la media durante la primavera y el verano, por el deshielo y las altas precipitaciones estivales. Sin embargo, a pesar de que la presencia de aguas pluviales hace que las concentraciones medias de la mayoría de los contaminantes sean menores, puede producirse un aumento significativo de la DBO_5 y de los SS en las primeras fases de una tormenta, este hecho es conocido como “efecto de primera descarga” más acentuado al final de un largo período de sequía,

en el que las velocidades de flujo que se alcanzan, erosionan y arrastran material depositado durante el periodo seco, junto con el lodo acumulado pero las altas concentraciones iniciales, no suelen mantenerse más de 2 horas, momento a partir del cual es apreciable el “efecto de dilución”.

3. Actividades industriales, que causan variaciones tanto a corto como a largo plazo. Las concentraciones de DBO_5 y SS en las aguas de origen industrial, pueden variar ampliamente a lo largo del día. Se ha observado que las concentraciones de la DBO_5 y SS de los vertidos de fábricas de procesado de productos vegetales durante la limpieza del mediodía pueden exceder con mucho las concentraciones correspondientes a las horas de trabajo, lo que provoca las llamadas “cargas de choque” en las pequeñas plantas de tratamiento. Por lo cual, debe prestarse especial atención a la estimación de las características del agua residual y de los caudales resultantes por los vertidos industriales en las redes de alcantarillado (Metcalf y Eddy, 1995).

ANÁLISIS DE DATOS DE CARGA DE AGUA RESIDUAL

El análisis de datos del agua residual implica la determinación de las variaciones de los caudales y de las cargas contaminantes. El análisis puede implicar la determinación de los valores correspondientes a medias simple, integradas o proporcionalmente al caudal de las concentraciones de los contaminantes específicos, y de las cargas contaminantes horarias o mantenidas. En la mayoría de los casos, es conveniente emplear valores medios integrados puesto que constituye una metodología de análisis más precisa ya que la utilización de medias simples puede conducir a conclusiones erróneas (Metcalf y Eddy, 1995).

La media integrada proporcionalmente al caudal se emplea para obtener una media más representativa de la concentración de los diferentes constituyentes del agua a tratar y se determina con la siguiente ecuación:



$$x_w = \frac{\sum_{i=1}^n x_i q_i}{\sum_{i=1}^n q_i}$$

Donde: X_w = concentración media del constituyente proporcional al caudal

N = número de observaciones.

X_i = concentración media del constituyente durante el i -ésimo período de tiempo

q_i = caudal medio durante el i -ésimo período de tiempo.

ESTUDIOS REALIZADOS

A continuación se presenta una línea del tiempo (fig. 1) de la compilación de los principales estudios de caracterización de las aguas de los ríos Atoyac, Zahuapan, sus afluentes y la Presa Manuel Ávila Camacho también llamada Vlasequillo, que conforma la Cuenca del Alto Atoyac, realizado por diversos investigadores del país. Cabe hacer mención, que los estudios están ordenados de manera cronológica, en el tiempo que se realizaron los muestreos y análisis, aunque éstos se hayan reportado años después.

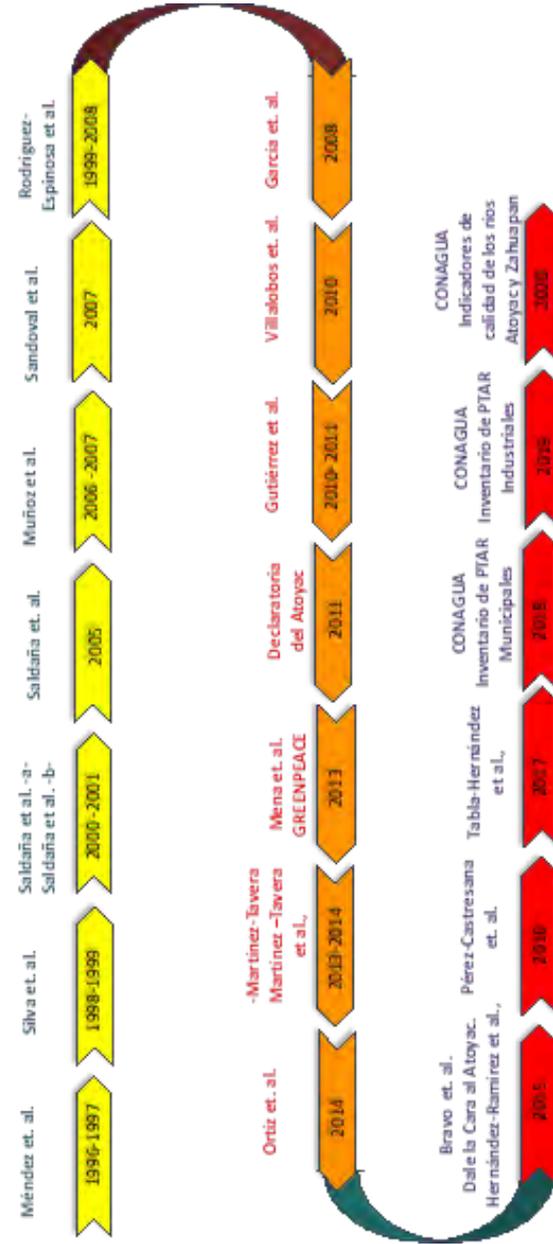


Figura 1. Línea del tiempo de investigación de caracterización de las aguas del río Atoyac por autores y año elaboración propia

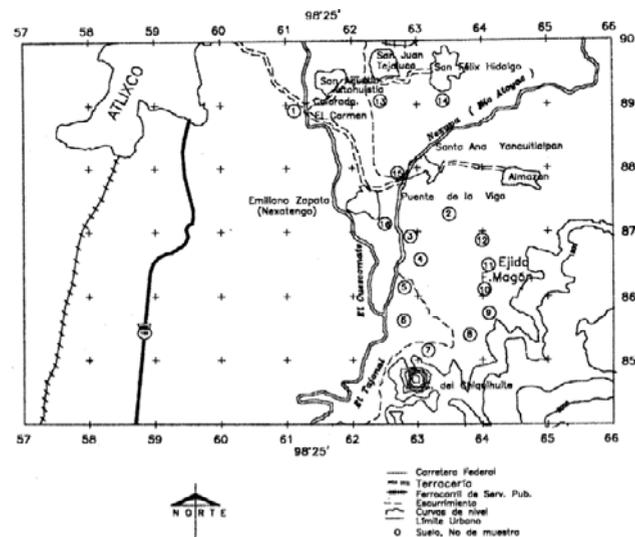


PERÍODO 1996 A 1997

El equipo de investigadores de Méndez *et al.* (2000), desarrollaron un estudio con el propósito de evaluar los niveles de contaminación por metales pesados, en suelos de 16 sitios del valle de Atilixco, estado de Puebla, que se han sometido al riego, por más de 30 años, con las aguas del río Atoyac, contaminadas con aguas residuales municipales e industriales. En el estudio, se realizó el monitoreo del río durante un año, en el trayecto río Frío–Atilixco, con el propósito de evaluar la calidad del agua.

La zona de estudio se localizó en el municipio de Atilixco, al suroeste de la ciudad de Puebla; específicamente, comprende el ejido Flores Magón, situado entre 18°50' y 19°50' latitud norte y 98°18' y 98°35' longitud oeste, a una altitud de 1840 m. Los sitios de muestreo correspondieron a: 1) sitio “testigo”, regado con agua de pozo; 2) suelos que se han sometido al riego con agua del río Atoyac, contaminado con aguas residuales por más de 30 años; 3) un suelo arenoso procedente de la ribera del río, sujeto a continuas inundaciones; y 4) una muestra de sedimento del cauce del río Atoyac (fig. 2). Adicional a la toma de muestras de suelo, se realizó el monitoreo del río Atoyac durante el período junio de 1996 a abril de 1997, donde se colectaron, trimestralmente, 17 muestras compuestas de agua para su caracterización fisicoquímica, en las cuales se incluyeron los metales pesados solubles (Fe, Mn, Pb, Cr y Cd).

Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo



Méndez, et al. 2000

Resultados. Los metales pesados solubles, presentes en el agua del río, se encontraron en el siguiente orden decreciente: Fe>Pb>Mn>Cr>Cd (con valores promedio de: 0.67; 0.21; 0.11; 0.04 y 0.03 mg/L respectivamente).

Las cantidades de Mn detectadas en todos los sitios, exceden el nivel máximo permisible (0.020 mg/L) establecido por la normatividad y únicamente en los sitios 17 y 18, las concentraciones de este metal rebasan el límite máximo tolerable (0.200 mg/L) que se considera en la norma (NOM-CCA-032-ECOL 1993). Las concentraciones más altas de Cd y Cr, superiores a los límites máximos permisible por la norma (NOM-NTE-032-91), se detectaron al final del trayecto monitoreado, en los sitios 17 y 18, ubicados a la salida de la ciudad de Puebla, en el punto donde se vierten las aguas de esta ciudad (tabla 8). La presencia de Cd, Cr y Pb en el agua destinada al riego agrícola, procedente del río Atoyac, significa un riesgo latente ya que, al acumularse en el suelo, pueden pasar a la cadena trófica.



El agua del río Atoyac, durante la mayor parte del recorrido y particularmente en la época de estiaje, se caracteriza por ser alcalina debido a la concentración elevada de sales solubles que recibe con las descargas de aguas residuales, principalmente, de las zonas industriales de San Martín Texmelucan, Moyotzingo y la ciudad de Puebla. Los metales pesados solubles, con excepción del Mn en todo el trayecto del río, y del Cr y el Cd únicamente en los últimos dos sitios del monitoreo, se encuentran en bajas concentraciones. Sin embargo, aun cuando no rebasan los límites máximos permisibles para agua destinada al riego, su acumulación en los suelos significa un riesgo potencial para los cultivos que forman parte de la cadena trófica.

Tabla 8. Concentración de metales pesados en las aguas del río Atoyac

Sitios	Fe	Mn	Pb	Cr	Cd
mg L ⁻¹					
1	0.05	0.02	0.32	ND	ND
2	0.87	0.18	0.32	ND	ND
3	0.25	0.14	0.38	ND	ND
4	1.32	0.06	0.21	ND	ND
5	0.70	0.03	0.14	ND	ND
6	1.08	0.06	0.18	ND	ND
7	1.87	0.10	0.14	ND	ND
8	1.93	0.07	0.14	ND	ND
9	0.54	0.11	0.38	ND	ND
10	0.32	0.08	0.14	ND	ND
11	0.25	0.03	0.14	ND	ND
12	0.37	0.10	0.19	ND	ND
13	0.41	0.10	0.14	ND	ND
14	0.35	0.14	0.14	ND	ND
15	0.28	0.10	0.14	ND	ND
16	0.23	0.08	0.14	ND	ND
17	0.59	0.24	0.23	0.03	0.02
18	0.60	0.25	0.23	0.04	0.03
Pro-medio	0.67	0.11	0.21	0.04	0.03

Valores máximos permisibles (mg L⁻¹)

NOM* 5.000 0.020 0.500 0.01 0.01

NOM** 5.000 0.200 5.000 0.10 0.01

*NOM-NTE-032-91 (Diario Oficial de la Federación, 24 sept. 1991).

**NOM-CCA-032-ECOL/93 (Diario Oficial de la Federación, 18 oct. 1993).

ND: No detectado.

La problemática que se presenta en la zona de estudio por el riego con aguas residuales es semejante a lo que ha venido sucediendo en el valle del Mezquital, Hidalgo, donde, al igual que en esta zona, el pH alcalino de los suelos ha estado favoreciendo la precipitación de los metales pesados, como el Cd, Pb y Cr. Sin embargo, el riesgo de que dichos metales se solubilizan podrá disminuir en la medida en que se conserve la alcalinidad en los suelos (Méndez *et al.*, 2000).

PERÍODO 1998 A 1999

El equipo de Silva *et al.* (2002), analizaron muestras de agua de la región atlixquense en Puebla, colectadas en dos estaciones del año, con el objetivo de determinar su calidad de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas 001- ECOL-1996 y 127-SSA1- 1994.

El estudio fue realizado en la región atlixquense que se localiza al oeste del estado de Puebla, en el centro de México; comprende los municipios de Atlixco, Huaquechula, Santa Isabel Cholula, Tianguismanalco y Tochimilco y se ubica en las coordenadas 18° 40' y 19° 02' N y 98°17' y 98° 43' O. Es subcuenca del río Nexapa, y está formada por los ríos Huilapa y Xalapesco, que recogen los escurrimientos de los deshielos del volcán Popocatepetl (SARH-CP , 1986).

Se colectaron muestras de agua en 16 sitios de río, manantial, escurrimiento y pozo. El agua de 11 sitios se usa como potable y para riego (la de San Jerónimo Caleras, San Diego Acapulco, Los Molinos, Santa Cruz Cuautomatitla, Tochimizolco, Tochimilco, Tianguismanalco, Huaquechula, Tezonteapan de Bonilla, Huilango y Tehuixpango) y la de cinco sitios se utiliza para riego (la de Coyula, Tlapetlahuaya, Champusco, Ahuehuete y Portezuelo).

La colecta se realizó en dos épocas del año: la de lluvias, en 1998 (verano), y la de secas, en 1999 (primavera).

Resultados. Los contaminantes que excedieron las normas son: coliformes fecales, coliformes totales, nitritos, Cd y Pb en los casos de pozo, río, manantial y escurrimiento en verano y en primavera; así como el N amoniacal y sustancias activas al azul de metileno en agua de río en ambas épocas; y Cr en río, en verano (tabla 9).

Méndez *et al.* 2000



Tabla 9. Promedio de las concentraciones de los contaminantes que exceden las normas oficiales, determinados en el agua muestreada por tipo de fuente, en verano (V) de 1998 y en primavera (P) de 1999

Parámetro	Pozo		Río		Manantial		Escurrimiento	
	V	P	V	P	V	P	V	P
Coliformes fecales (NMP 100 mL ⁻¹)	52	60	814	7823	1400	2358	1000	4600
Coliformes totales (NMP 100 mL ⁻¹)	81	155	671	16923	4670	5280	8775	9950
N-amoniaco (mg L ⁻¹)	0.6	0.01	2.2	3.3	0.12	0.01	0.2	0.01
N-nitritos (mg L ⁻¹)	1.1	1.2	0.4	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1
Sustancias activas al azul de metileno (mg L ⁻¹)	0.01	0.01	0.6	0.9	0.09	0.14	0.12	0.22
Cd (mg L ⁻¹)	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Cr (mg L ⁻¹)	0.01	0.01	0.07	0.01	0.04	0.04	0.02	0.02
Pb (mg L ⁻¹)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

En negritas las cantidades que rebasan la NOM-127-SSA1-1994. Subrayadas las cantidades que rebasan la NOM-001-ECOL-1996. V = verano; P = primavera; NMP = número más probable.

Silva et al. 2002

En las tablas 10, 11 y 12 se presentan los valores obtenidos para cada uno de los contaminantes, en 16 localidades. Se aprecian las determinaciones que estuvieron por arriba de los valores permitidos. En la tabla 10 se observa que los coliformes fecales y totales rebasaron a la Norma 127 en todos los sitios, en ambas épocas del año; los coliformes fecales rebasaron la Norma 001 en 10 sitios en verano y en nueve sitios en primavera; la dureza excedió los límites de la Norma 127 en Tezonteapan y Champusco, en primavera; los nitratos en Tianguismanalco y Ahuehuate, en verano. En la tabla 11, los nitritos excedieron la NOM-127-SSA1-1994 en 11 sitios, en ambas estaciones, excepto Cuautomatitla, Coyula, Tianguismanalco, Tlapetlahuaya y Portezuelo; las sustancias activas al azul de metileno excedieron la norma en Coyula y Portezuelo, tanto en verano como en primavera; el color la excedió en Cuautomatitla y Portezuelo, en primavera; los sólidos disueltos totales la excedieron en Ahuehuate, en primavera, y el Al, en Portezuelo, en ambas estaciones. En la tabla 12, el N amoniaco excedió la Norma 127 en Tochimizolco, Huaquechula, Champusco, Ahuehuate, Portezuelo y Tehuixpango, en verano, y en Champusco, Ahuehuate y Tehuixpango, en primavera; el Cd excedió la norma en todos los sitios, en verano y en primavera en las mismas

concentraciones; el Cr la excedió en Caleras, en verano, y en Acapulco, en primavera; el Fe la excedió en Portezuelo, en verano; y el Pb la excedió en todos los sitios, en verano y en primavera.

Las determinaciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), dureza, temperatura y Zn fueron mayores en primavera que en verano en forma significativa; en tanto que en verano las cantidades de Fe, N amoniaco, pH, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y turbidez fueron mayores que en primavera, también en forma significativa (tabla 13). Las cantidades de contaminantes que resultaron mayores en primavera, lo estuvieron en menores cantidades en verano, posiblemente debido a su dilución por las lluvias. Los metales pesados y los coliformes no presentaron diferencia estadística entre ambas estaciones. En el caso del Cl, sus concentraciones estuvieron por debajo de los límites señalados por la Norma 127-SSA1-1994 (0.01 mg/L contra 0.2 a 1.5 mg/L que establece la norma), en todas las muestras y en ambas estaciones del año. En el caso de 11 sitios muestreados, en los cuales el agua se usa como potable, sería importante que el Cl cumpliera con los límites registrados en esa norma.



Tabla 10. Concentraciones de los contaminantes que excedieron las normas oficiales, determinados en el agua muestreada, en cada sitio estudiado

Sitio	Coliformes				Dureza		Nitratos	
	Fecales		Totales		V	P	V	P
	V	P	V	P	mg L ⁻¹			
	NMP 100 mL ⁻¹							
1. Caleras	2800	46000	11000	110000	212	260	0.37	2.15
2. Acapulco	1100	750	2400	2400	76	120	0.31	3.32
3. Molinos	1100	750	2400	2100	32	102	5.76	7.90
4. Cuautomatitla	2000	7500	21000	15000	70	74	3.02	1.70
5. Tochimizolco	2000	2300	2800	7500	44	74	0.59	0.17
6. Tochimilco	2100	7500	11000	15000	44	60	2.36	1.95
7. Coyula †	700	4600	1500	9300	50	96	6.39	0.323
8. Tianguismanalco	30	24000	300	46000	60	74	12.04	0.14
9. Tlapctlahuaya †	1100	460	2800	460	86	160	1.74	0.21
10. Huaquechula	1100	75	2000	200	22	146	1.79	0
11. Tezontecapan	1100	46	24000	110	28	520	7.35	7.57
12. Champusco †	700	460	1100	2400	132	554	4.95	8.853
13. Ahuehuete †	700	46000	1100	110000	224	480	12.91	7.84
14. Portezuelo †	1100	1100	2500	2400	232	485	1.68	1.01
15. Huilango	3	1100	30	2300	18	116	3.75	1.60
16. Tehuixpango	3	750	30	1100	60	162	7.89	5.122
NOM-127-SSA1-1994	0		2		500		10	
NOM-001-ECOL-1996	1000		--		--		--	

En negritas las cantidades que rebasan la NOM-127-SSA1-1994. Subrayadas las cantidades que rebasan la NOM-001-ECOL-1996. -- contaminante no incluido en la norma. † Sólo para riego. Sin † para uso potable y para riego. V = verano, P = primavera; NMP = número más probable.

Tabla 11. Concentraciones de los contaminantes que excedieron las normas oficiales, determinados en el agua muestreada, en cada sitio estudiado

Sitio	Nitritos		SAAM [‡]		Color U.Pt-Co. [‡]		Sólidos disueltos totales		Al	
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P
	mg L ⁻¹				mg L ⁻¹				mg L ⁻¹	
1. Caleras	0.1	0.12	(	0.2	5	5	409	360	0.01	0.011
2. Acapulco	0.2	0.26	(	0.1	10	5	353	303	0.04	0.045
3. Molinos	1.0	1.15	(	0.1	10	5	152	215	0.02	0.022
4. Cuautomatitla	0.0	0.01	(	0.25	8	25	195	172	0.01	0.014
5. Tochimizolco	0.1	0.17	(	0.25	5	10	140	188	0.01	0.012
6. Tochimilco	0.0	0.096	(	0.1	5	5	187	178	0.01	0.012
7. Coyula †	0.0	0.01	;	2.15	5	5	197	251	0.01	0.013
8. Tianguismanalco	0.0	0.01	(	0.12	5	5	200	192	0.01	0.018
9. Tlapctlahuaya †	0.0	0.01	(	0.01	10	5	225	304	0.15	0.178
10. Huaquechula	1.0	1.1	(	0.01	10	5	188	273	0.07	0.089
11. Tezontecapan	1.2	1.23	(	0.01	10	5	184	814	0.10	0.111
12. Champusco †	1.1	1.23	(	0.1	5	5	421	772	0.06	0.056
13. Ahuehuete †	0.0	0.11	(	0.017	5	10	603	1019	0.01	0.012
14. Portezuelo †	0.0	0.01	;	3.19	15	25	730	961	0.22	0.236
15. Huilango	0.1	0.15	(	0.3	5	5	180	206	0.01	0.012
16. Teguixpango	0.6	0.75	(	0.1	5	5	312	307	0.04	0.059
NOM-127-SSA1-1994	0.05			0.5	20		1000		0.2	
NOM-001-ECOL-1996	--		--	--	--		--		--	

[‡]SAAM = sustancias activas al azul de metileno; [‡] unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.

En negritas las cantidades que rebasan la NOM-127-SSA1-1994. Subrayadas las cantidades que rebasan la NOM-001-ECOL-1996. -- parámetro no incluido en la norma. † Sólo para riego. Sin † para uso potable y para riego. V = verano; P = primavera.

Silva et al. 2002



Tabla 12. Concentraciones de los contaminantes que excedieron las normas oficiales, determinados en el agua muestreada, en cada sitio estudiado

Sitio	N amoniacal		Cd		Cr		Fe		Pb	
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P
----- mg L ⁻¹ -----										
1. Caleras	0.1		0.	0.	0.09 [†]	0.04	0.13 [†]	0.0 [†]	0.0 [†]	0.0 [†]
2. Acapulco	0.5		0.	0.	0.02 [†]	0.05 [†]	0.09 [†]	0.0	0.0 [†]	0.0 [†]
3. Molinos	0.5		0.	0.	0.02 [†]	0.03	0.14 [†]	0.0	0.0 [†]	0.0 [†]
4. Cuautomatitla	0.4		0.	0.	0.01 [†]	0.02	0.09 [†]	0.0	0.0 [†]	0.0 [†]
5. Tochimizolco	0.7		0.	0.	0.02 [†]	0.01 [†]	0.05 [†]	0.01 [†]	0.0 [†]	0.0 [†]
6. Tochimilco	0.2		0.	0.	0.01 [†]	0.01 [†]	0.07 [†]	0.01 [†]	0.0 [†]	0.0 [†]
7. Coyula [†]	0.5		0.	0.	0.01 [†]	0.01 [†]	0.08 [†]	0.0	0.0 [†]	0.0 [†]
8. Tianguismanalco	0.1		0.	0.	0.01 [†]	0.01 [†]	0.14 [†]	0.0	0.0 [†]	0.0 [†]
9. Tlapetlahuaya [†]	0.5		0.	0.	0.01 [†]	0.01 [†]	0.12	0.01 [†]	0.0 [†]	0.0 [†]
10. Huaquechula	1.1		0.	0.	0.01 [†]	0.01 [†]	0.01 [†]	0.01 [†]	0.0 [†]	0.0 [†]
11. Tezontepan	0.1		0.	0.	0.01 [†]	0.01 [†]	0.26 [†]	0.0 [†]	0.0 [†]	0.0 [†]
12. Champusco [†]	1.3		0.	0.	0.01 [†]	0.01 [†]	0.05 [†]	0.03 [†]	0.0 [†]	0.0 [†]
13. Ahuchuetz [†]	0.6		0.	0.	0.01 [†]	0.01 [†]	0.11 [†]	0.02 [†]	0.0 [†]	0.0 [†]
14. Portezuelo [†]	3.1		0.	0.	0.01 [†]	0.02 [†]	0.35 [†]	0.2 [†]	0.08 [†]	0.0 [†]
15. Huilango	0.2		0.	0.	0.03 [†]	0.01 [†]	0.05 [†]	0.01 [†]	0.0 [†]	0.09 [†]
16. Tehuixpango	0.6	1 [†]	0.	0.	0.01 [†]	0.01 [†]	0.27	0.0 [†]	0.0 [†]	0.0 [†]
NOM-127-SSA1-1994	0.5		0.005		0.05		0.3		0.025	
NOM-001-ECOL-1996	--		0.02		1.0		--		0.4	

En negritas las cantidades que rebasan la NOM-127-SSA1-1994. Subrayadas las cantidades que rebasan la NOM-001-ECOL-1996 -- parámetro no incluido en la norma. [†] Sólo para riego. Sin [†] para uso potable y para riego. V = verano, P = primavera.

Silva et al. 2002

El agua con concentraciones que no rebasan los límites de la NOM-001-ECOL-1996 está permitida para riego agrícola. Los resultados de este estudio señalan que las concentraciones de coliformes fecales son las únicas que rebasan los límites de dicha norma. El agua proveniente de las muestras estudiadas sirve para riego agrícola. Sin embargo, en la región de estudio se producen flores, forrajes y básicos, así como hortalizas para consumo humano. Mediante el consumo de estos últimos productos, los coliformes pasan al tracto intestinal humano.

Tabla 13. Concentraciones de los contaminantes del agua muestreada, con diferencias estadísticas significativas en verano y en primavera

Parámetro y unidad de medición	Mediana [†]		Nivel de significancia
	Verano	Primavera	
DBO (mg L ⁻¹)	3.0 <	28.5	0.007
DQO (mg L ⁻¹)	8.0 <	16.0	0.005
Dureza (mg L ⁻¹)	60.0 <	133.0	0.003
Temperatura (°C)	18.0 <	20.7	0.01
Zn (mg L ⁻¹)	0.004 <	0.021	0.03
Fe (mg L ⁻¹)	0.103 >	0.017	0.0003
N amoniacal (mg L ⁻¹)	0.5 >	0.01	0.002
pH (unidades)	7.8 >	7.4	0.0009
Sólidos sedimentables (mg L ⁻¹)	0.2 >	0.1	0.02
Sólidos suspendidos (mg L ⁻¹)	31.5 >	8.0	0.01
Turbiedad (unidades)	1.2 >	1.0	0.008

[†] Es la medida de tendencia central con la que se realiza la prueba estadística de Mann-Whitney. DBO = demanda bioquímica de oxígeno; DQO = demanda química de oxígeno.

Silva et al. 2002



Con respecto a las propiedades fisicoquímicas, los parámetros que rebasan la NOM-127-SSA1-1994 son: dureza, nitratos, nitritos, sustancias activas al azul de metileno, nitrógeno amoniacal y Al, principalmente en Champusco, Ahuehuate, Portezuelo y Tehuixpango. En todos ellos, se usa agua residual para el cultivo de flores y hortalizas, que requieren mayores cantidades de agroquímicos que otros cultivos de zonas agrícolas de la región de estudio.

Los valores de Cd y Pb exceden las normas en todos los sitios muestreados; en mayor cantidad el segundo elemento en Acapulco y Huilango. Los demás metales pesados tienen un comportamiento diferente en cada sitio muestreado; los resultados muestran que no existe un patrón en el comportamiento de sus concentraciones. Su origen puede atribuirse a actividades industriales que ocurren principalmente en los estados de Puebla y de Tlaxcala.

Se observan contaminantes en todos los sitios estudiados. Al centro sur, en los ríos Aguisoc y Nexapa, el agua es más dura (hasta 554 mg/L); también en el centro, de norte a sur. Se presentan valores altos de nitratos (hasta 12.9 mg/L), desde el manantial Apiaxco hasta su desembocadura en el río Nexapa; al oeste, en el centro, y al este, de norte a sur, se encontraron nitritos (hasta 1.23 mg/L), incluso en la parte de escurrimientos de la Cordillera del Tenzo, únicamente no se observaron en concentraciones altas al suroeste, en el río Ahuehuevo (0.007 mg/L). Se detectaron altos valores de sustancias activas al azul de metileno (1.75 a 3.2 mg/L) en Ojo del Aguayen el río Nexapa, en su entrada a la región de estudio. Además de la entrada del río Nexapa a la región por el este, el centro sur de la región, a la mitad del río Nexapa, presenta el agua turbia (25 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto, contra 20 de la NOM-127-SSA1-1994 y maloliente en las muestras colectadas; en esta última zona se observan altas concentraciones de sólidos disueltos totales (1019 mg/L).

Es evidente que a través del río Nexapa, de norte a sur y en el oeste centro, se observaron altas cantidades de N amoniacal (hasta 8.17 mg/L), debido sobre todo al uso intensivo de la tierra, práctica en la que se usan cantidades considerables de agroquímicos para producir flores. Solo en un sitio se observaron cantidades de Al mayores que las permitidas (0.236 mg/L), con pH de 7.7, el cual se encuentra a la

entrada del río Nexapa a la región, lo que se explica al determinar sales solubles y metales totales, aun cuando el pH sea alto. El Cr se observó en concentraciones mayores que las permitidas por la Norma (0.051 mg/L) en un manantial de Apiaxco que viene del norte de la región hacia el centro, y en el del Tenzo (0.096 mg/L), que escurre de norte a sur y de este a oeste; el Fe en la entrada del río Nexapa a la región (0.352 mg/L). En todas las muestras colectadas, se observaron mayores concentraciones de Cd y Pb (0.006 y hasta 0.097 mg/L) que las permitidas por la NOM-127-SSA1-1994, así como de coliformes fecales y totales (hasta 46 000 y 110 000 NMP (número más probable) 100 mg/L), aun cuando las concentraciones de estos últimos son más bajas al sur de la región, en los ríos Aguisoc (200), Matadero (110) y Ahuehuevo (460), aguas que contiene la barranca La Leona centro (30 NMP 100 mg/L) (Silva *et al.*, 2002).

PERÍODO 2000 A 2001

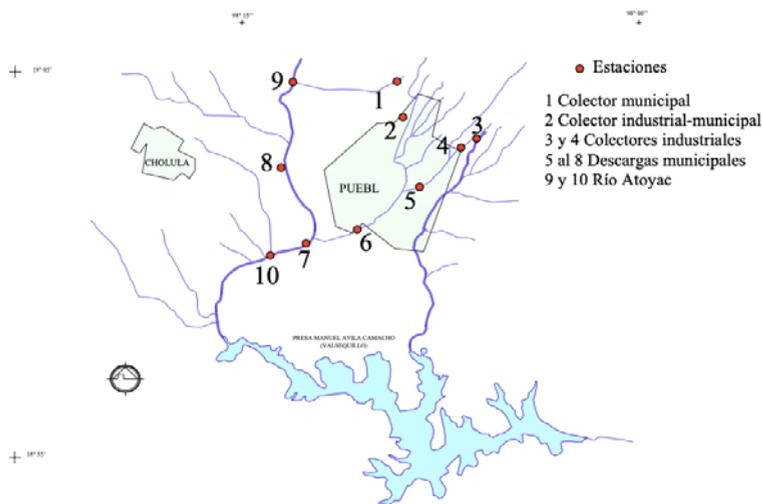
Saldaña *et al.* (2002), realizaron un estudio de la calidad del agua en colectores de la ciudad de Puebla para determinar el cumplimiento de la NOM-002-ECOL-1996 y realizar además la aplicación de análisis de toxicidad. El estudio se realizó en el momento en que en la ciudad de Puebla se construyeron cuatro plantas de tratamiento para el saneamiento del río Atoyac y Alseseca, por lo que se realizó la evaluación de los colectores industriales, municipales, algunas descargas y dos sitios en el río Atoyac, con la finalidad de caracterizar a los colectores y descargas con la norma NOM-001-ECOL-1996, así como utilizar herramientas ecotoxicológicas que brinden información desde el punto de vista toxicológico para que las descargas sean evaluadas con criterios tanto fisicoquímicos como toxicológicos. Se emplearon para la evaluación normas de carácter voluntario como las NMX-AA- 112-1995-SCFI.

Se seleccionaron diez puntos de muestreo que correspondieron a cuatro descargas municipales, un colector industrial-municipal, dos colectores industriales, un colector municipal y dos sitios en el cuerpo receptor (fig. 3); en cada una de las descargas se tomaron muestras de agua en el periodo de dos años (2000-2001) y se preservaron para el análisis de la NOM-001-ECOL-1996, y para el análisis de toxicidad se utilizó a la bacteria bioluminiscente *Photobacterium phosphoreum* y



al cladóceros *Daphnia magna*, los cuales están incluidos como análisis voluntarios en las Normas Mexicanas NMX-AA-112-1995-SCFI y en la NMX-AA-087-1995-SCFI respectivamente.

Fig 3. Estaciones de monitoreo



Saldaña, 2002a

Resultados. Los sitios que se caracterizaron mostraron que de acuerdo a los límites máximos permisibles en nueve de los diez monitoreados, los sólidos suspendidos totales y la demanda bioquímica de oxígeno se presentaron por arriba del límite establecido en la norma en 1.6 hasta 6.3 veces para SST y en 1.3 hasta 5.6 veces para DBO_5 , determinándose las concentraciones altas de SST en los colectores municipales y para DBO_5 en los colectores industriales, el nitrógeno total en tres sitios se encontró por arriba del límite desde 1.1 hasta 1.8 veces y se detectó principalmente en las descargas municipales directas al cuerpo receptor y en el río, mientras que el fósforo total en una descarga municipal sobrepasó ligeramente la norma (tabla 14).

Por lo que respecta a los metales el plomo se detectó en concentraciones por arriba de los límites establecidos en la norma, resultando

el valor más alta en el colector industrial-municipal en cerca de 135 veces (27.0 mg/L), otro de los metales que se detectó pero no rebasó el límite máximo permisible fue el zinc, mientras que los demás metales se encontraron por debajo del límite de cuantificación.

En cuanto a las pruebas de toxicidad, con *Photobacterium phosphoreum*, en todas las ocho descargas de aguas residuales, colectores y en el cuerpo receptor (río Atoyac) se detectó la presencia de sustancias tóxicas que afectaron a los organismos de prueba al disminuir la emisión de luz y por consiguiente su respiración, clasificándose a las descargas como altamente tóxicas, ya que los valores de toxicidad se presentaron por arriba de 4 UT (Unidades de Toxicidad), lo que equivale a una Concentración Efectiva de menor del 25%, aún en el cuerpo receptor los valores fueron mayores a 4 UT, por lo que la mezcla de las descargas en el río es compleja y difícil de evaluar ya que en algunos de los casos se disminuyó la concentración y en otros aumentó presentándose en el cuerpo receptor los procesos sinérgicos y antagónicos por la mezcla de los efluentes en el río (Randall, 1997, Crompton, 1997).

Para el caso de la prueba con el cladóceros *Daphnia magna*, en siete descargas se detectó toxicidad y se clasificaron de moderadamente tóxicas (tres descargas), tóxicas (tres descargas) y altamente tóxica (una descarga), mientras que en las restantes tres no se detectó toxicidad y por tanto no hubo respuesta de los organismos durante el periodo de exposición (96 horas), las estaciones que en donde no se detectó toxicidad fueron en un colector municipal (Estación 1), una descarga municipal (Estación 6) y en río (Estación 9) (Saldaña *et al.* 2002).

En la misma línea de trabajo Saldaña *et al.* (2002b), realizaron un estudio sobre las descargas municipales e industriales que se generan en el municipio de Puebla y que descargan al río Atoyac o al río Alseseca o a Barrancas y que confluyen a alguno de estos dos cuerpos receptores se tienen 115 descargas registradas (CNA, 1999).

Con este universo de descargas, se localizaron y seleccionaron las principales, y se llevó a cabo un muestreo instantáneo de aguas residuales, en época de estiaje del año 2001, en los puntos de vertido al cuerpo receptor. En cada una de las descargas se tomaron paráme-



Tabla 14. Resultados de los análisis en las estaciones de monitoreo (mg/L)

Est	N-Total		P-Total		SST		DBO ₅		Pb	Zn	Photobacterium UT	Daphnia UT
	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001				
1	41.2	32.6	7.48	4.35	475	86.3	141	107	<0.10	23	6.8	NT
2	36.9	45.53	4.86	4.5	185	178	161	265	27.01	2.46	22.8	1.55
3	30.1	36.19	3.89	5.07	124	103	362	366	<0.10	0.46	14	1.83
4	45.5	35.38	5.6	4.54	158	243	422	338	0.13	0.19	5	6.8
5	27.9	35.23	9.23	5.2	147	137	187.7	262	<0.10	0.15	38	2
6	17.6	16.15	3.2	4.16	46.5	82.4	100	96	ND	ND	4.6	NT
7	74.1	50.7	21.2	4.55	276	158	341	260	ND	ND	16	2.12
8	37.8	38.7	8.25	4.64	194	156	201	264	ND	ND	29	3.56
9	45.5	64.08	7.33	5.1	195	192	322	241	ND	ND	7.4	NT
10	29.3	68.18	8.17	3.69	120	236	241	320	ND	ND	15.4	1.33
LMP	40		20		75		75		0.2	10	<1.33	<1.33

NT.- No Tóxico

ND.- No Determinado

LMP.- Limite Máximo Permisible

Todos en mg/L excepto cuando se especifique otra unidad

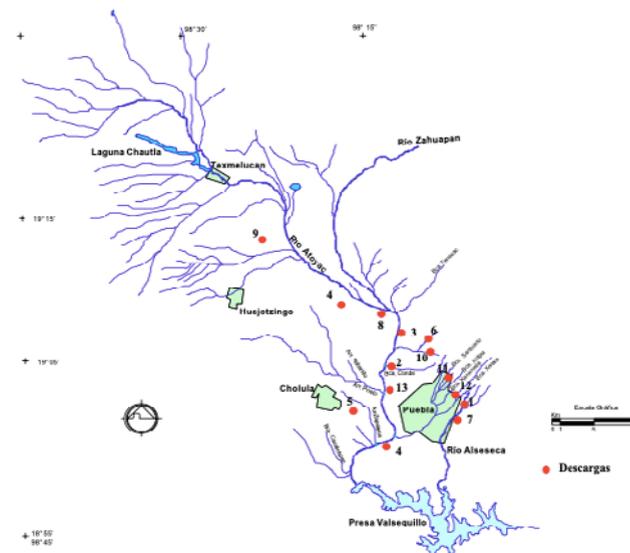
UT.- Unidades de Toxicidad

Saldaña et al. 2002a

tros de campo como oxígeno disuelto, conductividad, temperatura del agua y pH. Así mismo, se tomaron las muestras de agua para el análisis de DBO₅ y DQO, los cuales fueron realizados en el laboratorio de la Comisión Nacional del Agua en Puebla y en el laboratorio del IMTA se analizaron nitrógeno total, fósforo total, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y toxicidad de acuerdo a lo establecido en los procedimientos de acreditamiento del laboratorio ante la Entidad Mexicana de Acreditamiento.

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

Las industrias evaluadas fueron del giro textil, químico, metalúrgico, refresquero y alimenticio, así como un colector industrial y uno municipal. En la fig. 4 se presentan las descargas evaluadas y su localización en la cuenca del río Atoyac. En la tabla 15 se presentan los resultados obtenidos para las industrias de diferente giro y de dos colectores evaluados (Saldaña et al. 2002b).

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

Saldaña et al. 2002b

Tabla 15. Resultados de los análisis de varios giros industriales, colector industrial y municipal que afectan a los ríos Atoyac y Alseseca, Puebla (mg/L, UT unidades de toxicidad)

Descargas	pH	T°C	NT	PT	SST	DBO ₅	S. Sed.	Ph	Cr	Cd	Zn	UT	DOO
Textiles													
1	11.03	27.3	53.6	3.38	10770	201	475	0.45	*	*	50.4	11.4	685.44
2	11	42.4	43.4	<0.12	53	2420	0.1	*	*	*	*	775	4334
3	7.59	33.5	17.8	9.02	52	87	0.5	*	*	*	*	1.16	483.84
4	8.3	30	6.48	7.24	61	181	0.1	*	*	*	*	14.6	1048.3
5	7.93	23	33.7	4.37	47	120	0.4	*	*	*	*	5.3	403.2
Metalúrgica													
6	1.67	31	18.1	<0.12	38	2010	0.2	175.2	1.15	0.11	47.6	1165	7056
7	10	24	34	<0.12	34.5	11.1	1.5	0.28	*	*	*	26	100.8
8	7.4	29	13	0.13	13	21.1	0.1	*	*	*	*	7.8	80.64
Alimenticia													
9	8.1	29.8	28.2	29.1	199	1406	0.5	0.26	*	*	*	254	1774.1
Curtiduría													
10	7.75	21.7	135	1.09	475	2010	1.1	0.21	16.1	*	*	20	3306.2
Petroquímica													
11	7.2	24.2	0.9	2.03	44	40	<0.3	*	*	*	*	2.4	60.48
Colector Industrial													
12	9.2	28	45.5	5.6	158	422	4.5	*	*	*	*	5.1	1612.8
Colector Municipal													
13	7.5	25	41.2	7.48	475	141	4	*	*	*	*	6.8	218.34
LMP	5-10	40	40	20	125	125	2	0.2	0.5	0.2	10	>1.33	

* Menor al límite de detección
LMP Límite máximo permisible

Saldaña et al. 2002b

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

En cuanto a los resultados de toxicidad y de acuerdo a la clasificación en unidades de toxicidad (UT) en todas las descargas se detectó respuesta de los organismos a la presencia de sustancias tóxicas, que va desde ligeramente tóxica (descarga 3), tóxica (descarga 11), hasta altamente tóxicas (descargas 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12 y 13). Por lo que, aún cuando las descargas 3, 5, 8 y 11 cumplieron con lo establecido en la NOM-001-ECOL-1996, con la prueba de toxicidad se consideran potencialmente tóxicas para el cuerpo receptor.

De las industrias evaluadas, la del giro metalúrgico (descarga 6), fue la que presentó los valores de toxicidad y demanda química de oxí-

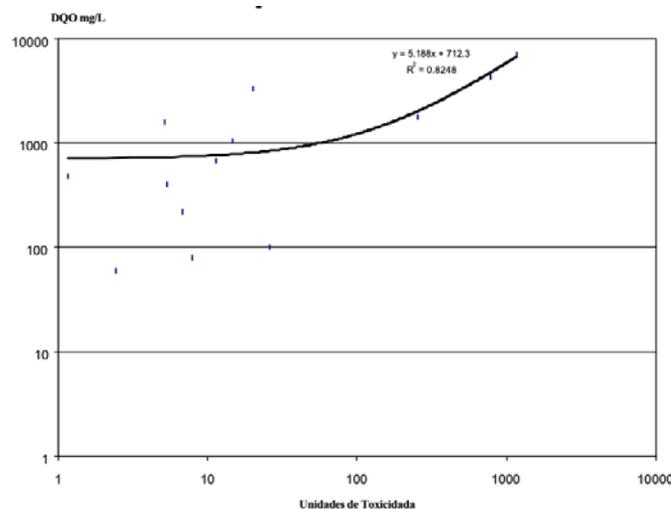
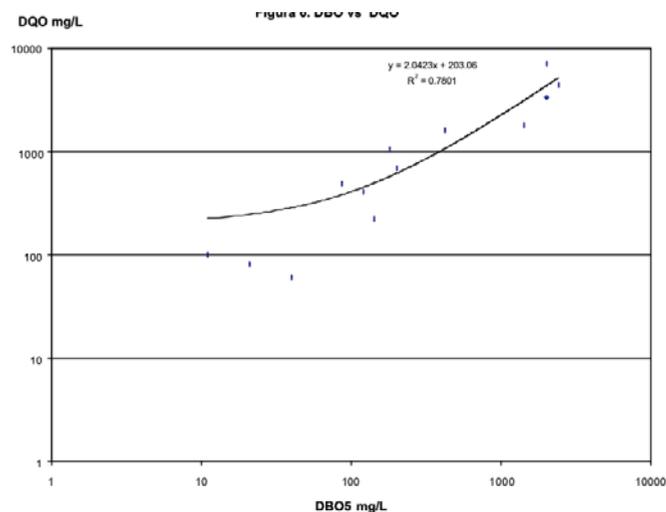
geno más altos, además de detectarse cuatro metales, de los cuales el plomo, cromo y zinc se presentaron por arriba de los límites permisibles. De todas las industrias la descarga 1, que corresponde al giro textil fue la que rebaso los límites de ocho parámetros, además de que en los muestreos, el impacto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

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

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

Además de los parámetros de la norma, la necesidad de incluir los análisis de toxicidad, que integran la respuesta biológica para proteger el ecosistema, la demanda química de oxígeno (DQO) es otro parámetro importante que determina la agresividad de las aguas residuales industriales, ya que estos presentan una correlación alta de $R^2=0.82$, incluso esta correlación es más alta que la que se presenta con la DBO_5 (fig. 5 y 6).



Figura 5. Toxicidad vs DQO**Figura 6. DBO vs DQO**

Saldaña et al. 2002b

En cuanto a las descargas de los colectores industriales y municipales, se presenta un comportamiento similar en cuanto a los parámetros que rebasan la norma y a la toxicidad que se presentó, por lo que esto determina que los colectores municipales en la mayoría de los casos reciben descargas industriales que cuando se plantea el tratamiento del agua residual municipal no consideran la incorporación de sustancias tóxicas que afectan los sistemas de tratamiento biológico reduciendo su eficiencia (Saldaña *et al.* 2002b).

PERÍODO 2005

Saldaña y Gómez (2006), Realizaron un estudio para determinar la calidad del agua de las fuentes puntuales de contaminación que son aportadas al río Atoyac y su cumplimiento con la normatividad vigente. La caracterización de las descargas se realizó en el Alto Balsas, el cual recibe la mayoría de las descargas de la cuenca y en donde se ubican tres estados del centro del país, de éstos el de Puebla cuenta con varios parques industriales que se ubican en dicha zona. En el estado de Puebla se estima un volumen de descarga de aguas residuales que afectan a los ríos Atoyac y Alseseca de 119.4 Mm³ al año.

En materia de administración del agua, de acuerdo con la información obtenida del Padrón de Usuarios del Agua, existen registrados en el REPDA, en la región 8,214 usuarios de aguas superficiales, que aprovechan en 12,832 instalaciones y se tiene registrado un volumen anual cercano a los 42,684 Mm³ que no corresponden a los resultados del Balance, de este universo de usuarios, 2,256 tienen títulos de concesión, por un volumen anual de aproximadamente 1,612 Mm³.

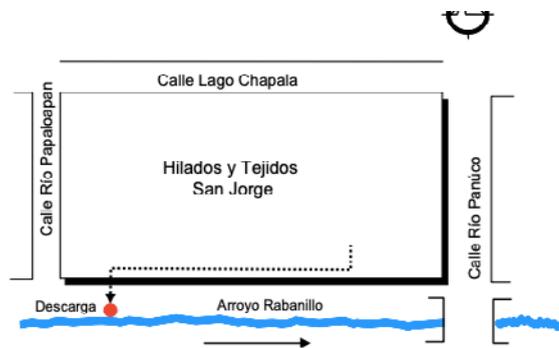
En materia de aguas residuales, el padrón registra 1,756 usuarios, con 7,453 descargas que al amparo de 110 permisos por 153,640 Mm³, vierten anualmente a diversos cuerpos receptores un volumen anual aproximado de 727,319 Mm³ (CNA, 1999). Se analizó la información contenida en el REPDA del estado de Puebla, en los estudios de clasificación de los ríos Atoyac y Alseseca, así como en los permisos de descarga y títulos de concesión existentes en la Gerencia Estatal. Se procedió a clasificar la información de acuerdo al giro industrial y posteriormente de acuerdo al cuerpo receptor. Estas clasificaciones



permitieron establecer los volúmenes descargados por cada uno de ellos, así como la importancia de los giros por volumen de generación.

En el campo se geoposicionaron las descargas y se verificó su origen. Una vez localizados los puntos de las principales descargas contaminantes a los cuerpos de agua, se llevaron a cabo recorridos de campo identificando a los usuarios que originan la contaminación, levantando el croquis del origen, recorrido y destino de las descargas, donde se señale el cuerpo de agua principal al que confluyen (fig. 7).

Figura 7. Croquis de localización de la descarga y cuerpo receptor



Saldaña y Gómez, 2006

Con las localizaciones y selección de las descargas, se llevó a cabo un muestreo instantáneo de aguas residuales en el año 2005 más importantes que se detectaron en los puntos de vertido al cuerpo receptor. En cada una de las descargas se tomaron parámetros de campo como oxígeno disuelto, conductividad, temperatura del agua y pH. Asimismo, se tomaron las muestras de agua para el análisis de DBO₅, nitrógeno total, fósforo total, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc; los cuales cubren los requerimientos para las descargas que son vertidas a un cuerpo receptor y que se establecen en la NOM-001-SEMARNAT-1996. Adicionalmente se determinaron DQO y el análisis de toxicidad utilizando a la bacteria *Vibrio fischeri*, dado que la primera nos da información del grado de sustancias recalcitrantes que no son biológicamente degradadas y la segunda nos brinda información de los efectos que causa la descarga en la población bacteriana y que por la mezcla de contaminantes que se aportan al río, se pueden esperar efectos adversos significativos en la fauna y flora acuática.

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

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

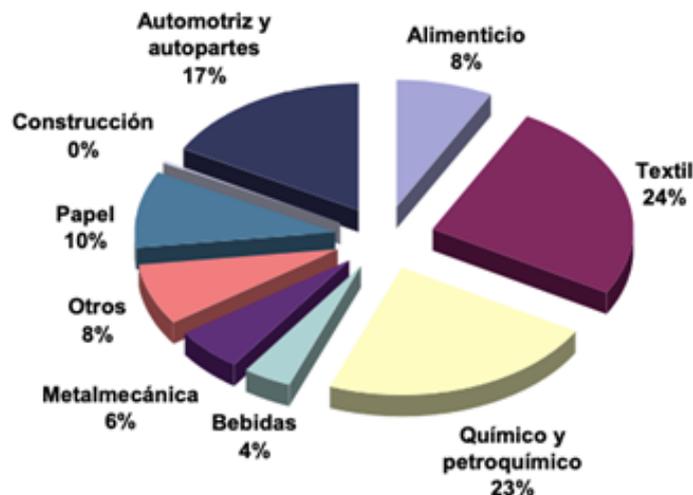
Resultados. De las 522 descargas registradas en el estado de Puebla, se tienen que 168 corresponden a industrias y 132 a municipales que vierten sus aguas residuales a un cuerpo receptor, las restantes lo hacen al subsuelo, infiltración o pozos de absorción.

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



Los principales giros industriales en la zona de estudio son textil, petroquímico, automotriz, metalmecánica, bebidas y químico (fig. 8).

Figura 8. Principales giros industriales en la cuenca del río Atoyac



Saldaña y Gómez, 2006

Describiendo los giros por importancia, en cuanto al volumen de descarga producido, se tiene que el giro textil es el principal generador de aguas residuales. De acuerdo a la información disponible, se tienen registradas 48 descargas de este tipo, cuyo volumen de descarga se estima en aproximadamente 6340m³ /d.

De los resultados obtenidos en el río Atoyac, 18 descargas industriales (78%) sobrepasan lo establecido en la norma señalada y en la tabla 4 se presentan los límites máximos permisibles que deben de cumplir.

Los principales parámetros que se rebasan fueron: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) seguida por los sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, sólidos sedimentables, plomo, cromo, fósforo total, cadmio y zinc (tabla 16).

Tabla 16. Industrias que exceden los parámetros básicos y metales de la NOM-001-SEMARNAT-1996 en el río Atoyac

Industria	NT	PT	SST	DBO ₅	S. Sed.	Plomo	Cromo	Cadmio	Zinc
Industrias Viter	X			X					
Covadonga	X			X	X				
La Gaviota	X		X	X		X			
Acitera El Paraíso	X		X	X	X				
IMEXA	X	X	X	X		X			
El Rastro	X		X	X	X				
Tenería Continental	X		X			X	X		
CIBA GEIGY	X			X	X				
Chip's Ricolino			X	X	X				
Tejidos y Acabados M y M			X	X	X				
Acabados Texmelucan			X	X		X			
Polímeros del Centro			X						
Santa Julia Cerámica			X			X			
Terminal Final				X	X				
AZT International				X					
Qualitel				X					
Crisol				X					
De Acero				X		X	X	X	X

Saldaña y Gómez, 2006

De las 23 descargas industriales, en el 74% de ellas se presentaron niveles de toxicidad que oscilaron de 2 hasta 1165 UT y que las clasifican de tóxicas (2 UT) hasta altamente tóxicas (> 4 UT). De este porcentaje el 46% (17 descargas) corresponden al giro industrial textil. En el 37% de las descargas compuestas por los giros, metalúrgico, químico, farmacéutico, alimenticio, entre otros, también se detectó toxicidad y en el 16% de las descargas no se detectó ningún efecto tóxico en los organismos de prueba.

De las 23 fuentes puntuales de contaminación caracterizadas por giro industrial y que sobrepasaron los límites permisibles de los parámetros básicos, el giro textil es el que no cumple con un mayor número de los límites permisibles, seguido del alimenticio y el de curtiduría que se presentan en la tabla 17.



Tabla 17. Número de descargas que sobrepasan los límites de la NOM-001-SEMARNAT-1996

GIRO INDUSTRIAL	RÍO ATOYAC						
	NT	PT	SST	S.sed	DBO ₅	pH	T°
Textil	3		4	3	10	1	2
Alimenticia	3	1	4	3	4		
Curtiduría	1		1		1		
Farmacéutica	1			1	1		
Metalúrgica					1	1	
Química			1				
Armadora					1		
Cerámica			1				

Saldaña y Gómez, 2006

Es importante hacer notar que aún cuando el parámetro de color no esta contemplado en la norma (NOM-001-SEMARNAT-1996), en especial en esta subcuenca, resulta indispensable regularlo para mejorar la calidad del agua, ya que la coloración del cuerpo receptor durante los muestreos fue variando a simple vista desde rojo, amarillo y azul marino. Por lo que sería conveniente que se revisará la regulación de este parámetro en la norma de descargas, o bien se estableciera en las condiciones particulares de descarga o en la revisión de los títulos de concesión.

El parámetro de toxicidad también sería conveniente que se regulara como un parámetro integrador del efecto de la mezcla de todos los compuestos que son descargados por las industrias.

El tramo del río que corresponde a la zona urbano industrial y que es en donde se concentran los Parques Industriales, barrancas y afluentes, es en donde las fuentes puntuales de contaminación impactan la calidad del agua, identificándose que en pocos sistemas de tratamiento se disminuye ligeramente la contaminación, debiéndose promover una mejora sustancial en los sistemas de tratamiento (Saldaña y Gómez, 2006).

PERÍODO 2006 A 2007

El equipo de investigación de Muñoz *et al.* (2012), desarrolló un trabajo con el objetivo correlacionar la materia orgánica como demanda bioquímica de oxígeno (DBO) con la población humana que habita en la subcuenca del río Zahuapan.

El muestreo del agua se realizó mensualmente de septiembre de 2006 a agosto de 2007, siguiendo los lineamientos de la NMX-AA-003-1980 (SECOFI 1980). La recolección de las muestras se hizo del punto de nacimiento del río al último tributario.

Se realizaron las determinaciones analíticas con base en las Normas Mexicanas respectivas de turbiedad (Turb), sólidos totales (ST), sólidos totales flotantes (STF), sólidos totales volátiles (STV), cloruros (Cl), sulfatos (SO₄), oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (NT), nitrógeno amoniacal (NH₃), nitrógeno orgánico (Norg), nitratos (NO₃), fosfatos (PO₄), grasas y aceites (GyA), sustancias activas al azul de metileno (SAAM) y coliformes fecales (CF). El análisis de resultados en este trabajo se centra en la DBO.

La carga de la DBO (g/L) definida como el producto de la concentración y el gasto hidráulico del río se estimó de la siguiente manera. Durante la temporada de sequía se midió la velocidad de la corriente, la anchura y la profundidad, ésta última cada 20 cm, para calcular el área de la sección hidráulica del río. Las mediciones de velocidad de la corriente se realizaron con un sensor electromagnético portátil Marsh-McBirney Flo-Mate™ Modelo 2000. Con los datos de profundidad se dibujó el polígono de la sección hidráulica en el software ArcView® y se calculó el área. Multiplicando la velocidad de la corriente por el área de la sección hidráulica, se obtuvo el gasto hidráulico del río Zahuapan. En esa temporada del año la corriente se debe principalmente a las descargas de agua residuales, por lo que la medición del gasto es representativa para medir este parámetro.

Se estableció como criterio que los puntos de muestreo seleccionados fueran salidas de las microcuencas. Empleando el software de dominio público Terrain Analysis System (TAS), versión 2.0.9 . Los



doce puntos de muestreo se indican de acuerdo con su posición en el río: El Pardo, Tlaxco, Atlangatepec, Muñoz, Xaltocan, San Benito, Amaxac, Dos Arroyos, Jardín Botánico, Trébol, Texoloc y Zacatelco. Se obtuvieron datos de dos muestras de agua residual obtenidas directamente del tubo de drenaje que colecta el agua residual de una parte de la localidad de San Bernardino Contla.

Resultados. La temperatura más baja del agua fue de 11.5 °C en El Pardo y la más alta de 23.2 °C en el Trébol. El pH se encontró entre 7.1 y 8.2. Los valores de conductividad eléctrica oscilaron entre 12.7 y 3696 μ S. En la tabla 18 se muestra la media, el mínimo, el máximo y la desviación estándar de los datos correspondientes a diecisiete parámetros fisicoquímicos. En la tabla 19 se presentan los porcentajes de datos que están fuera de la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 y de los criterios ecológicos CE-CCA-001/89. Los porcentajes de datos de CF son iguales en ambas referencias. Dos Arroyos y Zacatelco tuvieron los valores más altos de CF, incluso mayores a los obtenidos por Rivera-Vázquez *et al.* (2007). En los puntos de muestreo Dos Arroyos y Trébol, 60 y 50 % de los datos superaron los 15 mg/L de GyA, que es el límite establecido en la norma para uso en riego agrícola. En Tlaxco, Muñoz, San Benito y Dos Arroyos 100 % de las muestras sobrepasaron el límite de 0.05 mg/L de fosfatos. La actividad predominante en estas microcuencas es la agricultura y la ganadería principalmente de toros de lidia. Alexander *et al.* (2008) encontraron que el estiércol depositado por los animales en las áreas de pastoreo es el principal contribuyente de fósforo en el Golfo de México por el río Mississippi. Respecto a la DBO, 20 % de los datos de Dos Arroyos y Zacatelco excedieron el límite de 150 mg/L establecido en la norma. Una muestra del Jardín Botánico que representa el 11 % de los datos tuvo una concentración de NT mayor de 40 mg/L. Los promedios más altos de NT se obtuvieron en Muñoz, Xaltocan y Zacatelco, mismos que son varias veces mayores a 1.34 y 0.95 mg/L, reportados por Hayakawa *et al.* (2006) en un estudio realizado en corrientes de dos cuencas. Con relación al nitrógeno amoniacal y a los sulfatos, el 100 % de los datos de los doce puntos superaron valores de 0.06 y de 0.005 mg/L, que son los límites máximos establecidos para estos parámetros en los criterios ecológicos de calidad del agua. El límite máximo de cloruros en los CE-CCA-001/89 igual a 250 mg/L fue excedido solo en una muestra de Texoloc; también en este punto el 100 % de las muestras

sobrepasaron 0.1 mg/L de SAAM. El Pardo y Atlangatepec mostraron los promedios más altos de OD, siendo para el primero de 8.09 y para el segundo de 6.18 mg/L. Con base en los criterios ecológicos, en Dos Arroyos y Zacatelco 100 % de los datos son menores al valor mínimo de 5.0 mg/L de OD. El valor de oxígeno disuelto a saturación teórica a una temperatura del agua de 11.5 °C (temperatura más baja medida en EL Pardo) es de 7.70 mg/L para El Pardo a una altura sobre el nivel del mar de 2680 m y de 7.96 mg/L para Atlangatepec a una de 2482 m. El punto de muestreo El Pardo está en una microcuenca sin asentamientos humanos, es decir no es agua residual y tuvo los valores más bajos de DBO. El punto de muestreo Atlangatepec se encuentra a dos kilómetros corriente abajo de la cortina de la presa con el mismo nombre, donde hay plantas acuáticas en el cauce del río que introducen oxígeno al agua por fotosíntesis. Estas condiciones pueden favorecer concentraciones de OD mayores a los límites teóricos, como los máximos encontrados de aproximadamente 11.00 mg/L.

Se encontraron correlaciones con valores de $r_2 > 0.8$ en las microcuencas con escasa actividad industrial y agrícola. La correlación entre DBO y DQO resultó la más alta, con un valor de $r_2 = 0.733$. En la subcuenca del río Zahuapan viven aproximadamente 523830 personas, que representan 59 % de los habitantes del estado de Tlaxcala. 67 % de la población que habita en el área de influencia de los puntos de muestreo está concentrada en localidades de 1001-5000 y de 20001-50000 habitantes. Se encontró que la DBO es explicada por la población asentada hasta 20 km de la línea del cauce del río (Muñoz *et al.*, 2012).



Tabla 18. Media, mínimo, máximo y desviación estandar de los parámetros químicos determinados (en mg/L a menos que se indique otra unidad)

Punto de muestreo	Estadístico	Turbiedad*	ST	STF	STV	OD	DBO	DQO	NH ₃	Norg	NT	NO ₃	Fosfatos	Cloruros	Sulfatos	GyA	SAAM	CF**
El Pardo n=9	Media	200.73	392.89	345.33	47.56	8.09	6.01	23.09	0.67	1.47	2.14	0.86	5.09	12.96	66.32	6.75	0.06	5.44E+04
	Min.	10.40	136.00	112.00	12.00	4.14	0.74	2.16	0.47	0.69	1.16	0.03	0.01	7.78	19.70	0.00	0.01	0.00E+00
	Max.	1000.00	2152.00	1968.00	184.00	11.56	18.54	88.01	1.08	3.39	4.03	1.91	14.61	23.17	224.72	25.64	0.33	4.60E+05
	D.E.***	356.67	660.75	609.25	52.86	2.44	5.90	27.12	0.23	0.85	0.95	0.69	6.24	4.80	62.41	8.35	0.11	1.52E+05
Tlaxco n=10	Media	312.04	733.20	554.40	178.80	1.65	57.71	168.32	9.95	4.90	14.84	0.91	18.62	60.85	96.32	9.91	4.89	4.25E+06
	Min.	5.98	216.00	172.00	44.00	0.00	15.52	52.20	1.67	1.34	5.75	0.36	2.08	29.16	20.93	0.34	0.01	
	Max.	1000.00	1568.00	1380.00	272.00	8.28	125.70	311.46	19.76	14.52	32.69	2.34	45.01	120.53	220.96	18.62	9.45	1.10E+07
	D.E.	401.10	436.88	417.59	78.93	2.64	40.16	84.45	6.67	3.69	9.06	0.58	13.05	26.62	56.12	5.84	3.59	4.63E+06
Atlanguatepec n=9	Media	24.01	248.00	193.33	54.67	6.18	8.38	27.06	0.60	1.66	2.27	0.60	1.00	31.76	69.58	10.85	0.26	9.96E+03
	Min.	2.12	184.00	128.00	32.00	2.00	2.15	5.18	0.31	0.77	1.20	0.14	0.01	16.55	28.91	4.62	0.01	2.30E+03
	Max.	78.40	364.00	292.00	76.00	11.17	19.57	73.91	0.95	4.08	4.52	1.65	8.95	61.23	270.33	30.64	1.90	4.60E+04
	D.E.	29.21	67.94	60.33	13.71	2.85	5.79	23.27	0.23	1.08	1.11	0.54	2.98	14.45	76.11	8.71	0.62	1.38E+04
Muñoz n=9	Media	131.09	520.44	383.11	137.33	3.63	33.77	79.70	9.41	2.46	11.87	1.15	19.05	59.16	82.58	12.19	0.45	3.79E+05
	Min.	10.70	332.00	280.00	52.00	1.59	11.35	28.14	4.52	0.84	5.94	0.28	3.62	25.27	29.52	4.42	0.01	4.30E+03
	Max.	839.00	860.00	604.00	256.00	5.72	83.00	169.87	17.01	4.91	19.25	3.35	50.33	114.70	347.60	22.33	1.99	1.10E+06
	D.E.	266.73	149.35	105.56	63.31	1.49	28.30	52.37	4.38	1.31	4.89	0.97	15.61	28.66	100.30	5.56	0.70	4.09E+05
Xaltocan n=10	Media	83.97	550.80	384.40	166.40	2.99	83.50	181.63	15.39	5.51	20.90	0.95	19.62	48.67	72.12	13.01	5.76	6.63E+06
	Min.	22.40	432.00	300.00	16.00	0.00	15.52	46.51	3.94	0.45	5.87	0.18	0.02	19.44	39.35	5.22	0.01	4.30E+04
	Max.	203.00	880.00	572.00	312.00	6.71	157.63	440.05	29.48	16.18	38.00	3.93	40.54	99.29	107.97	22.14	15.59	4.60E+07
	D.E.	67.16	135.07	91.42	91.51	2.28	45.48	105.83	9.51	4.49	12.33	1.14	10.96	21.73	20.57	5.09	5.46	1.41E+07
San Benito n=10	Media	30.73	903.60	767.20	136.40	2.52	71.03	127.71	5.67	3.07	8.74	0.73	8.99	60.99	199.73	14.93	3.08	6.88E+06
	Min.	6.99	540.00	392.00	12.00	0.00	12.81	47.08	0.18	1.10	1.28	0.14	1.39	25.27	22.15	6.11	0.01	9.30E+04
	Max.	80.60	1320.00	1104.00	216.00	5.27	169.93	245.94	16.43	5.97	18.04	2.06	19.25	91.37	427.25	27.30	8.89	4.30E+07
	D.E.	23.56	266.57	238.73	52.61	2.08	57.01	68.09	4.37	1.46	4.42	0.59	6.49	18.42	145.58	6.84	3.43	1.31E+07
Amaxac n=10	Media	211.66	738.00	623.60	114.40	2.26	34.53	93.96	6.80	2.73	9.54	0.78	6.68	110.99	71.44	13.06	1.59	5.11E+06
	Min.	11.70	436.00	324.00	8.00	0.00	19.63	37.28	2.24	0.95	3.73	0.14	0.01	19.44	30.14	3.13	0.01	4.30E+04
	Max.	998.00	1128.00	992.00	224.00	5.64	68.96	196.59	11.70	6.70	14.77	2.08	20.45	233.33	171.08	21.78	3.99	4.60E+07
	D.E.	383.16	207.84	201.53	59.19	2.39	15.82	46.10	3.30	1.68	4.07	0.70	6.45	61.67	40.44	6.54	1.45	1.44E+07
Dos Arroyos n=10	Media	104.89	697.20	463.60	233.60	0.64	132.86	286.88	10.33	7.04	17.37	0.74	14.00	77.17	90.17	17.86	5.33	1.18E+08
	Min.	26.30	448.00	288.00	12.00	0.00	30.54	66.10	3.23	1.03	4.26	0.14	4.48	27.22	38.09	4.02	0.01	2.30E+05
	Max.	358.00	1208.00	700.00	704.00	3.66	510.11	958.95	17.83	22.25	25.58	2.02	28.14	229.40	287.72	39.86	11.14	1.10E+09
	D.E.	94.42	268.94	158.69	188.89	1.21	139.25	252.90	5.17	6.09	6.83	0.57	8.97	59.53	78.23	12.83	3.81	3.45E+08
Jardín Botánico n=9	Media	119.61	510.67	380.00	130.67	2.35	55.11	134.81	16.63	4.05	20.68	0.99	6.77	64.85	59.44	10.53	4.02	6.26E+07
	Min.	17.10	368.00	296.00	56.00	0.00	20.36	35.38	4.32	0.56	5.94	0.14	0.01	23.33	35.18	5.16	0.01	2.30E+05
	Max.	733.00	644.00	588.00	260.00	5.58	105.41	241.18	35.97	7.30	43.27	2.83	13.58	205.20	106.89	26.29	8.55	4.60E+08
	D.E.	231.26	102.63	88.29	67.76	2.22	32.41	79.17	10.16	2.04	11.88	0.85	6.27	54.59	22.24	6.58	3.15	1.61E+08
Trébol n=10	Media	307.86	730.40	600.00	130.40	5.34	40.28	111.76	5.44	3.97	9.42	1.44	6.58	61.36	69.46	14.66	4.14	9.51E+06
	Min.	2.87	416.00	328.00	20.00	0.00	13.05	26.90	0.49	1.14	2.37	0.14	0.01	19.44	30.75	4.68	0.01	2.30E+05
	Max.	1000.00	1196.00	956.00	432.00	8.19	126.48	370.07	22.77	9.42	32.19	7.19	28.52	140.66	156.93	22.24	23.20	2.40E+07
	D.E.	348.70	281.69	218.75	112.70	2.58	39.02	107.13	6.62	2.97	9.09	2.07	8.58	41.66	37.02	5.43	7.17	8.45E+06
Texoloc n=9	Media	158.34	874.67	550.67	324.00	1.76	38.63	78.51	6.45	3.82	10.28	0.59	2.96	103.02	54.82	14.32	2.70	3.19E+06
	Min.	15.20	620.00	232.00	44.00	0.00	16.57	22.73	2.07	1.22	4.31	0.14	0.01	44.68	16.01	6.49	0.62	1.40E+05
	Max.	1000.00	1560.00	884.00	1328.00	5.18	88.66	131.74	12.26	6.96	15.32	1.55	9.81	307.16	112.76	44.62	6.73	9.30E+06
	D.E.	316.19	322.15	189.31	387.15	1.59	23.96	39.54	2.40	1.98	3.82	0.42	3.82	83.27	28.52	11.65	2.01	3.37E+06
Zacateleo n=10	Media	76.39	624.40	421.20	203.20	0.48	95.37	176.82	13.50	4.60	18.10	2.41	10.08	85.42	64.46	13.73	3.00	1.29E+08
	Min.	20.20	496.00	192.00	108.00	0.00	16.90	79.40	3.44	1.89	7.10	0.14	0.01	54.61	30.18	0.06	0.01	2.30E+05
	Max.	175.00	756.00	572.00	400.00	3.80	214.75	404.04	28.88	10.99	37.62	19.21	24.06	145.62	126.37	24.02	6.43	1.10E+09
	D.E.	41.43	93.25	102.10	85.81	1.21	63.83	97.46	8.63	2.95	9.79	5.92	7.20	27.94	32.91	6.66	2.35	3.64E+08

*Turb en NTU, ** CF=coliformes fecales en NMP/100 mL, ST= sólidos totales, STF= sólidos totales fijos, STV= sólidos totales volátiles, OD= oxígeno disuelto, DBO= demanda bioquímica de oxígeno, DQO= demanda química de oxígeno, NH₃= nitrógeno como amonio, Norg= nitrógeno orgánico, NT= nitrógeno total, NO₃= nitrógeno como nitrato, GyA= grasas y aceites, SAAM= sustancias activas al azul de metileno, ***D.E. sin unidades



Tabla 19. Porcentaje de datos menores a los límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y en los CEE-CCA-001/89

Punto de muestreo	NOM-001-SEMARNAT-1996				CE-CCA-001/89					
	DBO	NT	GyA	CF	Cloruros	NH ₃	OD	SAAM	Sulfatos	Fosfatos
El Pardo	0	0	11	89	0	100	22	22	100	56
Atlangatepec	0	0	13	100	0	100	22	33	100	11
Tlaxco	0	0	20	90	0	100	90	90	100	100
Muñoz	0	0	25	100	0	100	78	56	100	100
Xaltocan	10	0	20	100	0	100	80	80	100	90
San Benito	10	0	30	100	0	100	80	90	100	100
Amamax	0	0	40	100	0	100	70	70	100	80
Dos Arroyos	20	0	50	100	0	100	100	90	100	100
J. Botánico	0	11	11	100	0	100	89	89	100	78
Trébol	0	0	60	100	0	100	30	70	100	70
Texoloc	0	0	11	100	11	100	89	100	100	56
Zacatelco	20	0	40	100	0	100	100	90	100	90

DBO= demanda bioquímica de oxígeno, NT= nitrógeno total, GyA= grasas y aceites, CF= coliformes fecales, NH₃= nitrógeno como amonio, OD= oxígeno disuelto, SAAM= sustancias activas al azul de metileno,

Muños et al. 2012.

PERÍODO 2007

El equipo de investigación de Sandoval (2009), desarrolló una investigación de “Evaluación fisicoquímica, microbiológica y toxicológica de la degradación ambiental del río Atoyac” en el cual, se determinaron parámetros de campo (color, olor, temperatura, CE, pH, OD), fisicoquímicos (SST, SDT, SSE, DBO₅, DQO y GyA, Ntotal, Norg, Ptotal, Porg, ortofosfatos), metales pesados (As, Cd, Cu, Cr, Cr+6, Hg, Ni, Pb, Zn, Al, Fe, Mn), microbiológicos (coliformes fecales) con base en los límites máximos permisibles (LMP) en la NOM-001-ECOL-1996 y en los CE-CCA-001/89, análisis de toxicidad (*Vibrio fischeri*, *Daphnia magna*) y mutagenicidad (prueba de Ames con microsomas/*Salmonella typhimurium*), en época de sequía en nueve estaciones a lo largo de 85km. Para determinar la calidad del agua del río se tomó como referencia los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en la NOM-001-ECOL-1996; así como los criterios ecológicos de calidad del agua (CE-CCA-001/89) y La Ley Federal de Derechos de Agua

(LFA, 2007). Los análisis de toxicidad y mutagenicidad se realizaron de acuerdo a las normas mexicanas (NMX-AA-112-1995-SCFI) y (NMX-AA-087-1995-SCFI) y a la (OECD-471, 1995).

Seleccionaron nueve sitios de muestreo, ubicando las estaciones en los puntos de confluencia de los afluentes y el río, así como en los sitios donde las industrias descargan sus aguas residuales en el río (tabla 20). Los tipos de descargas industriales y municipales, colectores, plantas de tratamiento en cada una de las estaciones de muestreo, así como los afluentes y efluentes, se muestran en la fig. 9. Las estaciones son 1) la Exhacienda de Guadalupe, 2) Chiautla de Arenas, 3) Villa Alta, 4) San José Atoyatenco, 5) Puente río Atoyac, 6) San Lorenzo, 7) Puente México, 8) Presa Valsequillo (Sur) y 9) Presa Valsequillo (cortina). Las muestras fueron tomadas en 2007, en época de estiaje, El caudal del río se midió con un molinete, en forma simultánea con la toma de muestras. El manejo y la preservación de las muestras se realizaron con base en la NMX-AA-003-1980.



Tabla 20. Estaciones de monitoreo

Estación	Sitio de muestreo	Altitud (msnm)	Latitud norte	Longitud oeste
1	Exhacienda de Guadalupe	2381	19°22'02,10"	98°30'56,50"
2	Chiautla de Arenas	2277	19°19'02,30"	98°27'30,90"
3	Villa Alta	2227	19°17'16,30"	98°23'02,30"
4	San José Atoyatenco (Puente)	2213	19°14'25,20"	98°21'35,90"
5	Puente río Atoyac (Loc. El Valor)	2178	19°09'27,66"	98°14'30,48"
6	San Lorenzo (Puente)	2182	19°09'22,70"	98°14'13,00"
7	Puente México (Autopista)	2114	19°04'10,86"	98°14'27,30"
8	Presa Valsequillo (Sur)	2070	18°57'57,78"	98°16'39,24"
9	Presa Valsequillo (Cortina)	ND	18°54'42,48"	98°06'38,54"

ND: no determinada.

Sandoval et al. 2009

Resultados. Los valores para OD, DBO₅ y DQO fueron de 2-6, 11-270 y 22-1841 mg/L., respectivamente. Los metales fueron detectados por debajo de los LMP en todas las estaciones, excepto en la estación 5 (0,002 mg/L de Hg) y la 8 (0,13 mg/L de Cr+6). Los coliformes fecales rebasaron los LMP en todas las estaciones. Los valores para *Vibrio fischeri*, *Daphnia magna* y se encuentran en 2-28 y 1-4UT, y para la prueba de Ames entre 5 y 63RM, indicando toxicidad y mutagenicidad desde la estación 3 a la 9. Se registró contaminación alta según la legislación vigente y un riesgo para la salud pública de acuerdo a los parámetros toxicológicos y mutagénicos.

Los valores de los resultados obtenidos se presentan en la tabla 21. La estación con el máximo caudal es la 8 (5686 l/seg), mientras que la estación 1 presenta el caudal más bajo (273 l/seg). La materia flotante, presente sólo en la estación 4, fue de tipo doméstico (botellas PET, plásticos y latas); la norma NOM-001-ECOL-1996 establece ausencia de materia flotante. En el color son evidentes los cambios a lo largo de los nueve sitios, iniciando con un color café en las estaciones 1 y 2, transformándose en azul en la estación 3, negro en las estaciones 4 a 8 para, finalmente terminar en gris en la estación 9. Las estaciones 1, 2 y 3 no presentan olor alguno, mientras que de la 4 a la 9 mostraron un olor a ácido sulfhídrico. La temperatura en el agua del río osciló entre 14 y 19°C entre las estaciones 1 y 9; los CE-CCA-001/89 establecen

condiciones naturales de temperatura de más de 1,5° C. Los valores mínimos de conductividad eléctrica se presentaron en las estaciones 1 y 2 (213 y 250µS/cm-2), y el valor máximo se registró en la estación 8 (945µS/cm-2). Los pH de 8 estaciones son similares (7-7,5), excepto la estación 3 con un pH de 8. Para los parámetros de color, olor, CE y pH no se han establecido LMP en la NOM-001-ECOL-1996 ni en los CE-CCA-001/89. La concentración máxima de OD se registró en la estación 2 (8,6mg/L), seguida por las estaciones 1, 7 y 6 (6,4; 6,1 y 5,9 mg/L) y el valor mínimo (1,7mg/L) se localizó en la estación 9, encontrándose fuera de los CE-CCA-001/89.

Parámetros fisicoquímicos. En la tabla 22 se muestran los valores de los parámetros SST, SDT, SSe, DBO₅, DQO y GyA. El valor mínimo de SST se obtuvo en la estación 1 (8 mg/L) y el máximo en la estación 7 (343 mg/L). El LMP de SST para Uso de Riego Agrícola (URA) es rebasado en las estaciones 7, 8 y 9. En las estaciones 6 a 9 se sobrepasa el LMP para Uso Público Urbano (UPU), mientras que para Protección de Vida Acuática (PVA) el LMP es excedido en todas las estaciones. Solamente se registró SDT (11mg/L), parámetro que no se incluye en la normativa vigente, en la estación 7. Para SSe todas las estaciones cumplen con los LMP establecidos para URA, UPU y PVA. Las concentraciones mínima y máxima de DBO₅ se registraron en las estaciones 1 y 7 (11 y 270mg/L), siendo rebasado el LMP para URA en las estaciones 5 y 9; para UPU en las estaciones 5, 6 y 7; y para PVA en las estaciones 3 a la 9. El valor mínimo de DQO (22mg/L) se observó en la estación 1 y el máximo (1841mg/L) en la estación 9, siendo rebasado el LMP establecido en la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua en las estaciones 3 a 9.



Tabla 21. Parámetros de campo

Estación	Caudal (l.s ⁻¹)	MF	Color	Olor	T (°C)	CE (μS·cm ⁻²)	pH	OD (mg·l ⁻¹)
1	273	No	Café	No	15	213	7,4	6,4
2	704	No	Café	No	14	250	7,7	8,6
3	1228	No	Azul	No	14	570	8,0	3,3
4	1872	SI	Negro	Si (H ₂ S)	14	610	7,3	2,0
5	2208	No	Negro	Si (H ₂ S)	16	692	7,5	2,6
6	4271	No	Negro	Si (H ₂ S)	18	905	7,6	5,9
7	3883	No	Negro	Si (H ₂ S)	16	912	7,6	6,1
8	5686	No	Negro	Si (H ₂ S)	16	945	7,5	5,1
9	NR	No	Gris	Si (H ₂ S)	19	769	7,0	1,7

LMP NOM-001-ECOL-1996	LMP CE-CCA-001/89
Temperatura= URA, UPU, PVA= 40°C	Temperatura= condic. naturales + 1,5°C.
Materia flotante (MF) URA, UPU, PVA=ausente	Materia flotante= desagradable a la vista OD= 5mg·l ⁻¹

LMP: límite máximo permisible, URA: uso riego agrícola,
 UPU: uso público urbano, PVA: protección vida acuática,
 NR: no realizado.

Sandoval et al. 2009

El dato mínimo para GyA (15mg/L) fue en la estación 3 y el máximo (26mg/L) en las estaciones 5 y 8. Estas dos últimas estaciones no cumplen con el LMP establecido en la NOM-001-ECOL-1996. En la tabla 23 se muestran los valores obtenidos para N y P en sus diferentes formas. La concentración mínima de Ntotal detectada en las estaciones 1 y 8 fue de 2471mg/L y la máxima de 26551mg/L; ninguna de las estaciones cumple con los LMP para URA, UPU y PVA. El valor mínimo de Namoniacal registrado fue de 0,5mg/L y el máximo de 15400 en las estaciones 1 y 8, respectivamente; sólo la estación 1 cumple con el LMP establecido en los CE-CCA-001/89. Los LMP para Norg y para Nitritos+Nitratos no se contemplan en la legislación actual. El valor para Nitritos en todas las estaciones está dentro del LMP de los CE-CCA-001/89. En cuanto al Ptotal el valor mínimo y el máximo, de 1,0 y 6,0 mg/L en las estaciones 2 y 8, cumplen con el LMP establecido en la NOM-001-ECOL-1996. Por otro lado, ninguna estación cumple

con el LMP que marcan los CE-CCA-001/89. Se cuantificaron fosfatos orgánicos y ortofosfatos en todas las estaciones, aunque estos compuestos no se encuentran regulados por ninguna norma.

Tabla 22 Parámetros fisicoquímicos determinados

Estación	SST mg·l ⁻¹	SDT mg·l ⁻¹	Ssc ml·l ⁻¹	DBO ₅ mg·l ⁻¹	DQO mg·l ⁻¹	Grasas/ aceites mg·l ⁻¹
1	64	<0,18	0,6	11	22	ND
2	70	<0,18	0,0	23	36	ND
3	109	<0,18	0,0	87	189	15
4	80	<0,18	0,7	88	157	24
5	110	<0,18	0,6	259	357	26
6	172	<0,18	0,7	157	314	22
7	343	11	2	270	383	24
8	240	<0,18	1	87	200	26
9	240	<0,18	1	78	1841	NR

LMP NOM-001-ECOL-1996	LMP CE-CCA-001/89	LMP LFD-2008
SST, URA, UPU, PVA= 200, 125, 60mg·l ⁻¹	Grasas y aceites= ausentes	DQO= 100mg·l ⁻¹
Ssc, URA, UPU, PVA= 2ml·l ⁻¹		
DBO ₅ , URA, UPU, PVA= 200, 150 y 60mg·l ⁻¹	Grasas y aceites RA, UPU, PVA= 25mg·l ⁻¹	

ND: no detectado, NR: no realizado.

Sandoval et al. 2009



Tabla 23. Parámetros relacionados con la materia orgánica

Estación	N total	N amoniacal	N org	N-nitros +N-nitros	N-nitros	P total	P org	P orto
	mg·l ⁻¹							
1	2471	0,5	1	1	0,09	1	0,3	0,3
2	4223	0,9	1738	1	0,07	1	0,0	0,3
3	15772	6952	8448	0,4	0,02	2	0,4	1,2
4	1686	9746	6864	1,3	0,03	2	0,2	1,4
5	16531	5654	10296	0,6	0,02	4	0,2	2,2
6	14480	8118	5962	0,4	0,02	3	0,8	2,0
7	22420	11990	9900	0,5	0,03	5	0,5	2,9
8	26551	15400	10670	0,5	0,02	6	0,9	1,5
9	11660	9339	2321	NR	0,02	2	0,06	NR

LMP NOM-001-ECOL-1996 mg·l ⁻¹	LMP CE-CCA-001/89 mg·l ⁻¹
N _{total} URA, UPU, PVA= 60, 60, 25	N _{amoniacal} = 0,6
	Nitros= 0,6
P _{total} URA, UPU, PVA= 30, 30, 10	P _{total} = 0,05

NR: no realizado.

Sandoval et al. 2009

Metales. En la tabla 24 se muestran los metales cuantificados. Los valores de As y Cd se encuentran dentro del LMP de la NOM-001-ECOL-1996. Se detectó Cr+6 en la estación 8 con una concentración 0,13mg/L, rebasando significativamente el LMP establecido en los CE-CCA-001/89. La existencia de Hg en todas las estaciones muestra concentraciones de 0,001mg/L y cumple con la NOM-001-ECOL-1996, excepto en la estación 5 (0,002mg/L) que rebasa el LMP de los CE-CCA-001/89. El Ni en todas las estaciones muestra concentraciones por debajo de la NOM-001-ECOL-1996 y no se le considera en los CE-CCA-001/89. El Fe y el Mn no se detectaron de la estación 1 a la 7, pero el Fe está presente en las estaciones 8 y 9 (0,53 y 0,51mg/L), mientras que el Mn solo se detectó en la estación 9 (0,52mg/L); para ninguno de ellos hay LMP en la NOM-001-ECOL-1996 ni en los CE-CCA-001/89. Las concentraciones de Cu, Crtotal, Pb, Zn y Al detectadas estuvieron debajo del LMP de la NOM-001-ECOL-1996 en todas las estaciones.

Tabla 24. Metales pesados y metaloides

Estación	As	Cd	Cu	Cr	Cr ⁶⁺	Hg	Ni	Pb	Zn	Al	Fe	Mn
	mg·l ⁻¹											
1	<0,005	<0,02	<0,05	<0,05	ND	0,002	<0,05	<0,10	<0,1	<5,0	ND	ND
2	<0,005	<0,02	<0,05	<0,05	ND	0,001	0,017	<0,10	<0,1	<5,0	ND	ND
3	<0,005	<0,02	<0,05	<0,05	ND	0,001	<0,05	<0,10	<0,1	<5,0	ND	ND
4	<0,005	<0,02	<0,05	<0,05	ND	0,001	<0,05	<0,10	<0,1	<5,0	ND	ND
5	<0,005	0,04	<0,05	<0,05	ND	0,002	<0,05	<0,10	<0,1	<5,0	ND	ND
6	<0,005	<0,02	<0,05	<0,05	ND	0,001	<0,05	<0,10	<0,1	<5,0	ND	ND
7	0,01	0,05	<0,05	<0,05	ND	0,001	0,017	<0,10	<0,1	<5,0	ND	ND
8	<0,005	<0,02	<0,05	<0,05	0,13	<0,0005	<0,05	<0,10	<0,1	<5,0	0,53	ND
9	<0,005	<0,02	<0,05	<0,05	ND	<0,0005	<0,05	<0,10	<0,1	<5,0	0,51	0,52

LMP NOM-001-ECOL-1996 mg·l ⁻¹	LMP CE-CCA-001/89 mg·l ⁻¹
As URA, UPU, PVA= 0,2; 0,1; 0,1	As III= 0,2
Cd URA, UPU, PVA= 0,2; 0,1; 0,1	Cn= 0,005
Cu URA, UPU, PVA= 4,0; 4,0; 4,0	
Cr URA, UPU, PVA= 1,0; 0,5; 0,5	Cr ⁶⁺ = 0,01
Hg URA, UPU, PVA=0,01; 0,005; 0,005	Hg= 0,001
Ni URA, UPU, PVA= 0,5; 0,2; 0,2	
Pb URA, UPU, PVA= 0,2; 0,1; 0,1	
Zn URA, UPU, PVA= 10,0; 10,0; 10,0	

ND: no detectado.

Sandoval et al. 2009

Microbiológicos. El valor mínimo y el máximo de coliformes fecales se registraron en las estaciones 2 y 7 (2,20E3 y 3,08E07 NMP/100 ml). Ninguna de las estaciones cumple con el LMP establecido en la NOM-001-ECOL-1996 (tabla 25) (Sandoval et al. 2009).

Tabla 25. Parámetros microbiológicos, toxicológicos y mutagénicos

Estación	Coliformes fecales NMP/100ml	<i>Vibrio fischeri</i> CE ₅₀ (%)		<i>Daphnia magna</i> CE ₅₀ (%)		CEPA TA98 CEPA TA100			
		UT		UT		RM			
		TND	TND	TND	TND	-S9	+S9	-S9	+S9
1	2,64E03	TND	TND	TND	TND	-	-	-	-
2	2,20E03	TND	TND	TND	TND	-	-	-	-
3	2,64E06	33	3	82	1	6	-	-	-
4	2,64E06	40	2	53	2	5	-	-	-
5	2,53E06	4	28	57	2	7	-	-	-
6	2,64E06	17	6	63	2	63	-	-	-
7	3,08E07	18	6	52	2	-	-	5	-
8	2,53E06	5	19	24	4	13	5	7	-
9	2,64E07	6	18	32	3	14	5	6	-

LMP (NOM-001-ECOL-1996)	Clasif. de toxicidad (Bulich, 1982)
Coliformes fecales URA= 1000NMP/100ml	>4 Muy tóxica 2-4 Tóxica 1,33-1,99 Moderadamente tox. <1,33 Levemente tóxica
LMP (CE-CCA-001/89)	Clasif. de mutagenicidad (Mortennals y Zeiger, 2000)
Colif. fec. <200NMP/100ml	<2= negativo >2= positivo

TND: toxicidad no detectada, -: negativo.

Sandoval et al. 2009

Toxicológicos. Para evaluar los resultados de toxicidad con *V. fischeri* y *D. magna* (tabla 26) se empleó la clasificación de toxicidad de acuerdo con Bulich (1982) y para la prueba de Ames los valores de razón de mutagenicidad. En las estaciones 1 y 2 no se detectó toxicidad con *V. fischeri*; en las estaciones 3 y 4 existe toxicidad con 3 y 2 unidades de toxicidad (UT), de las estaciones 5 a la 9 se registró niveles muy tóxicos (28-18UT) debido a la presencia de compuestos orgánicos. La estación 3 se mostró levemente tóxica con *D. magna* (1UT) y las estaciones 4 a 9 resultaron tóxicas (2-4UT), debido probablemente a la presencia de compuestos inorgánicos del tipo metales y metaloides.

Prueba de Ames. En las estaciones 1, 2 y 7 no se detectó mutagenicidad (ND) con la cepa TA98 sin activación metabólica, pero sí en las

estaciones 3, 4, 5, 6, 8 y 9 con valores de 6, 5, 7, 63, 13 y 14RM respectivamente, siendo significativamente más alta la estación 6. Con la cepa TA98 con activación metabólica no se registró mutagenicidad en las estaciones 1 a 7, pero sí se registró en las estaciones 8 y 9 con valores de 5RM. Empleando la cepa TA100 sin activación metabólica, en las estaciones 1 a 6 no se detectó mutagenicidad, pero las estaciones 7, 8 y 9 presentan valores mutagénicos de 5, 7 y 6RM. Empleando la misma cepa con activación metabólica no se detectó mutagenicidad en ninguna de las estaciones.

El caudal del río Atoyac se incrementa desde la primera medición en la estación 1 hasta la estación 6 en 15 veces, de 273 a 4271 l·s⁻¹, disminuyendo en la estación 7 a 3883 L/seg. En esta estación hay dos parques industriales y un colector industrial, además de 18 diferentes tipos de industrias, lo cual conlleva extracción de agua del río para sus procesos (fig. 9 y tabla 21). El cambio de color en las estaciones 1 y 2 fue influenciado por la fuerza de la corriente, que arrastra partículas suspendidas que modifican el color natural; en la estación 3 el cambio se debe a la descarga textilera del teñido de telas, específicamente mezclilla. Los cambios subsecuentes se deben a las descargas de industrias procesadoras de alimentos, metalúrgicas, químicas y de colectores industriales, que imparten al agua un color negro de las estaciones 4 a 8. Estas descargas provocan también el surgimiento de olor a ácido sulfhídrico a partir de la estación 4, indicando aumento en la actividad biológica y contaminación industrial severa. La variación de temperatura de la estación 1 a la 9 fue de 4°C, aumento debido, probablemente, a procesos industriales que generan agua caliente que influye en la tasa de crecimiento biológico, en las reacciones químicas, en la solubilidad de los contaminantes y en el desarrollo de la biota. La conductividad eléctrica en la estación 3, donde inician las descargas industriales, se incrementa significativamente hasta la estación 8 disminuyendo en la 9. A mayor conductividad eléctrica, mayor es el contenido de sólidos disueltos en forma iónica y provenientes de las descargas industriales. El valor de pH 8 registrado en la estación 3 se debe a las descargas municipales y a la actividad de procesos industriales (textil, químico y petroquímico). Algunas industrias utilizan procesos neutralizantes en sus descargas a base de bicarbonatos y carbonatos que justificarían el incremento del pH, específicamente en esta estación, pero ello no puede asegurarse. La



estación 2 recibe descargas municipales, no obstante, tiene el nivel de OD más alto, indicando que posee capacidad para mantener vivos organismos aerobios y plantas. Las otras estaciones muestran niveles de OD dentro del límite establecido en los CE-CCA-001/89, por lo que el río cuenta con capacidad autodepurativa (Sperling, 2001). Sólo el valor de OD en la estación 9 está fuera de la norma, indicando contaminación en ese punto e imposibilitando la supervivencia de la biota (Iriondo y Mota, 2004). Los parámetros de campo muestran el estado tangible del río, las variaciones en el caudal y su velocidad, los cambios de color y olor muestran la magnitud de las descargas que lo impactan, causantes de su deterioro. La estación 7 sobresale por sus valores altos de SST y SDT debido a partículas orgánicas (materia descompuesta y compuestos químicos) e inorgánicas (iones y moléculas disueltos en el agua, minerales, metales) en solución, que podrían interactuar con los agentes químicos y biológicos responsables de los cambios de color (negro) y olor (ácido sulfhídrico) antes discutidos, que pueden incrementar la toxicidad. La estación 7 también resalta por sus altos niveles de DBO₅ y DQO (Guerra-Hernández *et al.* 2008), lo cual indica la insuficiencia de O₂ necesario para degradar por medios biológicos y oxidar la materia orgánica por medios químicos (Sperling, 2001). La estación 9 muestra también un DQO alto debido a que es el reservorio de toda la materia orgánica que se vierte al río. Las estaciones 5 y 8 muestran valores de GyA elevados, debido a los procesos que se llevan a cabo en las industrias química, petroquímica, textil y farmacéutica, y descargas municipales. La grasa en aguas residuales interfiere con la vida acuática creando películas de materiales en flotación y afectando los procesos biológicos naturales del agua.

Figura 9. Esquema de las estaciones de muestreo en el río Atoyac y presa Manuel Ávila Camacho

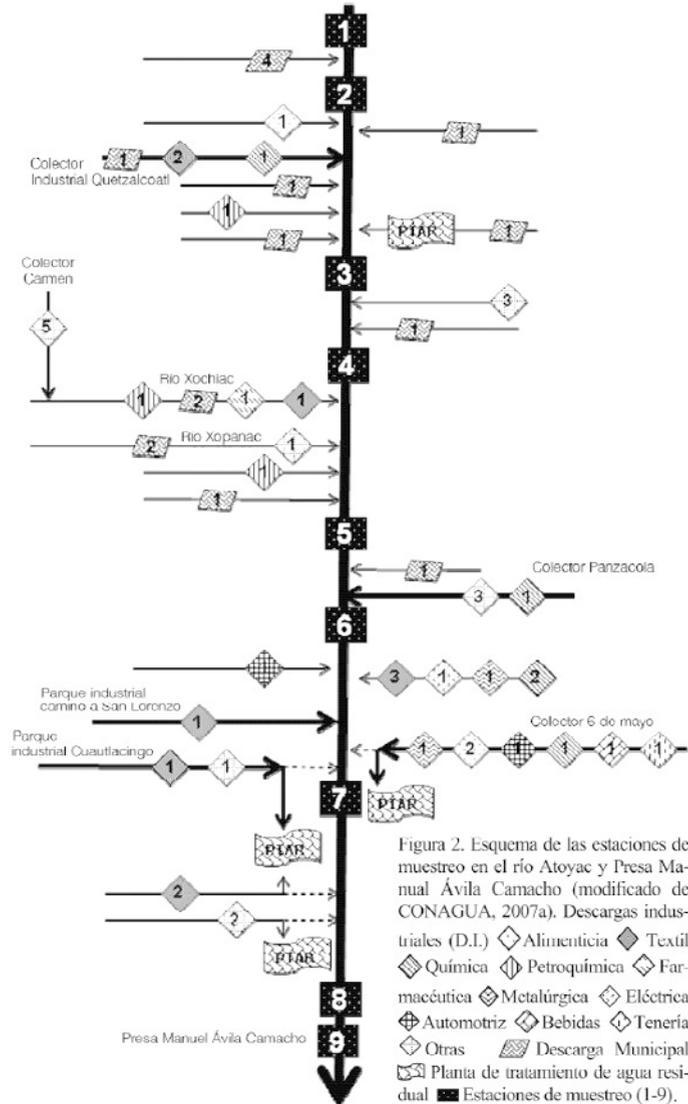


Figura 2. Esquema de las estaciones de muestreo en el río Atoyac y Presa Manuel Ávila Camacho (modificado de CONAGUA, 2007a). Descargas industriales (D.I.) \blacktriangle Alimenticia \blacktriangle Textil \blacktriangle Química \blacktriangle Petroquímica \blacktriangle Farmacéutica \blacktriangle Metalúrgica \blacktriangle Eléctrica \blacktriangle Automotriz \blacktriangle Bebidas \blacktriangle Tenería \blacktriangle Otras \blacksquare Descarga Municipal \blacksquare Planta de tratamiento de agua residual \blacksquare Estaciones de muestreo (1-9).

El Ntotal (Norgánico y Namoniactal) está presente en exceso en todas las estaciones, debido a desechos domésticos, agrícolas e industriales. El Namoniactal está presente en el agua en forma de amonio libre (NH_3) y del catión amonio (NH_4^+), indicando contaminación reciente en el cuerpo de agua y su efecto es nocivo para la fauna acuática (Jiménez, 2002). Las estaciones 1, 2 y 4 presentan alta concentración de Nitritos+Nitratos. Es probable que la presencia de bacterias inicie un proceso de desnitrificación llegando hasta la generación de N_2 molecular. Otras fuentes importantes de nitrato son los fertilizantes, principalmente en época de lluvia (Jiménez, 2002). La presencia de Ptotal en todas las estaciones se debe al uso excesivo de fertilizantes, detergentes y a procesos de descargas industriales. Los Porg y los Porto son producto de las descargas de agua de acondicionamiento para tuberías, torres de enfriamiento, calentadores y calderas. Siendo considerados como parámetros críticos en la calidad del agua por su influencia en el proceso de eutrofización, no se encuentran regulados por ninguna norma.

Los resultados obtenidos muestran los metales que se encuentran por debajo del límite de detección del equipo a niveles traza; éstos son Cu, Cr, Pb, Zn y Al, no representando peligro en el río. As, Cd, Ni, Fe y Mn están por debajo de los LMP de la normativa mencionada; sin embargo, su afluencia debe monitorearse continuamente para detectar su origen. La presencia de As, Cd y Ni se debe a descargas de empresas ubicadas en la estación 7, principalmente de tipo metalúrgica, química, automotriz y al uso de pesticidas, de acuerdo con Klaassen y Watkins (2001). El Cd puede ser generado por industrias de pinturas, plásticos, y los lodos de aguas domésticas y/o tratadas. El Ni presente en el río quizás proceda de plantas alimenticias, bebidas, tenería y textil. También se cuantificaron metales que no se incluyen en norma alguna, como Fe y Mn. El primero solo se detectó en la estación 8, y ambos en la 9. Estos elementos se combinan con la materia orgánica formando coloides de difícil sedimentación que aportan un olor desagradable y color indeseable (Helmut, 1991; Rainer, 1991). Por arriba de los LMP establecidos los metales detectados fueron Hg y Cr^{+6} , en las estaciones 5 y 8 respectivamente. La presencia de Hg se debe a descargas de la industria textil, química, petroquímica y metalúrgica; no obstante, no es posible asegurar que estas empresas hagan uso excesivo de Hg y/o sus derivados (Klaassen y Watkins, 2001) y que

sean responsables de su presencia en el río. La alta concentración de Hg puede derivar de cenizas dispersadas de volcanes (Popocatepetl) en el resto de las estaciones. La presencia de Cr^{+6} en la estación 9 puede deberse a descargas de tipo textil y otras como tenerías, galvanoplastias, metalúrgicas, producción de pigmentos y fertilizantes. El exceso de coliformes y la DBO_5 en la estación 7 tienen un origen común de contaminación, que puede ser identificado en la fig. 9 con descargas de tipo municipal e industrial (alimenticia, bebidas, tenerías, petroquímica, química y otras).

Los hallazgos con *V. fischeri* muestran toxicidad moderada en las estaciones 3 y 4, pero alta de la 5 a la 9, posiblemente debido a las concentraciones elevadas de Ntotal, quizá como resultado de la descomposición de la materia orgánica. El Namoniactal forma NH_3 y NH_4^+ en el agua, elevando la toxicidad. La toxicidad también puede deberse a la presencia de compuestos orgánicos, como hidrocarburos poliaromáticos, herbicidas y pesticidas. Con *D. magna* se detectó toxicidad leve en la estación 3 (1UT); en las estaciones 4 a 9 se detectaron valores de 2 a 4UT, a pesar de que se registraron concentraciones traza de metales. La prueba de Ames utiliza dos cepas, TA_{98} y TA_{100} . La diferencia entre ellas es que la primera tiene una mutación *frameshift* y la otra una puntual en un par de bases (Takiya *et al.*, 2003). Si las pruebas resultan positivas, existe un 99% de probabilidad de afectar la salud humana por carcinogénesis (Umbuzeiro *et al.*, 2001; Takiya *et al.*, 2003). Con la cepa TA_{98} - S_9 se detectó mutagenicidad alta en la estación 6, mientras con TA_{98} + S_9 en la estación 8. Por otro lado, con la cepa TA_{100} - S_9 se registró mutagenicidad alta en la estación 8, pero no se detectó con la TA_{100} + S_9 . Los resultados de la prueba de Ames con *S. typhimurium* (TA_{98} y TA_{100} sin y con activación metabólica) sugieren la presencia de compuestos orgánicos (hidrocarburos poliaromáticos, pesticidas, emulsificantes, plastificantes, dispersantes) y compuestos volátiles orgánicos (benceno, tolueno, etc.), cuya presencia se deberá determinar en el río (Sandoval *et al.*, 2009).



PERÍODO 1999 A 2008

El estudio presentado por el equipo de Rodríguez (2011), presenta la evaluación de varios parámetros fisicoquímicos tomados en la presa Valsequillo y en las cuencas del Atoyac-Zahuapan en la cual, se recolectaron en el período 1999 a 2008, 42 muestras de agua; 3 en los pozos Apatlachica, Desarenador y Acuexcomac, 2 en los manantiales Gigante y Tejaluca, 11 en los ríos Atoyac y Alseseca y 26 en la Presa Valsequillo (11 superficiales y 15 a medio fondo y fondo). La ubicación geográfica de las estaciones de muestreo se presenta en la fig. 1.

Parámetros Fisicoquímicos analizados. Cianuros (como CN⁻), cloruros (como Cl⁻), dureza total (como CaCO₃), fluoruros (F⁻), nitrógeno amoniacal, nitratos (como N), nitritos (como N), pH (potencial de hidrógeno), sólidos disueltos totales, sulfatos (como SO₄), sustancias activas al azul de metileno (SAAM), turbiedad, color, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites, fosfatos, nitrógeno total, oxígeno disuelto, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sólidos totales y temperatura. En el presente trabajo se reporta el total de parámetros estudiados de forma concentrada y de manera ampliada los parámetros integradores DBO₅ y DQO.

Resultados. Las fig.s 2a y 2b agrupan los 14 parámetros físico químicos de 37 estaciones de muestreo de los ríos Zahuapan y Alseseca; así como de los resultados de las muestras recuperadas en la Presa Manuel Ávila Camacho. Existe un gran dispersión de los datos en el diagrama de caja. En el caso del grupo de DBO₅ se observa que no se trata solamente de aguas procedentes de zonas urbanas sino que también está presente una componente industrial, lo que hace manifiesto que no se presente de forma semi concentrada el DBO₅ del DQO. Es decir, las cajas muy grandes y alargadas representan amplia dispersión de datos mientras que las cajas cortas representan condiciones de poca variabilidad en la concentración de las variables representadas, cabe mencionar que el eje Y está representado de forma logarítmica (base 10) para contener la representatividad de la magnitud de los diferentes parámetros. Con el fin de ilustrar lo descrito anteriormente se presentan dos diagramas de caja los cuales han de representar las concentraciones de los 14 parámetros físico

químicos estudiados para los ríos (fig. 11a) y la presa (fig. 11b), cabe mencionar que se conserva la escala del eje Y para poder comparar los diferentes diagramas de caja.

Figura 10. Mapa de Localización de las estaciones de muestreo: Pozos (Acuexcomac, Apatlachica y Desarenador), Manantiales (Gigante), RAL (río Alseseca), RAT (río Atoyac), PV (Presa Valsequillo), y Muestras de Montaña (SM. Canoa). Localización de las Estaciones de Monitoreo Ambiental e Hidrométricas, CNA, (EH-CNA, H Echeverría, respectivamente). Localización de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

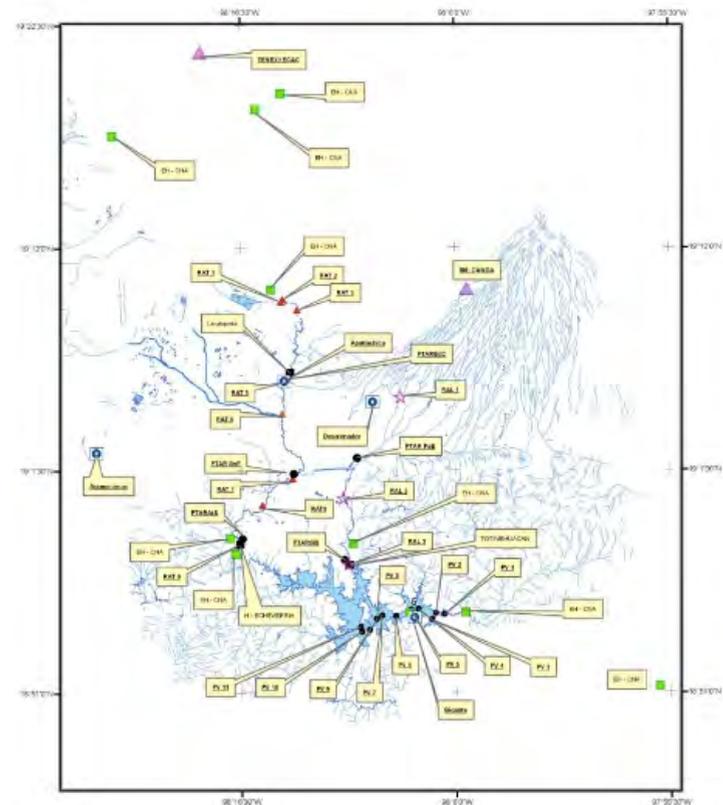
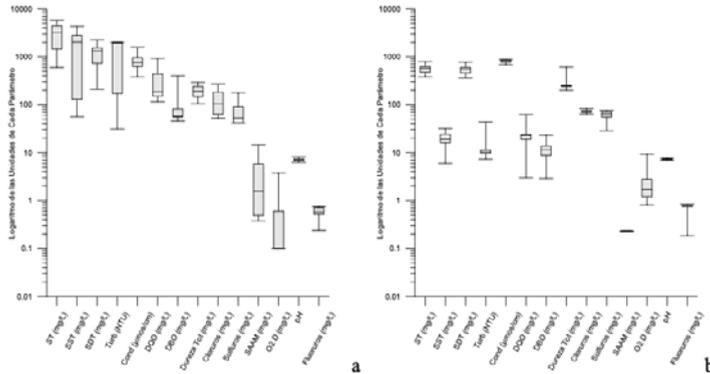


Figura 11a). Diagrama de caja de ST, SST, SDT, Turb, Cond, DQO, DBO₅, Dureza Total, Cloruros Sulfuros, SAAM O₂, pH y Fluoruros, correspondiente a muestras recolectadas en los ríos Zahuapan, Atoyac, Alseseca y 11b). Presa Manuel Ávila Camacho

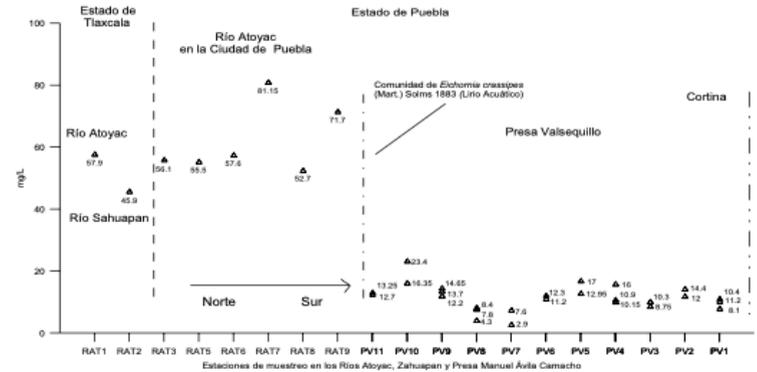


Rodríguez-Espinosa et al. 2011

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). La fig. 12, presenta los resultados de la concentración de diferentes parámetros físico químicos, a través de una representación espacial del comportamiento del DBO₅ en los ríos Zahuapan y río Atoyac antes de ingresar a la zona urbana de Puebla, después en su tránsito por la ciudad de Puebla y hasta alcanzar, desde el ingreso hasta la cortina, la Presa Manuel Ávila Camacho.

El comportamiento de este parámetro registra un ingreso al estado de Puebla con valores por debajo de la Norma, presentando una concentración mayor en el río Atoyac de 57.9 mg/L que el río Zahuapan con 45.9 mg/L. Una vez en la ciudad de Puebla se mantienen los valores de ingreso hasta que alcanza la Estación RAT7 ubicada después de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Francisco, este importante incremento a 81.15 mg/L, sin rebasar los valores máximos permisibles, son debidos a la incorporación del río San Francisco al río Atoyac, no obstante que se sus aguas pasan por la planta de tratamiento. Es importante destacar que la contribución de este parámetro denota una carga de materia orgánica producto de aguas

Figura 12. Gráfica de DBO₅ correspondiente a muestras recolectadas en los ríos Zahuapan, Atoyac y Presa Manuel Ávila Camacho



Rodríguez-Espinosa et al. 2011

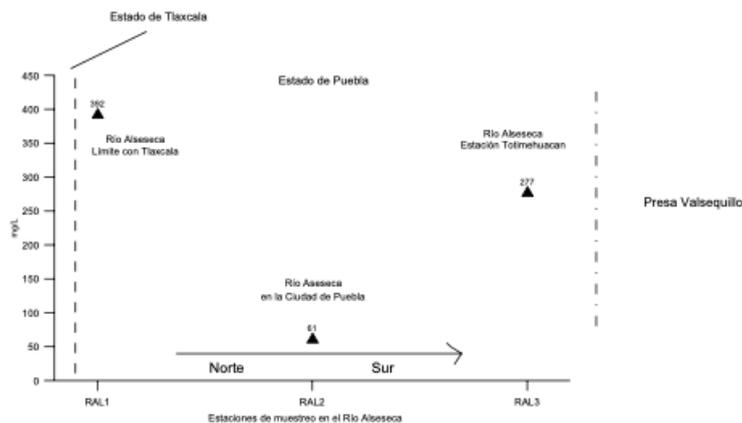
residuales municipales. Los valores de DBO₅ en el río Atoyac antes de llegar a la Presa Manuel Ávila Camacho presentan un pulso de 52.7 mg/L y ya en la Estación RAT9 entrega sus aguas con 71.7 mg/L, esta ganancia de DBO₅ se presenta después de pasar por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atoyac Sur (ver fig. 3).

Por último, ya en la presa y después de pasar por la comunidad de *Eichornia crassipes* (Lirio Acuático), los valores de este parámetro pulsan entre 23.4 y 2.9 mg/L para superficie y profundidad respectivamente; presentando en términos generales gradientes en las estaciones que se encuentran cerca de la cortina con valores de 10.4 y 10.2 mg/L a 8.1 y 8.8 mg/L entre la superficie a una profundidad en la columna de agua de 20 a 30 metros respectivamente. Mientras que para las estaciones que se encuentran cercanas al campo de lirios acuáticos los valores fueron de 16.4 a 12.7 en la superficie y a una estación de profundidad de 10 metros varió de 13.3 a 23.4 mg/L.



El comportamiento antes descrito para el DBO_5 en el río Atoyac, es muy semejante al ocurrido en el río Alseseca, en el extremo oriental de la zona de estudio (fig. 13).

Figura 13. DBO_5 correspondiente a muestras recolectadas en el río Alseseca



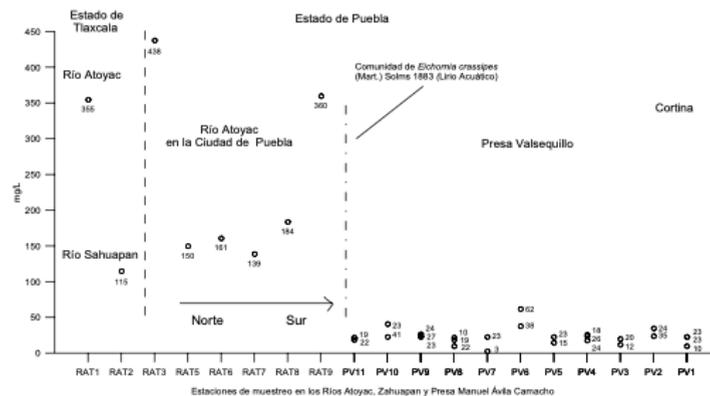
Rodríguez-Espinosa et al. 2011

Para el río Alseseca los valores de DBO_5 presentan un considerable aumento que excede los límites permisibles para ríos en las estaciones RAL1 con 400 mg/L y en RAL2 con 280 mg/L para la entrada del río a la ciudad y antes de ser entregada el agua a la presa (ver fig. 4). Los datos aquí reportados son un reflejo de lo que ha acontecido, en al menos en los últimos 9 años, se presentan datos de las determinaciones realizadas por la Gerencia de Calidad de Agua de la Comisión Nacional del Agua.

Los datos corresponden a tres series de tiempo del parámetro DBO_5 para las Estaciones de Monitoreo Ambiental CNA: Autopista, Echeverría y Totimehuacan. Las estaciones monitorean el río Atoyac, ya en confluencia con el río Zahuapan, a la entrada y salida de la ciudad de Puebla (Estación La Autopista y Estación Echeverría respectivamente) y a la salida de la ciudad de Puebla del río Alseseca (Estación Totimehuacan), (ver fig. 7).

Demanda Química de Oxígeno (DQO). El comportamiento del parámetro DQO en los ríos Zahuapan y río Atoyac antes de ingresar a la zona urbana de Puebla, después en su recorrido por la ciudad de Puebla, y hasta alcanzar la cortina de la Presa Manuel Ávila Camacho se presenta en la fig. 14.

Figura 14. DQO correspondiente a muestras recolectadas en los ríos Zahuapan, Atoyac y Presa Manuel Ávila Camacho



Rodríguez-Espinosa et al. 2011

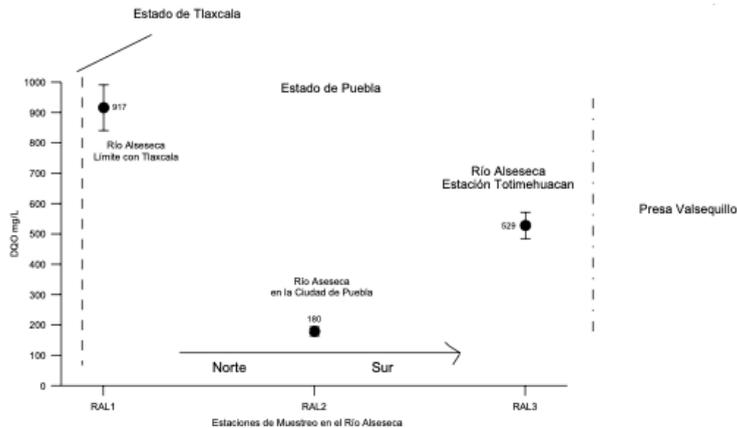
Los valores de DQO registra al ingreso del estado de Puebla en el río Atoyac de 355.9 mg/L y de 115 mg/L en el río Zahuapan. Poco antes de ingresar a la ciudad de Puebla, ya en el estado de Puebla, después de haber confluído estos dos ríos, se presenta una concentración de 438 mg/L en la estación RAT3, el comportamiento de este parámetro en el transcurso de la ciudad de Puebla se mantiene en concentraciones de 150 a 184 mg/L hasta alcanzar 360 mg/L en la Estación RAT9 antes de llegar a la Presa Manuel Ávila Camacho, después de pasar por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atoyac Sur (ver fig. 14); ya en la presa y después de pasar por la comunidad de *Eichornia crassipes* (Lirio Acuático).

Las concentraciones DQO pulsan entre 35 y 3 mg/L para agua superficial y profunda respectivamente; alcanzando máximos de 62 y 38 mg/L en la Estación PV6, para superficie y profundidad respectiva-

mente. En términos generales, se observa que una vez que las aguas del río Atoyac alcanzan la Presa Manuel Ávila Camacho los valores de DQO disminuyen considerablemente por efecto de la comunidad de los Lirios Acuáticos.

La concentración de DQO en el río Alseseca, es de 180 a 917 mg/L, lo que representa un considerable aumento comparado con la concentración del río Atoyac. Dicha concentración podría estar presente en el río Alseseca una vez que sus aguas pasan por los parques industriales del nororiente de la ciudad de Puebla. La Estación RAL2 con 150 mg/L presenta la concentración más baja de la serie Alseseca; ya que antes de descargar sus agua a la Presa Manuel Ávila Camacho y después de pasar por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales entrega una carga de demanda química de oxígeno de 529 mg/L en la Estación RAL3 (fig.15).

Figura 15. DQO correspondiente a muestras recolectadas en el río Alseseca



Rodríguez-Espinosa et al. 2011

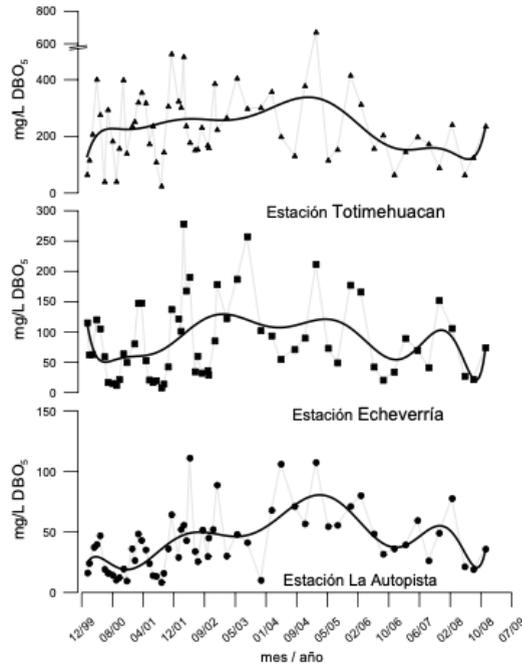
Los datos aquí reportados, al igual que los de DBO_5 son un reflejo de lo que ha acontecido, en al menos en los últimos 9 años, a continuación se presentan datos de las determinaciones realizadas por la Gerencia de Calidad de Agua de la Comisión Nacional del Agua.

Los datos corresponden a tres series de tiempo del parámetro DQO para las Estaciones de Monitoreo Ambiental CNA: Autopista, Echeverría y Totimehuacan. Las estaciones monitorean el río Atoyac, ya en confluencia con el río Zahuapan, a la entrada y salida de la ciudad de Puebla (Estación La Autopista y Estación Echeverría respectivamente) y a la salida de la ciudad de Puebla del río Alseseca (Estación Totimehuacan) (fig. 16).

Los datos presentados son ajustados con ortopolinomios que permiten descubrir las tendencias de estos parámetros en las diferentes estaciones de monitoreo ambiental. La tendencias son claras para los dos parámetros, la DBO_5 tiende a decrecer como un efecto de reducción en la plantas de tratamiento de aguas residuales (en operación en 2002), mientras que el DQO está incrementando su concentración, entregando cada vez más agua fuertemente contaminada, acentuando lo anterior en el río Alseseca (Rodríguez-Espinosa et al. 2011).

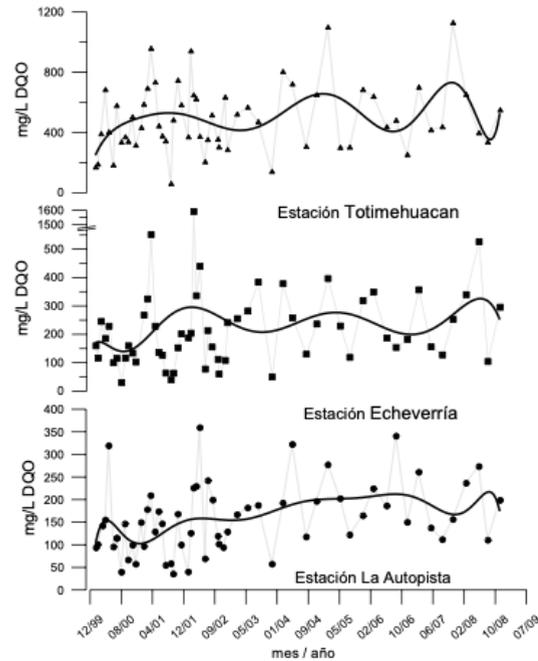


Figura 16. Series de Tiempo 1999-2008 de DBO₅ (a) y DQO (b) correspondiente a las Estaciones de Monitoreo Ambiental La Autopista, Echeverría y Totimehuacan (16b) de la Gerencia de Calidad del Agua, CNA en el río Atoyac (entrada y salida de la ciudad de Puebla) y río Alseseca (salida de la ciudad de Puebla).



Fuente: Datos Suministrados por la Gerencia de Calidad del Agua, CNA.

a



Fuente: Datos Suministrados por la Gerencia de Calidad del Agua, CNA.

b

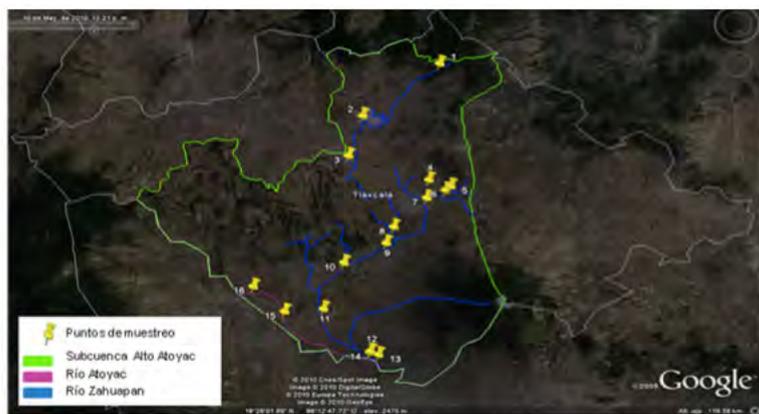
PERÍODO 2008

El equipo de trabajo de García *et al.* (2011) realizó un estudio para determinar las concentraciones de Arsénico (AS) y Plomo (Pb) en agua superficial y sedimentos de 16 estaciones de muestreo que cubren el inicio y el final del trayecto de los ríos Zahuapan y Atoyac dentro del estado de Tlaxcala. Se establecieron 16 estaciones de colecta denominadas: Tlaxco (TL), Laguna de Atlangatepec (AT), Muñoz (MZ), Texcalac (TX), El Ojito (OJ), Sambrano (SA), Apizaco (AP), At-

lihuetzia (AL), Apetatitlán (AE), Panotla (PA), Tetlatlahuca (TT), Xi-cohtzinco-Zahuapan (XZ), Papalotla (PP), Xicohtzinco-Atoyac (XA), Tepetitla (TE) y Villa alta (VI). Tlaxco y El Ojito fueron consideradas como puntos de referencia; zonas aparentemente no impactadas por actividades humanas como se muestra en la fig. 17. El muestreo se llevó a cabo durante la primavera del 2008 en la época de estiaje, El agua se obtuvo directamente de la corriente. Las muestras de sedimento superficial se recolectaron en la orilla del cauce, con ayuda de una draga de plástico.



Figura 17. Localización de los puntos de muestreo

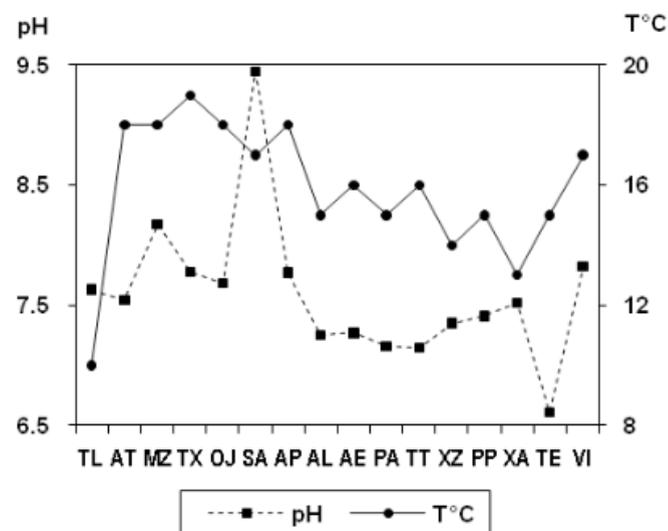


SITIO	ALTITUD (m)	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	SITIO	ALTITUD (m)	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE
TL(1)	2,641	19° 37' 49.7"	98° 04' 35.3"	AE(9)	2,252	19° 20' 19.3"	98° 11' 37.9"
AT(2)	2,500	19° 33' 23.5"	98° 12' 08.2"	PA(10)	2,230	19° 18' 45.6"	98° 15' 40.0"
MZ(3)	2,472	19° 29' 30.5"	98° 13' 54.0"	TT(11)	2,139	19° 14' 18.4"	98° 18' 06.9"
TX(4)	2,444	19° 26' 16.6"	98° 07' 00.3"	XZ(12)	2,177	19° 09' 33.5"	98° 14' 24.9"
OJ(5)	2,430	19° 25' 24.6"	98° 05' 07.4"	PP(13)	2,170	19° 09' 07.2"	98° 13' 44.5"
SA(6)	2,432	19° 25' 04.3"	98° 05' 39.0"	XA(14)	2,147	19° 09' 27.1"	98° 14' 30.7"
AP(7)	2,385	19° 24' 28.0"	98° 07' 25.4"	TE(15)	2,205	19° 14' 26.3"	98° 21' 37.7"
AL(8)	2,323	19° 21' 53.3"	98° 10' 45.0"	VI(16)	2,238	19° 17' 16.7"	98° 24' 06.7"

García et al. 2011

Resultados. El intervalo de temperatura y pH del agua determinada en el sitio al momento del muestreo, se indica en la fig. 18. En la mayoría de las estaciones de muestreo, el agua reveló una tendencia a la alcalinidad con una media aritmética de 7.60 ± 0.6 . Se observan dos claras excepciones, el sitio Sambrano con una elevada alcalinidad (9.45) y Tepetitla con un pH ligeramente ácido (6.61). El promedio de la temperatura fue de $15.88 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2.31$.

Figura 18. Valores de pH y temperatura del agua



García et al. 2011

En la tabla 26, se observa que el 75 % de los sedimentos revelaron porcentajes bajos de materia orgánica y carbono orgánico total. Los niveles de MO fluctuaron entre 0.27 y 5.38 %, valores típicos de sedimentos arenosos y ambientes hidrodinámicos. Llama la atención los sitios identificados como El Ojito (20.44 %), Apizaco (26.90 %), Panotla (29.95 %) y Tetlatlahuca (13.99 %) con porcentajes sumamente elevados.



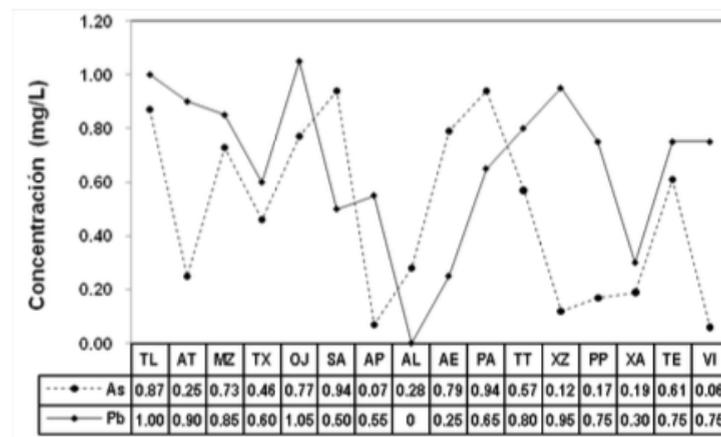
Tabla 26. Parámetros fisicoquímicos en los sedimentos

SITIO DE MUESTREO	pH	COT (%)	MO (%)	CE (dS·cm ⁻¹)
TL	6.37	0.31	0.54	5
AT	7.52	0.78	1.35	2
MZ	6.71	0.16	0.27	10
TX	7.01	0.47	0.81	13
OJ	6.77	11.86	20.44	33
SA	7.63	3.12	5.38	95
AP	7.08	15.60	26.90	6
AL	6.71	0.62	1.08	22
AE	6.43	0.16	0.27	5
PA	6.62	16.85	29.05	14
TT	7.07	8.11	13.99	25
XZ	5.68	0.31	0.54	6
PP	6.23	0.31	0.54	16
XA	5.43	0.62	1.08	14
TE	6.35	0.31	0.54	3
VI	5.57	0.94	1.61	25

García et al. 2011

El intervalo de concentraciones de As en agua fue de 0.06 mg/kg a 0.94 mg/kg, siendo Sambrano y Panotla los sitios que presentaron los niveles más altos. En Atlihuetzia el Pb no fue detectable, mientras que el valor más elevado de este metal se observó en El Ojito con una concentración de 1.05 mg/L (fig. 19).

Figura 19. Valores de Arsénico y Plomo en muestras de agua



García et al. 2011

Once de las dieciséis muestras revelaron concentraciones de As en agua superior a la norma mexicana (NOM-001-ECOL-1996), que establece el límite de 0.2 mg/L en las descargas de aguas residuales para protección de la vida acuática. Todas las muestras exceden el valor de referencia de 0.005 mg/L de la normatividad canadiense para la protección de la vida acuática (CCME, 2001). El 50 % de las muestras, superó el valor de 0.5 mg/L establecido por la NOM arriba citada, como límite para que el agua sea utilizada con fines agrícolas y el 87.5 % superó el valor de 0.1 mg/L valor establecido por la normatividad canadiense para protección de diversos cultivos (CCME, 1999 a). Cabe mencionar que en la zona sur del estado, el agua del SH:ZA es utilizada para el riego de hortalizas. El agua de los sitios denominados Tlaxco y El Ojito, se utiliza para abastecer de agua potable a comunidades aledañas; ambos sitios superaron por más de 30 veces la norma mexicana (NOM-127-SSA1-1994 Mod. 2000) que establece 0.025 mg/L como límite permisible de As en agua para consumo humano.

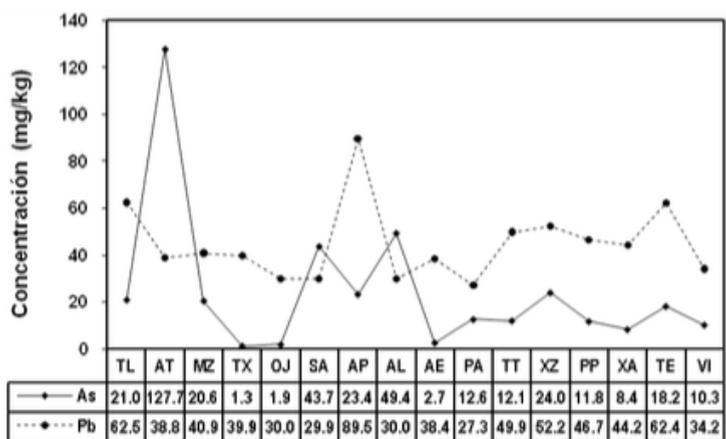
Con respecto al plomo en agua, los sitios identificados como Tlaxco y El Ojito, excedieron el límite para uso y consumo humano de 0.01 mg/L, establecido por la norma mexicana (NOM-127-SSA1-1994



Mod. 2000). Todas las muestras excepto el sitio denominado Atlhuetzia, superaron el límite para protección de la vida acuática de 0.2 mg/L de Pb en agua (NOM-001-ECOL-1996), mientras que el límite para uso agrícola de 0.5 mg/L, fue excedido por el 75 % de las muestras. En las dos últimas estaciones de muestreo (Villa alta y Tlaxco), correspondientes al río Atoyac, los niveles de Pb en agua fueron superiores al intervalo encontrado por Méndez *et al.* (2000) de 0.14 a 0.38 mg/L, en el mismo río pero en el trayecto de Atlixco, Puebla, después de que este río deja el estado de Tlaxcala.

En la fig. 20 se aprecia que los sedimentos superficiales del SH:ZA revelaron concentraciones de As y Pb que oscilaron en 1.3-127.7 mg/kg y 27.3-89.5 mg/kg, respectivamente. El límite superior de As fue presentado por la Laguna de Atlangatepec, mientras que Apizaco mostró la concentración de Pb más elevada (García *et al.* 2011).

Figura 20. Valores de As y Pb encontradas en sedimentos



García *et al.* 2011



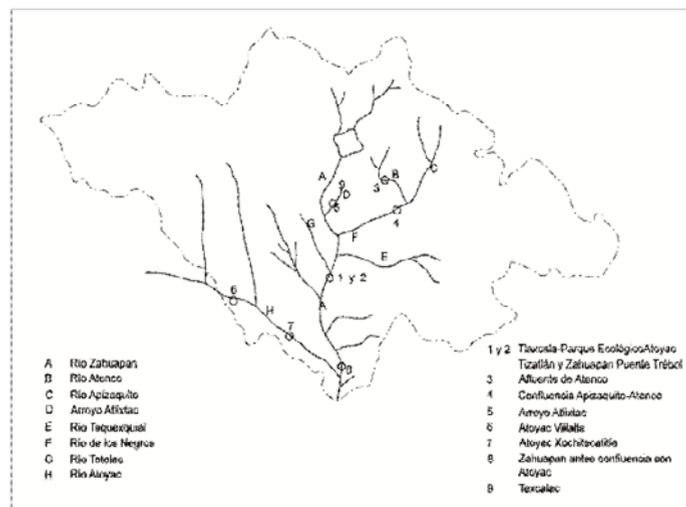
PERÍODO 2010

El grupo de Villalobos *et al.* (2011), realizaron un estudio que utiliza las raíces de la planta de Haba (*Vicia faba*) para estudiar los efectos producidos por diversos contaminantes, con base a la frecuencia de aberraciones como un indicador efectivo de respuesta genotóxica. Con lo cual se detectan mutágenos en el agua del Sistema Hidrológico Atoyac-Zahuapan (SH-AZ).

Para ello, en 2010 se colectaron agua superficial y sedimentos de 9 sitios del SH-AZ, se almacenaron toda la noche a 4 °C y se usaron al día siguiente. Las raíces de cada grupo de plántulas fueron introducidas en el agua colectada o en agua de la llave que fue utilizada como testigo. En el SH-AZ se muestrearon los siguientes lugares (fig. 21): Parque Ecológico Tizatlán (1s), Zahuapan Puente Trébol (2s), Afluente de Atenco (3 y 3s), Confluencia Apizaquito-Atenco (4), Arroyo Atlixlac (5), Río Tequesquite (6), Río de los Negros (7), Zahuapan antes de la Confluencia con Atoyac (8) y Texcalac (9). Las muestras 1s, 2s y 3s fueron tomadas del agua superficial, mientras que las otras se obtuvieron de los sedimentos. En los sitios en los que se observó daño genético, el ensayo fue confirmado una vez más.

Resultados. Los valores de las características fisicoquímicas de las muestras, incluidos en la *tabla 27*, indican baja contaminación debido a los componentes inorgánicos, siendo más altos los orgánicos, pero en general la contaminación en los sitios muestreados no es crítica. Los valores de pH son casi neutros y muy similares a los del agua recomendada para la irrigación, lo mismo sucede para la alcalinidad, los cloruros y los sulfatos. La dureza total así como el calcio y el magnesio tienen valores bajos.

Figura 21. Sistema hidrológico Atoyac-Zahuapan en Tlaxcala (México) con los sitios muestreados



Villalobos *et al.* 2011

Los resultados de la conductividad eléctrica también lo fueron, siendo los menores en la muestra 4; posiblemente debido a la dilución de las aguas de desecho. El límite inferior del oxígeno disuelto (OD) depende de la temperatura del agua. Para la biota de agua templada, el límite del OD no debe ser menor de 5 mg/L, mientras que para la de agua fría no abajo de 6 mg/L (Stoker y Seager, 1881: 320). Los niveles del OD en las tres muestras con respuesta positiva son menores de 5 mg/L, posiblemente debido al hecho de que los desechos industriales son principalmente compuestos orgánicos con una demanda de oxígeno muy elevada.



Tabla 27. Características fisicoquímicas de las muestras de agua tomadas del SH-AZ que redujeron efectos sobre los cromosomas del haba

Características	Número de muestra		
	3	4	5
pH	7.42	7.00	7.70
Temperatura (°C)	21		22
Coductividad (Mhos/cm)	699	470	772
Sólidos sedimentables (ml/L)	26.0	0.70	0.01
Flujo (L/seg)		484.4	1660.0
Alcalinidad (mg/L)	276.65**	231.0**	231.0**
Dureza (mg/L)			
Calcio	166.94	74.77	85.47
Magnesio	99.13	60.87	119.32
Total	266.07	135.64	204.79
Cloruros (mg/L)	3.97	12.84	30.02
Sulfatos (mg/L)	53.30	16.82	91.51
Fosfatos (mg/L)			
Orto	0.52	0.57	3.51
Total	1.01	1.67	4.22
Sólidos fijos totales (mg/L)	484	292	160
Sólidos volátiles totales (mg/L)	436	148	448
Sólidos totales (mg/L)	920*	440	608
Sólidos fijos suspendidos (mg/L)	105*	33	58
Sólidos volátiles suspendidos (mg/L)	310*	22	27
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	415*	55	85
Sólidos fijos disueltos (mg/L)		259	102
Sólidos volátiles disueltos (mg/L)		126	421
Sólidos totales disueltos (mg/L)		385	523
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.56	3.64	0
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	142.0	31.08	20.20
Demanda química de oxígeno (mg/L)	432.23**	79.55	252.0
Nitrógeno (mg/L)			
Amonio	0	0	19.93
Orgánico	6.00	0.44	9.63
Total	6.00	0.44	29.56
Grasas y aceites (mg/L)	21.7	41.73	
Detergentes (mg/L)	0.62	0.24	3.62
CONCENTRACIÓN			
Baja			
Intermedia *			
Elevada **			

Villalobos et al. 2011

La demanda química de oxígeno (DQO), que determina la cantidad de oxígeno requerida para oxidar compuestos orgánicos, en la muestra 3 mostró concentración elevada, mientras que la del sitio 5 es in-

termedia y la del 4 es baja, pero no son lo suficientemente altas como para considerarse de contaminación intensa. Estos datos concuerdan en general con la escasez del OD. Se encontró gran variación de sólidos sedimentables en las tres muestras que coinciden con los valores de la demanda bioquímica de oxígeno. Las concentraciones de amonio, nitrógeno orgánico, nitrógeno total, fosfatos totales y ortofosfatos son bajas y no deben causar ningún problema a plantas y animales que utilizan esta agua (Villalobos *et al.*, 2012).

PERÍODO 2010 A 2011

Gutiérrez (2014) realizó un estudio para determinar la capacidad de asimilación de contaminantes en la Presa Manuel Ávila Camacho, en la cual determinó los contaminantes convencionales que por su concentración fueron los más importantes en los tributarios y en el embalse que correspondieron a los sólidos suspendidos totales, la DBO₅, DQO, COT; el N-total, N-NH₃, N-NO₂ y el fósforo total; los sulfuros y detergentes (SAAM). A partir de la relación DBO₅/DQO, se determinó que el río Atoyac corresponde a agua cruda, sin tratamiento o con tratamiento primario debido a que los valores de la relación variaron entre 0.25 y 0.65. El río Alseseca corresponde totalmente a un agua no tratada por presentar la relación DBO/DQO por arriba de 0.4. De acuerdo a estos valores, la calidad del agua se asocia a descargas del tipo de la industria química y farmacéutica, no obstante, los valores más representativos de la relación, corresponden a los del tipo de la industria textil.

El periodo de muestreo fue de enero de 2010 a septiembre de 2011 para ello se ubicaron siete sitios de medición de la calidad del agua, dos en los tributarios principales, río Atoyac y Alseseca; cuatro dentro del embalse y un sitio en la salida de la presa.

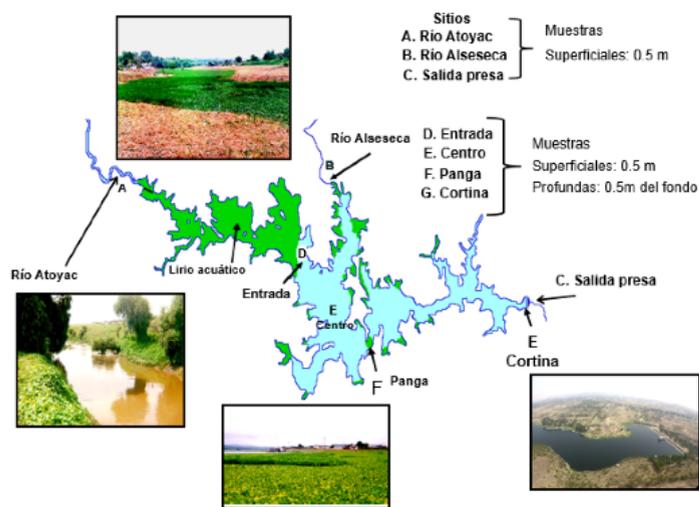
Dentro de la presa, el primer sitio se ubicó en la entrada del sistema con la influencia directa del río Atoyac, localizada después del lirio acuático por ser un lugar importante de medir después de la masa vegetal y por la accesibilidad. El segundo sitio se ubicó en la parte denominada como Centro del cuerpo de agua, frente a la entrada del río Alseseca. La tercera, se ubicó entre el sitio del Centro y la Cortina, cercana a la embarcación que cruza la presa de lado a lado conocida



como Panga. Y el cuarto y último sitio en la zona más profunda, en la Cortina cerca de la obra de toma. Los sitios en los tributarios y el ubicado en la salida de la presa, se consideró fundamental para el modelo que emplea como principio fundamental el balance de masa.

En la fig. 22 se presenta de forma descriptiva la ubicación de los sitios de muestreo tanto en la presa como en sus tributarios y en la salida o efluente de la misma.

Figura. 22. Ubicación de los sitios de muestreo en la presa Manual Ávila Camacho (Guitérrez, 2014).



Los sitios fueron ubicados empleando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), modelo GARMIN Map76, con una precisión de ± 20 m. En cada visita a los sitios de medición, se relocalizaron con los datos de la latitud y longitud, asegurando muestrear relativamente en el mismo lugar en cada campaña. En la tabla 28 se presentan las ubicaciones geográficas de cada sitio de medición:

Tabla 28. Ubicación geográfica de los sitios de monitoreo

Clave	Nombre del sitio	Latitud	Longitud
RAT1	Río Atoyac, antes de su confluencia con la Presa Valsequillo	18°57'57.70"	98°16'39.14"
RAL1	Río Aleseseca, antes de su confluencia con la Presa Valsequillo	18°57'04.11"	98°11'13.15"
RAT2	Río Atoyac, salida de la Presa Valsequillo	18°54'45.30"	98°06'28.40"
PV1-S o P	Presa Valsequillo, Entrada-Superficial (S) o profunda (P)	18°55'21.4"	98°11'25.2"
PV2-S o P	Presa Valsequillo, Centro-Superficial (S) o profunda (P)	18°54'34.5"	98°10'56.8"
PV3-S o P	Presa Valsequillo, Panga-Superficial (S) o profunda (P)	18°54'10.7"	98°10'9.9"
PV4-S o P	Presa Valsequillo, Cortina-Superficial (S) o profunda (P)	18°54'42.0"	98°06'43.7"

Guitérrez, 2014

Los resultados de la características fisicoquímicas del agua se encuentran en las tabla 29.

El embalse presentó valores entre 0.1 y 0.3 por lo que corresponde a agua proveniente de un efluente tratado biológicamente pero con presencia de tóxicos refractarios. La presa Valsequillo funciona como un gran sistema de tratamiento que mejora la calidad del agua de los tributarios en casi todas las variables cuantificadas. Tales decaimientos están asociados al volumen de almacenamiento, profundidad media, al tiempo de residencia hidráulico, a la extracción de agua y particularmente a la capacidad de remoción de contaminantes del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) ubicado en las entradas del embalse. Esta planta tiene una función de filtro y amortiguamiento de la contaminación.

En cuanto a los contaminantes no convencionales, las sustancias orgánicas más importantes por su frecuencia de detección, correspondieron a el Bis-2-(Etilhexil) Ftalato, el Dietilftalato, el Dimetilftalato, Isoforona, el Nonilfenol, el Fenantreno y el Naftaleno, el Tetracloroetileno, el 2, 4, 6-Triclorofenol y el 2,4-Diclorofenol. Como sustancia ampliamente distribuida y persistente destacó el Bis-2 (Etilhexil)

Ftalato debido a que fue la única que se cuantificó su presencia en los sedimentos, en la biota (peces) y en el agua. En esta última presentó concentraciones superiores al Criterio Ecológico de Calidad del Agua establecido en México como referencia para la protección de la vida acuática.

Los resultados de la caracterización tóxica obtenida a través de la bacteria *Vibrio fischeri*, mostraron que está presente toxicidad aguda alta y permanente en el río Atoyac y Alseseca, así como en la zona profunda de la presa y moderada en el efluente.

La presa tiene capacidad de asimilación, es decir carga disponible, en kg/d, para: Cianuros (1.42), Bario (66.3), Níquel 294.0), vanadio (49.96), Zinc (253.0), fluoruros 510.0), Boro (553.5). En ton/día para: litio (4.5), fierro (1.77), cloruros (127.76) y sulfatos (689.69). Los contaminantes que rebasaron la capacidad de asimilación en la presa Manuel Ávila Camacho en toneladas/d, fueron: la DQO (- 91.7), los SST (- 47.2), la DBO₅ (-2.1), el Nitrógeno Total (-21.0), el N-NH₃ (- 11.29), los sulfuros (-6.0), las grasas y aceites (-5.19) y el fósforo total (-3.19). En kg/día: los detergentes (-814.3), los nitritos (- 85.6), el manganeso

(-26.0), selenio (-7.6) y el Bis 2- (2-Etilhexil) Ftalato (-5.1). Los mayores porcentajes de reducción de la carga superficial requeridos para mejorar la calidad del embalse, de acuerdo a sus límites máximos de descarga para alcanzar las metas deseadas fueron: el fósforo total 99.6%, el N-NH₃ 99%, los sulfuros 97.5%, el Nitrógeno Total 95.5 %, la DQO 75.4%, SAAM 67.3%, la DBO₅ 63.3%, los Nitritos 61.5%; el Bis- (2-Etilhexiul) Ftalato 48.2%, el selenio 50%; el Nonilfenol 44.4%, los SST 43.5% y las grasas y aceites 42.2%. Por su peligrosidad, desde el punto de vista de su toxicidad, es necesario poner especial atención en el abatimiento de las concentraciones del N-NH₃, los sulfuros, los detergentes, los nitritos, el Nonilfenol y el Bis-2-(Etilhexil) Ftalato (tablas 30, 32 y 32).

El tiempo de residencia hidráulico en la presa que es de 302 días en promedio, lo que propicia altas tasas de decaimiento de algunos contaminantes como la DBO₅ (166.5 m/año), los detergentes (122.5 m/año), la DQO (66 m/año) y algunos compuestos orgánicos como el Nonilfenol (120.8 m/año) (Guitérrez, 2014).

Tabla 29. Características fisicoquímicas del agua

Clave	Nombre del sitio	Fecha	Caudal	Materia flotante	Turbiedad	Color verdadero	Sólidos Suspendedos Totales	Sólidos Sedimentales
		Día/Mes/Año	lps	Adimensional	UTN	U Pt/Co	mg/L	mL/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	5861	Ausencia	109	42	70	0.3
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	4009	Ausencia	185	---	77	0.1
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	7690	Presencia	77	91	315	1.5
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	4278	Ausencia	130	183	112.5	0.3
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	6870	Ausencia	267	104	1545	6.5
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	818	Ausencia	220	152	81	ND
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	820	Ausencia	206	---	122.5	0.3
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	1254	Presencia	144	225	75	0.2
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	1040	Ausencia	195	219	75	ND
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	972	Ausencia	205	68	245.71	1.5
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	SC	Ausencia	12	62	12.5	ND
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	18000	Ausencia	14	---	ND	ND
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	40500	Ausencia	20	78	7	ND
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	20000	Ausencia	20	66	8	<0.1



Clave	Nombre del sitio	Fecha	Temperatura ambiente	Temperatura del agua	pH	Conductividad eléctrica	Cloro residual	Cloro total
		Día/Mes/Año	°C	°C	UpH	µS/cm	mg/L	mg/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	25.1	18.5	7.60	1177	0.6	—
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	19.8	19.5	7.65	1921	<0.01	<0.01
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	23.9	20.6	7.70	896	0.21	0.21
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	17.5	19.4	7.81	1285	<0.01	<0.01
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	NE	21.2	7.69	792	<0.01	<0.01
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	24.5	20.6	7.48	1910	<0.01	—
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	29.9	23.9	7.38	2030	<0.01	<0.01
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	26.7	23.1	7.42	1203	0.02	0.02
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	26.6	22.6	7.75	1768	<0.01	<0.01
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	NE	21.4	7.89	970	<0.01	<0.01
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	19.6	15.2	7.40	760	0.09	—
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	30.2	17.2	7.18	632	<0.01	<0.01
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	23.2	20.9	7.52	886	0.03	0.03
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	NE	19.6	7.65	876	<0.01	<0.01

Clave	Nombre del sitio	Fecha	Oxígeno disuelto	DBO5 Total	DQO Total	Carbón Orgánico Purgable	Carbón Orgánico Total	Carbono orgánico soluble	Carbón Orgánico Fijo
		Día/Mes/Año	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	0.15	77	206	0.21	33.71	—	—
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	0.20	204	311	ND	82.08	—	80.43
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	4.95	30	84	3.07	15.27	—	12.20
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	0.18	43	175	—	24.38	19.64	—
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	4.00	85.75	190.76	—	25.22	15.70	—
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	0.11	209	404	0.66	98.62	—	—
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	0.16	393	554	ND	121.18	—	110.54
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	0.12	94	235	1.72	41.09	—	39.37
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	0.19	215	483	—	113.27	100.98	—
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	3.80	56	131.8	—	34.51	31.43	—
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	6.33	2	33	0.3	4.97	—	—
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	5.10	11	23	ND	26.32	—	24.39
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	5.71	7	32	2.5	15.45	—	12.95
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	5.00	4.45	26.13	—	15.73	14.18	—



Clave	Nombre del sitio	Fecha	Dureza Total	Arsénico total	Arsénico disuelto	Boro total	Boro disuelto	Cadmio total	Cadmio disuelto	Cobre total	Cobre disuelto
		Día/Mes/Año	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	315	ND	---	0.318	---	ND	---	0.02	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	499	<0.010	<0.010	0.800	0.7825	<0.010	<0.010	0.02123	<0.020
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	276	<0.010	<0.010	0.318	<0.50	<0.010	<0.010	<0.020	<0.020
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	350	---	---	0.499	---	---	---	---	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	272.9	---	---	<0.20	---	---	---	---	---
RAL1	Río Alsesecca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	294	ND	---	0.337	---	ND	---	0.031	---
RAL1	Río Alsesecca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	379	<0.010	<0.010	0.598	<0.50	<0.010	<0.010	0.04431	<0.020
RAL1	Río Alsesecca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	268	<0.010	<0.010	0.422	<0.50	<0.010	<0.010	0.02888	<0.020
RAL1	Río Alsesecca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	310	---	---	0.533	---	---	---	---	---
RAL1	Río Alsesecca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	229.08	---	---	<0.20	---	---	---	---	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	208	ND	---	0.238	---	ND	---	ND	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	228	<0.010	<0.010	0.339	<0.50	<0.010	<0.010	<0.020	<0.020
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	236	<0.010	<0.010	0.282	<0.50	<0.010	<0.010	<0.020	<0.020
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	239.04	---	---	<0.20	---	---	---	---	---

Clave	Nombre del sitio	Fecha	Dureza Total	Cromo total	Cromo disuelto	Cromo Hexavalente	Mercurio total	Mercurio disuelto	Niquel total	Niquel disuelto
		Día/Mes/Año	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	315	0.01	---	ND	ND	---	0.0056	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	499	<0.010	<0.010	---	<0.001	<0.001	0.02062	0.01702
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	276	<0.010	<0.010	<0.10	<0.001	<0.001	0.01263	<0.010
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	350	---	---	---	---	---	---	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	272.9	---	---	---	---	---	---	---
RAL1	Río Alsesecca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	294	0.01	---	ND	ND	---	0.0094	---
RAL1	Río Alsesecca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	379	<0.010	<0.010	---	<0.001	<0.001	<0.010	<0.010
RAL1	Río Alsesecca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	268	<0.010	<0.010	<0.10	<0.001	<0.001	0.01877	0.02109
RAL1	Río Alsesecca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	310	---	---	---	---	---	---	---
RAL1	Río Alsesecca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	229.08	---	---	---	---	---	---	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	208	ND	---	ND	ND	---	0.0036	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	228	<0.010	<0.010	---	<0.001	<0.001	<0.010	<0.010
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	236	<0.010	<0.010	<0.10	0.00108	<0.001	<0.010	<0.010
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	239.04	---	---	---	---	---	---	---



Clave	Nombre del sitio	Fecha	Dureza Total	Plomo total	Plomo disuelto	Zinc total	Zinc disuelto	Aluminio total	Aluminio disuelto
		Día/Mes/Año	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	315	ND	---	0.0639	---	1.29	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	499	<0.050	<0.050	0.0786	<0.050	---	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	276	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	---	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	350	---	---	---	---	---	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	272.9	---	---	---	---	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	294	ND	---	0.0624	---	0.601	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	379	<0.050	<0.050	0.05	<0.050	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	268	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	310	---	---	---	---	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	229.08	---	---	---	---	---	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	208	ND	---	ND	---	ND	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	228	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	---	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	236	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	---	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	239.04	---	---	---	---	---	---

Clave	Nombre del sitio	Fecha	Dureza Total	Antimonio total	Antimonio disuelto	Bario total	Bario disuelto	Berilio total	Berilio disuelto
		Día/Mes/Año	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	315	ND	---	0.01	---	ND	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	499	---	---	<0.10	<0.10	---	<0.010
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	276	---	---	<0.10	<0.10	---	<0.010
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	350	---	---	---	---	---	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	272.9	---	---	---	---	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	294	ND	---	0.01	---	ND	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	379	---	---	<0.10	<0.10	---	<0.010
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	268	---	---	<0.10	<0.10	---	<0.010
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	310	---	---	---	---	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	229.08	---	---	---	---	---	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	208	ND	---	0.1106	---	ND	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	228	---	---	0.1011	<0.10	---	<0.010
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	236	---	---	<0.10	<0.10	---	<0.010
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	239.04	---	---	---	---	---	---



Clave	Nombre del sitio	Fecha	Dureza Total	Cobalto total	Cobalto disuelto	Fierro total	Fierro disuelto	Litio total	Litio disuelto
		Día/Mes/Año	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	315	ND	---	1.203	---	0.0466	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	499	---	---	---	---	---	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	276	---	---	0.6337	<0.050	---	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	350	---	---	---	---	---	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	272.9	---	---	---	---	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	294	ND	---	1.206	---	0.0479	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	379	---	---	4.241	0.4817	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	268	---	---	0.9974	0.2817	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	310	---	---	---	---	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	229.08	---	---	---	---	---	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	208	ND	---	ND	---	0.0181	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	228	---	---	0.0748	<0.050	---	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	236	---	---	0.1074	<0.050	---	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	239.04	---	---	---	---	---	---

Clave	Nombre del sitio	Fecha	Dureza Total	Manganeso total	Manganeso disuelto	Molibdeno total	Molibdeno disuelto	Plata total	Plata disuelto
		Día/Mes/Año	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	315	0.2355	---	ND	---	0.006	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	499	0.2435	0.2349	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	276	0.2041	0.1756	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	350	---	---	---	---	---	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	272.9	---	---	---	---	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	294	0.0917	---	ND	---	0.006	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	379	0.1206	0.06801	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	268	0.08457	0.08928	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	310	---	---	---	---	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	229.08	---	---	---	---	---	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	208	0.3944	---	ND	---	ND	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	228	0.5942	0.4345	0.5942	<0.010	<0.010	<0.010
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	236	0.4576	0.4273	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	239.04	---	---	---	---	---	---



Clave	Nombre del sitio	Fecha	Dureza Total	Selenio total	Selenio disuelto	Talio total	Talio disuelto	Uranio	Vanadio total	Vanadio disuelto
		Día/Mes/Año	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	315	ND	---	ND	---	ND	0.0082	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	499	<0.010	<0.010	---	---	---	0.116	0.122
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	276	0.01915	0.01827	---	---	---	0.08128	0.07654
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	350	---	---	---	---	---	---	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	272.9	---	---	---	---	---	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	294	ND	---	ND	---	ND	0.0085	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	379	<0.010	<0.010	---	---	---	0.06289	0.05392
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	268	0.0179	0.0179	---	---	---	0.04851	0.04463
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	310	---	---	---	---	---	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	229.08	---	---	---	---	---	---	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	208	ND	---	ND	---	ND	ND	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	228	<0.010	<0.010	---	---	---	0.05666	0.04753
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	236	<0.010	<0.010	---	---	---	0.04674	0.04336
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	239.04	---	---	---	---	---	---	---

Clave	Nombre del sitio	Fecha	Nitrógeno Total	N-Nitros	N-Nitros	Nitrógeno Amoniacal	NTK	NTK disuelto	Nitrógeno Amoniacal disuelto	Nitrógeno Orgánico disuelto
		Día/Mes/Año	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	23.78	0.1202	0.3753	19.5226	23.2871	19.7464	9.2798	10.47
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	49.96	0.0271	0.0143	23.317	49.917	32.2451	17.533	14.712
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	10.52	0.33	0.104	7.952	10.0829	9.9439	6.7862	3.158
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	19.71	0.0375	0.0686	18.4997	19.6067	17.6179	14.4232	3.1947
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	11.82	2.8	0.16	6.79	8.86	8.6973	5.4713	3.226
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	74.23	0.1033	0.3392	26.6695	73.7849	65.5711	3.1612	62.41
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	99.94	0.0452	0.0307	45.0034	99.8665	95.5643	40.411	55.153
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	33.83	0.2	0.008	24.3088	33.6215	29.1582	19.4584	9.7
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	55.84	0.0077	0.0473	55.7823	55.7823	50.2755	49.5015	0.774
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	26.25	1.07	<0.02	23.7	25.18	20.5805	20.5805	ND
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	4.34	0.1436	0.2329	4.2284	3.9683	3.2631	3.2631	ND
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	7.63	0.0241	0.0715	5.2913	7.5387	7.5386	5.1416	2.397
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	12.72	0.11	0.023	7.6954	12.5894	9.5296	6.1682	3.361
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	7.9	<0.66	<0.02	6.79	9.0254	7.9	6.0342	1.8658



Clave	Nombre del sitio	Fecha	Fósforo Total	Fósforo soluble	Fosfatos Solubles (ortofosfatos)	Fósforo Orgánico	Fósforo Orgánico soluble	Fósforo Inorgánico	Fósforo Inorgánico soluble
		Día/Mes/Año	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	4.026	3.333	6.422	0.38	---	3.642	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	6.121	5.002	4.749	0.492	---	5.629	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	2.186	1.253	5.015	ND	---	2.19	---
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	3.593	2.174	9.991	1.4622	1.0954	2.13	1.0781
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	0.850	0.820	---	ND	ND	0.85	0.8195
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	7.750	6.830	13.618	1.58	---	6.174	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	8.373	2.940	5.884	ND	---	8.373	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	4.222	4.054	10.49	1.71	---	2.517	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	6.441	5.304	23.255	1.5932	0.6785	4.848	4.6251
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	3.054	1.564	---	1.3786	ND	1.675	1.6752
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	1.780	1.760	5.223	0.02	---	1.759	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	3.519	2.863	3.152	ND	---	3.519	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	2.786	2.631	3.696	0.074	---	2.712	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	2.252	2.209	---	ND	ND	2.252	2.209

Clave	Nombre del sitio	Fecha	Cianuros Totales	Cloruros	Fluoruros	Sulfatos	Sulfuros	Alcalinidad Total	Alcalinidad a la Fenolftaleína
		Día/Mes/Año	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	0.0018	87	0.4729	154.01	0.066	212	ND
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	ND	193.20	0.4152	154.17	24.378	619	ND
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	0.0102	52.30	0.4083	179.04	0.074	328	ND
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	0.0098	98.50	0.4987	167.57	ND	405	ND
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	0.0077	63.28	0.3	74.37	ND	226	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	ND	136.60	0.7176	307.16	ND	260	ND
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	0.0014	168.50	0.127	152.89	11.707	537	ND
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	0.0082	87.80	0.3597	37.06	0.132	378	ND
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	0.0098	126.10	0.4774	127.75	ND	543	ND
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	0.007	---	0.54	148.14	0.377	352	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	0.0025	51.80	0.3523	87.3	ND	264	ND
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	ND	58.10	1.404	39.88	0.378	284	ND
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	0.0269	64.10	0.4083	71.09	0.14	311	ND
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	0.0048	62.21	0.58	66.99	ND	294	---



Clave	Nombre del sitio	Fecha	Dureza Total	Dureza de Calcio	Bicarbonatos	Carbonatos	Hidroxilos	Grasas y Aceites	SAAM
		Día/Mes/Año	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	315	---	212	ND	ND	22.9	0.1525
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	499	---	619	ND	ND	23.7	2.0146
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	276	---	328	ND	ND	3.4	0.05
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	350	---	405	ND	ND	ND	5.405
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	272.9	169.32	---	---	---	15.71	3.19
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	294	---	260	ND	ND	3.1	0.4289
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	379	---	537	ND	ND	ND	2.3192
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	268	---	378	ND	ND	7.8	1.84
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	310	---	543	ND	ND	ND	4.955
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	229.08	143.42	---	---	---	11.33	6.06
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	208	---	264	ND	ND	ND	0.1693
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	228	---	284	ND	ND	ND	0.3084
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	236	---	311	ND	ND	2.6	0.24
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	239.04	119.52	---	---	---	<5.00	0.54

Clave	Nombre del sitio	Fecha	Toxicidad Aguda V. fischeri	Toxicidad Aguda V. fischeri	Toxicidad Aguda D. magna	Toxicidad Aguda D. magna	Relación de Adsorción de Sodio	Sodio	Calcio	Magnesio
		Día/Mes/Año	UT, 5 min.	UT, 15 min.	UT, 24 h.	UT, 48 h.	Adimensional	mg/L	mg/L	mg/L
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	6.81	7.87	TND	TND	3.22	124.00	65.01	28.93
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	29/04/2010	10.67	12.66	TND	1.1	5.98	234.30	77.34	23.70
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	NT	NT	NT	NT	2.21	86.49	71.44	27.29
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	4.93	5.14	---	---	3.58	156.20	92.58	31.61
RAT1	Río Atoyac, A.C. P. Valsequillo	12/07/2011	NT	NT	---	---	2.23	84.61	---	---
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	20/01/2010	3.56	5.88	1.46	1.82	6.63	245.20	71.02	19.92
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	28/04/2010	5.15	6.26	1.23	1.32	5.62	232.70	88.46	25.13
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	17/08/2010	3.96	3.79	TND	TND	3.81	140.70	74.49	17.42
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	01/06/2011	5.3	6.62	---	---	5.08	212.50	93.03	24.05
RAL1	Río Alseseca, A.C. P. Valsequillo	13/07/2011	NT	NT	---	---	3.68	127.69	---	---
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	21/01/2010	NT	NT	NT	NT	2.40	84.69	56.93	22.88
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	28/04/2010	NT	NT	NT	NT	2.16	80.53	68.40	22.50
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	16/08/2010	NT	NT	NT	NT	2.52	87.20	58.42	19.74
RAT2	Río Atoyac, a.a. P. Valsequillo	11/07/2011	1.92	2.41	---	---	2.53	90.00	---	---



Tabla 30. Valores promedio y su desviación estándar, coeficiente de variación, la mediana e intervalo de los parámetros de calidad del agua medidos en la presa Manuel Ávila Camacho

PARÁMETRO	Promedio	Desviación Standard	C.V.	Mediana	Intervalo	
	(mg/ l ¹)	(±)	(%)	mg/l	Máximo	Mínimo
Temperatura Ambiente (°C)	22.00	2.54	11.6	21.8	27.2	17.30
Temperatura agua (°C)	20.2	2.56	12.6	20.6	24.3	14.90
Traspirencia (m), Secchi	1.1	0.69	64.9	0.9	2.5	0.10
Oxígeno Disuelto Superficie	2.113	1.932	91.420	1.920	7.870	0.010
pH (UpH)	7.7	0.36	4.7	7.6	8.5	7.06
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	826.1	97.61	11.8	823.0	970.0	513.00
Color Verdadero Pt/Co	96.0	42.34	44.1	85.7	185.0	31.00
DBO ₅ Total	8.172	5.307	64.940	7.000	32.4	2.000
DQO Total	40.609	15.766	38.824	39.000	84.0	19.000
Turbiedad (UTN)	23.3	22.25	95.6	16.0	95.0	1.12
SST	17.7	14.32	80.9	13.2	55.0	5.00
Sólidos Sedimentales	0.2	0.06	38.5	0.2	0.2	0.10
COT	16.643	7.592	45.62	12.920	32.65	6.49
Cianuros Totales	0.004	0.004	99.1	0.003	0.014	0.001
Cloruros	59.332	8.932	15.1	60.000	72.000	30.700
Fluoruros	0.402	0.123	30.6	0.397	0.947	0.056
Sulfatos	73.756	17.638	23.9	77.010	101.86	40.880

Sulfuros	2.018	3.110	154.1	0.382	8.996	0.062
Alcalinidad Total	293.947	40.330	13.7	292.000	440.00	191.000
Dureza Total	233.371	31.756	13.6	227.090	353.0	163.000
Grasas y Aceites	8.651	1.964	22.7	8.500	12.200	1.964
SAAM	0.306	0.314	102.4	0.213	1.740	0.040
Fósforo Total	2.683	1.149	42.8	2.474	5.845	0.980
Fósforo Soluble	2.209	0.752	34.0	2.260	3.723	0.764
Ortofosfatos	6.154	2.883	46.8	4.940	12.490	2.738
Fósforo Orgánico	0.484	0.646	133.5	0.283	3.168	0.001
Fósforo Orgánico Soluble	0.251	0.122	48.6	0.220	0.398	0.050
Fósforo Inorgánico	2.343	1.048	44.7	2.210	5.351	0.980
Fósforo Inorgánico Soluble	2.157	0.384	17.8	2.135	2.960	1.465
Nitrógeno Total	8.940	4.244	47.5	9.123	31.070	4.582
N-Nitratos	0.380	0.685	180.0	0.146	3.310	0.007
N-Nitritos	0.156	0.167	106.8	0.110	0.860	0.003
Nitrógeno Amoniacal	5.793	1.744	30.1	5.730	9.010	3.079
NTK	8.433	4.323	51.3	7.747	31.010	3.990
NTK Disuelto	6.986	1.958	28.0	6.650	11.032	3.795
Nitrógeno Amoniacal Disuelto	5.112	1.538	30.1	5.031	7.819	2.516
Nitrógeno Orgánico	1.927	1.328	68.9	1.639	5.357	0.037
Toxicidad Aguda <i>V. fischeri</i> UT, 5 min.	5.478	2.212	40.4	5.795	7.690	1.670
Toxicidad Aguda <i>V. fischeri</i> UT, 15 min.	8.248	4.000	48.5	8.210	12.820	1.930



Relación de adsorción de Sodio	2.522	0.278	11.0	2.540	2.900	1.590
Sodio	91.405	13.354	14.6	91.100	114.900	44.000
Calcio	61.617	9.875	16.0	61.110	80.390	36.150
Magnesio	22.531	3.183	14.1	23.325	27.500	13.100
Arsénico Total	< 0.010	-	-	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Arsénico Disuelto	< 0.010	-	-	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Boro Total	0.290	0.049	16.96	0.276	0.386	0.200
Boro Disuelto	<0.50	-	-	<0.50	<0.50	<0.50
Cadmio Total	<0.010	-	-	<0.010	<0.010	<0.010
Cadmio Disuelto	<0.010	-	-	<0.010	<0.010	<0.010
Cobre Total	<0.020	-	-	<0.020	<0.020	<0.020
Cobre Disuelto	<0.020	-	-	<0.020	<0.020	<0.020
Cromo Total	<0.010	-	-	<0.010	<0.010	<0.010
Cromo Disuelto	<0.010	-	-	<0.010	<0.010	<0.010
Cromo Hexavalente	<0.10	-	-	<0.10	<0.10	<0.10
Mercurio Total	<0.001	-	-	<0.001	<0.001	<0.001
Mercurio Disuelto	<0.001	-	-	<0.001	<0.001	<0.001
Níquel total	0.007	0.006	86.658	0.004	0.022	0.003
Níquel Disuelto	0.013	-	-	0.013	0.013	0.013
Plomo Total	<0.050	-	-	<0.050	<0.050	<0.050
Plomo Disuelto	<0.050	-	-	<0.050	<0.050	<0.050
Zinc Total	0.190	0.113	59.380	0.245	0.298	0.062
Zinc Disuelto	0.077	0.025	32.126	0.073	0.104	0.055
Bario Total	0.109	0.008	7.755	0.105	0.131	0.102
Bario Disuelto	0.101	0.003	3.000	0.100	0.107	0.100
Berilio Total	<0.010	-	-	<0.010	<0.010	<0.010
Berilio Disuelto	<0.010	-	-	<0.010	<0.010	<0.010
Selenio Total	0.016	0.003	18.870	0.015	0.016	0.014
Selenio Disuelto	0.016	-	-	0.016	0.016	0.016
Vanadio Total	0.051	0.006	12.250	0.051	0.061	0.042
Vanadio Disuelto	0.045	0.006	12.712	0.042	0.055	0.038
Litio Total	0.021	0.002	10.042	0.019	0.024	0.019
Litio Disuelto	0.021	0.002	11.7	0.021	0.023	0.019

Manganeso Total	0.236	0.160	68.0	0.205	0.637	0.053
Manganeso Disuelto	0.272	0.197	72.3	0.226	0.701	0.067
Hierro Total	0.333	0.512	153.8	0.093	1.611	0.050
Hierro Disuelto	0.109	0.053	48.2	0.138	0.158	0.051
Molibdeno Total	0.594	-	-	0.594	0.594	0.594
Molibdeno Disuelto	<0.010	-	-	<0.010	<0.010	<0.010
Plata Total	<0.010	-	-	<0.010	<0.010	<0.010
Plata Disuelta	<0.010	-	-	<0.010	<0.010	<0.010

Gutiérrez, 2014

Tabla 31 Calidad del agua de los ríos Atoyac y Alseseca, así como en el efluente de la presa Valsequillo (P.V) determinada a partir de indicadores básicos o convencionales

Indicador (mg/l)	Río Atoyac	Río Alseseca	Efluente P.V.	Referencia
Turbiedad (UNT)	Turbia >>15	Turbia >>15	Clara	2-15 (Metcalf & Eddy)
Sólidos suspendidos totales	Fuertemente contaminado >400	Aceptable 75-150	Excelente < 25	CONAGUA (2008)
Color (U Pt/Co)	Moderada Calidad	Moderada Calidad	Moderada Calidad	50-300, OGTG (1991)
pH (U pH)	Moderadamente Alcalino	Moderadamente Alcalino	Moderadamente Alcalino	SEDUE-CECA (1989)
Conductividad eléctrica (µS/cm)	1,214±443 Alta, 1.75 veces la mediana nacional (RNM) No cumple uso en riego.	1,576±464 Alta, 2.27 la mediana nacional (RNM) No cumple uso en riego.	788.5±119 Normal. Cumple uso en riego	1000 µS/cm, uso en riego (SEDUE-CECA, 1989). 694 µS/cm, Mediana nacional RNM (2000-2010)
Temperatura (°C)	19.8±1.06 Normal	22.3±1.3 Moderadamente alta	18.2±2.53 Normal	SEDUE-CECA (1989)
Oxígeno disuelto	< 5 Anóxico	< 5 De anóxico a levemente oxigenado	>5 Oxigenado	5 mg/l para la protección de la vida acuática. (SEDUE-CECA, 1989).
DBO ₅	Fuertemente contaminado	De contaminado a fuertemente contaminado	Aceptable	CONAGUA (2008)
DQO	Fuertemente contaminado	Contaminado	Aceptable	CONAGUA (2008)
COT	Contaminado	Contaminado	Aceptable	Kavanaugh (1978)
Aluminio	No cumple	No cumple	Cumple	Criterio de Calidad del Agua para Riego 0.05 mg/l (SEDUE-CECA, 1989).



Nitrógeno total	Fuertemente contaminado	Fuertemente contaminado	Fuertemente contaminado	(UNECE, 1994)
Nitrógeno amoniacal	Fuertemente contaminado	Fuertemente contaminado	Fuertemente contaminado	OGTG (1991)
Nitrógeno de NO ₃	Excelente calidad	Excelente calidad	Excelente calidad	OGTG (1991)
Nitrógeno de NO ₂	Contaminado	Contaminado	Contaminado	OGTG (1991)
Fósforo total y reactivo	Fuertemente contaminado	Fuertemente contaminado	Fuertemente contaminado	UNECE (1994) Ramos et al., (2004) McNeely, (1979)
Cloruros	Moderadamente altos	Moderadamente altos	Moderadamente altos	CONAMA (2004),
Sulfuros	Fuertemente contaminado	Fuertemente contaminado	Contaminado	0.002 mg/l (McNeely, 1979)
Sulfatos	Ligeramente altos	Ligeramente altos	Condición normal	Ramos et al., (2004)
Dureza, CaCO ₃	Agua dura a muy dura	Agua dura a muy dura	Dura	Sawyer y McCarty (1967),
Alcalinidad, CaCO ₃	muy fuerte, de ríos contaminados	muy fuertes, de ríos contaminados	Fuerte de ríos contaminados	Nisbet y Verneux, (1970);
Grasas y aceites	Mala	Buena	Excelente	CONAMA (2004)
Detergentes, SAAM	Contaminado	Contaminado	No contaminado	0.1 mg/l, para PVA (SEDUE-CECA, 1989).
RAS	Excelente a muy buena calidad	Buena a muy buena	Excelente a muy buena calidad	CONAMA (2004)
Toxicidad	Alta	De moderada a alta	De no tóxica a moderada	Porcella (1983), modificada por CONAGUA

Aluminio, arsénico, cadmio, cromo hexavalente, plomo, cadmio, cobren níquel	Cumple	Criterio de Calidad del Agua (SEDUE-CECA, 1989).
Zinc	No cumple el Criterio de Protección de Vida Acuática de 0.03 mg/l	Criterio Ecológico de Calidad (SEDUE-CECA, 1989).
Nitrógeno total	Fuertemente contaminado	(SEPA, 2000)
Nitrógeno amoniacal	Fuertemente contaminado	McNeely (1973)
Nitrógeno de NO ₃	Excelente calidad	OGTG (1991)
Nitrógeno de NO ₂	Excelente calidad	OGTG (1991)
Fósforo total y reactivo	Elevada, característica de sistemas eutróficos	Vollenweider (1983)
Cloruros, cianuros	Excelente calidad	CONAMA (2004),
Sulfuros	Contaminada	0.002 mg/l (McNeely, 1979)
Sulfatos	Condición normal	Ramos et al., (2004)
Grasas y aceites	Buena a regular	CONAMA (2004)
Detergentes, SAAM	No cumple	0.1 mg/l, para PVA (SEDUE-CECA, 1989).
RAS	Excelente a muy buena	CONAMA (2004)
Toxicidad	De baja a alta toxicidad en la zona profunda	Porcella (1983), modificada por CONAGUA

Gutiérrez, 2014

Gutiérrez, 2014

Tabla 32. Calidad del agua de la presa Manuel Ávila Camacho, Valsequillo a partir de indicadores básicos o convencionales

Indicador (mg/l)	Calidad del agua	Referencia
Turbiedad (UNT)	Turbia	SEPA (2000)
Disco Secchi (m)	Baja visibilidad, eutrófico	SEPA (2000), Vollenweider (1983)
Sólidos suspendidos totales	Altos	CONAGUA (2008)
Color (U Pt/Co)	Alta coloración	SEPA (2000)
Conductividad eléctrica (µS/cm)	Cumple uso en riego	1000 µS/cm, uso en riego (SEDUE-CECA, 1989).
Dureza, CaCO ₃	Agua dura	Sawyer y McCarty (1967).
Alcalinidad, CaCO ₃	Fuerte típica de aguas muy productivas	Nisbet y Verneux, (1970); De la Lanza (1995)
pH (U pH)	Alcalino	SEDUE-CECA (1989)
Temperatura (°C)	Cuerpo de agua tropical	Salas y Limón (1985)
Oxígeno disuelto	Típico de un sistema eutrófico. Altos en el día y cercanos a la anoxia por la noche. El estado más frecuente no cumple el CECA.	5 mg/l para la protección de la vida acuática. (SEDUE-CECA, 1989).
DBO ₅	Aceptable	CONAGUA (2008)
DQO	De aceptable a contaminada	CONAGUA (2008)
COT	Contaminada	SEPA (2000)



PERÍODO 2011

En el 2011 fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) la “*Declaratoria de clasificación de los ríos Atoyac, Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes*” donde se establece un instrumento de política que establece límites máximos permisibles para descargar contaminantes en cada una de las seis zonas establecidas en unidades de kg/día, con la finalidad de poder alcanzar las metas establecidas para los plazos dos y tres (2012 y 2030 respectivamente) como producto de un previo estudio realizado por el IMTA (Declaratoria, 2011).

En el periodo 2012-2014 el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios Sobre Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional (CIEMAD-IPN) apoyó a la Secretaría de Sustentabilidad Ambiental y Ordenamiento Territorial SSAOT (hoy SDRSOT) para llevar a cabo el proyecto denominado “*Estudios para la Red de Estaciones de Monitoreo para la Preservación, Conservación y Mejora de la Calidad del Agua en la Cuenca del Alto Atoyac*”; con el cual se dio inicio a la instalación de la primera red de monitoreo de parámetros asociados a la calidad del agua en tiempo real en México. El objetivo principal del proyecto fue coadyuvar al saneamiento de las aguas del río Atoyac ubicado en la cuenca del Alto Atoyac a través de un concepto fundamental de “*conocer para cuidar*”. El proyecto antes mencionado planteó la instalación y operación continua de una serie de 12 estaciones fijas y dos móviles a lo largo del segmento del río Atoyac correspondiente al estado de Puebla (Rodríguez *et al.*, 2015).

Declaratoria de Clasificación del río Atoyac

La Declaratoria de Clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan y sus afluentes (CONAGUA, 2011) fue publicada el 6 de julio de 2011, en el Diario Oficial de la Federación, con fundamento técnico en el Estudio de Clasificación del río Atoyac, Puebla-Tlaxcala (CONAGUA, 2008). En el cual se concluyó que la calidad del agua de esos ríos y sus afluentes han sido alterados con motivo de las descargas de las aguas residuales provenientes de procesos industriales y asentamientos humanos, que vertían 146.3 ton/día de materia orgánica medida como demanda química de oxígeno, 62.8 ton/día de sólidos

suspendidos totales, 14.7 ton/día de nutrientes, 0.14 ton/día de metales pesados y 0.9 ton/día de compuestos orgánicos tóxicos, entre otros más contaminación microbiológica.

Se determinó también que el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 no es suficiente para alcanzar la calidad del agua requerida para los usos de dichos cuerpos de agua, por lo que se expidió su de Declaratoria de Clasificación” que contiene los límites máximos permisibles de descarga de contaminantes que deberán cumplir las descargas de aguas residuales para mejorar la calidad de estos cuerpos de agua (CONAGUA, 2019).

Para el estudio y la regulación de las descargas de aguas residuales, se dividió el río Atoyac en 6 zonas como se muestra en la fig. 23 y tabla 33.

Tabla 33. Zonas en que se dividió el río Atoyac y sus afluentes para su estudio y regulación

No.	Zona	Delimitación	Características
1	San Matías Tlalancaleca	1.4 km aguas arriba de la descarga municipal Santa Rita Tlahuapan hasta antes del río Atotonilco.	Longitud de la zona 12.90 km. Recibe 0.63 toneladas al día de materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno. Caudal de 273 L/s.
2	San Martín Texmelucan	Antes del río Atotonilco hasta antes de la confluencia del río Xochiac.	Longitud de la zona 17.75 km. Confluencia del río Atotonilco y barranca Cruztitla por la margen izquierda y de los ríos Chiquito y Cotzala por la margen derecha. Recibe las aguas residuales de San Martín Texmelucan y el colector Industrial Quetzalcoatl. Recibe 12.91 toneladas al día de materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno. Caudal de 704 L/s.
3	Nativitas	Antes de la confluencia del río Xochiac hasta la estación hidrométrica San Jacinto, antes de la confluencia del río Zahuapan.	Longitud de la zona 16.73 km. Confluencia por la margen derecha de los ríos Xochiac, Xopanac y Tlapalac. Recibe las aguas residuales del colector industrial El Carmen. Recibe 12.81 toneladas al día de materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno. Caudal de 1,872 L/s.



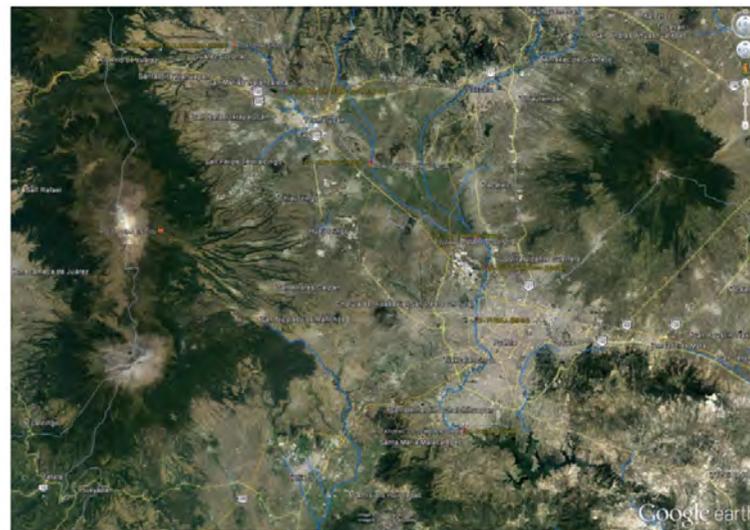
4	San Jacinto	Desde la estación hidrométrica San Jacinto antes de la confluencia del río Zahuapan hasta 1.70 km después de la barranca Atlapitz.	Longitud de la zona 5.51 km. Confluencia del río Zahuapan y de las barrancas Tenexac y Atlapitz por la margen izquierda. Recibe las aguas residuales del colector Panzacola. Recibe 3.74 toneladas al día de materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno. Caudal de 2,208 L/s.
5	Cuautlancingo	1.70 km después de la barranca Atlapitz hasta Puente México.	Longitud de la zona 8.21 km. Recibe las aguas residuales de la planta de tratamiento Barranca del Conde de la ciudad de Puebla que incluye los colectores 5 de Mayo y del Parque Industrial Camino a San Lorenzo. Recibe 7.95 toneladas al día de materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno. Caudal de 2,985 L/s.
6	Puebla	Desde Puente México hasta la presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo).	Longitud de la zona 23.87 km. Confluencia del arroyo Atenco por la margen derecha y del río San Francisco por la margen izquierda. Recibe las aguas residuales de las plantas de tratamiento San Francisco y Atoyac Sur de la ciudad de Puebla. Incluye las aguas residuales del Parque Industrial Cuautlancingo. Recibe 28.36 toneladas al día de materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno. Caudal de 3,883 L/s.

Fuente: Declaratoria de Clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes¹¹.

CONAGUA, 2019

Se determinaron también los contaminante que deberán cumplir las descargas como lo establece la Ley de aguas Nacionales (tabla 34) (CONAGUA, 2009).

Figura 23. Zonas en que se dividió el río Atoyac y sus afluentes para su estudio y regulación de descargas de aguas residuales



CONAGUA, 2019



Tabla 34. Contaminantes que deberán cumplir las descargas de aguas residuales en el río Atoyac y sus afluentes

Contaminantes	
Plazo 1	Plazos 2 y 3
Temperatura	Temperatura
Grasas y aceites	Grasas y aceites
Materia flotante	Materia flotante
Sólidos sedimentables	Sólidos sedimentables
Sólidos suspendidos totales	Sólidos suspendidos totales
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)
Nitrógeno total	Nitrógeno total
Fósforo total	Fósforo total
Potencial de hidrógeno	Potencial de hidrógeno
Arsénico	Arsénico
Cadmio	Cadmio
Cobre	Cobre
Cromo	Cromo
Mercurio	Mercurio
Níquel	Níquel
Plomo	Plomo
Zinc	Zinc
Cianuros	Cianuros
Coliformes fecales	Coliformes fecales
Huevos de helminto	Huevos de helminto
	Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)
	Demanda química de oxígeno
	Sulfatos
	Color
	Nitrógeno amoniacal
	Fenoles
	Hierro
	Benceno
	Tolueno
	Xilenos
	Etilbenceno
	Sólidos disueltos totales
	Cloruros
	Sulfuros
	Aluminio
	Manganeso
	Cloruro de metilo
	Cloroformo
	Cloruro de vinilo
	1,2 Diclorobenceno
	1,3 Diclorobenceno
	1,4 Diclorobenceno
	1,2 Dicloroetano
	Tetracloroetileno
	Bis 2 (etil hexil) ftalato
	Dietil ftalato
	Nitrobenzeno
	Toxicidad aguda (<i>Vibrio fischeri</i> y <i>Daphnia magna</i>)

Fuente: Declaratoria de Clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes³¹.

Monitoreo Sistemático de la Calidad del Agua del río Atoyac y sus afluentes

A partir de 2012 se inicia la operación de una nueva Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNMCA) que realiza el monitoreo sistemático de los cuerpos de agua nacionales más importantes del país, entre los que se encuentra el río Atoyac y sus afluentes (CONAGUA, 2018). Uno de los objetivos del monitoreo es dar seguimiento a la calidad del agua del río Atoyac y determinar si existe mejora o deterioro con respecto a las situación que guardaba cuando se realizó el estudio de clasificación del río (tablas 36, 37, 38,39, 40, 41. 42 y 43).

La tabla 35 contiene los sitios de la RNMCA y sus equivalentes en el Estudio de Clasificación. Se incluyen las claves de la Red Nacional de Monitoreo (CLAVE_RNM), y sus correspondientes en el Estudio de Clasificación (CL_EST). En la tabla se indica también la zona en que se encuentra cada sitio, así como su orden, es decir, orden 1 para los sitios que se encuentran en el río Atoyac, orden 2 para los sitios en afluentes, u orden 3 para los sitios en la presa Manuel Ávila Camacho también llamada Valsequillo (CONAGUA, 2019).



Tabla 35. Sitios de la RNM y del Estudio de Clasificación, en el río Atoyac y sus afluentes

CLAVE_RNM	CL_EST	DESCRIPTOR	ZONA	SITIO-RNM	ORDEN
DLPUE1992M1	RA1	SITIO TESTIGO_Z1	1	RA-1 RIO ATOYAC, ANTES TLAHUAPAN (ESTACION TESTIGO)	1
DLPUE2074M1		TEXMELUCAN_Z1	1	SANTA MARIA TEXMELUCAN	1
DLPUE2013	RA2	AA R. ATOTONILCO_Z1	1	ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOTONILCO	1
DLPUE2012	RA3	R. ATOTONILCO_Z2	2	RIO ATOTONILCO	2
DLPUE2015		AA R. TLANALAPAN_Z2	2	ANTES DE LA UNION DEL RIO TLANALAPAN P1(12)	1
DLPUE2014	AF1	R. CHIQUITO_Z2	2	AF-1 RIO CHIQUITO	2
DLPUE2017		PTE. S.MARTIN-TLAXC_Z2	2	PUNTE CARRETERA SAN MARTIN-TLAXCALA P1(15)	1
DLPUE2016		R. COTZALA_Z2	2	RIO COTZALA	2
DLTLA2576	AF2	PTAR VILLALTA_Z2	2	AF-2 PTAR DM VILLALTA	1
DLTLA2577	RA5	AA BCA CRUZTITLA_Z2	2	RA-5 RIO ATOYAC, AGUAS ARRIBA DE LA BARRANCA CRUZTITLA	1
DLTLA2579	AF3	A. CAPUENTE_Z2	2	AF-3 ARROYO CAPUENTE	2
DLTLA2578	AF4	A. ZJA. REAL_Z2	2	AF-4 ARROYO ZANJA REAL	2
DLTLA2581	RA7	AA R. XOCHIAC_Z2	2	RA-7 RIO ATOYAC, ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO XOCHIAC	1
DLTLA2580	AF5	R. SN IGNACIO_Z2	2	AF-5 RIO SAN IGNACIO	2
DLPUE2018		R. XOCHIAC_Z2	3	RA-9 RIO XOCHIAC, ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOYAC	2
DLPUE2019	RA8	R. XOC.-AA C. CARM_Z3	3	RA-8 RIO XOCHIAC, AGUAS ARRIBA DE LA CONFLUENCIA CON COLECTOR EL CARMEN	2
DLPUE2054	RA9	R. XOC-aa C. CARM_Z3	3	RIO XOCHIAC AGUAS ABAJO DEL COLECTOR EL CARMEN CONFLUENCIA CON RIO XOCHIAC	2
DLTLA2582	RA10	R. XOPANAC_Z3	3	RA-10 RIO XOPANAC, ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOYAC	2
DLTLA2547	RA12	AA R. ZAHUAPAN_Z3	3	RA-12 RIO ATOYAC, ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ZAHUAPAN	1
DLTLA2546	RA11	R. TLAPALAC_Z3	3	TLAPALAC ANTES DE CONFLUENCIA CON RIO ATOYAC	2
DLTLA2545	RA13	R. ZAHUAPAN_Z4	4	ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOYAC	2
DLPUE1993	RA14	aa CO. PANZACOLA_Z4	4	AGUAS ABAJO DEL COLECTOR PANZACOLA	1
DLTLA2544		PANZACOLA_Z4	4	ATOYAC-PANZACOLA	1
DLTLA2543	AF6	BCA. ATLAPLITZ_Z4	4	AF-6 BARRANCA ATLAPLITZ	2
DLPUE1988	RA16	aa TEX. ZALDO_Z5	5	AGUAS ABAJO DE LA DESCARGA TEXTIL ZALDO	1
DLPUE2022M1		BCA. HONDA_Z5	5	BARRANCA HONDA	2
DLPUE1989		LA AUTOPISTA_Z5	5	LA AUTOPISTA P1 (24)	1
DLPUE1991W1		AA PTAR BCA D CONDE_Z5	5	ANTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO BARRANCA DEL CONDE	1
DLPUE1992	RA17	aa BCA DEL CONDE_Z5	5	RA-17 RIO ATOYAC, AGUAS ABAJO DE LA BARRANCA DEL CONDE	1
DLPUE2071	RA18	AA A. RABANILLO_Z5	5	ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL ARROYO RABANILLO (PUENTE DE MEXICO)	1
DLPUE2019M1		A. RABANILLO_Z6	6	RIO RABANILLO	2
DLPUE1975	RA19	R. SAN FRANCISCO_Z6	6	RA-19 RIO SAN FRANCISCO, ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOYAC	2
DLPUE2067W1		R. SAN FRANCISCO_Z6	6	ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOYAC	2
DLPUE1976		AA. R. SAN FCO._Z6	6	PUEBLA SAN FRANCISCO (A) AGUAS ARRIBA	1
DLPUE1977		aa. R. SAN FCO._Z6	6	DESPUES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO SAN FRANCISCO	1
DLPUE2014M1		A. PRIETO_Z6	6	SANTA MARIA CORONANGO	2
DLPUE2063M1		A. PRIETO_Z6	6	ARROYO PRIETO	2
DLPUE2062M1		A. METLAPANAPA_Z6	6	ARROYO METLAPANAPA	2
DLPUE1975M1		A. ZAPATERO_Z6	6	ARROYO ZAPATERO	2
DLPUE2050		LA CARMELITA_Z6	6	ATOYAC LA CARMELITA P1 (26)	1
DLPUE2051	RA20	A. ATENCO_Z6	6	ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOYAC	2
DLPUE2053		AA PTAR ATOYAC SUR_Z6	6	ECHVERRIA ANTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO ATOYAC SUR	1
DLPUE2052	RA21	AA DERIV. ECHEVERRIA_Z6	6	RA-21 RIO ATOYAC, ANTES DE LA DERIVADORA ECHEVERRIA	1
DLPUE2055		HID. ECHEVERRIA_Z6	6	HIDROMETRICA ECHEVERRIA P1 (28)	1
DLPUE2056		A. U. ANTORCH_Z6	6	AMPLIACION UNION ANTORCHISTA	1
DLPUE2057	PVA23	PRESA MAC-1_Z6	6	PRESA MANUEL AVILA CAMACHO 1	3
DLPUE2065		PRESA MAC-5_Z6	6	PRESA MANUEL AVILA CAMACHO 5	3
DLPUE2068	PVA25	PRESA MAC-6_Z6	6	PRESA MANUEL AVILA CAMACHO 6	3

Notas:

AA = aguas arriba

aa= aguas abajo

CONAGUA, 2019



Tabla 36. Carga actual de contaminantes (kg/d)

Carga actual de contaminantes (kg/d)							
Parámetro	Zona						
	1	2	3	3	4	5	6
	río Atoyac	río Atoyac	río Atoyac	río Xochiac	río Atoyac	río Atoyac	río Atoyac
Grasas y aceites	160	2,015	1,357	1,004	604	648	10,521
Sólidos suspendidos totales	856	10,912	7,491	2,825	3,345	6,284	31,082
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	631	12,905	5,215	7,596	3,746	7,951	28,385
Nitrógeno total	57	2,580	648	429	356	1,708	6,799
Fósforo total	12	424	168	113	128	150	1,132
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	5	45	11	10	19	53	343
Demanda química de oxígeno	1,379	27,033	22,944	13,455	7,896	19,662	53,889
Sólidos disueltos totales	538	24,248	4,275	17,814	40,916	57,036	219,583
Arsénico	0.06	1.14	0.15	0.61	1.04	0.33	2.78
Cadmio	0.01	0.13	0.03	0.06	0.09	0.18	0.66
Cobre	0.07	1.63	0.43	0.70	3.72	1.90	10.79
Cromo	0.06	1.61	0.42	0.70	1.03	1.91	8.26
Mercurio	0.00	0.05	0.02	0.03	0.03	0.02	0.23
Niquel	0.16	6.29	1.68	2.78	4.41	6.68	33.02
Plomo	0.03	0.97	0.25	0.42	0.62	1.33	4.95
Zinc	0.50	6.72	1.51	3.18	2.92	4.49	19.82
Cianuros	0.01	0.16	0.08	0.09	0.35	0.30	0.82
Nitrógeno amoniacal	24	1,604	296	179	68	1,125	4,934
Fenoles	0.01	4.57	0.27	0.59	0.90	1.95	12.76
Sulfatos	161	5,492	1,265	4,249	6,207	9,439	25,682
Fierro	2.20	28.04	27.98	9.6	11	119	67
Cloruros	269	7,952	2,127	3,024	4,322	5,521	19,465
Benceno	0.00	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.17
Tolueno	0.02	0.64	0.17	0.28	0.36	0.66	3.31
Etilbenceno	0.01	0.32	0.09	0.14	0.21	0.34	1.65
Xilenos	0.03	0.97	0.25	0.42	0.62	1.00	4.95
Sulfuros	0.00	91.96	0.71	81.08	2,680	2.92	0.33
Aluminio	1.66	9.18	13.17	0.28	110	209	189
Manganeso	0.57	3.13	1.97	0.14	11.02	9.11	20.01
Cloruro de metilo	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.10
Cloroformo	0.93	0.10	0.03	0.27	0.17	0.17	0.57
Cloruro de vinilo	0.00	0.07	0.02	0.03	7.78	0.07	0.33
1,2 Diclorobenceno	0.00	0.03	0.01	0.06	0.02	0.03	0.16
1,3 Diclorobenceno	0.00	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.17
1,4 Diclorobenceno	0.00	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.16
1,2 Dicloroetano	0.01	0.22	0.06	0.09	0.15	0.23	1.14
Tetracloroetileno	0.00	0.17	0.05	0.07	0.10	0.17	0.82
Bis 2 (etil hexil) ftalato	0.01	10.88	0.02	0.04	2.42	0.12	13.93
Dietil ftalato	0.01	0.09	0.03	0.04	0.06	0.10	3.87
Nitrobenceno	0.03	0.97	0.25	0.42	0.61	1.30	4.95



Tabla 37. Capacidad de asimilación y dilución por zonas clasificadas (Kg/d)

Parámetro	Capacidad de asimilación y dilución por zonas clasificadas (kg/d)						
	Zona						
	1 Río Atoyac	2 Río Atoyac	3 Río Atoyac	3 Río Xochiac	4 Río Atoyac	5 Río Atoyac	6 Río Atoyac
Grasas y aceites	-143	-1,579	-1,223	-862	-337	-182	-8,242
Sólidos suspendidos totales	-806	-9,604	-7,089	-2,398	-2,542	-4,884	-24,243
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	-597	-12,033	-4,948	-7,312	-3,211	-7,017	-23,806
Nitrógeno total	11.6	-2,326	-579	-358	-222	-1,402	-5,659
Fósforo total	-8.2	-392	-153	-103	-109	-109	-965
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	-4.5	-40.1	-9.8	-8.4	-16.8	-47.9	-320
Demanda química de oxígeno	-1,310	-25,289	-22,409	-12,886	-6,826	-17,796	-44,771
Sólidos disueltos totales	323	-2,020	3,550	-10,704	-26,479	-32,151	-103,334
Arsénico	0.03	1.08	1.50	0.10	1.64	3.24	20.02
Cadmio	0.00	0.05	0.03	0.00	0.02	0.03	0.28
Cobre	0.02	0.59	0.36	0.01	-2.15	0.57	0.97
Cromo	0.03	0.61	0.37	0.01	0.54	0.67	3.62
Mercurio	0.00	-0.03	-0.01	-0.02	-0.02	0.00	-0.12
Níquel	3.26	65.08	25.07	12.91	49.13	86.63	300
Plomo	0.02	0.36	0.22	0.01	0.32	0.22	2.17
Zinc	-0.29	-1.39	0.26	-1.47	0.30	1.63	6.61
Cianuros	0.00	0.06	0.00	-0.02	-0.20	-0.06	0.35
Nitrógeno amoniacal	-20.89	-1,582	-289	-172	-44.55	-1,098	-4,820
Fenoles	0.01	-4.13	-0.12	-0.45	-0.62	-1.45	-10.43
Sulfatos	269	5,410	2,079	-694	485	2,226	31,307
Hierro	-1.68	-14.70	-23.49	-5.28	-2.96	-104	8.21
Cloruros	161	3,162	2,430	531	6,001	9,552	46,376
Benceno	0.17	1.17	1.33	0.24	2.66	2.76	5.15
Tolueno	1.56	23.38	12.14	4.81	24.27	42.26	103
Etilbenceno	1.71	11.69	13.29	2.41	26.56	27.59	51.51
Xilenos	3.41	35.06	26.50	7.22	52.92	82.78	155
Sulfuros	0.00	-91.87	-0.68	-81.05	-2,660	-2.82	0.14
Aluminio	-1.07	-4.45	-6.85	0.81	-98.0	-199	-167
Manganeso	-0.55	-2.69	-1.62	0.00	-10.72	-8.62	-17.68
Cloruro de metilo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.06
Cloroformo	-0.59	3.50	2.65	0.49	5.18	8.19	15.35
Cloruro de vinilo	0.00	0.02	0.01	0.00	-4.72	0.03	0.13
1,2 Diclorobenceno	0.17	1.17	1.33	0.19	2.66	2.76	5.15
1,3 Diclorobenceno	0.17	1.17	1.33	0.24	2.66	2.76	5.15
1,4 Diclorobenceno	0.17	1.17	1.33	0.24	2.66	2.76	5.15
1,2 Dicloroetano	0.16	4.14	1.28	1.33	2.53	4.44	21.66
Tetracloroetano	0.34	5.84	2.63	1.20	5.25	9.16	25.76
Bis 2 (etil hexil) ftalato	0.00	-10.8	0.02	0.00	-2.34	0.03	-13.22
Dietil ftalato	0.00	0.04	0.02	0.00	0.03	0.06	-3.16
Nitrobeneno	0.02	0.36	0.22	0.01	0.57	0.41	2.35

Declaratoria, 2011



Tabla 38. Plazos de cumplimiento por tamaño de población

Descargas municipales (rango de población)		Plazos de cumplimiento		
		Plazo 1	Plazo 2	Plazo 3
Para aquellos que no se apegaron al Decreto. ¹	Mayor de 50,000 habitantes	No aplica	1 de enero de 2012	1 de enero de 2030
	De 20,001 a 50,000 habitantes	No aplica	1 de enero de 2012	1 de enero de 2030
	De 2,501 a 20,000 habitantes	No aplica	1 de enero de 2015	1 de enero de 2030
Para aquellos que se apegaron al Decreto. ¹	Mayor de 50,000 habitantes	No aplica	1 de enero de 2012	1 de enero de 2030
	De 20,001 a 50,000 habitantes	No aplica	1 de enero de 2012	1 de enero de 2030
	De 2,501 a 20,000 habitantes	No aplica	1 de enero de 2015	1 de enero de 2030

Declaratoria, 2011

Tabla 39. Plazos de cumplimiento por parámetro

TABLA 6				
Descargas no municipales (carga contaminante)		Plazos de cumplimiento ¹		
Demanda bioquímica de oxígeno (toneladas/día)	Sólidos suspendidos totales (toneladas/día)	Plazo 1	Plazo 2	Plazo 3
Mayor a 3.0	Mayor a 3.0	No aplica	1 de enero de 2012	1 de enero de 2025
De 1.2 a 3.0	De 1.2 a 3.0	No aplica	1 de enero de 2012	1 de enero de 2025
Menor de 1.2	Menor de 1.2	No aplica	1 de enero de 2015	1 de enero de 2025

¹ En los casos en que se señala "No aplica", es en razón de que se consideran parámetros que ya debieron cumplirse de conformidad con la Norma Oficial Mexicana.

² En los casos en que se señala "No aplica", es en razón de que la fecha de cumplimiento está de acuerdo al programa de acciones que en su momento celebraron de conformidad con los decretos señalados en el artículo 2 del presente instrumento.

Declaratoria, 2011



Tabla 40. Límites máximos de descargas de contaminantes para cada una de las zonas

Límites máximos de descarga por zonas clasificadas en el tercer plazo ³							
Parámetro	ZONA						
	1	2	3	3	4	5	6
	Río Atoyac	Río Atoyac	Río Atoyac	Río Xochiac	Río Atoyac	Río Atoyac	Río Atoyac
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35
Grasas y aceites	17	436	134	142	268	467	2,280
Materia flotante	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (ml/l)	1	1	1	1	1	1	1
Sólidos suspendidos totales	52	1,308	401	427	803	1,400	5,839
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	34	872	268	284	535	933	4,559
Nitrógeno total	69	254	69	71	134	306	1,140
Fósforo total	3.9	31.8	14.9	10.4	19.5	41.9	166.4
pH (unidades de pH)	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.2	4.4	1.3	1.4	2.7	5.1	23.0
Demanda química de oxígeno	69	1,744	535	569	1,071	1,866	9,118
Sólidos disueltos totales	861	22,228	7,825	7,110	14,437	24,884	116,249
Color (Pt - Co)	15	15	15	15	15	15	15
Arsénico	0.09	2.22	1.65	0.71	2.68	3.57	22.8
Cadmio	0.01	0.18	0.06	0.06	0.11	0.21	0.95
Cobre	0.09	2.22	0.79	0.71	1.57	2.47	11.76
Cromo	0.09	2.22	0.79	0.71	1.57	2.58	11.88
Mercurio	0.001	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.11
Níquel	3.4	71.4	26.8	15.7	53.5	93.3	333.5
Plomo	0.05	1.33	0.47	0.43	0.94	1.55	7.12
Zinc	0.2	5.3	1.8	1.7	3.2	6.1	28.4
Cianuros	0.01	0.22	0.08	0.07	0.15	0.24	1.17
Nitrógeno amoniacal	2.7	21.8	6.7	7.1	13.4	26.9	114.0
Fenoles	0.02	0.44	0.15	0.14	0.28	0.5	2.33
Sulfatos	431	10,901	3,344	3,555	6,692	11,664	56,988
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	200	200	200	200	200	200	200
Huevos de helminto (huevos/l)	1	1	1	1	1	1	1
Hierro	0.5	13.3	4.5	4.3	8.0	15.2	74.8
Cloruros	431	11,114	4,556	3,555	10,323	15,072	65,841
Beneno	0.17	1.2	1.34	0.25	2.68	2.79	5.32
Tolueno	1.6	24.0	12.3	5.1	24.6	42.9	106.4



Etilbenceno	1.7	12.0	13.4	2.6	26.8	27.9	53.2
Xilenos	3.4	36.0	26.8	7.6	53.5	83.8	159.5
Toxicidad aguda (<i>Vibrio fischeri</i> y <i>Daphnia magna</i>)(unidades de toxicidad)	1	1	1	1	1	1	1
Sulfuros	0.004	0.090	0.030	0.030	0.050	0.100	0.470
Aluminio	0.8	4.7	6.3	1.1	12.3	10.1	21.5
Manganeso	0.02	0.44	0.15	0.14	0.30	0.49	2.33
Cloruro de metilo	0.0003	0.0100	0.0005	0.0027	0.0100	0.0100	0.0400
Cloroformo	0.3	3.6	2.7	0.8	5.4	8.4	15.9
Cloruro de vinilo	0.002	0.090	0.030	0.030	0.060	0.100	0.460
1,2 Diclorobenceno	0.17	1.20	1.34	0.25	2.68	2.79	5.31
1,3 Dicloro benceno	0.17	1.20	1.34	0.25	2.68	2.79	5.32
1,4 Diclorobenceno	0.17	1.20	1.34	0.25	2.68	2.79	5.31
1,2 Dicloroetano	0.2	4.4	1.3	1.4	2.7	4.7	22.8
Tetracloretileno	0.3	6.0	2.7	1.3	5.4	9.3	26.6
Bis 2 (etil hexil) ftalato	0.01	0.13	0.04	0.04	0.08	0.15	0.71
Dietil ftalato	0.01	0.13	0.05	0.04	0.09	0.15	0.71
Nitrobenoeno	0.05	1.33	0.47	0.43	1.18	1.71	7.30

³ Los límites máximos de descarga están en kg/d a menos que la propia tabla señale otra unidad de medida. Para temperatura, materia flotante, sólidos sedimentables, pH, color, coliformes fecales, huevos de helminto y toxicidad aguda, los límites máximos de descarga se expresan en sus respectivas unidades de concentración.

Declaratoria, 2011

Tabla 41. Plazo 1. Metas de calidad del agua por zonas clasificadas 4

Parámetro	Metas de calidad del agua por zonas clasificadas ⁴						
	ZONA						
	1	2	3	3	4	5	6
	Río Atoyac	Río Atoyac	Río Atoyac	Río Xochiac	Río Atoyac	Río Atoyac	Río Atoyac
Temperatura (°C)	-	-	-	-	40	40	40
Grasas y aceites	5.36	8.08	8.25	13.17	11.11	8.53	10.56
Materia flotante	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (m/l)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sólidos suspendidos totales	61.1	79.1	75.9	159.4	66.4	74.5	73.9
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	20.0	56.0	62.8	152.1	71.7	63.4	66.6
Nitrógeno total	5.0	14.2	14.3	21.8	15.5	16.3	23.2
Fósforo total	1.1	4.1	2.4	5.3	3.5	2.6	4.0
pH (unidades de pH)	< 5 -10	< 5 -10	< 5 -10	< 5 -10	< 5 -10	< 5 -10	< 5 -10
Arsénico	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Cadmio	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Cobre	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05
Cromo	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Mercurio	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
Níquel	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60



Plomo	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Zinc	0.13	0.14	0.12	0.18	0.12	0.12	0.12
Cianuros	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	< 1,000	< 1,000	< 1,000	< 1,000	< 1,000	< 1,000	< 1,000
Huevos de helminto (huevos/l)	5	5	5	5	5	5	5

4 Las metas de calidad del agua están en mg/l a menos que la propia tabla señale otra unidad de medida.

5 Para el caso de riego restringido la meta será de un huevo de helminto por litro.

Declaratoria, 2011

Tabla 42. Plazo 2. Metas de calidad del agua por zonas clasificadas 6

Parámetro	Metas de calidad del agua por zonas clasificadas 6						
	ZONA						
	1	2	3	3	4	5	6
	Río Atoyac	Río Atoyac	Río Atoyac	Río Xochiac	Río Atoyac	Río Atoyac	Río Atoyac
Temperatura (°C)	< 35	< 35	< 35	< 35	< 35	< 35	< 35
Grasas y aceites	5.2	7.1	7.4	13.0	8.7	8.7	9.1
Materia flotante	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (ml/l)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sólidos suspendidos totales	58.1	48.0	66.0	101.5	56.4	53.5	48.9
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	13.5	22.7	42.3	89.1	46.2	43.4	39.6
Nitrógeno total	5.0	8.0	11.2	13.7	13.4	13.4	14.5
Fósforo total	1.2	2.1	2.5	3.5	3.6	3.3	3.9
pH (unidades de pH)	< 6.5 - 8.5	< 6.5 - 8.5	< 6.5 - 8.5	< 6.5 - 8.5	< 6.5 - 8.5	< 6.5 - 8.5	< 6.5 - 8.5
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.3	0.6	0.6	0.6	1.1	0.8	1.3
Demanda química de oxígeno	26.2	57.4	83.7	171.0	91.6	91.6	93.9
Sólidos disueltos totales	500	514	500	652	526	559	720
Color (Pt - Co)	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Arsénico	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Cadmio	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Cobre	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06
Cromo	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Mercurio	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
Níquel	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Plomo	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Zinc	0.14	0.15	0.12	0.18	0.12	0.12	0.12
Cianuros	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Nitrógeno amoniacal	0.66	2.4	5.49	4.32	5.02	7.06	8.12
Fenoles	0.01	0.06	0.01	0.03	0.01	0.02	0.04
Sulfatos	150	158	150	232.4	159.9	170.8	152.3
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	< 1,000	< 1,000	< 1,000	< 1,000	< 1,000	< 1,000	< 1,000
Huevos de helminto (huevos/l)	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Hierro	0.39	0.44	0.3	0.5	0.34	0.32	0.34
Cloruros	250	250	250	250	250	250	250
Benceno	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Tolueno	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20



Etilbenceno	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Xilenos	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Toxicidad aguda (Wbrio fischeri y Daphnia magna) (unidades de toxicidad)	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Sulfuros	0.002	0.002	0.002	0.114	0.018	0.004	0.002
Aluminio	0.14	0.07	0.05	0.05	0.32	0.19	0.5
Manganeso	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.11
Cloruro de metilo	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003
Cloroforno	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Cloruro de vinilo	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
1,2 Diclorobenceno	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1,3 Dicloro benceno	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1,4 Diclorobenceno	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1,2 Dicloroetano	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069
Tetracloroetileno	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Bis 2 (etil hexil) ftalato	0.003	0.014	0.003	0.003	0.01	0.003	0.018
Dietil ftalato	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.011
Nitrobenceno	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

Declaratoria, 2011

Tabla 43. Plazo 3. Metas de calidad del agua por zonas clasificadas 7

Parámetro	Metas de calidad del agua por zonas clasificadas 7						
	ZONA						
	1 Río Atoyac	2 Río Atoyac	3 Río Atoyac	3 Río Xochiac	4 Río Atoyac	5 Río Atoyac	6 Río Atoyac
Temperatura (°C)	<35	<35	<35	<35	<35	<35	<35
Grasas y aceites	5.0	5.2	5.0	8.0	5.1	5.1	5.0
Materia flotante	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (m/l)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sólidos suspendidos totales	56.4	30.0	30.0	97.5	30.0	30.0	30.0
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	20.0	20.0	20.0	84.9	20.0	20.0	20.0
Nitrógeno total	5.0	5.0	5.0	7.6	5.0	5.0	5.0
Fósforo total	0.73	0.73	0.73	1.43	0.73	0.73	0.73
pH (unidades de pH)	< 6.5 - 8.5	< 6.5 - 8.5	< 6.5 - 8.5	< 6.5 - 8.5	< 6.5 - 8.5	< 6.5 - 8.5	< 6.5 - 8.5
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.10	0.10	0.10	0.31	0.10	0.10	0.10
Demanda química de oxígeno	40	40	40	141	40	40	40
Sólidos disueltos totales	500	500	500	500	500	500	500
Color (Pt - Co)	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15
Arsénico	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Cadmio	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Cobre	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Cromo	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Mercurio	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Níquel	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60



Piomo	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Zinc	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Cianuros	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Nitrógeno amoniacal	1.30	0.50	0.62	2.71	0.56	0.66	0.66
Fenoles	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Sulfatos	150	150	150	150	150	150	150
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	<200	<200	<200	<200	<200	<200	<200
Huevos de helminto (huevo/l)	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Hierro	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.32
Cloruros	250	250	250	250	250	250	250
Benceno	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Tolueno	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Etilbenceno	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Xilenos	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.31	0.3
Toxicidad aguda (<i>Vibrio fischeri</i> y <i>Daphnia magna</i>) (unidades de toxicidad)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sulfuros	0.002	0.03	0.002	0.117	0.008	0.002	0.002
Aluminio	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Manganeso	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.11	0.1
Cloruro de metilo	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Cloroformo	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Cloruro de vinilo	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
1,2 Diclorobenceno	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1,3 Dicloro benceno	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1,4 Diclorobenceno	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1,2 Dicloroetano	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069
Tetracloroetileno	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Bis 2 (etil hexil) ftalato	0.003	0.011	0.003	0.003	0.003	0.003	0.006
Dietil ftalato	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Nitrobenceno	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

7 Las metas de calidad del agua están en mg/l a menos que la propia tabla señale otra unidad de medida.

Declaratoria, 2011



PERÍODO 2013

El equipo de Mena *et al.* (2017), realizó una investigación para la evaluar la condición ecológica del río Zahuapan con un enfoque de cuencas. Se tomó como base el protocolo de evaluación biótica en ecosistemas acuáticos, propuesto por la Agencia de Protección Ambiental de los estados Unidos (EPA), el cual considera tres evaluaciones parciales: condición biótica, condición de hábitat y condición de calidad de agua.

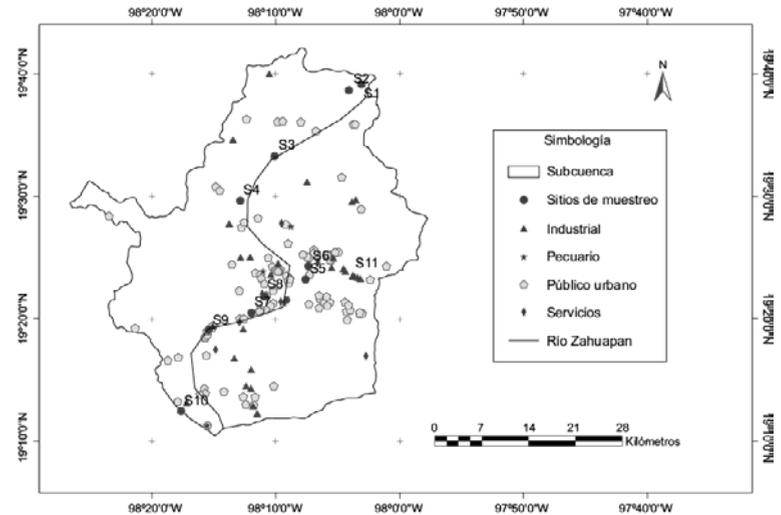
Para evaluar la condición del río, se ubicaron dos sitios de referencia en una zona de uso forestal y en nueve sitios perturbados, representativos de zonas de uso agrícola, urbano e industrial, a través de un sistema de información geográfica y recorridos de campo. La condición de calidad del agua se evaluó con un índice desarrollado a partir de mediciones de nueve parámetros físicos y químicos.

Los sitios de descarga de aguas residuales (fuentes puntuales de contaminantes) se ubicaron con el Localizador del Registro Público de Derechos de Agua (LOCREPDA), un sistema de información de la Comisión Nacional del Agua. Adicionalmente, a través de un sistema de información geográfica se relacionaron los sitios de descarga con el origen de las mismas: industrial, público-urbano, servicios y pecuario.

Para evaluar la condición del río se seleccionaron once sitios de muestreo (fig. 24) (S1 a S11), dos de ellos fueron sitios de referencia, localizados en ecosistemas forestales (S1 y S2), donde la perturbación por actividades humanas es mínima. Los demás sitios se ubicaron en áreas con influencia de alguno de los factores de perturbación de la condición del río: agrícola-pastizal (S3), agrícola (S4 y S11), urbano (S5, S9 y S10) e industrial y urbano-industrial (S6, S7 y S8). Todos los sitios se evaluaron en la primera quincena del mes de mayo de 2013.

Se determinaron los parámetros de pH, total de sólidos disueltos, fósforo total, temperatura del agua, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno y amonio. Se calculó también el índice de calidad del agua (ICA) propuesto por el Consejo Ambiental de Ministros de Canadá (CCME 2001).

Figura 24. Ubicación de sitios de descargas de aguas residuales en la subcuenca del río Zahuapan



Mena *et al.* 2017

Los valores obtenidos de los nueve parámetros físicos y químicos tienden a ser mayores en los sitios perturbados que en los de referencia (tabla 44), excepto el oxígeno disuelto, que es mayor en los sitios de referencia. Los valores de pH y temperatura son similares a los obtenidos por García-Nieto *et al.* (2011) y Muñoz-Nava *et al.* (2012) en sitios cercanos a la evaluación, excepto en los valores de temperatura registrados en la parte más alta de la subcuenca. En el presente estudio se obtuvieron valores de temperatura más bajos. Esto se atribuye a que en el día de la medición de temperatura en la zona se presentó un descenso de la misma.



Tabla 44. Parámetros físicos y químicos de los sitios

Parámetros	VR	Sitios										
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
Temperatura (°C)	< 40 °C (a)	1.40	1.50	14.10	5.50	11.0	11.20	8.60	11.30	17.50	16.70	13.40
Oxígeno disuelto (mg/l)	5.5 (b)	6.96	6.94	1.70	3.22	3.29	2.22	2.54	2.25	2.6	2.38	3.28
Conductividad (µs/cm)		124.4	129.2	1076	923	413	2220	2210	2530	2270	5130	752
Total de sólidos disueltos (mg/l)	< 1000 (c)	59	60.70	525	43.60	197.80	1115	1745	1491	1241	5890	363
Salinidad (mg/l)		0	0	0.50	0.30	0.20	1.10	1.80	1.50	1.40	1.50	0.30
pH	6.5-9 (b)	7.80	7.80	8.00	7.10	7.50	8.10	8.51	8.40	8.24	8.20	7.80
Amonio (mg/l)	19 (b)	0	0	20	2	20	50	50	102	45	100	9
Amoniaco (mg/l)		0	0	0.490	0.002	0.126	0.985	2.580	2.000	1.489	3.080	0.207
DBO ₅ (mg/l)	60 (a)	0	0	170	90	100	300	320	450	270	350	130
Fósforo total (mg/l)	10 (a)	0	0	50	3	3	72	70	100	55	98	25

VR = valor de referencia, (a) VR de la NOM-001-SEMARNAT-1996, (b) VR de la Norma Canadiense para la Protección de Vida Acuática (CCME 2007), (c) VR del estado de Iowa (IDNR 2009)

Mena et al. 2017

Tabla 44. Parámetros físicos y químicos de los sitios

Parámetros	VR	Sitios										
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
Temperatura (°C)	< 40 °C (a)	1.40	1.50	14.10	5.50	11.0	11.20	8.60	11.30	17.50	16.70	13.40
Oxígeno disuelto (mg/l)	5.5 (b)	6.96	6.94	1.70	3.22	3.29	2.22	2.54	2.25	2.6	2.38	3.28
Conductividad (µs/cm)		124.4	129.2	1076	923	413	2220	2210	2530	2270	5130	752
Total de sólidos disueltos (mg/l)	< 1000 (c)	59	60.70	525	43.60	197.80	1115	1745	1491	1241	5890	363
Salinidad (mg/l)		0	0	0.50	0.30	0.20	1.10	1.80	1.50	1.40	1.50	0.30
pH	6.5-9 (b)	7.80	7.80	8.00	7.10	7.50	8.10	8.51	8.40	8.24	8.20	7.80
Amonio (mg/l)	19 (b)	0	0	20	2	20	50	50	102	45	100	9
Amoniaco (mg/l)		0	0	0.490	0.002	0.126	0.985	2.580	2.000	1.489	3.080	0.207
DBO ₅ (mg/l)	60 (a)	0	0	170	90	100	300	320	450	270	350	130
Fósforo total (mg/l)	10 (a)	0	0	50	3	3	72	70	100	55	98	25

VR = valor de referencia, (a) VR de la NOM-001-SEMARNAT-1996, (b) VR de la Norma Canadiense para la Protección de Vida Acuática (CCME 2007), (c) VR del estado de Iowa (IDNR 2009)

Mena et al. 2017

El índice de calidad del agua indicó que los sitios de referencia (S1 y S2) están en la categoría de excelente u óptima, asociada con una mínima perturbación por las actividades humanas (tabla 45). El sitio S4 presenta una condición favorable, debido a la presa Atlangatepec, ubicada aguas arriba del sitio, la cual recibe y retiene las descargas de aguas residuales. Los sitios S5 y S11 presentan una condición marginal, debido a un aumento de las descargas de las zonas urbanas e

industriales sobre el río. Los sitios S3, S6, S7, S8, S9 y S10 presentan una condición pobre. En el sitio S3, ubicado en la entrada a la presa Atlangatepec, se concentran las aguas residuales del municipio de Tlaxco y su zona industrial. La condición de los otros sitios refleja la influencia permanente de grandes volúmenes de descargas de agua residual industrial y público-urbano.



Tabla 45. Índice de calidad el agua (ICA)

Sitios	ICA	Categoría
S1	100	Excelente (Óptima)
S2	100	Excelente (Óptima)
S3	28.28	Pobre
S4	75.54	Favorable
S5	52.07	Marginal
S6	33.38	Pobre
S7	24.90	Pobre
S8	22.07	Pobre
S9	25.59	Pobre
S10	22.03	Pobre
S11	46.04	Marginal

Mena et al. 2017

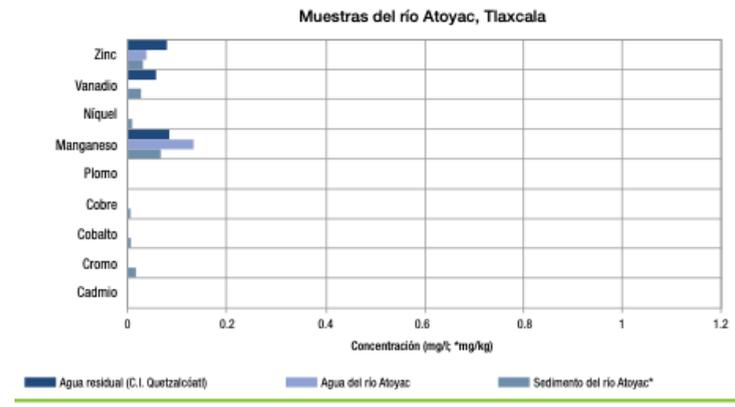
Por otra parte, el equipo de investigación de Greenpeace (2014), realizó un estudio de caracterización fisicoquímica de la descarga de la planta de tratamiento “Reciclagua” al río Lerma y la descarga comunitaria del corredor industrial Quetzalcóatl en el río Atoyac.

En mayo de 2013, se tomaron dos tipos de muestras de aguas residuales en cada cuenca: una de la descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Reciclagua, en el río Lerma y otra del tubo de descarga comunitario del Corredor Industrial Quetzalcóatl, en el río Atoyac. En el mismo cauce de ambos ríos, kilómetros adelante, fueron colectadas muestras simples de agua y de sedimento con el objetivo de evaluar la aportación de estas descargas a las condiciones de contaminación de esos ríos. En el caso de los sedimentos, el interés fue evaluar la posible acumulación por el transporte de contaminantes químicos. La distancia entre el tubo de la PTAR Reciclagua y las muestras colectadas en el río Lerma es de 1.2 km. En el río Atoyac la distancia entre el tubo de descarga y las muestras colectadas en el cauce es de 9.2 km.

Resultados. Se encontraron metales pesados: cadmio y cromo, lo que constituye un factor de preocupación pues ambos metales tienen la calificación más alta en la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (IARC). Es sabido que los metales pesados repre-

sentan un riesgo para la salud por su alta toxicidad y que la mayoría están clasificados como cancerígenos o probables cancerígenos para los seres humanos.

En la muestra del río Atoyac se presentaron niveles bajos de metales pesados (fig. 25). Es importante señalar que la información que se obtiene de las muestras colectadas en ambos ríos representa un momento puntual en el tiempo. La descarga de metales que en este muestreo aparenta ser leve, pero puede ser mayor en otros momentos.

Figura 25. Concentración de metales pesados encontrados en las muestras ambientales del río Atoyac

Greenpeace, 2014

Otro hallazgo en las muestras de agua residual del río y de los sedimentos del Lerma y del Atoyac fue la detección de 51 compuestos orgánicos volátiles (COV) y semi-volátiles (COVs) (tabla 46), algunos de los cuales son clasificados como potencialmente cancerígenos para vertebrados y probables cancerígenos para humanos. La mayoría de las sustancias presentes en las muestras son consideradas disruptores hormonales, es decir, que tienen efectos directos sobre el sistema endócrino y en la reproducción. Lo anterior los hace potencialmente riesgosos ya que por sus propiedades fisicoquímicas son fácilmente dispersados en el aire y en consecuencia el riesgo de exposición es alto.

Tabla 46. Compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles detectados en las muestras de agua

Nombre químico	PTAR Reclutagua	Río Lerma	Sed. Río Lerma	C.I. Quetzalcóatl	Río Atoyac	Sed. Río Atoyac	Disruptor hormonal ¹	Cancerígeno (IARC) ²
1,2-dicloro-benceno							X	3
1,4-dicloro-benceno							X	3
Etil-benceno								2B
Dicloro-metano								2B
o-xileno								3
1,2,4-tricloro-benceno								
2,3-Dicloro-2,3-dimetilsuccinonitrilo								
Acenaphileno								
1,2-Dicloro benceno								3
Oriseno								2B
Dibutil ftalato							X	
Dietil ftalato							X	
Diisobutil ftalato							X	
Dimetil ftalato							X	
Indol								
Naftaleno								2B
Nonilfenol (7 isómeros)								
Fenantreno								3
Fenol							X	3
Fenol, 4,4'-(1-metilpiperidino)bis-(Bisfenol A)							X	
4-metil-fenol							X	
7 isómeros de Xileno, etil- o Tetrametilbenceno- o Cymene							X	
Bis (2-etilhexil) ftalato (SEH)							X	2B
2-metil-fenol							X	
Ácido 1-Fenantiéno carboxílico								
Ácido 3-(3,5-di-ter-butil-4-hidroxi-fenil)propionico								3
Atrazina								
Ácido 4-hidroxi, propil ester (propilparabeno) benzoico*								
Ácido decanoico								
Ácido dodecanoico								
2-Fenoxi-etanol*								
Ácido hexadecanoico								
Ácido oléico								
Pentacloro-fenol*							X	2B
Sulfuro molecular (S8)								
Ácido tetradecanoico								
Metil-1H-Indole								
Di-n-butil ftalato*							X	
Alcohol dicitofentetil								

Alcohol dicitofentetil								
Ácido octadecanoico								
3-propil fenol							X	
Xileno, etil-0 tetrametil benceno-o cimeno*								3
Benzil benzoato*								
Fluoranteno*								3
Isoquinolina o quinolina*								
Nonilfenol etoxilado (7 isómeros)*							X	
Etil benceno								2B
Octadecano								
Dimetil benceno								
Etil-benceno								2B
Nonacoseno								

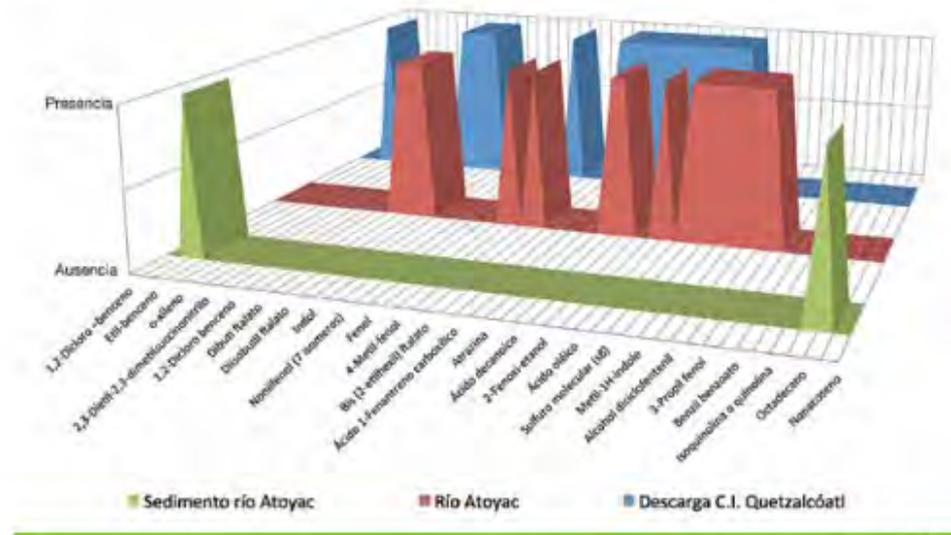
Greenpeace, 2014

En cuanto a las muestras colectadas en la descarga de aguas residuales del tubo comunitario del corredor industrial Quetzalcóatl y las del río Atoyac, un grupo amplio de contaminantes detectados en el río Atoyac no parece estar presente en las aguas residuales que vierte el tubo comunitario. Lo anterior sugiere fuertemente la presencia de otras fuentes de contaminación entre las dos estaciones de colecta.

Entre las sustancias encontradas en el tubo comunitario se detectó pentaclorofenol, usado generalmente por la industria textil, el cual tiene graves efectos a largo plazo: es un mutágeno que causa alteraciones en el sistema inmunológico y endócrino, altera las funciones reproductivas y aumenta la susceptibilidad a infecciones. Por su capacidad de bioacumulación, su toxicidad y su persistencia en el ambiente esta sustancia se encuentra severamente restringida o totalmente prohibida en muchos países. Sin embargo, en nuestro país no tiene regulación en ninguna Norma Oficial Mexicana. Muchos de los compuestos que producen efectos adversos a la salud y que fueron encontrados en el río son emitidos por esta planta, como se observa en la fig. 26.



Figura 26. Comparación de presencia – ausencia de sustancias en sedimentos, río y descarga del corredor industrial Quetzalcóatl



Greenpeace, 2014



PERÍODO 2013 A 2014

Martínez (2016) realizó un estudio que contiene las mediciones realizadas en la cuenca del Alto Atoyac, desde la zona alta hasta la presa Valsequillo de los parámetros fisicoquímicos: temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, potencial de óxido reducción, turbidez, coeficiente de absorción espectral, demanda bioquímica de oxígeno a 5 días, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales para tres temporadas del año [estiaje (abril 2013), lluvias (septiembre 2013) e invierno (febrero 2014)]. Donde se muestrearon 49, 47 y 22 sitios respectivamente.

Sitios de Muestreo. El muestreo se llevó a cabo 3 campañas de muestreo, las cuales fueron realizadas en diferentes temporadas, de acuerdo a lo indicado en la tabla 47. Los sitios muestreados corresponden a las dos cuencas principales: el río Zahuapan el cual se encuentra en el estado de Tlaxcala y del río Atoyac principalmente en el estado de Puebla, así como de la Presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo).

Tabla 47. Campañas de muestreo realizadas por Martínez-Tavera (2016).

No.	Campaña	Mes/Año	No. de Muestras Recolectadas	Parámetros Analizados
1	Estiaje	Abril 2013	49	11
2	Lluvias	Septiembre 2013	48	11
3	Invierno	Febrero 2014	23	11

Campañas de estiaje y lluvias (abril y septiembre 2013)

Las primeras campañas de estiaje y lluvias se llevaron a cabo en el mes de abril y septiembre de 2013 respectivamente; la de lluvias se realizó dentro de condiciones atípicas de precipitación pluvial. Ambas campañas fueron realizadas en sitios desde la parte alta de la cuenca tanto por las vertientes del Zahuapan y del Atoyac hasta la Presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo).

Campaña de Invierno (febrero 2014)

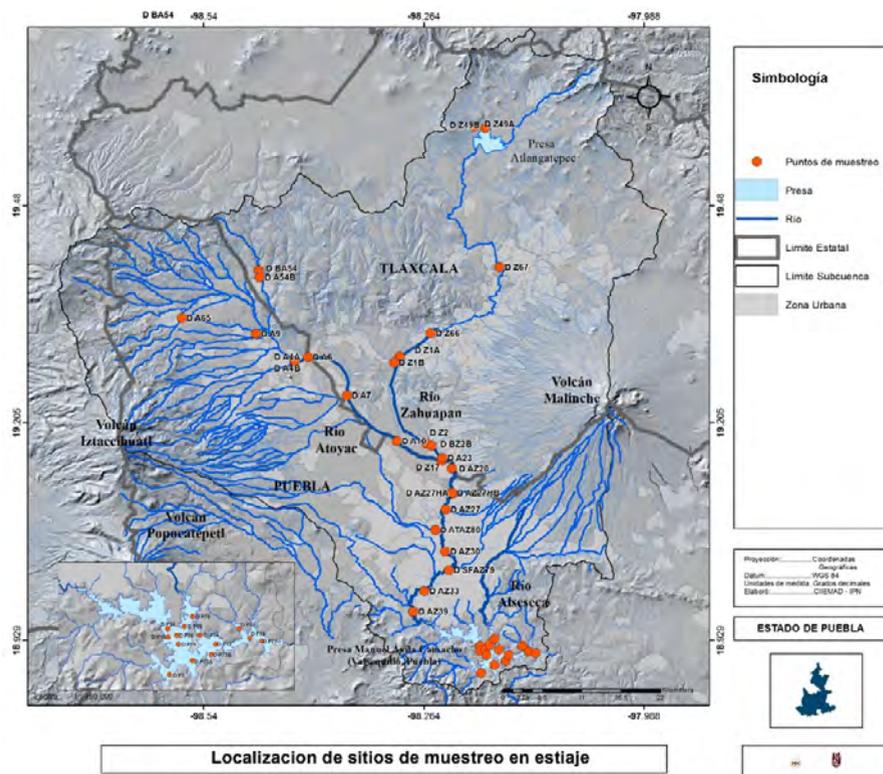
Para la realización de la campaña de invierno 2014, se revisaron los resultados de las campañas de estiaje y lluvias 2013, y se seleccionaron los sitios que presentaron las más altas concentraciones de los parámetros fisicoquímicos analizados. Derivado del análisis anterior durante esta campaña se recolectaron un total de 22 muestras de agua.

Identificación de sitios de muestreo. Los criterios de selección de los sitios muestreados incluyeron condiciones naturales, así como de actividades humanas, con la finalidad de integrar origen y transporte de contaminantes. Se seleccionaron sitios o estaciones de muestreo desde la parte alta donde se origina la cuenca, así como la confluencia del río Atoyac con los ríos Zahuapan, San Francisco, río Rabanillo y hasta la cortina de la Presa Manuel Ávila Camacho. Los sitios muestreados se identificaron de acuerdo a la siguiente nomenclatura: en la región del río Zahuapan con la letra “Z”; en la región del río Atoyac (antes de su confluencia con el río Zahuapan) con la letra “A”; en la región a partir de la confluencia y antes de la Presa con la letra “AZ”; en la confluencia con los ríos San Francisco como “SFAZ” y río Rabanillo como “ATAZ”; y a la Presa Manuel Ávila Camacho como “P”. A los sitios definidos como de referencia, origen o blancos se les antepuso una letra “B”, por lo que para la región del Zahuapan quedaría como “BZ” y para la del Atoyac como “BA”. Para la campaña de invierno 2014, se antepuso una letra C a la clave correspondiente, ya que los sitios seleccionados corresponden a los de mayor concentración de parámetros medidos, por lo que se denominaron “**puntos críticos**”. En el caso de la Presa Manuel Ávila Camacho, se muestrearon sitios cercanos a la desembocadura del río Atoyac, Alse seca, zona de macrofitas, Umbral de San Baltazar (Rodríguez-Espinosa *et al.*, 2011), zonas profundas cercanas a la cortina.

Periodo de estiaje. La campaña de muestreo en época de estiaje en la Cuenca Alto Atoyac se realizó del 10 al 13 de abril del 2013 (fig.27).



Figura 27. Cuenca del Alto Atoyac, muestreo de agua en estiaje 2013



Martínez-Tavera, 2016

Los resultados de este muestreo se pueden observar en la tabla 48, así como los gráficos correspondientes para su análisis. En la sección I de cada gráfico encontraremos al río Zahuapan, en la II al río Atoyac antes de su confluencia, en la sección III al río Atoyac después de su confluencia con el Zahuapan y en la sección IV a la presa Valsequillo. Cada una de estas secciones se encuentra separada por líneas punteadas en color azul.



Tabla 48. Resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados en estiaje 2013, en la Cuenca del Alto Atoyac

Zona en gráficos	No. Muestra	ESTACION	T(°C)	pH	% (μ S/cm)	OD (mg/l)	SAC (A/m)	TURB (NTU)	ORP (mV)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	SDT (mg/l)
Zona I, río Zahuapan	1	RZ49 A	17.4	7.95	342	3.9	83.64	119.6	49.1	36	55	75	360
	2	RZ49 B	38.3	7.96	255	3.1	0.49	1	56.8	10	25	20	170
	3	DZ67	20.2	7.86	684	2.4	18.71	4.55	-59.2	120	174	0	445
	4	DZ66	24.4	8.04	880	3.5	27.39	61.5	-27.3	95	172	56	548
	5	DZIA	19.1	7.26	805	1.3	8.38	19.3	-17.8	32	84	20	492
	6	DZIB	36.9	7.11	1175	1.3	14.64	150.5	-23.7	40	102	20	756
	7	DZ2	34.9	7.35	917	3	11.21	8.01	39.1	40	160	20	692
	8	DBZ2B	18	6.35	329	4	0.91	1	35.2	10	23	20	304
	9	DZ17	13	7.91	1058	2.7	29.26	40.2	-112.7	66	180	20	750
Zona II, río Atoyac	10	DA65	36.8	7.48	397	4.3	1.36	3.5	-102.4	10	31	20	300
	11	DBA54	24.3	6.23	312	3.2	0.29	1	51.6	10	30	20	268
	12	DA54B	23.6	5.96	734	1.9	0.20	1	73.5	10	30	20	608
	13	DA9	34.9	7.02	171	4.51	0.40	1	-153	10	29	20	184
	14	DA4A	29.2	7.2	436	1	8.13	63.1	-362.2	70	147	72	308
	15	DA4B	21.9	7.12	789	0.8	25.71	83.7	-384.4	162	321	72	508
	16	DA6	20.6	7.53	1870	0.9	47.36	111.9	-342.2	260	493	185	1330
	17	DA7	17.6	7.38	1275	0.9	10.96	138.9	-239.4	143	334	160	905
	18	DA10	15.3	7.42	1149	1.2	39.65	100.6	-300.6	175	318	90	715
Zona III, río Atoyac después de la confluencia con el río Zahuapan	19	DA23	14	7.98	1106	2.2	18.25	104.9	-300.24	88	178	115	725
	20	DAZ2D	29.7	7.12	1027	0.8	24.42	70.7	-49.9	118	248	84	644
	21	DAZ27HA	27.3	10.24	1668	3.6	114.54	213	-211.5	480	1055	240	1296
	22	DAZ27HB	21.1	7.62	968	0	25.70	60.3	-253.7	84	206	64	634
	23	DAZ27	20.5	7.62	1230	1	32.40	68.5	-139.8	130	293	72	840
	24	DATAZ90	38.9	7.88	1202	0.4	11.09	381.7	-363.6	360	680	208	770
	25	DAZ30	21.9	7.54	1326	1.1	36.25	116.3	-312.4	165	317	136	840
	26	DSPAZ79	23.2	7.81	1416	0.5	68.36	61	13	40	62	30	1030
	27	DAZ33	21.7	7.38	1562	1.3	42.23	141.9	-2.83	228	437	60	1184
	28	DAZ34	23.5	7.65	1606	2.5	51.90	99.5	-48.4	206	396	104	1168
	29	DAZ39	22.1	7.65	1903	1.3	46.37	3.6	-370.1	165	327	168	856



Zona IV, presa Valsequillo	30	DP36	18.3	7.09	762	2	18.90	21.6	-150	40	62	15	20
	31	DP16	19.4	7.34	819	1.5	18.41	16	-73.2	36	62	0	520
	32	DP38	29.6	7.00	807	1.5	18.54	24	-229.6	40	63	5	570
	33	DP69	19.9	7.06	875	1.3	20.69	13.5	-259.2	36	86	5	535
	34	DP70	20.2	7.00	849	1.2	29.65	20.9	-348.6	50	75	20	560
	35	DP71	18.8	7.31	809	1.5	17.21	7.04	3.6	36	59	0	540
Zona IV, presa Valsequillo	36	DP3	17.9	7.38	791	1.4	17.75	3.95	42.7	30	50	5	485
	37	DP68	18.6	7.36	785	1.4	17.74	1.95	23.5	26	52	0	515
	38	DP73 A	18.7	7.4	712	1.8	17.41	3.4	17.9	32	78	5	495
	39	DP35	18.2	7.58	734	2.6	17.12	2.3	-15.8	20	50	0	515
	40	DP73 B	19.2	7.61	769	2.8	17.69	1.4	-4.7	20	62	10	555
	41	DP72	19.4	7.62	780	2.6	17.24	2.2	-3.4	33	50	0	500
	42	DP34	20	7.61	772	3	16.80	1.7	46.5	26	48	0	520
	43	DP12	19.2	7.59	779	2.2	17.07	1.7	25.5	10	46	0	550
	44	DP15	20.4	7.78	769	3.3	16.71	1.5	1.2	40	54	0	470
	45	DP32	21.1	7.75	734	3.3	16.74	2.7	8.5	32	49	15	495
	46	DP36	20.7	7.83	730	3.7	16.33	1.2	30.3	28	52	10	495
	47	DP77	20.6	7.82	768	3.7	16.04	1.05	-56.1	13	46	0	510
	48	DP78	20.5	7.83	761	3.7	15.21	1.7	-56	26	48	0	500
	49	DP34	21.2	7.87	738	3.8	16.00	2.1	-43.8	10	68	0	475

Martínez-Tavera, 2016

Temperatura. Los resultados obtenidos de temperatura muestran intervalos en la región I (13°C - 24.4°C), en la región II (14°C - 24.3°C), región III (19.7°C - 7.3°C) y en la región IV (17.9°C - 21.2°C).

La mayoría no supera los 25°C; solo en el caso de la región III que presenta un máximo de 27.3°C en la estación DAZ27HA (Barranca Honda); sin embargo aunque no se trata de una temperatura superior a 40°C que es el LMP estipulado por la NOM-001- SEMARNAT-1996. Todas las estaciones de agua cumplen lo establecido para el Plazo 3 de todas las zonas en la Declaratoria de clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes.

pH. El pH a excepción del sitio DAZ27HA con un pH= 10.24 se encuentra dentro de un intervalo que se considera inofensivo, ya que están dentro de los límites establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996, sin embargo, para el plazo a 2030 de la Declaratoria de Clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan y sus afluentes en un futuro próximo dos de los nacimientos de agua en la cuenca alta del río Atoyac se considerarán fuera de rango. El sitio DAZ27HA

denota contaminación de origen industrial en el cual la concentración de iones OH⁻¹ es alta y por lo tanto favorece un medio corrosivo para la flora y fauna presente en el medio. Entre las sustancias más comunes que aumentan el valor de pH son la sosa caustica (NaOH).

Conductividad. Los valores obtenidos de conductividad en las regiones II y III presentan los máximos de conductividad con valores de hasta 1879 µS/cm en A6 (Parque Quetzalcóatl); 1668 µS/cm en AZ27HA; 1606 µS/cm en AZ34; 1562 µS/cm en AZ33 y 1503 µS/cm en AZ39. Estos cinco puntos deben ser vigilados ya que presentan concentraciones altas de sales disueltas que pueden deberse a descargas concentradas de sales empleadas en la industria y a la presencia de un volcán activo en la zona.

Oxígeno disuelto. Los resultados obtenidos muestran que las aguas con menor concentración de oxígeno disuelto son las que se encuentran al sur de la confluencia del río Atoyac con el río Zahuapan, en los afluentes Rabanillo y San Francisco, y antes de descargar a la presa Manuel Ávila Camacho en la presa Echeverría. Las condiciones de



oxigenación mejoran cerca de la cortina de la presa Valsequillo. En la región que abarca la ciudad de Puebla es en donde los valores de oxígeno disuelto son mínimos, lo cual se interpreta que es debido al exceso de materia orgánica producto de las descargas de uso público urbano y de contaminantes de origen industrial.

Coefficiente de Absorción Espectral (SAC). En este parámetro podemos observar que aguas abajo de la confluencia con el río Zahuapan, la contaminación se hace más pronunciada, debido, principalmente, a las zonas industriales presentes en la cuenca correspondiente al estado de Puebla principalmente en el punto DAZ27HA (Barranca Honda), donde se descargan aguas residuales industriales (provenientes de industrias textiles) y de uso público urbano.

Potencial de Óxido Reducción (OPR). Se detectaron potenciales positivos y negativos, presentándose los valores negativos más grandes en los sitios DA10, DA23, DAZ27HA, DAZ27HB, DAZ30 y DAZ39 en la zona de mayor contaminación y en donde se presentan aguas alcalinas.

Turbidez. Respecto al parámetro de turbidez se observa que el valor máximo al sur de la confluencia del Zahuapan con el Atoyac y es precisamente en la zona III de la ciudad de Puebla donde confluye el río Rabanillo, en el cual se vierten las aguas residuales de uso público urbano e industrial del municipio de San Pedro Cholula sin ningún tratamiento. Por otro lado, la Presa Manuel Ávila Camacho presenta desde la desembocadura del Atoyac hasta la cortina una disminución importante de este parámetro debido a la disminución en la velocidad del agua acarreada por los ríos una vez que descargan en la presa (Rodríguez- Espinosa *et al.*, 2011). Desafortunadamente el parámetro de turbidez no se encuentra dentro de la Declaratoria.

Demanda Bioquímica de Oxígeno. Analizando los resultados obtenidos en función de los límites máximos permisibles de la NOM-001, enfocados en el promedio diario, las muestras que superan el promedio diario de DBO₅ para uso público urbano son: DAZ34 (206 mg/l), DAZ33 (228 mg/l), DA6 (260 mg/l), DAZ27HA (480 mg/l) y DATAZ80 (523 mg/l).

La muestra DA6 (Quetzalcóatl) corresponde al sitio cercano al colector que recoge las aguas de uso público urbano del Municipio de San Martín Texmelucan, a las aguas industriales de la zona y escurrimientos de zonas agrícolas cercanas.

La muestra DAZ27HA (Barranca Honda) integra las aguas de origen industrial y de uso público urbano de la zona, la cual no está en control de sus descargas. En esta zona hay una presencia importante de industria textil.

La muestra DATAZ80 (río Rabanillo) integra las aguas de uso público urbano e industrial de San Pedro Cholula, las cuales no tienen tratamiento alguno, ya que el municipio no cuenta con planta de tratamiento.

La muestra DAZ33 (Ecoparque Metropolitano) que se encuentra en el corazón de la ciudad de Puebla y muy cerca de desarrollos inmobiliarios y zonas de servicios.

La muestra DAZ34 (Las Carmelitas) este sitio es posterior a la confluencia del río Zapatero con el Atoyac y a la represa que lleva este mismo nombre. A pesar del proceso de aeración debido a que la muestra fue tomada después de la represa, los valores de DBO₅ son altos debido a que el río Zapatero presenta problemas importantes de contaminación.

El plazo 3 para las 6 zonas de la Declaratoria de clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes está muy distante de la realidad, lo que nos permite ver el largo camino por recorrer para poder alcanzar lo planteado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sin embargo al revisar los datos ubicados dentro de la Presa Manuel Ávila Camacho, observamos la función de esta Presa como un gran humedal que permite sedimentar contaminantes y mejorar la calidad del agua (Rodríguez-Espinosa *et al.*, 2011).

Demanda Química de Oxígeno. Los valores más altos de DQO corresponden a los sitios muestreados en la ciudad de Puebla correspondientes a los puntos DAZ27HA (Barranca Honda), DATAZ80 (río Rabanillo) y DAZ33 (Ecoparque Metropolitano). Es importante men-



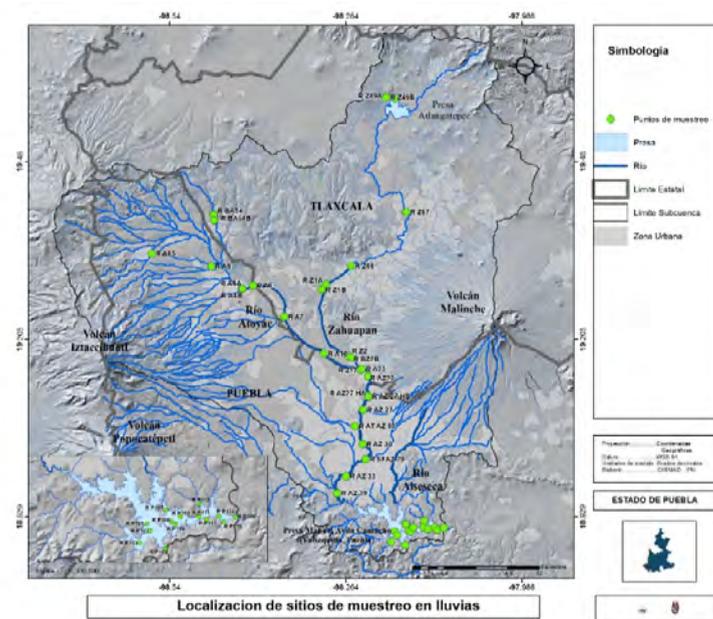
ciónar que la contaminación se presenta desde el punto DA6 correspondiente al sitio del Parque Industrial Quetzalcóatl aguas arriba en la Cuenca cerca del Municipio de San Martín Texmelucan. Será por tanto un reto dar cumplimiento al plazo a 2030 de la Declaratoria de Clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan y sus afluentes.

Sólidos Suspendidos Totales. Los sitios que presentan un mayor valor en la cuenca corresponden al DA6 (colector industrial Quetzalcoatl), DAZ27HA (Barranca Honda), DAZ34 (Las Carmelitas) y DAZ39 (Echeverría).

Sólidos Disueltos Totales. Los valores más altos se encuentran en la cuenca alta en el sitio DA6 (Quetzalcoatl), DAZ27HA (Barranca Honda), DATAZ79 (río Rabanillo), y DAZ39 (presa Echeverría).

Periodo de Lluvias. La campaña de muestreo de la Cuenca Alto Atoyac en época de lluvias fue realizada del 24 al 28 de septiembre del 2013, de acuerdo a la fig. 28.

Figura 28. Cuenca del Alto Atoyac, muestreo de agua de lluvias 2013



Mapa 6 Cuenca del Alto Atoyac, muestreo de agua en lluvias 2013

Los resultados del muestreo se pueden observar en la tabla 20. En la sección I de cada gráfico se encuentra el río Zahuapan, en la II al río Atoyac antes de su confluencia, en la sección III al río Atoyac después de su confluencia con el Zahuapan y en la sección IV a la presa Valsequillo.

Temperatura. Presenta una tendencia ascendente en la cuenca, a pesar de que el muestreo se realizó en días lluviosos. Lo anterior se debe a que las bajas temperaturas se presentan en la cuenca alta y el tiempo de permanencia de las aguas se va incrementando en su reco-

rido por el río. Adicionalmente las descargas de tipo antropogénico favorecen el incremento de las mismas. Es importante observar que las temperaturas reportadas para el Zahuapan en la cuenca alta y antes de la confluencia con el Atoyac son mayores que las presentadas por éste último en la cuenca alta. Los puntos con temperaturas fuera de tendencia son: RBA54 y RA54B que son nacimientos de agua en San Antonio Atotonilco, RAZ34 Las Carmelitas donde se recibe las aguas residuales de uno de los clóster inmobiliarios más importantes de la ciudad de Puebla, y RPTA117 que pertenece a un nacimiento de agua a orillas de la Presa después del consorcio de macrofitas.

Tabla 49. Resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados en lluvias 2013, en la Cuenca del Alto Atoyac

Zonas en gráficos	No. Muestra	Estación	T (°C)	pH	(μ S/CM)	OD (mg/T)	SAC (A/m)	TURB (NTU)	ORP (mV)	DBO ₅ (mg/T)	DQO (mg/T)	SST (mg/T)	SDT (mg/T)
Zona I. río Zahuapan	1	RZ49 A	19.50	7.53	281	4.40	15.44	6.94	39.30	15	81.30	20	383
	2	RZ49 B	18.90	7.60	253	4.60	9.58	0.29	204.60	10	52.10	20	194
	3	RZ67	17.30	7.68	138	5.50	16.07	33.89	18.60	20	74.10	313	439
	4	RZ66	17.80	7.66	243	5.30	8.03	40.27	24.90	30	162.60	472	382
	5	RZ1A	17.20	7.65	262	5.30	15.44	61.48	59.20	25	117.80	952	252
	6	RZ1B	16.40	7.64	258	4.90	-3.75	44.06	-126.20	20	181.90	452	389
	7	RZ2	16.80	7.58	227	5.22	47.73	68.41	109.20	35	170.50	929	330
	8	RBZ2B	18.50	6.24	279	4.80	12.17	1.19	191.60	10	48.20	20	268
	9	RZ12	17.70	7.39	584	3.00	26.17	17.84	173.80	25	104.20	185	413
Zona II. río Atoyac	10	RA65	17.20	7.58	417	5.20	177.11	1.02	35.40	10	49.04	20	278
	11	RBA54	23.60	6.42	332	5.64	57.89	0.24	43.80	10	41.60	20	235
	12	RA54B	22.10	6.22	876	2.60	28.57	0.14	66.90	30	51.50	20	550
	13	RA9	14.60	7.25	162	5.80	24.82	0.36	61.10	15	59.60	20	143
	14	RA4A	17.80	7.53	335	4.40	35.98	3.28	42.00	30	57.50	323	278
	15	RA4 B	15.60	7.40	238	5.30	24.14	29.2	41.80	20	85.50	32	148
	16	RA6	18.00	7.40	166	3.60	11.88	32.7	58.20	55	91.60	367	316
	17	RA7	17.90	7.40	614	3.20	19.72	34.49	59.10	30	101.80	428	438
	18	RA10	16.90	7.47	501	2.70	1.80	90.13	68.30	30	183.70	973	320
	19	RA23	17.50	7.45	541	2.00	5.17	68.88	126.50	30	175.60	890	493



Zona III. río Atoyac después de la confluencia con el río Zahuapan	20	RAZ20	19.60	7.59	435	4.30	0.18	29.84	68.00	45	129.50	457	318
	22	RAZ27 HA	18.10	8.55	217	4.60	0.09	129.17	31.40	40	449.70	2009	198
	23	RAZ27 HB	18.00	7.73	324	4.80	100.25	75.32	64.30	20	223.20	1234	1201
	21	RAZ27	19.90	7.81	492	5.60	0.16	65.75	61.20	20	237.00	985	310
	25	RATAZ80	19.00	7.49	294	4.30	106.48	148.74	49.80	30	429.20	2996	2533
	24	RAZ30	19.50	7.57	507	3.20	116.58	87.73	65.20	25	226.80	916	352
	26	RSFAZ79	20.80	7.45	1185	2.80	13.61	0.41	84.20	15	56.60	20	923
	27	RAZ33	19.10	7.51	552	2.70	189.26	104.28	98.10	25	196.40	1730	260
	28	RAZ34	25.10	7.63	545	2.70	109.44	49.84	96.00	25	158.40	418	382
Zona IV. Presa Valsequillo	29	RAZ39	20.80	7.34	518	1.80	0.48	32.08	154.10	20	94.00	490	430
	30	RP100	20.80	7.35	684	2.13	19.49	0.98	137.60	15	32.90	20	441
	31	RP101	20.70	7.15	682	1.21	20.48	1.35	112.50	10	30.50	20	462
	32	RP102	21.20	7.23	690	1.94	19.55	1.01	110.00	15	20.90	20	429
	33	RP103	20.80	7.02	671	1.02	19.82	0.73	93.20	10	51.60	20	436
	34	RP105	21.30	7.42	704	3.04	18.78	0.78	95.03	10	87.70	20	454
	35	RP106	21.50	7.70	721	4.51	19.33	0.95	87.80	10	38.80	20	381
	36	RP107	24.10	7.89	726	5.40	18.97	0.54	75.60	10	24.20	20	309
	37	RP108	24.30	8.03	726	5.12	20.26	1.47	77.70	40	31.10	20	700
	38	RP109	23.80	8.41	679	7.76	21.82	3.57	59.40	35	42.10	20	468
	39	RP110	22.30	8.06	704	6.74	29.43	1.67	65.70	30	65.70	20	473
	40	RP111	22.30	8.02	701	6.07	19.66	1.21	81.00	20	61.00	20	460
	41	RP112	22.20	7.72	695	3.09	20.24	0.67	83.90	10	33.70	20	500
	42	RP113	22.70	7.39	700	6.19	18.94	0.56	81.80	15	35.70	20	475
	43	RP114	23.40	7.12	701	3.39	18.95	0.48	83.70	10	28.50	20	486
	44	RP115	23.60	7.60	715	5.19	20.34	0.81	78.50	10	29.80	20	468
	45	RP116	24.50	7.31	737	1.72	18.60	0.53	80.90	10	49.60	20	475
	46	RPTA117	28.50	7.91	643	4.21	9.76	2.3	63.10	10	66.90	20	524
	47	RPTA118	25.20	7.46	592	5.48	6.18	0.62	100.50	10	37.20	20	471

Martínez-Tavera, 2016



pH. El potencial de hidrógeno en los nacimientos de agua tanto del Zahuapan como del Atoyac presentan valores por debajo de 6.5 lo que los dejará fuera para el plazo 2030 de la Declaratoria de Clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan y sus afluentes, así para el punto RAZ27HA (Barranca Honda) con un valor mayor a 8.5. Es importante mencionar que en ésta época de lluvias la Presa Manuel Ávila Camacho presenta al menos un sitio con un valor mayor a 8.25 poniendo de manifiesto niveles de contaminación importantes, debido a la turbulencia generada por lluvias.

Conductividad. Este parámetro presenta un comportamiento ascendente escalonado, es decir, cada sección del río ya sea el Zahuapan, Atoyac, Atoyac/Zahuapan y Presa Manuel Ávila Camacho presentan dentro de cada una de estas zonas un comportamiento característico que conforme avanza el río, éste se va incrementando, lo que les da identidad tanto por su origen natural como por antropogénica de la zona.

Oxígeno Disuelto. El parámetro de oxígeno disuelto se ve fuertemente afectado debido a la presencia de lluvia lo cual incrementa sustancialmente el caudal diluyendo las concentraciones de contaminantes y al mismo tiempo generando una turbulencia importante provocando así un incremento importante de este parámetro tanto en la cuenca alta como en la ciudad de Puebla, sin embargo, es importante mencionar que los valores presentados cercanos a la desembocadura del río en la presa son muy bajos debido a una fuerte presencia de contaminantes orgánicos demandantes de oxígeno lo que pone en peligro la vida de peces y otros seres vivos en el sitio.

Coefficiente de absorción Espectral (SAC). Existe un incremento sustancial respecto a lo presentado en época de estiaje, principalmente en los valores presentados en la cuenca alta debido a la presencia de materia orgánica por arrastre de sólidos, posiblemente debido a un cambio de uso de suelo. Es importante tener en consideración que los sólidos suspendidos totales generados en época de lluvias generan una interferencia a considerar principalmente en este parámetro fisicoquímico, debido a que la muestra no se filtra para su medición.

Potencial de Óxido Reducción (ORP). A diferencia de la época de estiaje, es homogéneo por el efecto de dilución que genera el gran volumen de agua presente en el río. El único punto negativo presentado en la matriz fue presentado por un río secundario del río Zahuapan antes de su confluencia con el río Atoyac, el cual está rodeado de campos agrícolas. El agua del pozo cercana a la Presa de Atlangatepec Z49B y El blaco o punto de referencia del río Zahuapan son los únicos que presentan valores alrededor de 200 mV lo que hace pensar en la presencia de sales disueltas.

Turbidez. La turbidez en época de lluvias así como los sólidos suspendidos totales se vuelven un parámetro fisicoquímico muy importante, ya que reflejan la matriz modificada del río Atoyac y sus afluentes por el efecto de erosión y arrastre de suelos, así como de la turbulencia del flujo la cual remueve la materia inerte como el limo y arena en el fondo del río (Jindal y Sharma, 2011).

A diferencia de la época de estiaje en la zona del río Zahuapan se observa un incremento de sólidos, lo cual refleja la contaminación antropogénica por aguas de uso público urbano y por pesticidas, herbicidas y aquellos químicos utilizados en las zonas agrícolas. Sin embargo, la zona de la ciudad de Puebla sigue siendo la más contaminada.

Demanda Bioquímica de Oxígeno. La matriz del río para la época de lluvias con respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno sufre una modificación importante; tanto para la zona del Zahuapan donde existe un notable cambio respecto a la de estiaje en donde se incrementa por arrastre y erosión de suelos agrícolas la presencia de materia orgánica y un sesgo importante de los puntos más contaminados de la cuenca a comenzar en la zona del Atoyac en el sitio cercano a la descarga del colector industrial Quetzalcoatl. Es importante hacer notar que a partir del punto antes mencionado no se cumple ninguno de los plazos de la Declaratoria de Clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan y sus afluentes.

Demanda Química de Oxígeno. Este parámetro presenta una matriz similar a la de la turbidez en la zona más contaminada sigue siendo la ciudad de Puebla con el sitio RAZ27HA (Barranca Honda) y el RATAZ80 correspondiente al río Rabanillo, donde la presencia



de contaminación orgánica de origen industrial se hace presente a pesar de los efectos de dilución generados por lluvias. Es importante hacer notar el efecto de dilución que genera la época de lluvias sobre la demanda bioquímica y química de oxígeno, ya que los valores presentados sobre estos parámetros disminuyen considerablemente.

Sólidos Suspendidos Totales. Como se ha mencionado con anterioridad la turbidez, la demanda química de oxígeno y ahora los sólidos suspendidos totales generan una matriz similar del río, la cual presenta las mismas anomalías o de quiebre lo cual ha de significar a la hora de seleccionar los sitios más representativos de la cuenca.

Sólidos Disueltos Totales. A diferencia de los sólidos suspendidos totales, los sólidos disueltos se comportan de una forma homogénea en casi toda la cuenca a excepción del punto correspondiente al río secundario Rabanillo. Es importante mencionar que a diferencia de la demanda bioquímica y química de oxígeno sobre los cuales el efecto

de la época de lluvia tiene un efecto de dilución, sobre los sólidos disueltos y suspendidos presenta un efecto de incremento sustancial en comparación con la época de estiaje.

Temporada de Invierno. La campaña de muestreo en temporada invernal en la Cuenca del Alto Atoyac fue realizada del 18 al 20 de febrero del 2013, de acuerdo la fig. 29. En esta campaña solo se muestrearon los puntos más contaminados y representativos de la Cuenca, con la finalidad de simplificar, mas no trivializar el número representativo de estaciones significativas en la cuenca. Esta determinación se hizo, en función de las anomalías presentadas por los parámetros fisicoquímicos que utiliza la CONAGUA para caracterización de aguas superficiales (tabla 1): DBO₅, DQO y SST en las épocas de estiaje y lluvias (tabla 50), y de los puntos representativos más importantes de la cuenca como los sitios de confluencia.

Los resultados de este muestreo se pueden observar en la tabla 51.

Tabla 50. Determinación de sitios de muestreo para la época invernal

Anomalías presentadas por los parámetros fisicoquímicos DBO ₅ , DQO y SST para estiaje e invierno											
Estación	DBO ₅	DQO	SST	Resultados Estiaje	Estación	DBO ₅	DQO	SST	Resultados Lluvias	Resultados Finales	Estación
DZ49 A			1	1	RZ49A				0	1	
DZ49 B				0	RZ49B				0	0	
DZ67	1	1	1	3	RZ67		1	1	2	5	Z67
DZ66	1	1		2	RZ66	1	1	1	3	5	Z66
DZ1A				0	RZLA		1	1	2	2	
DZ1B				0	RZLB		1		1	1	
DZ2		1		1	RZ2	1	1	1	3	4	Z2
DBZ2B				0	RHZ2B				0	0	
DZ17	1	1		2	RZ17	1	1	1	3	5	Z17
DA65				0	RA65				0	0	
DBA54				0	RHA54				0	0	
DA54B				0	RA54B				0	0	
DA4				0	RA9				0	0	
DA4A				0	RA4A				0	0	
DA4B				0	RA4B				0	0	
DA6	1	1	1	3	RA6	1	1	1	3	6	A6
DA7		1	1	2	RA7		1	1	2	4	A7
DA10	1	1		2	RA10		1	1	2	4	A10
DA25			1	1	RA23		1	1	2	3	A23

PROPUESTA FINAL
WZ67
WZ66
WZ17
WA6
WA10
WA73
WAZ10
WAZ17HA
WAZ17HB
WA217



DA210				0	RAZ20	1			1	1	AZ20
DAZ27HA	1	1	1	3	RAZ27HA	1	1	1	3	6	AZ23HA
DAZ351B				0	RAZ27HB		1	1	2	2	AZ27HB
DAZ27				0	RAZ27			1	1	1	AZ27
DATAZ80	1	1	1	3	RATAZ80	1	1	1	3	6	ATAZ90
DAZ30	1	1	1	3	RAZ30	1	1	1	3	6	AZ30
DSFA239				0	R3FA270				0	0	SFA279
DAZ33	1	1		2	RAZ33	1	1	1	3	5	AZ33
DAZ34	1	1		2	RAZ34	1	1		2	4	AZ34
DAZ39	1	1	1	3	RAZ30	1	1	1	3	6	AZ90
DP36				0	RP100				0		
DP16				0	RP101				0		
DP38				0	RP102	1			1		
DP69		1		1	RP103		1		1		
DP70	1			1	RP105		1		1		
DP71				0	RP106				0		
DP3				0	RP107				0		
DP68				0	RP108	1			1		
DP78A	1	1		2	RP109	1			1		
DP55				0	RP110	1	1		2		
DP33B		1	1	2	RP111		1		1		
DP72	1			1	RP112				0		
DP74				0	RP113	1			1		
DP12				0	RP114				0		
DP75	1	1	1	3	RP115				0		
DP32				0	RP116		1		1		
DP76			1	1	RPTA157				0		
DP77				0	RPTA158				0		
DP78				0							
DP724		1		1							



Estaciones con más incidencia de anomalías.

Estaciones con más incidencia de anomalías, en la presa. Es importante mencionar que en este sitio no tiene la misma clave ya que no es posible geoposicionarse en mismo sitio, sin embargo orientó las zonas a muestrear.

Son sitios que no presentaron anomalías significativas, sin embargo por el hecho de ser estratégicas se incluyeron.

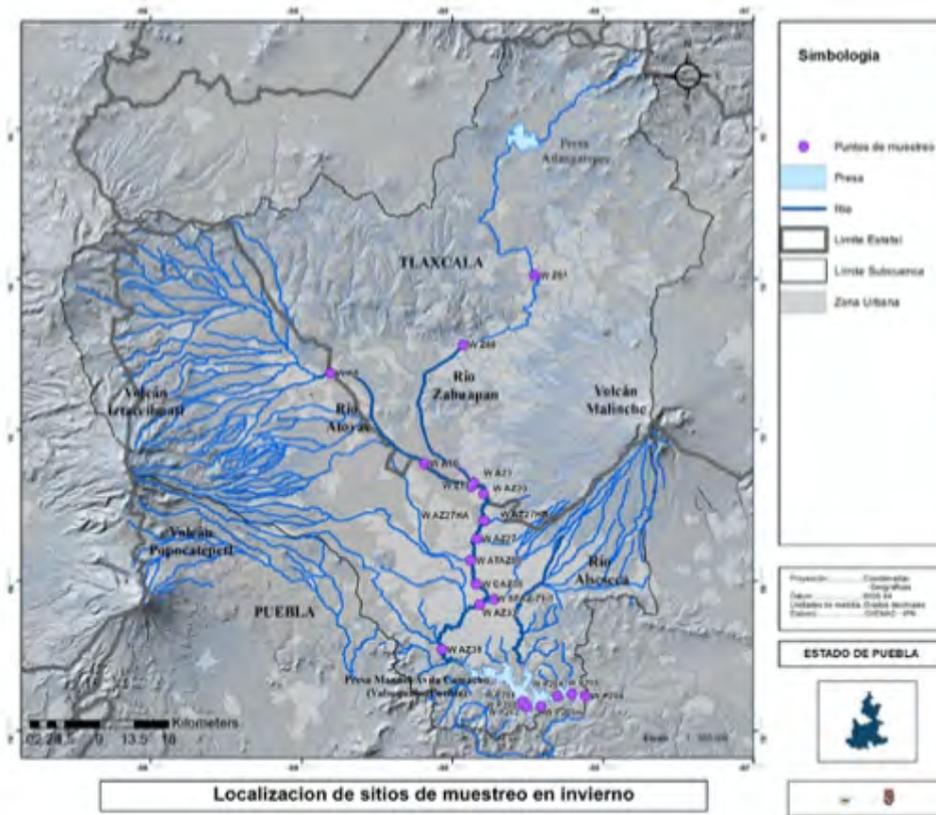
Nota: Se cuidó que hubiera representatividad y proporcionalidad en los ríos secundarios, principal y presa.

Martínez-Tavera, 2016

WATA286
WAZ34
WSFAZ79
WAZ33
WAZ39
WP200
WP201
WP202
WP203
WP204
WP205
WP206



Figura 29. Cuenca del Alto Atoyac, muestreo de agua en lluvias 2013



Martínez-Tavera, 2016

En la sección I de cada gráfico se encuentra el río Zahuapan, en la II al río Atoyac antes de su confluencia, en la sección III al río Atoyac después de su confluencia con el Zahuapan y en la sección IV a la presa Valsequillo.



Tabla 51. Resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados en invierno 2014, en la Cuenca del Alto Atoyac

Zonas en gráficos	No. Muestra	ESTACION	T (°C)	pH	λ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	OD (mg/l)	SAC (A/m)	TURB (NTU)	ORP (mV)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	SDT (mg/l)
Zona I, río Zahuapan	1	WZ67	18.1	7.84	573	4.3	15.2	6	200.9	46	25	14	378
	2	WZ66	13.8	7.82	928	3.92	33.8	34	211.3	110	46	34	534
	3	WZ17	20.9	7.80	901	1.9	68.5	87	217.1	338	111	40	536
Zona II, río Atoyac	4	WA6	17	8.70	1037	3.5	167	179	117	529	399	104	692
	5	WA10	17.5	7.63	786	1.83	45	34	-42.6	33	16	16	868
	6	WA23	16.9	7.90	936	1.37	53	82	85.3	231	77	30	594
	7	WAZ20	17	7.61	931	2.99	53.5	60	190.2	190	99	32	556
Zona III, río Atoyac después de la confluencia con el río Zahuapan	8	WAZ27HA	20.3	7.99	1446	1.12	94.5	346	117.1	941	340	60	732
	9	WAZ27HB	16.9	7.83	908	1.12	54	40	145.3	177	62	20	600
	10	WAZ27	17.3	7.90	1232	1.95	73.6	81	194.5	258	83	32	800
	11	WATAZ80	14.2	7.81	1137	3.88	61.3	84	264.6	267	79	112	656
	12	WAZ30	15.8	7.66	1404	2.47	68.4	112	-69.5	343	69	72	832
	13	WSFAZ-79-	22.7	7.98	1588	4.11	70.2	307	135.1	537	164	188	924
	14	WAZ33	22.7	7.98	1588	4.11	56.9	77	135.1	241	79	44	992
	15	WAZ39	14.43	7.74	1672	0.58	52.9	314	212.6	612	223	200	688
Zona IV, presa Valsequillo	16	WP200	19	7.27	760	1.86	22.5	3	270.6	18	6	20	456
	17	WP201	17.4	7.46	756	2.81	22	3	249	28	9	20	468
	18	WP202	18.8	8.00	730	11.26	22.6	6	252.2	58	26	20	452
	19	WP203	20.1	8.79	728	17.42	23.3	9	228	57	23	20	456
	20	WP204	19.9	8.73	727	20.7	25.6	12	196.2	87	24	20	492
	21	WP205	19.1	8.72	731	15.79	23.1	12	177.9	55	20	20	464
	22	WP206	21.1	9.06	707	21	26.8	15	152.8	96	31	20	468

Martínez-Tavera, 2016

Temperatura. Las principales anomalías presentadas en el parámetro de temperatura para la época invernal fueron en las estaciones: WZ17 ciudad de Tlaxcala, WAZ27HA Barranca Honda, WSFAZ79-1 río San Francisco y CAZ33 ubicado dentro del Ecoparque Metropolitano, así como de una zona habitacional importante. Estos puntos se caracterizan por la presencia de descargas de aguas residuales. El comportamiento de la temperatura de manera general es ascendente debido a que el muestreo se realizó a lo largo del día.

pH. El pH de la estación WA6, correspondiente a un sitio cercano a la desembocadura del colector industrial Quetzalcoatl con un valor de 8.7 quedando fuera de los valores esperados de acuerdo a la Declaratoria de clasificación de los río Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes para los plazos 2 y 3 (<6.5 - 8.5) y no así para el plazo 1 (<5 - 10). Adicionalmente, el primer valor presentado en la Presa Manuel Ávila Camacho en el punto WP200 después del consorcio de las macrofitas es de 7.27 terminando con un valor en la cortina de dicha presa de 9.06. Es importante mencionar que mientras se realizó el muestreo en las aguas contenidas en la presa se detectó la



presencia de una sustancia “aceitosa” atípica, lo que pudo ocasionar el incremento de los valores de este parámetro dejándolo por encima de lo encontrado en la cuenca alta.

Conductividad. La conductividad en esta época del año presenta un comportamiento ascendente desde la cuenca alta tanto del río Atoyac como del Zahuapan hasta el último punto antes de la desembocadura en la Presa Manuel Ávila Camacho CAZ39 correspondiente al sitio de la derivadora Echeverría. Es importante mencionar que el punto que sale de la tendencia es el CAZ27HA sitio en el cual se tiene localizada la descarga de aguas crudas de industria textil y aguas de uso doméstico. Una vez en la presa, este parámetro presenta una notable disminución y estabilidad después del consorcio de macrofitas.

Oxígeno Disuelto. El OD en invierno presenta valores de hasta 21 (mg/L) en los sitios de presas, lo que se atribuye a la alta producción fotosintética de las halófitas, lo que resulta en los niveles de OD sobresaturadas (Ahmed *et al.* 2014). En los datos registrados posteriores a la confluencia del río Zahuapan se presentan condiciones anóxicas principalmente en WA27HA y WZ27HB correspondientes a Barranca Honda por río secundario y río Atoyac, así como el punto WAZ39 correspondiente a Echeverría antes de la desembocadura con la presa Valsequillo.

Coefficiente de Absorción Espectral (SAC). En invierno el SAC refleja como el punto más contaminado el WA6 correspondiente a un sitio cercano a la descarga del colector industrial Quetzalcoatl, con valores muy por encima de los reflejados en el río Atoyac después de la confluencia con el río Zahuapan en la zona metropolitana de la ciudad de Puebla, lo que hace inferir que la contaminación por aguas residuales de origen industrial en la cuenca comienza a partir de este sitio.

Potencial de Óxido Reducción (OPR). Los valores presentados por el potencial de óxido reducción para puntos críticos son notablemente menos bajos que los presentados en época de estiaje quedando solo así los sitios CA10 (zona cercana a Xoxtla) y CAZ39 (derivadora Echeverría) con valores negativos y por tanto como los contaminados. Adicionalmente, podemos observar en la Presa Manuel Ávila Camacho valores decrecientes a partir de la entrada del río Atoyac, después del

consorcio de macrofitas hasta la cortina de la presa, relacionado con la presencia de una sustancia aceitosa atípica en este cuerpo de agua.

Turbidez. Este parámetro fisicoquímico refleja para esta temporada los sitios más contaminados en la cuenca: WA6 punto cercano al colector industrial Quetzalcoatl, el cual recoge las aguas residuales provenientes de procesos industriales de la zona de la ciudad de San Martín Texmelucan; WAZ27HA Barranca Honda en el cual se vierten las aguas crudas de industrias textiles y de uso público urbano; WSFAZ79-1 río San Francisco el cual conduce las aguas residuales de procesos industriales y de uso público urbano de la zona; y WAZ39 la Presa Echeverría. Asimismo, se observa que en los sitios correspondientes a la Presa Manuel Ávila Camacho una disminución y estabilización después del consorcio de macrofitas, debido a la sedimentación y filtro que generan. En esta época del año la presencia de lluvias es ocasional.

Demanda Bioquímica de Oxígeno. La demanda bioquímica de oxígeno a cinco días presenta en la matriz del río en cuatro puntos como los más contaminados WA6 (399 mg/l), WAZ27HA 340 mg/l), WASFAZ79-1 (164 mg/l) y WAZ39 (223 mg/l). Es importante mencionar que en el punto WA6 cercano al sitio de descarga del colector industrial Quetzalcoatl además de vertirse aguas residuales de procesos industriales también se vierten aguas residuales de origen de uso público urbano, ya que aún no se encontraba en funcionamiento la planta de tratamiento del municipio de San Martín Texmelucan. Esta planta de tratamiento es la más grande en la cuenca alta con una capacidad de diseño de 200 lts/s y pertenece a uno de los municipios más grandes en la cuenca y del estado de Puebla. El comportamiento de este parámetro en la presa es de orden ascendente debido al problema de contaminación puntal anteriormente referido respecto a la presencia de una sustancia aceitosa.

Demanda Química de Oxígeno. Los sitios reportados como los más contaminados de acuerdo a éste parámetro son WA6 (529 mg/l), WAZ27HA (941 mg/l), WSFAZ79-1 (537 mg/l) y WAZ39 (612 mg/l). El hecho de que se presenten valores más altos antes de la desembocadura del río a la presa presupone dos líneas: la primera es la actuación de



la macroplantas de tratamiento de la ciudad de Puebla y la incorporación de afluentes a la matriz del río provocando un efecto de dilución.

Sólidos Suspendidos Totales. Los sólidos suspendidos en la matriz del río para la época invernal presentan como los puntos más contaminados de la cuenca a WA6 (104 mg/l), WATAZ80 (112 mg/l), WSFAZ79 (188 mg/l), WAZ39 (200 mg/l) siendo estos valores superiores a los establecidos en la Declaratoria de clasificación de los río Atoyac y Xochiac o Hueyapan para los tres plazos y diferentes secciones. El comportamiento de este parámetro dentro de la presa es estable y con bajos niveles después del consorcio de macrofitas.

Sólidos Disueltos Totales. El comportamiento de los sólidos disueltos para esta época del año es ascendente desde la cuenca alta tanto para el río Zahuapan como el Atoyac hasta su desembocadura en la Presa Manuel Ávila Camacho presentando dos anomalías en WA10 (868 mg/l) y WSFAZ79-1 (924 mg/l) y WAZ33 (933 mg/l) sobrepasando los cuatro puntos lo planteado en el plazo 2 y 3 de la Declaratoria de clasificación de los río Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes donde se requieren valores de entre 500 y 720 mg/l dependiendo de la sección y plazo. Esta tendencia ascendente se presenta a pesar de la presencia de las macroplantas de tratamiento en la ciudad de Puebla, debido a que en su mayoría cuentan con un tratamiento de primario avanzado. Este parámetro se presenta estable dentro de la presa, sin embargo no disminuye del todo a pesar de su paso por el consorcio de macrofitas (Martínez-Tavera, 2016).

Índice de calidad del agua (ICA). Por lo tanto este índice estará conformado de los parámetros: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (λ), coeficiente de absorción espectral (SAC), temperatura (T), potencial de óxido reducción (ORP), oxígeno disuelto (OD) y turbidez (TURB). La ecuación que describe al ICA_{ATOYAC} se muestra a continuación (Martínez-Tavera *et al.*, 2016):

$$ICA_{\text{ATOYAC}} = \sum_{i=1}^n \left(\left| \frac{pH_0 - pH_n}{pH_0} \right| \right) + \left(\left| \frac{\lambda_0 - \lambda_n}{\lambda_0} \right| \right) + \left(\left| \frac{SAC_0 - SAC_n}{SAC_0} \right| \right) + \left(\left| \frac{T_0 - T_n}{T_0} \right| \right) + \left(\left| \frac{ORP_0 - ORP_n}{ORP_0} \right| \right) + \left(\left| \frac{OD_0 - OD_n}{OD_n} \right| \right) + \left(\left| \frac{TURB_0 - TURB_n}{TURB_n} \right| \right)$$

Y se propusieron los siguientes rangos para la semaforización de la cuenca del Alto Atoyac (tabla 52). Es importante mencionar que conforme se realicen un mayor número de mediciones a lo largo del tiempo, permitirá hacer ajustes respecto a esta semaforización, debido a que las descargas de aguas residuales provienen de distintas fuentes y por lo tanto concentraciones de contaminantes.

Tabla 52. ICAATOY, Semaforización

Rango	Grado de Contaminación
0 - 50	No contaminado
51 - 100	Medianamente contaminado
101 - 200	Contaminado
201 - 500 o más	Fuertemente contaminado

Martínez-Tavera, 2016

Por lo tanto, los resultados de la semaforización de la cuenca para estiaje, lluvias e invierno fueron los siguientes (fig.s 30, 31 y 32).

Tabla 52a. ICA río Atoyac semaforizado para estiaje 2013, lluvias 2013 e invierno 2014

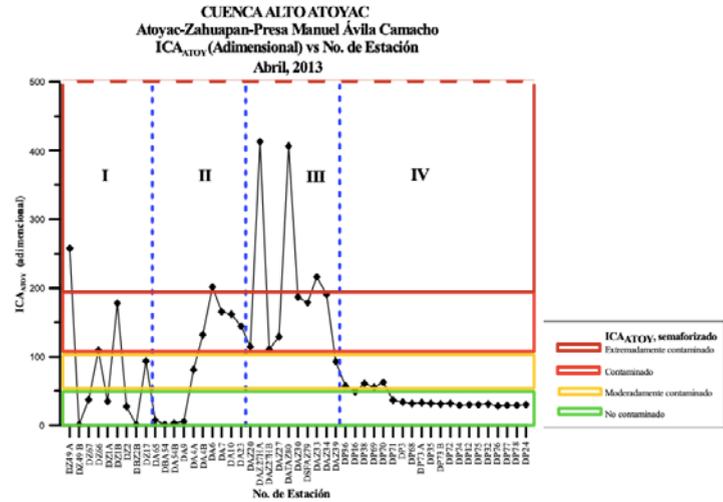
Número	Estación	ICA _{ATOYAC} Estiaje	Estación	ICA _{ATOYAC} Lluvias	Estación	ICA _{ATOYAC} Invierno
1	DZ49 A	257.74	RZ49 A	10.44		
2	DZ49 B	1.22	RZ49 B	2.66		
3	DZ67	37.89	RZ67	48.79	WZ67	33.83
4	DZ66	109.03	RZ66	57.47	WZ66	93.56
5	DZ1A	35.12	RZ1A	86.60		
6	DZ1B	178.14	RZ1B	64.44		
7	DZ2	27.33	RZ2	95.73		
8	DBZ2B	0.99	RBZ2B	2.26		
9	DZ17	93.81	RZ17	26.36	WZ17	204.64
10	DA65	7.97	RA65	5.79		
11	DBA54	0.99	RBA54	2.20		
12	DA54B	3.45	RA54B	3.88		
13	DA9	5.98	RA9	2.32		
14	DA4A	80.73	RA4A	4.83		
15	DA4B	132.24	RA4 B	41.48		



16	DA6	201.31	RA6	46.99	WA6	458.51
17	DA7	165.82	RA7	49.90		
18	DA10	161.60	RA10	127.93	WA10	110.55
19	DA23	144.74	RA23	98.00	WA23	171.11
20	DAZ20	114.88	RAZ20	43.02	WAZ20	151.74
21	DAZ27HA	412.98	RAZ27 HA	182.29	WAZ27HA	505.03
22	DAZ27HB	111.26	RAZ27 HB	107.09	WAZ27HB	132.19
23	DAZ27	129.58	RAZ27	93.41	WAZ27	206.89
24	DATAZ80	406.96	RATAZ80	210.05	WATAZ80	190.68
25	DAZ30	187.05	RAZ30	125.70	WAZ30	228.29
26	DSFAZ79	178.59	RSFAZ79	6.90	WSFAZ79	425.33
27	DAZ33	216.14	RAZ33	150.83	WAZ33	173.16
28	DAZ34	190.84	RAZ34	72.59		
29	DAZ39	93.07	RAZ39	46.69	WAZ39	406.29
30	DP36	57.63	RP100	3.00	WP200	45.16
31	DP16	49.77	RP101	3.51	WP201	43.71
32	DP38	61.52	RP102	2.97	WP202	48.98
33	DP69	55.55	RP103	2.80	WP203	54.05
34	DP70	62.56	RP105	2.67	WP204	60.89
35	DP71	37.06	RP106	2.78	WP205	55.23
36	DP3	33.99	RP107	2.88	WP206	64.95
37	DP68	32.37	RP108	3.65		
38	DP73 A	33.24	RP109	7.05		
39	DP35	32.23	RP110	4.14		
40	DP73 B	31.12	RP111	3.24		
41	DP72	32.06	RP112	2.75		
42	DP74	29.65	RP113	2.72		
43	DP12	30.72	RP114	2.97		
44	DP75	30.12	RP115	2.57		
45	DP32	31.18	RP116	3.46		
46	DP76	28.45	RPTA117	5.31		
47	DP77	29.81	RPTA118	2.47		
48	DP78	29.06				
49	DP24	30.55				

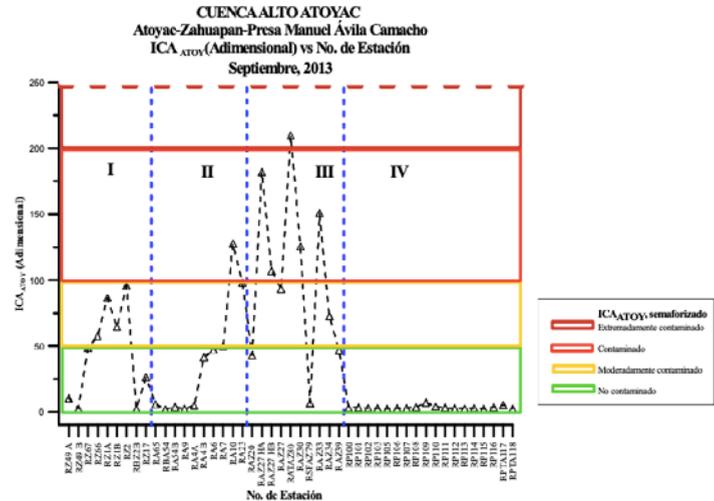
Martinez-Tavera, 2016

Figura 30. ICA río Atoyac, estiaje 2013



Martinez-Tavera, 2017

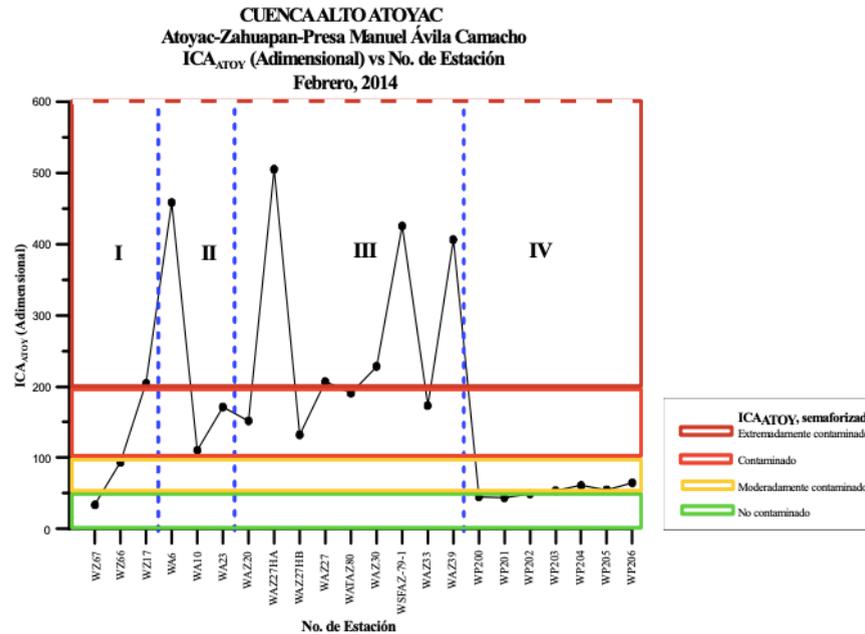
Figura 31. ICA río Atoyac, Lluvias 2013



Martinez-Tavera, 2017



Figura 32. ICA río Atoyac, Invierno 2014



Martínez-Tavera, 2017

Los sitios con mayor contaminación fueron en estiaje DA6 (Quetzalcoatl), DAZ27HA (Barranca Honda), DATAZ80 (río Rabanillo), DAZ33 (Ecoparque); en lluvias RATAZ80 (río Rabanillo); y en invierno WZ17 (río Zahuapan antes de su confluencia), WA6 (Quetzalcoatl), WAZ27HA (Barranca Honda), WAZ27 (Barranca del Conde), WAZ30, WSFAZ79 (río San Francisco) y WAZ39 (Presas Echeverría) (Martínez-Tavera, 2016).

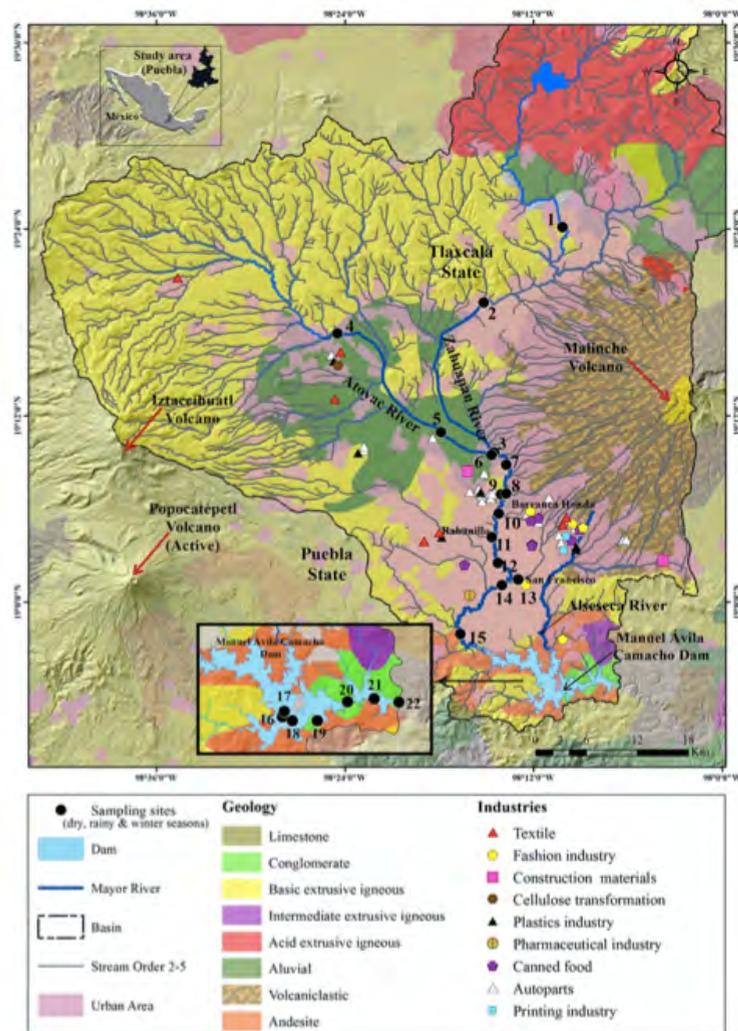
En la misma línea de investigación el equipo de Martínez-Tavera *et al.* (2017) realizaron una determinación de las variaciones espacio-temporales de los diez parámetros fisicoquímicos en la calidad del agua de la cuenca del río Atoyac, centro de México. Basados en los 22 sitios de muestreo ubicados a lo largo de la cuenca durante las tres estaciones diferentes (seca, lluviosa e invernal) mencionados anteriormente. Se utilizaron técnicas estadísticas multivariadas como la matriz de

correlación, el análisis factorial (FA) y el análisis de conglomerados (AC) como herramienta para comprender el proceso.

Se recolectaron un total de 66 muestras de agua de río de 22 sitios de monitoreo para tres estaciones diferentes: seca (abril), lluviosa (septiembre) e invierno (febrero) en el río Zahuapan (estaciones números 1 a 3), río Atoyac (estaciones números 4 a 6), zona de confluencia (Estación números 7 a 15) y presa de Valsequillo (Estación núm. 16–22) durante el período 2013–2014. Las estaciones de muestreo fueron designadas de tal manera que cubren una amplia gama de factores como drenajes residenciales, descargas industriales, erosión natural del suelo e influencia de volcanes en las tres secciones de la cuenca del río Atoyac (fig. 33).



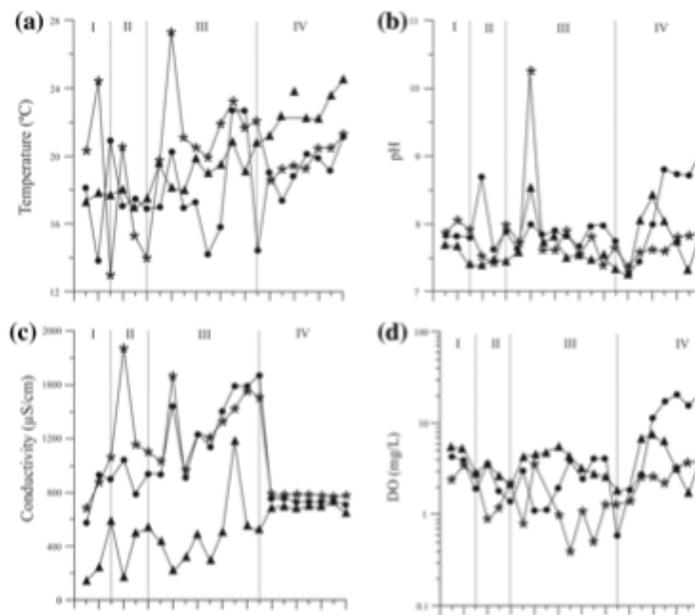
Figura 33. Mapa de estudio que ilustra las ubicaciones de muestreo del río Zahuapan (muestras 1 a 3), el río Atoyac (muestras 4 a 6), la zona de confluencia (muestras 7 a 15) y la presa de Valsequillo (muestras 16 a 22), México

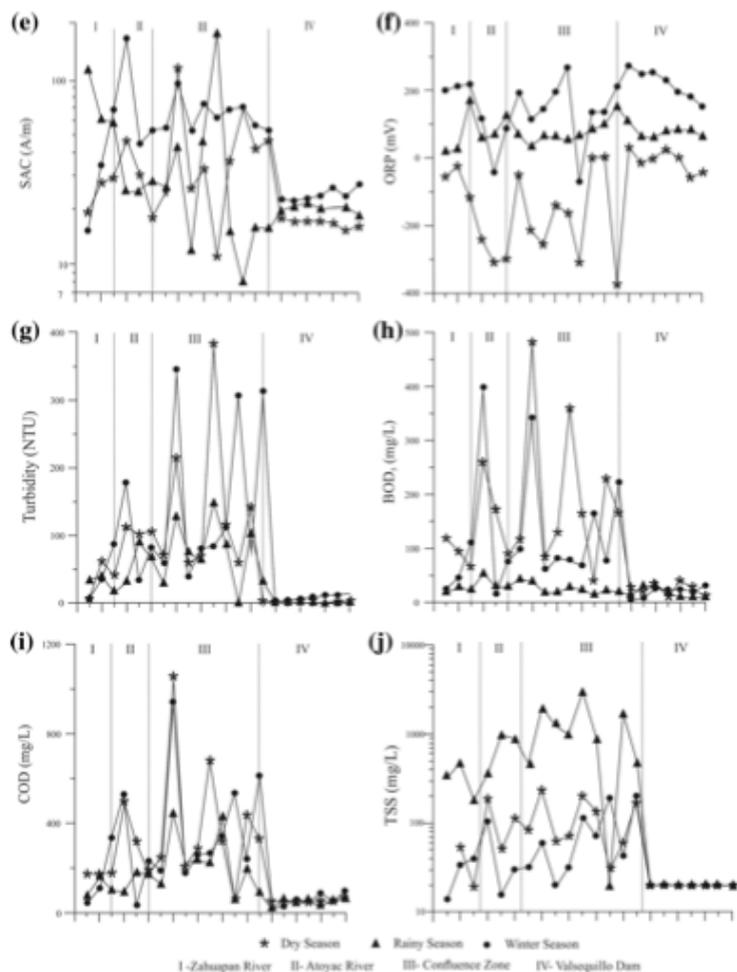


Resultados. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos de tres estaciones diferentes (seca, lluviosa e invernal) se presentan en la fig. 34a - 34j.

Los valores medios de temperatura oscilaron entre 16°C y 23°C a lo largo del arroyo. Las altas temperaturas observadas en las estaciones de muestreo 8 (27°C), 22 (28°C), 13 (22°C) y 14 (22°C) durante la estación seca se atribuyen al impacto influyente de los efluentes de los alrededores. Zonas industriales de curtiduría y cuero, a base de metales y textiles, incluidas las aguas residuales domésticas de las regiones urbanas, lo que resulta en aportes directos de calor al sistema fluvial (El Morhit y Mouhir 2014).

Figura 34a - 34j. Variaciones en los parámetros fisicoquímicos de tres estaciones diferentes (seca, lluviosa e invernal) en 22 sitios de muestreo en la cuenca del río Atoyac, México





Martínez-Tavera *et al.* 2017

Estacionalmente, los valores de temperatura variaron entre 13°C y 27 ° C en la estación seca, 16°C a 28°C durante las lluvias y 13°C y 22 ° C en la temporada de invierno. Las bajas temperaturas de 13°C en las temporadas secas, 16°C en las lluviosas y 13°C en las temporadas invernales fueron presentadas por las estaciones más cercanas al origen de los ríos Zahaupan y Atoyac en la sierra.

Se observó que los valores de pH eran similares en todas las estaciones excepto en las estaciones números: 8, 19, 20 y 22. El repentino aumento del valor de pH (10 en época seca) en la estación 8 se debe a la influencia de vertidos ocasionales de grandes cantidades de aguas residuales de las industrias textiles que se ven fuertemente afectadas por los procesos de tintura, desengrasado, blanqueo y lavado. También se observan valores altos similares de pH (10-11,5) (Chhonkar *et al.*, 2000) en algunos de los ríos del continente asiático (río Pali en India), que está influenciado y afectado por los diferentes tipos de tintes y otros, materiales (por ejemplo, algodón, sintético, etc.) (Nordin *et al.*, 2013; Sharma *et al.*, 2013). Los valores altos de pH (estación 20: 8.08, estación 19: 8.13, estación 22: 8.28) presentados por las estaciones de la represa están vinculados a la presencia de aguas cálidas y una intensa actividad fotosintética de macrofitos que dan como resultado una alta producción de CO₂ y por lo tanto haciendo que las aguas sean de naturaleza alcalina (Saxsena y Saksena 2012). Temporalmente, la actividad iónica potencial promedio del hidrógeno (pH) en las aguas de la cuenca del río Atoyac fue relativamente alta en la temporada de invierno (8.01) que el pH de 7.81 durante el período seco y 7.67 durante la temporada de lluvias.

La zona de confluencia (estaciones números 6 a 15) exhibió una conductividad promedio alta (1030.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en comparación con las secciones aguas arriba (766.54 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y presa (733.94 $\mu\text{S}/\text{cm}$) que atestiguan el impacto de descargas de actividades industriales. Conductividad extremadamente alta de 1870 $\mu\text{S}/\text{cm}$ observada en la estación 4 se debe al efecto de los contaminantes iónicos de las actividades industrial (textil, petroquímica y automotriz) y agrícola durante la estación seca. Las variaciones en los valores de conductividad también dependen del lecho rocoso del área ya que en lugares subrayados por granitos tienen conductividades menores como se observa en las estaciones del río Zahaupan subrayado por ignimbritas [(874 $\mu\text{S}/\text{cm}$) seco; (321.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$) lluvioso; (800.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$) invierno] y en regiones de calizas, cloruros, minerales arcillosos, fosfatos y nitratos muestran valores más altos que los observados en las estaciones del río Atoyac y su confluencia [valores promedio (1375 $\mu\text{S}/\text{cm}$) seco; (502.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$) lluvioso; (1322.89 $\mu\text{S}/\text{cm}$) invierno]. En la sección de la presa, valores de conductividad [valores promedio: (775 $\mu\text{S}/\text{cm}$) seco; (693 $\mu\text{S}/\text{cm}$) lluvioso; (734 $\mu\text{S}/\text{cm}$) invierno] fueron más bajas que la sección río



arriba debido a la ausencia de insumos industriales que conducen a mayores valores de conductividad por mayores cantidades de iones disueltos liberados de desechos orgánicos e inorgánicos (Wright, 1982; Singh *et al.*, 2013). En general, los valores de conductividad fueron más altos durante la estación seca (promedio 1094.32 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en comparación con las temporadas lluviosa (promedio 524.82 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e invernal (promedio 1009.36 $\mu\text{S}/\text{cm}$), respectivamente.

Las condiciones de oxígeno disuelto oscilaron entre el nivel anóxico 0 mg/L en el período seco (estación 9) y el valor alto 21 mg/L en el invierno (estación 22). En las tres temporadas, se observaron valores altos de 3.8 mg/L (seco), 7.76 mg/L (lluvioso) y 21 mg/L (invierno) en los sitios de represas, lo que se atribuye a la alta producción fotosintética de las macrófitas, resultando en niveles de OD sobresaturados (Ahmed 2014). Los valores anóxicos y bajos de OD (seco: 0 mg/L; invierno: 0.58 mg/L; lluvioso: 1.8 mg/L) en la zona de confluencia de los ríos Atoyac y Zahaupan se deben al efecto de la alta demanda de oxígeno por materia orgánica en el Residuo de aguas residuales de actividades domésticas e industriales (Paerl *et al.* 1998). En las tres estaciones (seca: 1,5 mg/L; lluviosa: 0,41 mg/L; invierno: 3 mg/L) se observaron en el embalse debido a la disminución en la velocidad de las aguas a medida que se depositan las partículas de sedimento en suspensión (Skalak *et al.*, 2013). Las temporadas seca e invernal experimentaron turbiedades máximas de 381.7 NTU y 346 NTU, respectivamente, cuando el efecto de dilución de las lluvias y la erosión de los suelos fue mínimo, aumentando la presencia de partículas individuales.

Las mediciones de SAC se utilizan para identificar la reflectancia espectral acuática y validar las características fotoquímicas y fotobiológicas de las aguas naturales (Mitchell *et al.*, 2002). La variación espacial de los valores de SAC a lo largo del río mostró valores máximos en las Estaciones 14, 13, 4, 12, 8, experimentando un alto impacto de influencia de las aguas residuales industriales y municipales. Estacionalmente, se detectó que eran altos durante el invierno (promedio 51,53 A/m) y se observaron valores similares en las temporadas seca (promedio 31,37 A/m) y lluviosa (promedio 38,38 A/m). Los mayores coeficientes de absorción en la estación seca exhibidos por las estaciones de muestreo más cercanas a los puntos de descarga industrial se

atribuyen al impacto de las aguas residuales sedimentadas sin tratar, mientras que durante las temporadas de lluvias, altas cantidades de atenuación de las aguas como consecuencia del efecto de dilución resultaron valores más bajos (Reynolds y Ahmad, 1997).

El valor de ORP negativo observado en la estación 15 fue (-370.1 mV) durante la estación seca se debe a la influencia de los efluentes de las industrias textil y automotriz que contienen altas cantidades de desechos metálicos que resultan en la reducción de las condiciones del sustrato y la disminución del valor de ORP (Horne y Goldman, 1994; Kiran Kumar *et al.*, 2016). Los altos valores positivos en la presa (estación 16: 134.70 mV) se atribuyen a la presencia de un gran número de macrófitas y altos niveles de OD que resultan en un ambiente oxidante. Se dedujo que las variaciones temporales en las condiciones potenciales redox de la cuenca del río estudiada son: invierno: 165,49 mV; lluvioso: 76,85 mV; seco: -119.25 mV, donde los valores altos en invierno se deben a las altas cantidades de oxígeno disuelto.

Las mediciones de DQO y DBO_5 se utilizan como pruebas proxy repetitivas para estimar la carga de carbono orgánico en los sistemas fluviales. Se observó también, que los valores de DQO (127,82 mg/L) eran superiores a los de los valores de DBO_5 (80,43 mg/L), ya que la DBO_5 mide solo los componentes biodegradables. Especialmente, las estaciones en la zona de confluencia presentaron niveles elevados de DQO (815-194,87 mg/L), dominados por la presencia de industrias. DQO alto en el período seco (promedio 250,36 mg/L) y bajo los valores en la temporada de lluvias (promedio de 144,73 mg/L) indican las altas cantidades de oxígeno necesarias para oxidar todo el material orgánico en un efluente residual sin tratar (Cieszynska *et al.*, 2012). Las mediciones de DBO_5 también mostraron un patrón similar de DQO en las estaciones 8, 4, 11, 15, 14. Sin embargo, los niveles elevados de DBO_5 en la estación seca (promedio de 124,41 mg/L) indican el grado de contaminación orgánica en los sistemas acuáticos y materia orgánica, que sufre descomposición biótica (Jonnalagadda y Mhere, 2001).

Las variaciones espaciales de los niveles promedio de Sólidos Suspendidos Totales (SST) variaron entre 13 mg/L en la presa; 188,6 mg/L aguas arriba y 456,3 mg/L después de la zona de confluencia. Los va-



lores más bajos de SST observados en la sección de la presa se deben al hecho de que a velocidades menores, los sólidos en suspensión tienden a asentarse (Davidson y Summerfelt 2004). Las variaciones estacionales de SST (sólidos totales en suspensión) observadas en el estudio presentaron valores altos en la época de lluvias (promedio 644,41 mg/L) y fueron mayores (todos los valores en mg/L) en las estaciones números 11 (2996 mg/L), 8 (2009 mg/L), 14 (1730 mg/L), 9 (1234 mg/L) debido a la precipitación intensa, la erosión del suelo y el aumento de la generación de escorrentías industriales (procesamien-

to de alimentos) y domésticas (Nasrabadi *et al.* 2016). Comparativamente, se observaron valores muy inferiores de SST en las estaciones seca (promedio de 67.5 mg/L) e invierno (promedio de 51.73 mg/L) debido al impacto menos influyente de los procesos erosivos y los canales que traen residuos de los humanos y actividades inducidas (Pimentel, 2006).

La tabla 53 muestra la correlación entre los parámetros de calidad del agua para tres estaciones diferentes (seca, lluviosa e invernal).

Tabla 53. Matriz de correlación de parámetros fisicoquímicos para tres estaciones diferentes (seca, lluviosa e invernal) en la cuenca del río Atoyac, México

	T	pH	COND	DO	TURB	SAC	ORP	COD	BOD ₅	TSS
Dry season (n = 22)										
T	1.00									
pH	0.47*	1.00								
COND	-	-	1.00							
DO	-	0.44*	-0.42*	1.00						
TURB	-	-	0.54*	-	1.00					
SAC	0.58*†	0.72*†‡	0.73*†‡	-	-	1.00				
ORP	-	-	-0.54*†	-	-	-	1.00			
COD	-	0.65*†‡	0.72*†‡	-	0.80*†‡	0.68*†‡	-0.47*	1.00		
BOD ₅	-	0.59*†	0.73*†‡	-	0.83*†‡	0.64*†	-0.47*	0.99*†‡	1.00	
TSS	-	0.48*	0.79*†‡	-	0.75*†‡	0.57*†	-0.69*†‡	0.87*†‡	0.88*†‡	1.00
Rainy season (n = 22)										
T	1.00									
pH	-	1.00								
COND	0.56*†	-	1.00							
DO	-	0.78*†‡	-	1.00						
TURB	-0.58*†	-	-0.56*†	-	1.00					
SAC	-	-	-	-	-	1.00				
ORP	-	-0.49*	0.43*	-0.58*†	-	-	1.00			
COD	-0.47*	-	-0.53*	-	0.94*†‡	-	-	1.00		
BOD ₅	-0.49*	-	-0.54*†	-	-	-	-	-	1.00	
TSS	-0.47*	-	-0.50*	-	0.96*†‡	-	-	0.94*†‡	-	1.00
Winter season (n = 22)										
T	1.00									
pH	-	1.00								
COND	-	-	1.00							
DO	-	0.83*†‡	-0.46*	1.00						
TURB	-	-	-	-0.42*	1.00					
SAC	-	-	0.82*†‡	-	0.61*†	1.00				
ORP	-	-	-	-	-	-	1.00			
COD	-	-	0.77*†‡	-	0.72*†‡	0.95*†‡	-	1.00		
BOD ₅	-	-	0.57*†	-	0.88*†‡	0.82*†‡	-	0.89*†‡	1.00	
TSS	-	-	0.76*†‡	-	0.46*	0.81*†‡	-	0.68*†‡	0.59*†	1.00

T Temperature; COND conductivity; DO dissolved oxygen; TURB turbidity; SAC spectral absorption coefficient; ORP oxidation reduction potential; COD chemical oxygen demand; BOD₅ biological oxygen demand; TSS total suspended solids

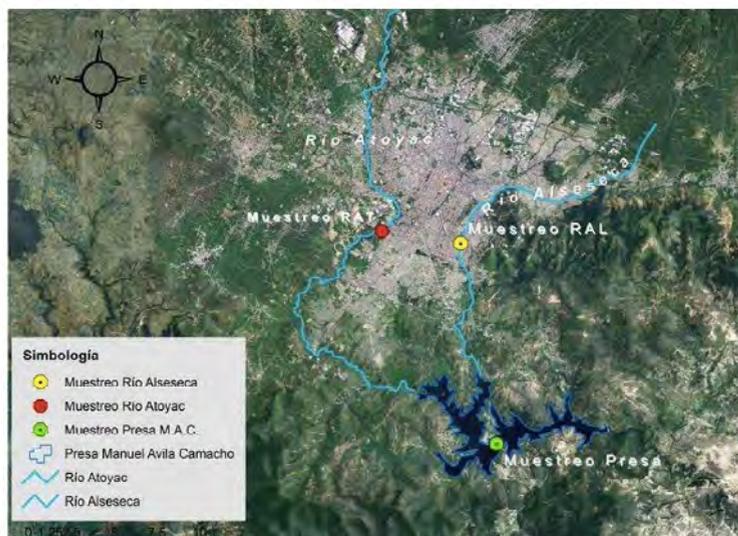
* $p < 0.5$, † $p < 0.01$, ‡ $p < 0.001$ (only significant values are shown)



PERÍODO 2014

El grupo de Ortiz (2015) presentó la determinación de parámetros fisicoquímicos: Conductividad, pH, Temperatura Cr hexavalente, DBO₅, DQO y Número más probable de coliformes fecales en placa, en muestras de aguas de los ríos Alseseca, Atoyac y la Presa Valsequillo también llamada Ávila Camacho realizados en 2014 que se muestran en la fig.35.

Figura 35. Puntos de muestreo en el río Alseseca (punto amarillo), río Atoyac (punto rojo) y la Presa Manuel Ávila Camacho (punto verde)



Ortiz, 2015

Resultados. El río Atoyac aporta las mayores cantidades de Cromo Hexavalente, el cual sobrepasa el límite máximo permisible según la NOM-127-AA-SSAI (tabla 54). Este valor se puede atribuir a los contaminantes químicos desechados por las empresas existentes en la región, considerando que el Cromo es un contaminante proveniente de las industrias. Sin embargo la presencia de este contaminante en el río demuestra el manejo inadecuado que le dan las empresas industriales a sus residuos.

En relación con la determinación de Coliformes Fecales, el río Alseseca y el Atoyac tienen valores relativamente similares, sin embargo en el río Alseseca se cuantificó una mayor cantidad. Este resultado se atribuye a la ubicación de los sitios de muestreo, donde se encuentran las descargas provenientes de asentamientos urbanos. De acuerdo a la prueba de DQO, el río Atoyac tiene una mayor cantidad de microorganismos. Este resultado indica la probable existencia de bacterias, hongos y otros organismos que degradan la materia orgánica, incluso fecal. En cuanto los resultados de la situación actual de la presa Manuel Ávila Camacho, en años anteriores se reporta una contaminación alta, pero a través del tiempo ha recibido una mayor descarga de Cromo y Coliformes Fecales (tabla 55).

Tabla 54. Principales resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos para los tres cuerpos de agua

Cuerpo de agua	Resultado del Análisis	Límites Máximos Permisibles	Diagnóstico
Cromo Hexavalente			
Presa Valsequillo	0.0659 mg/l	0.05 mg/l	No cumple
Río Atoyac	0.0641 mg/l		No cumple
Río Alseseca	0.0631 mg/l		No cumple
Demanda Química de Oxígeno			
Presa Valsequillo	653.6mg/l	200 mg/l	No cumple
Río Atoyac	805.6mg/l		No cumple
Río Alseseca	501.6mg/l		No cumple
Coliformes Fecales en placa			
Presa Valsequillo	73 NMP/ml	Ausencia o 2NMP/ml	No cumple
Río Atoyac	440 NMP/ml		No cumple
Río Alseseca	2400 NMP/ml		No cumple
Coliformes Fecales en tubo			
Presa Valsequillo	300 NMP/ml	Ausencia o 2 NMP/ml	No cumple
Río Atoyac	7500 NMP/ml		No cumple
Río Alseseca	Incontable		No cumple

Ortiz, 2015

Tabla 55. Datos de comparación de acuerdo a los resultados obtenidos de análisis realizados anteriormente

Análisis	Cedeño-Valdez et al., 2008	Villasana et al., 2009	Rodríguez-Espinoza et al., 2011	2014
Cromo	< 0.04 mg/L	<0.05 mg/L	NR	0.0659 mg/l
DQO	NR	1841 mg/l	22 mg/l	860mg/l
*Coliformes fecales	NR	2,64 mg/l	NR	24mg/l

Ortíz, 2015

Los altos índices de deterioro de la calidad de por los asentamientos humanos y la apertura de nuevas industrias que depositan sus desechos en los ríos que desembocan en la presa. También es probable que la persistente contaminación del agua de la presa se deba al mal manejo de los lodos derivados del agua residual de las plantas de tratamiento. Los resultados observados en este estudio son similares a los encontrados en estudios previos realizados en la presa, donde determinaron DQO, Cromo, Coliformes fecales entre otros. Dichos estudios han encontrado una fuerte relación entre la presencia de contaminantes y el deterioro de la fauna, flora y la salud de gran parte de la población (Ortíz, 2015).

PERÍODO 2015

El equipo de investigadores de Bravo *et al.* (2015), desarrolló un estudio sobre la evaluación toxicológica del río Atoyac y su relación con los parámetros fisicoquímicos en el cual el objetivo principal fue evaluar la toxicidad encontrada en el río Atoyac y descargas municipales e industriales, por medio de la revisión del impacto de la contaminación del sistema acuático con la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, de acuerdo con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996, así como en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89). La sección del río Atoyac que se estudió inicia 1.40 km aguas arriba de la descarga municipal Santa Rita Tlahuapan, estado de Puebla, antes de la confluencia con el río Atotonilco y finaliza en la desembocadura de la presa Valsequillo “Manuel Ávila Camacho” (SRH, 1970) y tiene una longitud de 84.97 km (fig. 36); por otro lado el afluente río Xochiac,

fue también evaluado a detalle por tener un número de descargas industriales y municipales, y que se incluyó en un tramo de 31.6 km.

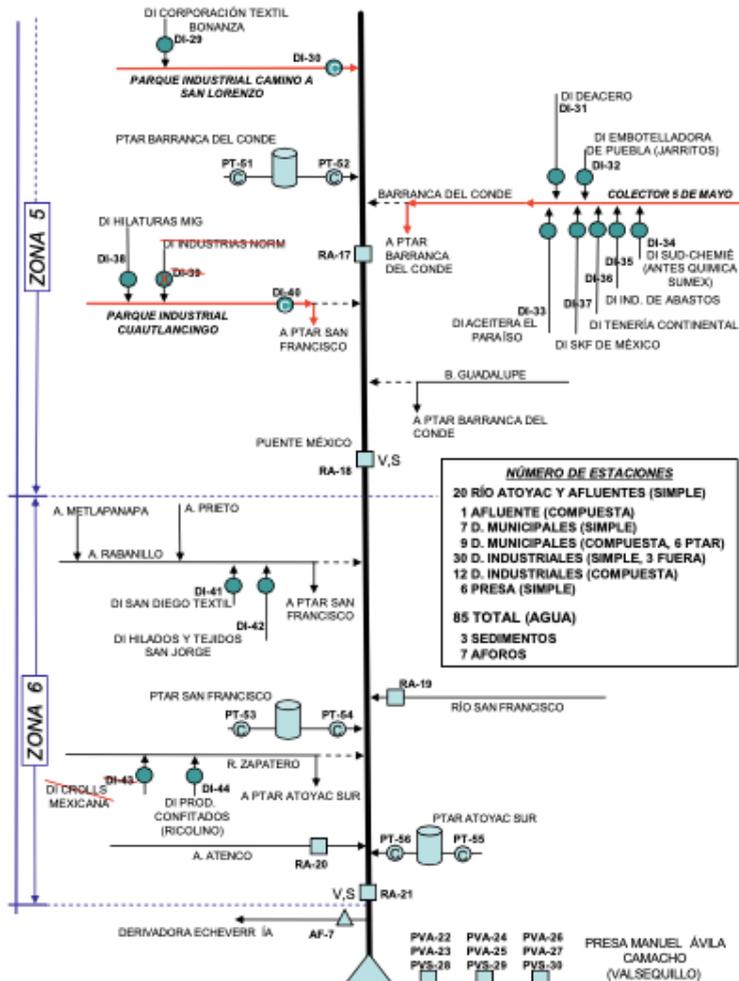
Durante el estudio se realizaron dos campañas de monitoreo, en julio y noviembre. De un total de 85 estaciones se evaluaron 52 descargas de aguas residuales, distribuidas en 42 descargas industriales y 10 descargas municipales; además, se incluyeron 6 estaciones en los influentes y efluentes de tres plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Además, se realizó un total de 21 estaciones en ríos y afluentes. Se establecieron un total de diez estaciones de monitoreo en el río Atoyac y comprendió una estación testigo, aguas arriba de la población de Tlahuapan hasta una estación aguas arriba de la derivadora Echeverría. Las estaciones de muestreo, en esquema, se presenta solo, a modo de ejemplo, el tramo 3 de 3, en la fig. 37 y 38.

Figura 36. Localización del área de estudio



Bravo *et al.* 2015

Figura 38. Esquema final (3 de 3) de las estaciones en los ríos, afluentes, descargas municipales e industriales, parte sur del río Atoyac

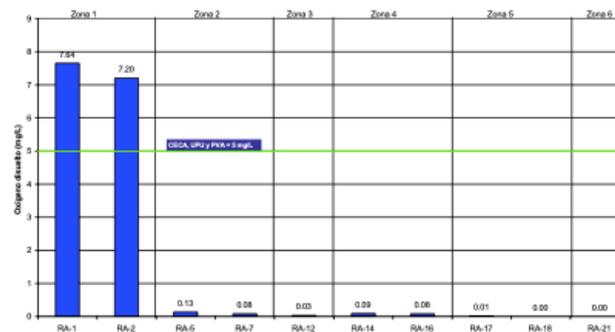


El caudal del río Atoyac aumentó considerablemente debido a grandes descargas a lo largo de su recorrido. En la estación RA-1 el río empezó con un caudal de 273.33 L/s y finalizó en la presa Valsequillo con 5,685.77 L/s, resaltando como el aporte más significativo el río Zahuapan, en la zona cuatro,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

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

Al analizar las diez estaciones evaluadas sobre el río Atoyac, los valores de oxígeno disuelto disminuyeron de modo significativamente marcado, de una etapa aerobia en las dos primeras estaciones (con 8.97 y 8.29 mg/L, respectivamente), a un nivel de marcada anoxia (<0.34 mg/L) y, por lo tanto a partir de la tercera estación (RA-5), ya no se logró recuperar el sistema (fig. 39).

Figura 39. Comportamiento del oxígeno disuelto en el cauce del río Atoyac



Bravo et al. 2015,

Bravo et al. 2015



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

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

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

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

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

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

La Evaluación cualitativa de la calidad del agua (ECCA), en el que se consideraron todos los parámetros convencionales de calidad de agua, y su valor se agrupó cualitativamente en un número; para el caso de las descargas directas, el diagnóstico de los resultados mostraron lo siguiente:

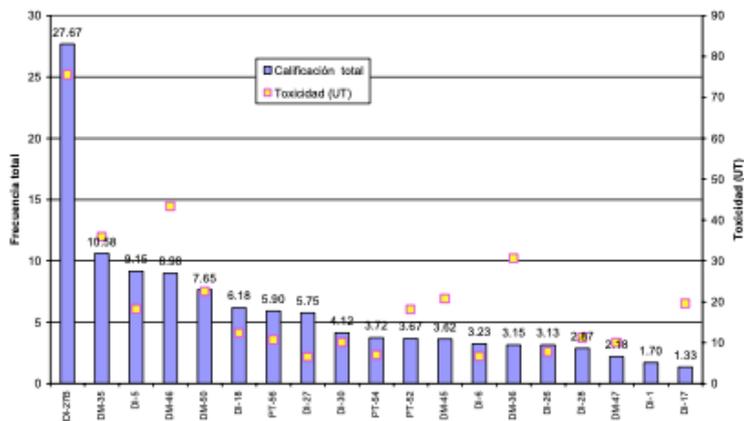
En la **fig. 40** se observa una concordancia que se puede calificar de buena a regular entre las calificaciones del ECCA y los valores de toxicidad.

Se presentó la mayor contaminación en las zonas 5, 2 y 1. Los datos más extremos, tanto en la calificación del ECCA, como en su toxicidad fueron: correspondieron a *DI-27B* Ciba, descarga B, con 27.67 puntos y una toxicidad récord de 75.5 UT; seguida un tanto más abajo por dos descargas de la zona 2 y una de la zona 1 y que fueron la DM-35 San Baltazar Temaxcalac, *DI-5* Colector Industrial Quetzalcóatl y DM-46 Tlalancaleca, con calificaciones de 10.6, 9.1 y 8.9, respectivamente.

En la cuestión salud de los habitantes, y debido al tipo de industrias que prevalecen en la región, es posible suponer que las rutas de exposición incluyan la inhalación e ingestión para la población general, y contacto dérmico para agricultores o trabajadores del campo.



Figura 40. Clasificación de la contaminación del agua y la toxicidad de las descargas directas



Bravo et al. 2015

El 4 de diciembre de 2015 la Fundación Dale la Cara al Atoyac (2016), realizó cuatro muestreos en dos puntos del río Atoyac en el tramo que cruza la ciudad de Puebla: el primero ubicado en La Constanca, y el segundo en el Ecoparque Metropolitano, a la altura de Cúmulo de Virgo. Las muestras fueron analizadas para determinar los contaminantes contemplados en la Declaratoria de Clasificación para los ríos Atoyac-Xochiac (Hueyapan) y sus Afluentes, así como en los criterios ecológicos establecidos por CONAGUA. Los resultados de análisis de aguas residuales de muestras compuesta y el dictamen técnico de los resultados del monitoreo se muestran en las tablas 56, 57 y 58.

Tabla 56. Resultados de análisis de aguas residuales de muestras compuestas

Parámetro	Método de prueba	Unidad	Resultado analítico	Valor Permisible	Valor permisible
Temperatura	NMX AA-007-SCFI-2013	°C	17.92	≤35	Cond. Nat. ≤ 1.5
pH	NMX-AA-SCFI-2011	Unidad	6.59	6.5-8.5	5-9
Conductividad	NMX-SS-093_SCFI-2000	μS/cm	1165.00	No normado	No normado
Materia Flotante	NMX-AA-005-SCFI-2010	**	Presente	ausente	11,2
Parámetro	Método de prueba	Unidad	Concentración	Concentración permisible	Concentración permisible
Color	NMX-AA-045-SCFI-2001	Pt-Co	200	≤100	75,0
Sólidos sedimentables	NMX-AA-004-SCFI-2013	mL/L	0.7	≤1	No normado
Sólidos suspendidos totales	NMX-AA-034-SCFI-2001	mg/L	88,000	48.9	500.0
Sólidos disueltos totales	NMX-AA-034-SCFI-2001	mg/L	905,000	720	500.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	NMX_AA-028_SCFI-2011	mg/L	83,333	39,6	No normado



Demanda Química de Oxígeno	NMX-AA-0302-SC-FI-2011	mg/L	234,424	93.9	No normado
Fósforo total	NMX-AA-029-SC-FI.2001	mg/L	3,387	3.9	No normado
N-Nitritos	NMX-AA-099-SC-FI-2006	mg/L	0,020	No normado	0.05
N-Nitratos	NMX-AA-097-SC-FI-2001	mg/L	0.052	No normado	5.0
N-Amoniaca	NMX-AA-026-SC-FI-2010	mg/L	0.250	No normado	No normado
N-Orgánico	NMX-AA-026-SC-FI-2010	mg/L	17.024	No normado	No normado
Nitrógeno total	Calculo	mg/L	17,076	15.5	No normado
Grasas y aceites	NMX-AA_005-SC-FI-2013	mg/L	27.645	9.100	Ausente
Coliformes fecales	NMX-AA-042-1987	NMP/100mL	24000,000	1000	1000.0
Huevos de Helminto	NMX-AA-113-SC-FI-2012	Huevos/L	0.0	0-1	No normado
Cianuros	NMX-AA-058-SC-FI-2001	mg/L	0.020	0.01	0.02
Sulfatos	NMX-AA-074-SC-FI-1981	mg/L	219,091	152.3	500.0
Sustancias Activas al azul de metileno	NMX-AA-039-SC-FI-2001	mg/L	12,300	1.3	No normado
Fenoles	NMX-AA-050-SC-FI-2001	mg/L	0,202	0,04	NO normado
Cloruros	NMX-AA-073-SC-FI-2001	mg/L	107,697	250	250
Sulfuros	NMX-AA-084-1962	mg/L	35,659	0,002	0,2
Gasto		L/s	5584,000		

Dale la Cara al Atoyac, 2016



Tabla 57. Resultados del análisis de Agua Dulce, muestra puntual

Parámetro	Método de prueba	Unidad	Resultado analítico	Valor Permissible	Valor permisible
Toxicidad <i>Vibrio Fischeri</i>	NM-AA_112-SCFI-1995	EC50 5 min	42,00	∅2	No normado
Toxicidad <i>Vibrio Fischeri</i>	NM-AA_112-SCFI-1995	UT	2,36	∅2	No normado
Toxicidad <i>Vibrio Fischeri</i>	NM-AA_112-SCFI-1995	EC50 15 min	39,56	∅2	No normado
Toxicidad <i>Vibrio Fischeri</i>	NM-AA_112-SCFI-1995	UT	2,52	∅2	No normado
Toxicidad Daphnia magna	NMX-AA-087-SF-CI-2010	EC50	75,42	∅2	No normado
Toxicidad Daphnia magna	NMX-AA-087-SF-CI-2010	UT	1,32	∅2	No normado
Arsénico	NMX-AA-051-SCFI-2001	mg/L	0,005	0,05	0,05
Cadmio	EPA-6010 C-2007 EPA Inductively Couple Plasma	mg/L	0,003	0,004	0,01
Cobre	EPA-6010 C-2007 EPA Inductively Couple Plasma	mg/L	0,0191	0,06	1,0
Cromo	EPA-6010 C-2007 EPA Inductively Couple Plasma	mg/L	0,0090	0,05	No normado
Mercurio	NMX-AA_051-SCFI-2001	mg/L	0,00550,001	0,001	0,001
Níquel	EPA-6010 C-2007 EPA Inductively Couple Plasma	mg/L	0,0106	0,60	0,01
Plomo	EPA-6010 C-2007 EPA Inductively Couple Plasma	mg/L	0,0150	0,03	0,05
Zinc	EPA-6010 C-2007 EPA Inductively Couple Plasma EPA-6010 C-2007 EPA Inductively Couple Plasma	mg/L	0,0758	0,12	5,0
Aluminio	EPA-6010 C-2007 EPA Inductively Couple Plasma	mg/L	2,0082	0,50	0,02
Manganeso	EPA-6010 C-2007 EPA Inductively Couple Plasma	mg/L	0,2011	0,11	0,1



Hierro	EPA-6010 C-2007 EPA Inductively Couple Plasma	mg/L	1,7435	0,34	0,3
Bis-(2-Etileno)Ptalato	EPA 8270D-2007	mg/L	0,0175	0,018	32
Dietilptalato	EPA 8270D-2007	mg/L	0,0100	0,011	350,0
Nitrobenceno	EPA 8270D-2007	mg/L	0,0100	0,03	20,0

Dale la Cara al Atoyac, 2016

Tabla 58. Dictamen técnico de resultados del monitoreo del 26 de mayo del 2015

PARÁMETRO	IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE	IMPACTO A LA SALUD HUMANA	IMPACTO AL ENTORNO
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES 1440 % por arriba del límite máximo permisible de la declaratoria del Atoyac.	Los sólidos suspendidos totales son aquellos sólidos de tamaño menor presentes en el agua y estos debido a su composición pueden durar hasta décadas en sedimentarse	Quien la consume se verá afectado ya que hay formación de nuevos compuestos que en un momento pueden llegar a ser tóxicos bien sea para el ambiente o para los seres vivos que consuman el agua,	Una cantidad excesiva de sólidos suspendidos puede ser peligrosa para los peces y para otras formas de vida acuática por obstrucción de los órganos respiratorios (branquias) y reducción de la luz solar modificando las cadenas alimentarias
SÓLIDOS SEDIMENTABLES 350 % por arriba del límite máximo permisible de la declaratoria del Atoyac.	Bioacumulación de sólidos orgánicos e inorgánicos de gran tamaño en el fondo de la cuenca ocasionando un problema para el crecimiento de algas	No se encuentra información disponible para determinarlos como un problema directo hacia la salud humana.	La cuenca pierde capacidad útil ya que se va llenando de sólidos generando olores por la degradación e interacción de estos sólidos con otros agentes provocando un foco de contaminación
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO 1313 % por arriba del límite máximo permisible de la declaratoria del Atoyac.	Al existir una mayor demanda de oxígeno significa que hay mayor cantidad de contaminantes orgánicos oxidantes. Los cuales afectan principalmente a los peces y algunas algas presentes en el mismo.	Las enfermedades causantes son: gastroenteritis, enteritis, fiebre paratifoidea, salmonelosis, Disenteria bacilar, Cólera, Hepatitis, conjuntivitis, parálisis meningitis, y algunas enfermedades respiratorias.	En pocas palabras la DBO indica la cantidad de contaminantes orgánicos de los cuales destacan estos y sus problemas a la salud
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO 1092 % por arriba del límite máximo permisible de la declaratoria del Atoyac.	En el entorno no es posible que logre su estabilización biológica, y esto puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y en lugar de un ambiente acuático saludable causa un desarrollo de condiciones sépticas.	Las enfermedades causantes son: gastroenteritis, enteritis, fiebre paratifoidea, salmonelosis, Disenteria bacilar, Cólera, Hepatitis, conjuntivitis, parálisis meningitis, y algunas enfermedades respiratorias.	Esta prueba es una de las más importantes en el control de contaminación en aguas, por lo que las agencias de regulación de la contaminación.
FOSFORO TOTAL	El aumento del crecimiento de las algas, que en el peor de los casos puede llevar a	Aunque el fósforo no representa toxicidad o daño alguno, los herbicidas o pesticidas	Cuando las algas que se han alimentado de fósforo mueren, los procesos de

280 % por arriba del límite máximo permisible de la declaratoria del Atoyac.	la eutrofización de las aguas superficiales, es consecuencia de unas altas concentraciones de fosfato.	organofosforados que también están presentes en las aguas de riego agrícola son una advertencia de la calidad del agua ya que la presencia de fósforo en el agua puede ser debida a los agroquímicos fosforados.	descomposición dan como resultado una demanda de oxígeno de alrededor de 150 gramos. Esto es como resultado una carga de contaminantes como Bacterias precursoras de daños a la salud
NITRÓGENO TOTAL 207 % por arriba del límite máximo permisible de la declaratoria del Atoyac.	Cuando se vierte en el entorno acuático, este nutriente puede llevar el crecimiento de una vida acuática no deseada.	Los nitritos convierten la hemoglobina en la sangre a metahemoglobina . La metahemoglobina reduce la cantidad de oxígeno que se transporta en la sangre. Como resultado, las células no tienen suficiente oxígeno para funcionar adecuadamente en el organismo	En algunos estudios realizados en animales con niveles elevados de nitritos/ nitros, se encontraron efectos adversos en sus sistemas de reproducción y su desarrollo.
GRASAS Y ACEITES 739 % por arriba del límite máximo permisible de la declaratoria del Atoyac.	Su efecto se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera. No permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO ₂ del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles del oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar.	Algunas bacterias en su proceso de asimilación de nutrientes, disuelven las grasas transformándolas de estado libre a emulsionado, lo cual traslada el problema, sin eliminarlo. Y así generan un problema de salud ya que las grasas y aceites no pueden ser separados provocando el mismo problema de salud que los sólidos disueltos totales.	Su presencia complica el transporte de los residuos por las tuberías, su eliminación en unidades de tratamiento biológico y su disposición en las aguas receptoras. Los residuos de la industria del empaque de carnes, especialmente mataderos, disminuyen severamente la capacidad de transporte de las alcantarillas
COLIFORMES FECALES 2400 % por arriba del límite máximo permisible de la declaratoria del Atoyac.	Los coliformes fecales debido a su proceso químico y de síntesis de materia orgánica ocasiona una disminución en los niveles de oxígeno matando peces y otra vida silvestre que se encuentra dentro del	Las enfermedades contraídas por las personas expuestas a este tipo de compuestos puede variar desde condiciones leves como infecciones del oído, a las condiciones que amenazan la vida como la fiebre tifoidea o la	Estos son sin duda el problema de salud más latente para los seres humanos y para animales de sangre caliente ya que con la inferación de estos provocan muchos daños a la salud. También estos generan un

Dale la Cara al Atoyac, 2016



PERÍODO 2015 A 2016

Hernández-Ramírez *et al.* (2019b) presentó un estudio que incorpora la aplicación de un sistema de monitoreo continuo en tiempo real para identificar la procedencia de los contaminantes del río principalmente a partir de eventos anómalos. Se instalaron cuatro estaciones de monitoreo a lo largo del río Atoyac en el estado de Puebla. Los sistemas de monitoreo en tiempo real tienen la capacidad de medir varios parámetros de calidad del agua cada 15 minutos, como temperatura (T), pH, conductividad (EC), turbidez (TURB), oxígeno disuelto (DO), potencial de reducción de oxidación (ORP) y coeficiente de absorción espectral (SAC). En total, se obtuvieron y analizaron en el laboratorio ocho muestras de agua de eventos de anomalía (es decir) 2 por estación de monitoreo durante las temporadas de lluvias (agosto-septiembre) e invierno (noviembre-diciembre). Se estudiaron 54 parámetros con base en la normativa mexicana (Secretaría de Gobernación, 2011) específicamente diseñada para el río Atoyac para el manejo de aguas residuales.

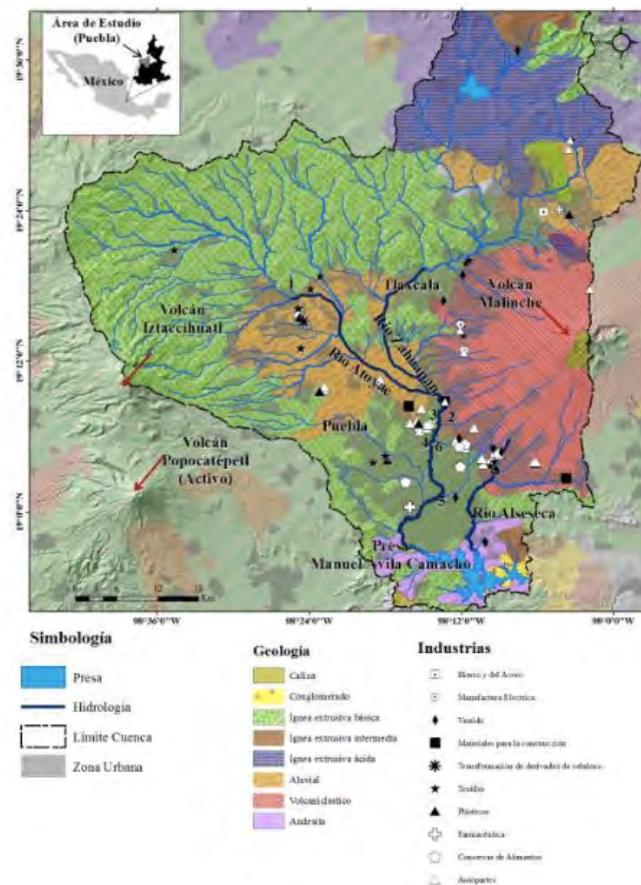
Se seleccionaron cuatro estaciones de monitoreo (fig.43) Quetzalcóatl (1), Barranca Honda (2), Barranca del Conde (3) y Ecoparque (4) debido a su proximidad a las zonas industriales que incluyen industrias principalmente textiles, maquinaria, automóvil, equipo pesado, sector alimentario, confección, cuero, químicos, petróleo, caucho, plásticos, productos de madera y otras industrias (Martínez Tavera, 2016).

Toma de muestras y mediciones de laboratorio. El equipo Aqua-Mostra recolectó automáticamente ocho muestras de anomalías (1A, 1B, 2A, 2B, 3A, 3B, 4A, 4B) de 4 estaciones de monitoreo en dos estaciones diferentes, una en la temporada de lluvias de agosto a septiembre (A) y la otra durante la temporada de invierno de noviembre a diciembre (B).

Identificación de anomalías. Variaciones espaciales y temporales de la calidad del agua fluvial en el río Atoyac se observaron en los siguientes parámetros: T, pH, CE, TURB, ORP, OD y SAC debido a las diferencias en las condiciones climáticas y las influencias cambiantes de los sectores industriales, agrícolas y urbanos contiguos. Incluso en condiciones normales, el río Atoyac presentó valores de T (27,25 ° C),

pH (8,7), CE (1004 $\mu\text{S} / \text{cm}$) TURB (173,75 NTU), OD (4,08 mg/L), SAC (102,23 Abs / m) indicando influencias industriales y antropogénicas (Martínez-Tavera *et al.*, 2017). Por lo tanto, es necesario mitigar las interferencias de las variaciones estacionales y espaciales de los parámetros de calidad del agua del río observadas por el monitoreo en tiempo real.

Figura 43. Mapa del área de estudio que ilustra las estaciones de monitoreo en tiempo real en el río Atoyac, Puebla, centro de México (Hernández-Ramírez *et al.*, 2019)



Para identificar las diferencias entre un evento normal y uno anómalo, que dependen de los vertidos de aguas residuales, es obligatorio establecer un método lógico para detectarlos (Perelman *et al.* 2012). Para eliminar las variaciones espaciales, también es necesario establecer un umbral de concentración dinámica para cada parámetro en cada estación de monitoreo, a través del análisis de series de tiempo. En el análisis de series de tiempo, hay cuatro variables importantes: 1) tendencia, 2) estacionalidad, 3) ciclicidad y 4) residuo. El residuo explica las fluctuaciones irregulares e impredecibles en los vertidos no controlados y lo anterior fue identificado como una anomalía para el presente estudio (Shumway y Stoffer, 2016). Por tanto, cada anomalía se desvió con respecto a la media de los datos mensuales seleccionados. El análisis estadístico se realizó utilizando la base de datos generada a partir de la estación de monitoreo 1 (septiembre y noviembre), las estaciones de monitoreo 2 y 3 (agosto y diciembre) y la estación de monitoreo 4 (septiembre y diciembre) durante 2016.

Se utilizaron datos analizados estadísticamente para calcular las medidas de tendencia central para identificar si la anomalía se desvió ampliamente con respecto a la media por mes. Es importante mencionar que la base de datos se ajusta a un análisis de distribución normal, y es posible utilizar medidas de tendencia central. El análisis de la desviación estándar es una forma sencilla de identificar las condiciones normales y anómalas en el monitoreo continuo y en grandes datos históricos (fig. 44, tabla 59). Por lo tanto, los umbrales se basan en el número de veces que los valores superan los valores mensuales determinados. Desviaciones estándar (Hodge y Austin, 2004; Fu *et al.*, 2009; Kamiyaa y Fuse, 2015). En adelante, el criterio establecido para los umbrales de muestreo fue que al menos uno de los parámetros mencionados anteriormente sería mayor que la desviación estándar.

Figura 44. Selección de una muestra de evento de anomalía (1A) del análisis de series de tiempo de septiembre de 2016 por el sistema de monitoreo de la calidad del agua en tiempo real

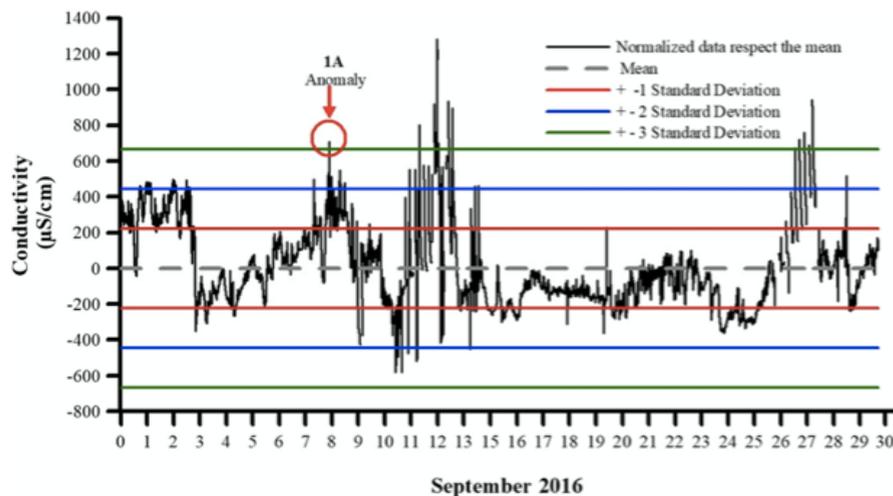


Tabla 59. Resultados de las muestras de anomalías medidas por el sistema de monitoreo en el río Atoyac, Centro de México

Anomaly	Sampling information	Statistical data	T	pH	EC	TURB	ORP	DO	SAC
1A	Date:	n	2737.0	2387.0	2639.0	2724.0	2369.0	1871.0	2070.0
	08/09/2016	Mean	18.5	7.40	582.5	373.9	97.1	2.49	298.1
	Time:	S.D	1.7	0.6	222.4	213.6	193.2	2.4	223.2
	03:36:00 p. m	Anomaly	18.6	6.92	1292.0	448.6	-164.0	0.18	218.5
		Times SD	0.0	0.8	3.2	0.3	1.4	1.0	0.4
1B	Date:	n	2813.0	2527.0	2817.0	2809.0	2804.0	2783.0	2804.0
	18/11/2016	Mean	15.7	6.53	638.0	335.4	3.1	0.95	201.7
	Time:	S.D	1.4	0.3	189.6	185.6	128.2	0.9	73.7
	02:30:00 p. m.	Anomaly	15.5	6.43	520.3	655.9	19.4	0.29	376.4
		Times SD	0.2	0.4	0.6	1.7	0.1	0.7	2.4
2A	Date:	n	2565.0	1898.0	2317.0	2277.0	2682.0	2058.0	2908.0
	31/08/2016	Mean	20.3	8.45	519.0	277.9	211.6	2.93	228.3
	Time:	S.D	2.8	0.2	149.4	161.1	100.0	1.7	163.0
	11:30:00 a. m.	Anomaly	19.5	8.60	620.0	321.0	267.0	1.40	192.0
		Times SD	0.3	1.0	0.7	0.3	0.6	0.9	0.2
2B	Date:	n	2887.0	2887.0	2898.0	2893.0	2848.0	2848.0	2895.0
	16/12/2016	Mean	15.8	7.59	788.1	208.4	-148.2	0.41	156.0
	Time:	S.D	1.4	0.1	66.6	52.2	138.8	0.8	19.8
	1:15:00 p. m.	Anomaly	16.9	7.50	735.6	336.9	-181.7	0.10	191.8
		Times SD	0.7	1.0	0.8	2.5	0.2	0.4	1.8
3A	Date:	n	2341.0	2217.0	2674.0	2462.0	2484.0	2087.0	2180.0
	23/08/2016	Mean	18.9	7.84	593.0	325.0	300.0	2.73	260.5
	Time:	S.D	1.0	0.1	163.0	170.0	131.0	1.6	130.0
	04:02:00 a. m.	Anomaly	17.7	8.59	635.0	259.0	373.0	4.08	151.0
		Times SD	1.2	5.1	0.3	0.4	0.6	0.9	0.8
3B	Date:	n	2004.0	1479.0	2028.0	1500.0	1404.0	1967.0	2050.0
	19/12/2016	Mean	16.3	7.54	880.7	215.2	228.3	0.83	213.1
	Time:	S.D	1.3	0.1	94.8	74.6	175.5	1.2	48.8
	04:02:00 a. m	Anomaly	17.3	7.52	869.4	216.7	286.7	0.31	198.7
		Times SD	0.8	0.4	0.1	0.0	0.3	0.4	0.3
4A	Date:	n	2163.0	1970.0	2102.0	2014.0	2161.0	2160.0	1918.0
	08/09/2016	Mean	19.8	7.72	706.5	496.9	-170.6	0.26	149.0
	Time:	S.D	0.9	0.4	233.0	304.9	164.0	0.3	54.1
	01:00:00 p. m	Anomaly	19.4	7.60	929.0	207.5	-237.7	0.21	135.6
		Times SD	0.5	0.3	1.0	0.9	0.4	0.2	0.2
4B	Date:	n	2598.0	2564.0	2610.0	2613.0	2612.0	2578.0	2701.0
	14/12/2018	Mean	17.7	7.23	1303.6	284.0	-290.2	0.34	168.1
	Time:	S.D	1.0	0.1	93.9	88.1	35.3	0.1	27.2
	02:15:00 p. m	Anomaly	18.6	7.30	1365.6	230.2	-280.2	0.12	179.0
		Times SD	0.8	1.0	0.7	0.6	0.3	1.8	0.4

The times SD explain how the parameters measured by WQMS deviates with respect to the mean during a pollution event.

Hernández-Rodríguez, et al. 2019b



Datos de la estación de Monitoreo “Quetzalcóatl”

En la tabla 60, correspondiente a Quetzalcóatl es posible visualizar que la temperatura no se ajusta a una distribución normal, los valores de pH promedio se encuentran por debajo de siete, siendo ligeramente ácidos. La conductividad es un parámetro que presenta susceptibilidad al comparar el valor máximo con la media y la desviación estándar.

Tabla 60. Estadística descriptiva de los datos recolectados en la estación Quetzalcóatl

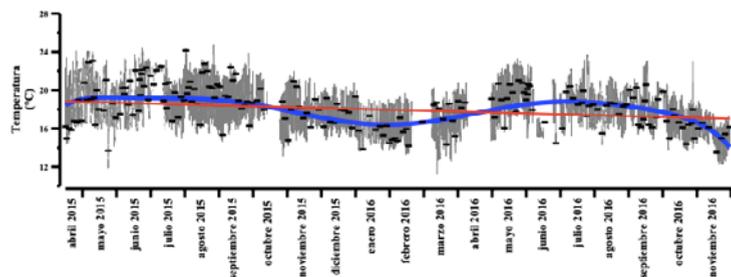
Prueba estadística	Temperatura	pH	Conductividad	Turbidez	ORP	Oxígeno disuelto	SAC
Media	17.92	6.94	899.72	318.40	-75.60	0.76	183.14
Mediana	17.74	6.91	779.98	230.74	-147.28	0.2	157.55
Moda	17.5	6.94	686	1000	-200	0	1000
Desviación estándar	2.039	0.545	478.43	237.99	189.80	1.34	117.89
Rango	13.46	3.83	3753.29	976.54	934.31	9.23	977.84
Mínimo	11.26	5.54	54.9	23.46	-381	0	22.16
Máximo	24.72	9.37	3808.19	1000	553.31	9.23	1000
N	40960	35333	37873	40314	36908	36256	38551
Kolmogóro v Smirnov	0.038	0.067	0.133	0.175	0.158	0.285	0.132

Hernández-Rodríguez, 2019

En las series de tiempo se observan cuatro líneas diferentes, las líneas grises representan la estacionalidad, las líneas azules la ciclicidad, la línea roja la tendencia y finalmente las líneas oscuras representan los residuales. En este caso la estacionalidad es la calidad del agua modificada por las diferentes actividades diurnas de la sociedad, ciclos repetitivos y predecibles. La ciclicidad representa el polinomio a lo largo del tiempo como es el caso de las variaciones temporales (estiaje, lluvias e invierno). La tendencia es la dirección del grupo de datos a lo largo de mucho tiempo y esta puede ser positiva o negativa. A continuación, se presenta la información y las series de tiempo para cada uno de los parámetros medidos en Quetzalcóatl.

La temperatura es un parámetro directamente proporcional a la estacionalidad espacial y temporal, clasificado como un parámetro físico, el cual puede estar sujeto a variaciones por descargas a temperaturas extremas (fig. 45)

Figura 45. Serie de tiempo de temperatura en la estación Quetzalcóatl durante el periodo de abril de 2015 a noviembre de 2016

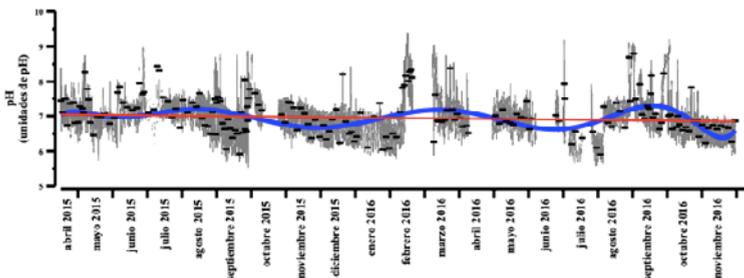


Hernández-Rodríguez, 2019

En la fig. 46 se presentan los valores de pH, susceptibles a cambios ligeros o drásticos dependiendo la naturaleza de las sustancias que se agregue. Los espacios en blanco son consecuencia de la ausencia de datos, en determinados periodos de tiempo es notorio un rango de oscilación constante asociado al “Metabolismo de la ciudad” (Díaz-Álvarez, 2014) que genera cambios no significativos en este parámetro como es el caso de los ciclos diurnos.



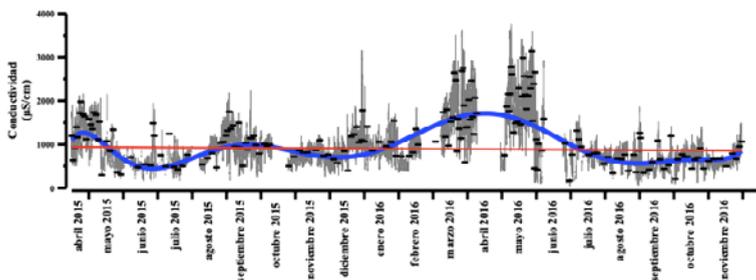
Figura 46. Serie de tiempo de pH en la estación Quetzalcóatl durante el periodo de abril de 2015 a noviembre de 2016



Hernández-Rodríguez, 2019

En la fig. 47 existe un comportamiento de la línea azul que describe las variaciones temporales de la cuenca, relacionada directamente a la dilución en temporada de lluvias ocasionando que la conductividad eléctrica disminuya.

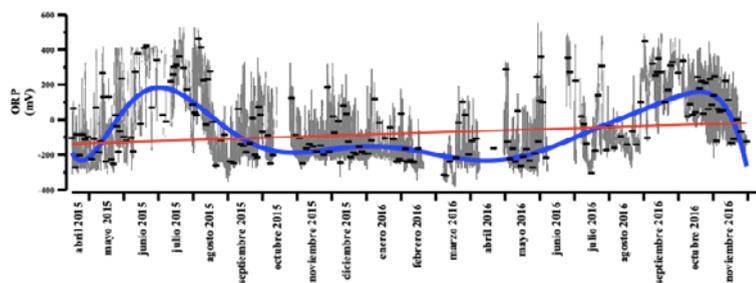
Figura 47. Serie de tiempo de conductividad en la estación Quetzalcóatl durante el periodo de abril de 2015 a noviembre de 2016



(Hernández-Rodríguez, 2019).

En la fig. 48, líneas azules que representan la estacionalidad con incremento de turbidez en temporada de lluvias y un decaimiento en temporada de secas. Una consideración importante es que, en temporada de lluvias, las condiciones del área de influencia donde se localiza la estación es suelo agrícola, por eso se susceptible a estos cambios.

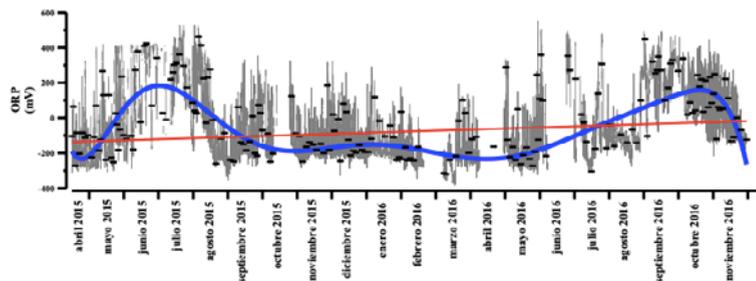
Figura 48. Serie de tiempo de turbidez en la estación Quetzalcóatl durante el periodo de abril de 2015 a noviembre de 2016



Hernández-Rodríguez, 2019

En la fig. 49 la línea azul representa la estacionalidad del río en este sitio y señala que, durante la temporada de lluvias, la cantidad de oxígeno disuelto incrementa y el cambio se relaciona con el aumento en la turbulencia del caudal y dado que el oxígeno es un agente oxidante el potencial óxido-reducción se vuelve positivo.

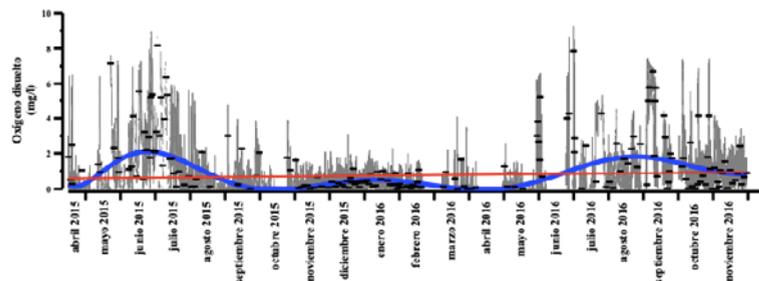
Figura 49. Serie de tiempo de ORP en la estación Quetzalcóatl durante el periodo abril de 2015 a noviembre de 2016



En la fig. 250 el análisis de la línea azul representa la estacionalidad a través de un ajuste de polinomio ortogonal del parámetro, se observa que durante la temporada de lluvias se presentan valores más altos de oxígeno disuelto debido a un incremento en la turbulencia del flujo.



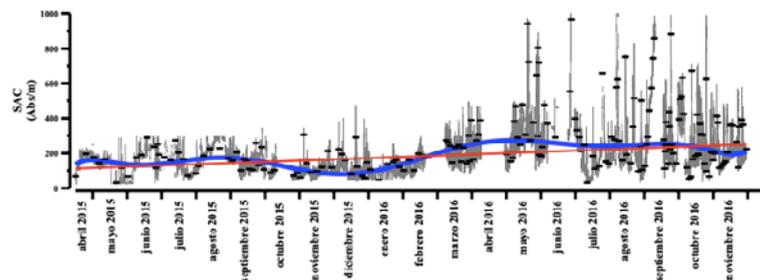
Figura 50. Serie de tiempo de oxígeno disuelto en la estación Quetzalcóatl durante el periodo abril de 2015 a noviembre 2016



Hernández-Rodríguez, 2019

En la fig. 51 la línea color azul determina la temporalidad del río, el incremento que comienza en el mes de marzo y termina en el mes de agosto, se debe a la absorción de radiación ultravioleta de los sólidos suspendidos y son interferencia en la determinación de la materia orgánica. Durante el año 2015 los valores de SAC en su mayoría son menores a 400 Abs/m, mientras que para el año 2016 existen valores cercanos a 1000 Abs/m. A diferencia de otros parámetros, no existe reproducibilidad entre 2015 y 2016.

Figura 51. Serie de tiempo de SAC en la estación Quetzalcóatl durante el periodo de abril de 2015 a noviembre de 2016



Hernández-Rodríguez, 2019

Diseño de los límites dinámicos. La tabla 61 muestran los valores calculados para la estación Quetzalcóatl desde marzo de 2014 hasta septiembre de 2016. En los diagramas de cajas y bigotes elaborados para cada parámetro se observan los valores máximos y mínimos, los bigotes de la caja que se extienden hasta los valores extremos leves los que se toman en cuenta como anómalos. Los valores en color rojo representan los valores extremos lejanos, los cuales ya no son atribuibles a situaciones de calidad del agua en el sitio.

En la tabla 61 se observan los límites de muestreo mensuales para la estación de Quetzalcóatl para cada parámetro donde el tercer cuartil es el límite de concentración para considerar anomalía y el valor atípico leve implica valores fuera de rango.



Tabla 61. Condiciones de muestreo de diferentes meses calculados para Quetzalcóatl

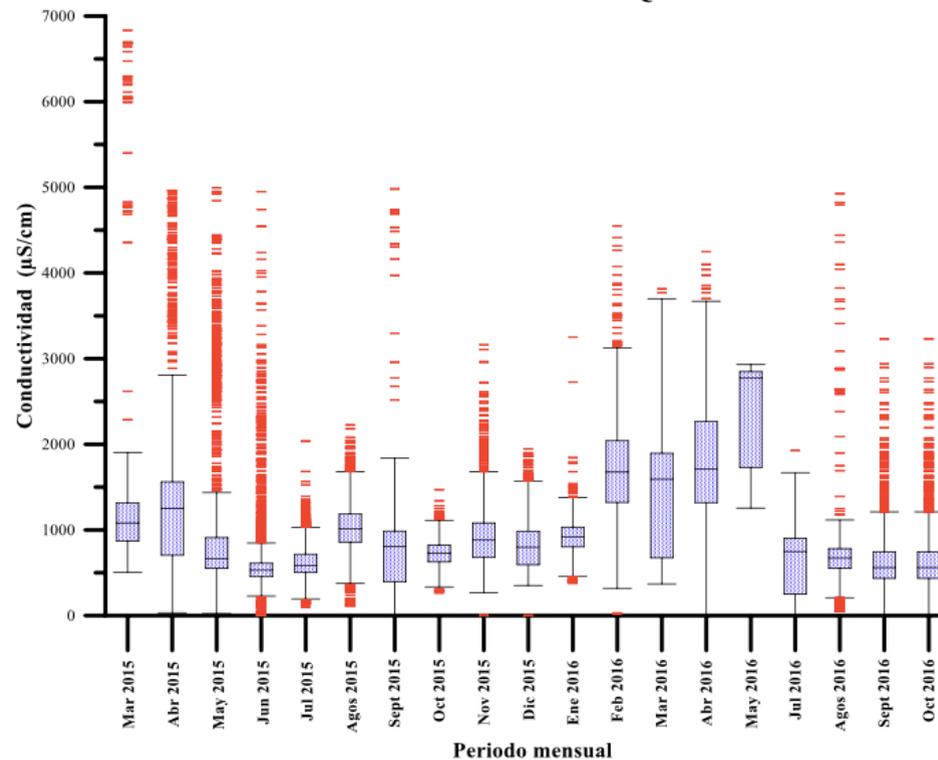
Parámetro	Variable	Marzo 2015	Abril 2015	Mayo 2015	Junio 2015	Julio 2015	Agosto 2015	Septiembre 2015	Octubre 2015	Noviembre 2015	Diciembre 2015
Conductividad	Valor atípico leve	1900.00	2700.00	1400.00	800.00	1100.00	1600.00	1800.00	1100.00	1600.00	1550.00
	Tercer cuartil	1316.87	1560.76	910.64	611.56	716.23	1185.73	984.63	821.67	1080.83	984.30
ORP	Valor atípico leve	-310.22	-305.26	-306.31	-175.69	-269.05	-352.28	-274.00	-282.55	-328.13	-295.67
	Primer cuartil	-239.25	-249.12	-202.46	219.80	-8.19	-242.01	-172.09	-204.61	-203.17	-222.84
pH	Valor atípico leve inferior	6.60	6.23	6.20	6.30	6.50	5.60	6.40	6.07	6.03	6.00
	Valor atípico leve superior	8.00	8.50	7.90	8.40	7.90	8.10	8.20	7.62	7.62	7.39
	Primer cuartil	7.06	6.91	6.71	7.04	7.02	6.46	7.13	6.71	6.44	6.28
	Tercer cuartil	7.46	7.54	7.14	7.55	7.39	7.15	7.60	7.17	6.94	6.78
SAC	Valor atípico leve	143.83	230.00	300.00	299.60	299.90	299.98	500.00	180.00	200.00	195.00
	Tercer cuartil	122.59	183.09	159.71	221.03	216.27	198.67	395.20	116.57	132.87	127.25
Turbidez	Valor atípico leve	730.00	1000.00	1000.00	1000.00	690.00	490.00	1000.00	320.00	340.00	420.00
	Tercer cuartil	532.05	830.15	996.55	543.92	345.24	281.28	739.00	209.28	217.47	258.65
Parámetro	Variable	Enero 2016	Febrero 2016	Marzo 2016	Abril 2016	Mayo 2016	Junio 2016	Julio 2016	Agosto 2016	Septiembre 2016	
Conductividad	Valor atípico leve	1400.00	3100.00	3700.00	3650.00	2900.00		1600.00	1100.00	1200.00	
	Tercer cuartil	1032.07	2042.24	1894.44	2264.19	2848.22		899.13	782.24	745.00	
ORP	Valor atípico leve	-344.68	-381.00	-304.86	-331.62	-295.05		-307.49	-230.61	-271.74	
	Primer cuartil	-265.57	-260.88	-242.75	-265.22	-284.41		-196.68	-147.89	-78.93	
pH	Valor atípico leve inferior	6.05	5.90	6.34	6.10	6.33	8.98	5.70	5.27	6.38	
	Valor atípico leve superior	9.85	8.20	7.76	7.70	6.45	9.20	11.53	8.42	9.10	
	Primer cuartil	6.96	6.77	6.80	6.71	6.36	9.03	6.22	6.25	6.97	
	Tercer cuartil	8.53	7.35	7.21	7.16	6.43	9.09	8.66	7.17	7.86	
SAC	Valor atípico leve	270.00	410.00	450.00	510.00	696.15	602.10	696.00	320.00	1000.00	
	Tercer cuartil	185.43	272.33	279.43	352.23	662.03	461.02	344.57	215.75	767.06	
Turbidez	Alarma	510.00	530.00	520.00	750.00	899.00	888.20	941.09	705.00	890.00	
	Tercer cuartil	326.88	312.76	256.10	444.29	868.00	867.93	482.48	376.46	468.93	

Hernández-Rodríguez, 2019



La fig. 52 muestra que los meses de marzo, abril y septiembre del 2015, así como, febrero, marzo y abril del 2016, muestran los valores extremos lejanos los cuales no son confiables. Todos los meses muestran valores máximos extremos diferentes, lo cual es resultado de una variación estacional y justifica el diseño de límites dinámicos. La mayor concentración de datos anómalos se encuentra entre el periodo de marzo del 2015 hasta octubre del 2016.

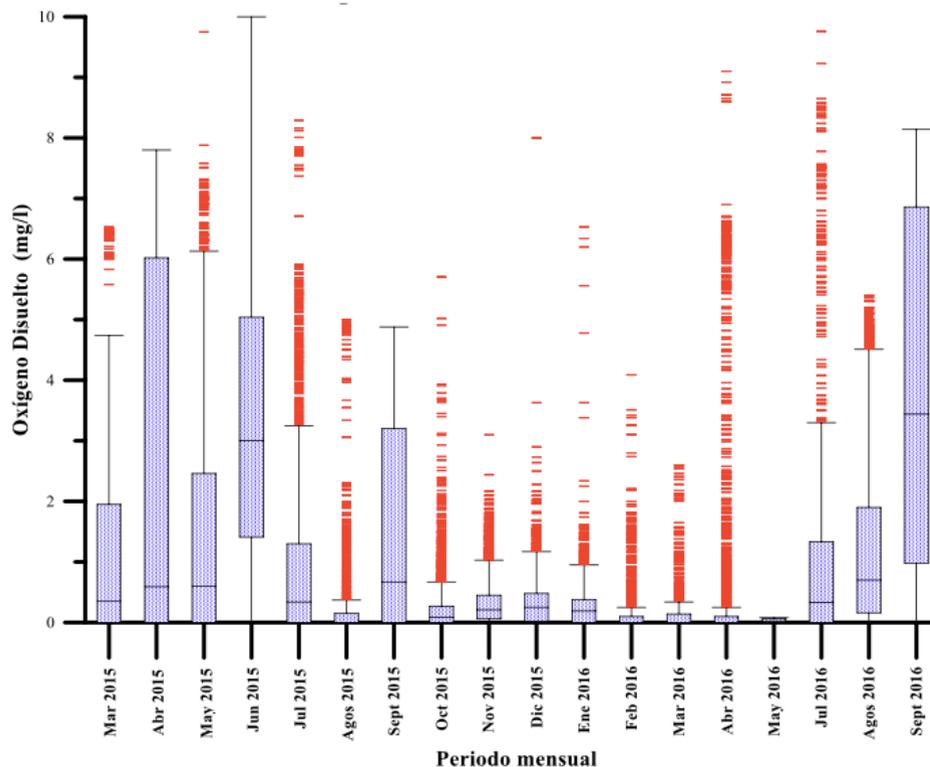
Figura 52. Diagrama de cajas y bigotes de conductividad en la estación Quetzalcóatl



Hernández-Rodríguez, 2019



Figura 53. Diagrama de cajas y bigotes de oxígeno disuelto en la estación Quetzalcóatl



En la fig. 53, la variable oxígeno disuelto presenta como valor mínimo en todas las épocas del año cero. El incremento de oxígeno disuelto en el agua es un indicador de buena calidad del agua, por ende, la disminución de oxígeno es un indicador de mala calidad. Sin embargo, es muy frecuente que el agua del Atoyac presente valores muy cercanos a cero, por ello no se considerara como un valor programable para detectar un evento de contaminación.

En la fig. 54, los meses de mayo, junio y julio para el año 2015, así como, abril, julio y septiembre para el año 2016, muestran los valores

extremos lejanos más altos. Los meses de junio y julio del 2015, así como, mayo y julio del 2016, no presentan valores extremos lejanos. La reproducibilidad en cada mes ocasionada por la variación estacional de los años 2015 y 2016 confirma la programación mensual de los límites de muestreo.

La fig. 55 muestra las mediciones de pH desde marzo hasta septiembre de 2016, este parámetro por ser un parámetro fisicoquímico graduado en una escala de 0 a 14 y por las propiedades de dureza y alcalinidad de las aguas superficiales que le impiden cambiar su pH con



facilidad. No es común apreciar cambios drásticos en dicha propiedad del agua. Sin embargo, si responden a la variación estacional, el rango de pH va de 6 a 8 unidades.

El SAC como medida de la materia orgánica presente, también presenta variaciones estacionales y los límites de muestreo cambian debido a dicha propiedad, como podemos observar en la fig. 56, durante la época de lluvias los valores de SAC deberían disminuir, sin embargo, incrementan debido a la cantidad de materiales suspendidos que ocasionan interferencia en los equipos. Por ello durante la época de lluvias el SAC no es un buen indicador de eventos de contaminación.

Figura 54. Diagrama de cajas y bigotes de ORP en la estación Quetzalcóatl

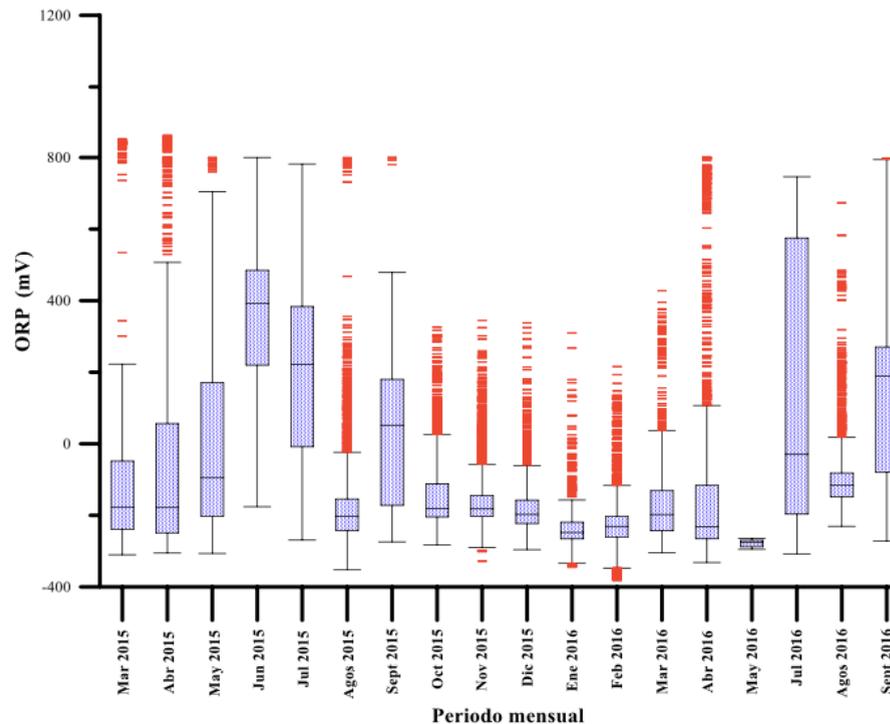
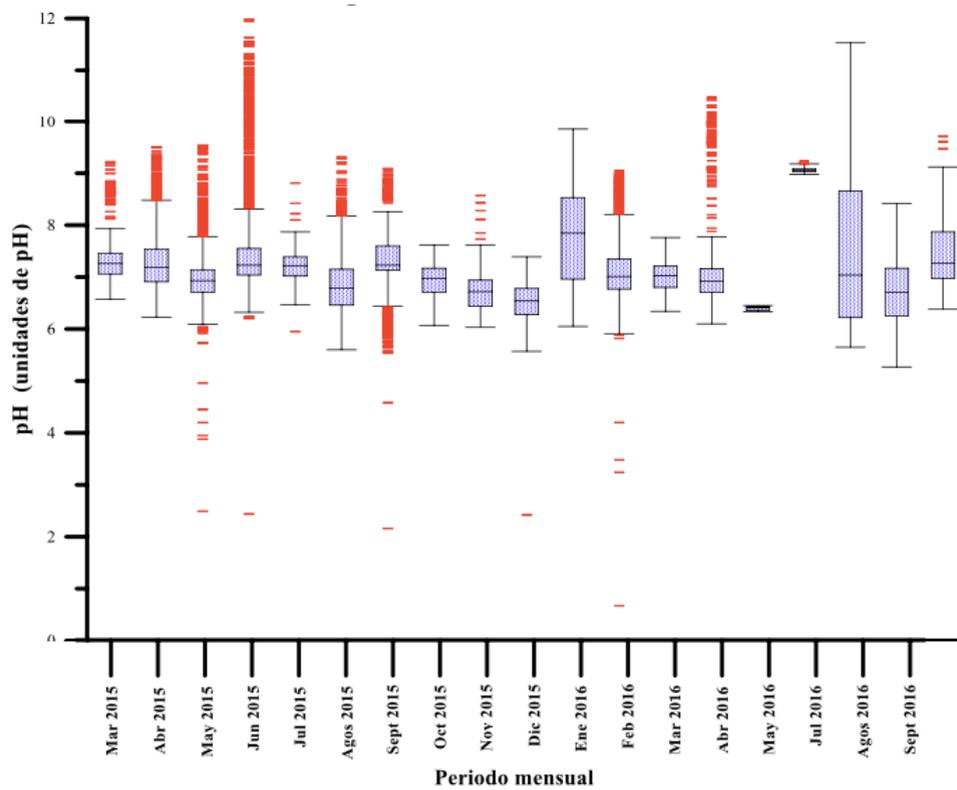


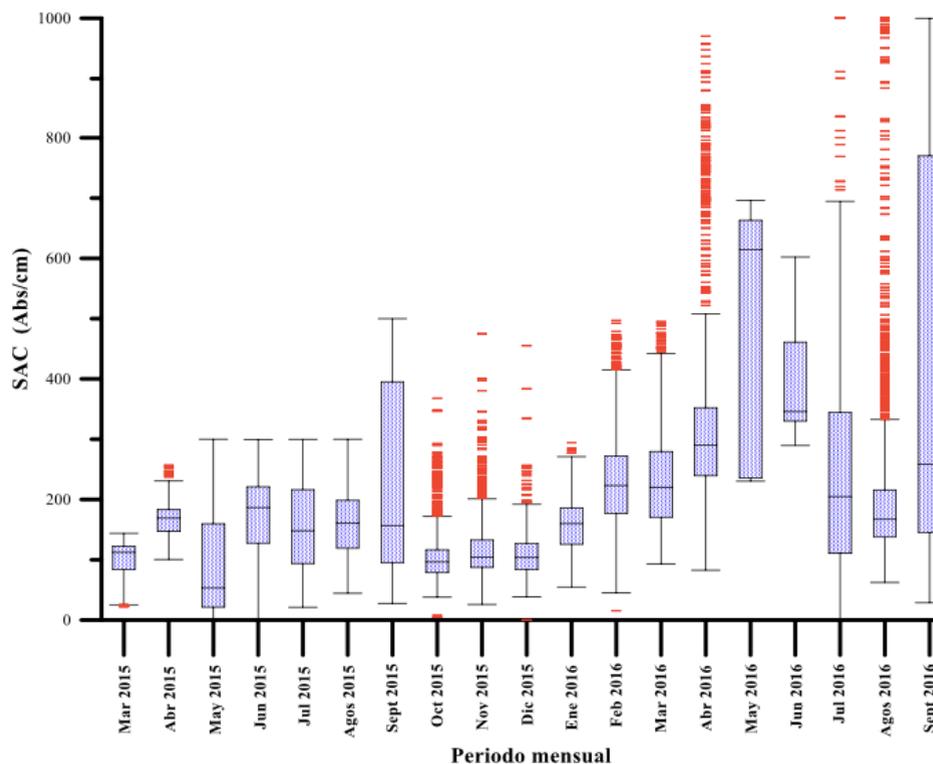
Figura 55. Diagrama de cajas y bigotes pH en la estación Quetzalcóatl



Hernández-Rodríguez, 2019



Figura 56. Diagrama de cajas y bigotes del SAC en la estación Quetzalcóatl



Hernández-Rodríguez, 2019

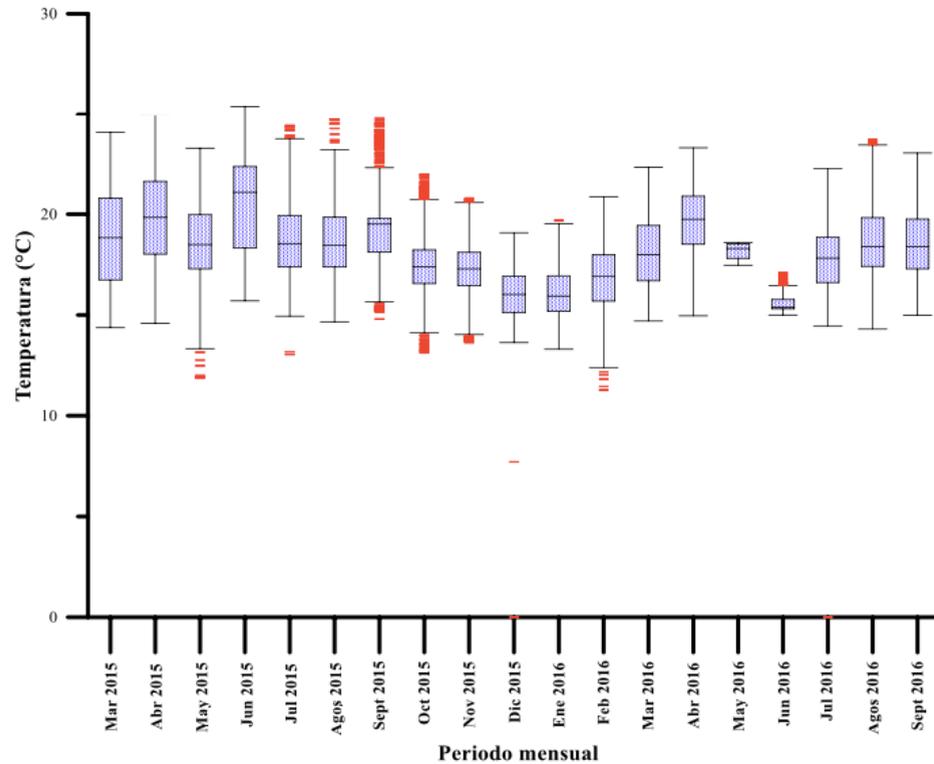
La temperatura también es un indicador de variación temporal (fig. 57), sin embargo, difícilmente podrá ser un indicador de un evento de contaminación, ya que esta propiedad no cambia de forma drástica durante las descargas de tipo residual. No obstante, siempre debe monitorearse ya que variables como el pH están en función de dicho valor.

hasta el límite de cuantificación (fig. 58), por ello no es recomendable considerar dicho parámetro durante la temporada de lluvias (Hernández-Rodríguez, 2019).

La turbidez es un parámetro fisicoquímico que mide de forma indirecta la cantidad de partículas suspendidas en el agua, de esta forma como se describió en las series de tiempo, el arrastre de sólidos durante la temporada de lluvias incrementa los valores de turbidez



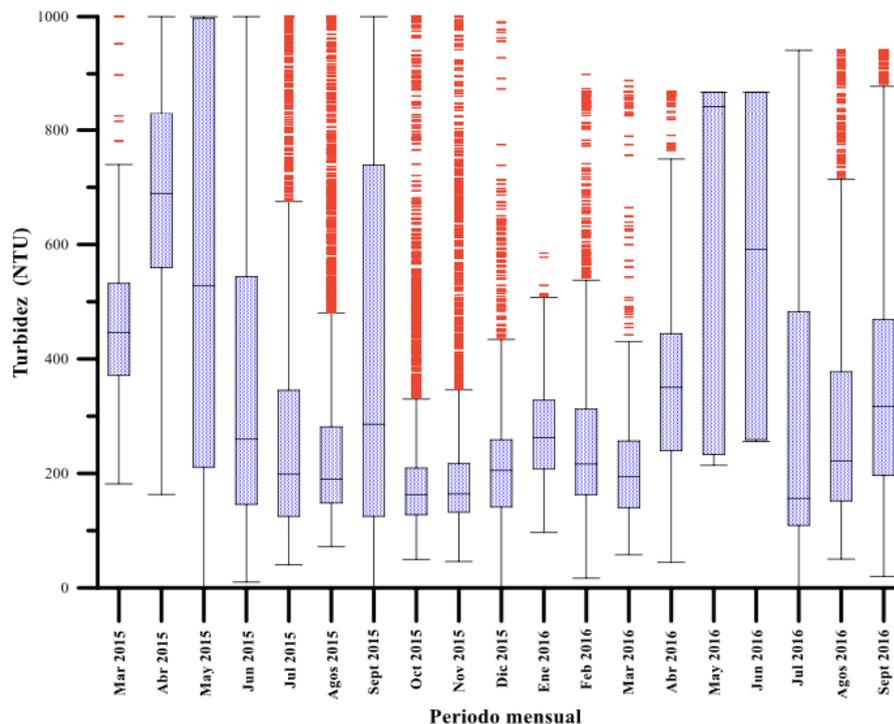
Figura 57. Diagrama de cajas y bigotes de temperatura en la estación Quetzalcóatl



Hernández-Rodríguez, 2019



Figura 58. Diagrama de cajas y bigotes de la turbidez en la estación Quetzalcóatl



Hernández-Rodríguez, 2019

Resultados. Las características fisicoquímicas medidas por el sistema de control de la calidad del agua (temperatura, pH, conductividad, TURB, ORP, OD y SAC) se presentan en el Cuadro 1. Los valores de temperatura variaron entre 15,49° C (diciembre) y 19,49° C (agosto) con un valor medio de 17,93° C que muestra evidencias estacionales y un alto impacto influyente de los efluentes de la zona industrial colindante (Abdel-Satar *et al.*, 2017). Se encontró que las mediciones de pH eran más altas (8,6) en las estaciones 2A y 3A, y finalmente se detectaron como anomalías afectadas en gran medida debido a la descargas esporádicas de las industrias textiles cercanas (Rathore, 2011). En el caso de la conductividad, las muestras 1A y 4B presen-

taron altos valores de conductividad de 1292 $\mu\text{S} / \text{cm}$ y 1366 $\mu\text{S} / \text{cm}$ respectivamente, lo que significó un evento de anomalía. Los valores de turbidez parecieron disminuir desde la estación 1-4 (448.57-207.52 NTU) en agosto y (655.9-216.9 NTU) en diciembre, lo que indica claramente los impactos de las descargas de aguas residuales (textiles, automóviles, farmacéuticas y plásticos), mientras que los valores relativamente menores en las estaciones 3 y 4 significan la sección aguas abajo del río donde la velocidad del agua disminuye y las partículas en suspensión se depositan (Martínez-Tavera *et al.* 2017). El sistema de monitoreo detectó valores positivos de (todos los valores en mV) 267, 373 y 286 en 2A, 3A y 3B respectivamente, lo que significa con-



diciones oxidativas, mientras que el resto de las estaciones presentaron condiciones reductivas. Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) variaron de 0.1 mg/L a 4.08 mg/L con un valor promedio de 0.86 mg/L presentando condiciones hipóxicas que ya no pueden soportar organismos acuáticos vivos (Tyson y Pearson, 2016). Se observó que el valor del coeficiente de absorción espectral promedio (SAC) era alto de 205.39 Abs/m debido a las aguas residuales sin tratar sedimentadas (Reynolds y Ahmad, 1997). La relación positiva significativa de SAC vs DO, benzo (a) antraceno, fluoranteno, pireno, DDT ($r^2 = 0,99$; $p < 0,001$) indica claramente el hecho de que los compuestos orgánicos son directamente proporcionales a los valores de SAC medidos a 254 nm (Matsché y Stumwöhler, 1996).

Medidas de parámetros en laboratorio. Las características físico-químicas (Demanda Química de Oxígeno Total, Demanda Química de Oxígeno Soluble (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), Sólidos Disueltos Totales (TDS), Sólidos Sedimentos (SS), NO_2^- , NO_3^- , Cl^- , F^- , PO_3^{4-} , Br^- , SO_2^{4-}) medidos en laboratorio se muestran en la tabla 62. La DQO se considera el indicador clave de contaminantes derivados de las descargas de aguas residuales para evaluar el efecto del agua vertida en el medio receptor (Wang *et al.* 2018). En el río Atoyac, la DQO total medida presentó un valor promedio de 382.25 mg/L indicando claramente que se requieren altas cantidades de oxígeno para oxidar toda la materia orgánica presente en un efluente no tratado debido a actividades industriales y domésticas (Cieszynska *et al.* 2012). Sin embargo, la DQO soluble (promedio 186 mg/L) representa la parte biológicamente degradable de DQO Total y todas las estaciones excepto 2A (90 mg/L), 2B (98 mg/L) y 3B (85 mg/L) presentan valores considerablemente altos. De DQO soluble. Se observó que las mediciones de DBO5 eran las más altas en la estación 1A (199 mg/L), lo que indica la existencia de contaminación orgánica en los sistemas acuáticos que podría degradarse fácilmente; sin embargo, el valor más bajo se observó en la estación 2A (46 mg/L) (Iscen *et al.*, 2008). Las concentraciones de TDS presentaron un valor promedio de 610,67 mg/L que representa las grandes cantidades de todas las sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas en el agua y el alto TDS observado en el río Atoyac se atribuye a los lodos de depuradora sin tratar de la región metropolitana que desembocan en el río. Se observó que las concentraciones de cloruro (Cl^-) eran muy eleva-

das que oscilaron entre 31.6 y 507 mg/L provenientes principalmente de las aguas residuales de tratamiento y los vertidos de lavado de actividades domésticas e industriales (Gárfias *et al.*, 2010), mientras que el promedio valores de fluoruro (1.05 mg/L) y fosfato (2.00 mg/L) probablemente de los compuestos presentes en fertilizantes hechos de rocas fosfatadas (Gupta *et al.*, 2014). Las concentraciones de nitritos y nitratos variaron entre 0.02 y 6.91 mg/L y 0.03-6.18 mg/L, denotando respectivamente su origen por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, materia fecal y falla aguda en el manejo de las descargas de aguas residuales industriales (Song *et al.* 2016, Hui *et al.* 2018). Sobre todo, los altos valores de nitrito en el presente estudio se atribuyen al proceso de nitrificación mejorado debido a la presencia de grandes cantidades de bacterias (Bajaj y Winter, 2013; Güven *et al.*, 2017). Las concentraciones medias elevadas de sulfatos (690,23 mg/L), con valores extremadamente altos en la Estación IA (4940 mg/L) se deben a los contaminantes antropogénicos (por ejemplo, aguas residuales domésticas, fertilizantes y detergentes agrícolas) (Yan *et al.*, 2016) y de las rocas litosféricas principalmente piritita, yeso y lutitas (Mayer *et al.*, 2010).

Compuestos inorgánicos. Se encontró que las concentraciones promedio de los compuestos inorgánicos medidos eran del orden de (todos los valores en $\mu\text{g} / \text{L}$): Si (132,937.50) > Ca (44,675.00) > K (37,147.50) > Mg (21,898.75) > Sr (310.73) > Mn (85.75) > Fe (77.50) > Ba (53.08) > Rb (30.16) > Al (13.88) > Zn (10.31) > Cr (9.14) > V (7.81) > Sc (6.00) > Ni (4.64) > Se (4.28) > Hg (3.43) > Ti (2.79) > Cu (2.50) > As (2.41) > Mo (1.69) > Pb (0,63) > Cd (0,41) > Co (0,23). La presencia de Si, Ca, K, Mg, Sr, Mn y Fe en las muestras de anomalías analizadas se atribuye a la presencia de depósitos carbonáceos y terrígenos compuestos por depósitos calco-alcalinos, alcalinos y numerosos depósitos piroclásticos intercalados, debido a actividades volcánicas (Shruti *et al.*, 2017; Rodríguez-Espinosa *et al.*, 2018). Debido a su movilidad, Sr y Ba sirven como marcadores importantes para los estudios hidrológicos (Dalai y Sarin, 2002). Sin embargo, los niveles de Ba (15,5–83,4 $\mu\text{g} / \text{L}$) en el río Atoyac se obtienen del polvo volcánico (Jamieson *et al.* 2015) y de las descargas de la fabricación de piezas de automóviles. El Rb, un elemento no esencial y no tóxico osciló entre 21 y 50,4 $\mu\text{g} / \text{L}$ posiblemente debido a la meteorización de las rocas volcánicas y las actividades metalúrgicas en el área



de estudio (Ledoux *et al.*, 2017). Las concentraciones de Zn y Pb se atribuyen principalmente a los vertidos de las industrias de pinturas (Walter y Viguerie, 2018). Asimismo, los altos niveles promedio de metales tóxicos (Cr, Ni, Hg, Cu, As, Cd) en el río Atoyac son aportados principalmente por las miles de industrias ubicadas en la cuenca del río que causan efectos adversos en la biota y degrada la salud del río (Bhuyan *et al.*, 2017). Las altas correlaciones positivas de Ti vs Cr, Sc, Cd, Hg, Pb ($r_2 = 0,99$; $p_b 0,001$) reflejan su origen en los efluentes de las industrias automotrices ubicadas en el área de estudio (Schauerte, 2003), mientras que la correlación significativa entre el clordano y el antraceno indican el hecho de que se obtienen principalmente de los plaguicidas utilizados para las prácticas agrícolas (Purdue *et al.*, 2007).

Compuestos orgánicos. Se observó que las mediciones promedio de compuestos orgánicos (todos los valores en mg/L) fueron naftaleno (2.03), fluoranteno (0.21), fenantreno (0.34), antraceno (0.003), pireno (0.21), benzo (a) antraceno (0.29), Benzo (a) pireno (0,19), PAH totales (4,62), PLH totales (9,13), anilina (1,17), PCB, malatión (5,18), clordano (0,38), aldrina (0,0004), dieldrina (0,002), DDT (0,21) Lindano (0,01) y Organoestaño (0,001).

La determinación de compuestos orgánicos es importante ya exhiben una pronunciada persistencia frente a los procesos de degradación y son altamente tóxicos (Kawano y Thao, 2012). Los HAP presentes en el río Atoyac (0,47 a 15,8 mg/L) se identifican como una fuente mixta de combustión de petróleo y combustibles fósiles; sin embargo, los altos valores de malatión (0,001 a 21,72 mg/L) se atribuyen a la influencia de los plaguicidas y sugieren la existencia de riesgo para la salud ambiental (Sun *et al.*, 2017). Temporalmente, se encontraron altas concentraciones de compuestos orgánicos durante los meses de noviembre a diciembre, mientras que la estación 3B presentó valores extremadamente altos (85.59 mg/L) de contaminantes orgánicos debido a su proximidad a una gran extensión de complejo industrial (por ejemplo, textiles, productos farmacéuticos, autopartes, celulosa, etc.).

El fenantreno mostró relaciones positivas significativas con benzo (a) antraceno, benzo (a) pireno, fluoranteno ($r_2 = 0,99$; $p_b 0,001$) indicando sus fuentes de las industrias petroquímicas de la zona (Qamar

et al. 2017), mientras que correlaciones entre Malation vs Lindano ($r_2 = 0,99$; $p_b 0,001$) que reflejan la influencia de los pesticidas (Li *et al.*, 2006). De ahora en adelante, los contaminantes orgánicos que son bioacumulativos pueden ser priorizados debido al riesgo potencial para los ecosistemas y la salud humana a través del proceso de biomagnificación (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2019b).



Tabla 62. Parámetros analizados para las anomalías en el río Atoyac, centro de México

Group	Parameter	Method	Instrument used	Detection limit	Reference material
Physicochemical parameters in field	Temperature (T)	N/A	Monitoring station AquaTest-Mo	-	-
	pH (pH)	N/A		-	Buffer pH 8
	Conductivity (EC)	N/A		-	KCl Solution 1413 µS
	Turbidity (TURB)	N/A		-	Formazin 4000 NTU HACH
	Redox (ORP)	N/A		-	200 mv HACH
	Dissolved Oxygen (DO)	N/A		-	-
	Spectral Absorption Coefficient (SAC)	N/A		-	Potassium hydrogen phthalate
Physicochemical parameters in laboratory	Chemical Oxygen Demand Total (COD _{total})	SM-5220D	UV-Vis Lambda 20	30 mg/L	
	Chemical Oxygen Demand soluble (COD soluble)		UV-Vis Lambda 20	30 mg/L	
	Biochemical Oxygen Demand (BOD ₅)	SM-5210B	Oximeter YSI/51B	10 mg/L	
	Total dissolved solids (TDS)	SM-2540C	-	23 mg/L	
	Sediment solids (SS)	SM-2540 F	-	0.1 mg/L	
	Nitrite (NO ₂ ⁻ as N)	EPA 300 method	Chromatographer DIONEX DX-120	0.01 mg/L	SRM-1643f Trace elements in water
	Nitrate (NO ₃ ⁻ as N)			0.01 mg/L	
	Chloride (Cl ⁻)			0.03 mg/L	
	Fluoride (F ⁻)			0.01 mg/L	
	Phosphate (PO ₄ ⁻)			0.02 mg/L	
Inorganic compounds	Bromide (Br ⁻)			0.03 mg/L	
	Sulfate (SO ₄ ⁻)			0.03 mg/L	
	Si	EPA 6020B method	Espectrophotometer Perkin Elmer Sciex ELAN 9000	200 µg/L	
	Al			2 µg/L	
	Fe			10 µg/L	
	Ca			700 µg/L	
	Mg			2 µg/L	
	Na			5 µg/L	
	K			30 µg/L	
	Ti			0.1 µg/L	
	As			0.03 µg/L	
	Hg			0.2 µg/L	
	Ba			0.1 µg/L	
	Cr			0.5 µg/L	
	Cu			0.2 µg/L	IV-STOCK - 1643 Trace elements in water (ICP/MS)
	Ni			0.3 µg/L	
	Co			0.005 µg/L	
	Pb			0.01 µg/L	
	Zn			0.5 µg/L	
	Cd			0.01 µg/L	
Sr			0.04 µg/L		
V			0.1 µg/L		
Se			0.02 µg/L		
Mn			0.1 µg/L		
Rb			0.005 µg/L		
Mo			0.1 µg/L		



Organic compounds	Napthalene (Nap)	550 EPA method	Gas Chromatograph Hewlett PackardG1800 Columns	0.001	91,489 TraceCERT
	Fluoranthene (Fl)			mg/L	11,474 TraceCERT
	Phenanthrene (Phe)			0.001	73,338 TraceCERT
	Anthracene (An)			mg/L	07671 TraceCERT
	Pyrene (Pyr)			0.001	18,868 TraceCERT
	Benzo (a) anthracene (Baa)			mg/L	75,451 TraceCERT
	Benzo (a) pyrene (Bap)			0.001	51,968 TraceCERT
	Total PAHs			mg/L	ERMCA100
	Total PLHs			0.1 mg/L	
	Aniline (Ani)			0.001	51,788 Analytical Standard
	PCBs			mg/L	QC1033 certified reference
	Malathion (Mal)			0.001	91,481 TraceCERT
	Chlordane (Chl)			mg/L	PS75Analytical Standard
	Aldrin (Ald)			0.001	08575 TraceCERT
				mg/L	

Hernández-Rodríguez et al. 2019b



PERÍODO 2016

Pérez-Castresana (2019) realizó un estudio sobre la calidad del agua del río Atoyac en el valle de Puebla y el riesgo en la población Emilio Portes Gil, municipio de Ocoyucan. Durante el estudio realizado en el 2016 se llevaron a cabo los muestreos en la temporada de lluvias (junio, agosto, octubre) y sequía (mayo, noviembre), en la Represa Covadonga (Z1), Represa Echeverría (Z2), y canal de riego en E. Portes Gil (Z3) que se muestran en la fig. 59.

Figura 59. Zonas de estudio con fotografías de los sitios de colecta de muestras



Pérez-Castresana, 2016

Los resultados del estudio demostraron el estado anóxico del río Atoyac ($\sim 1.47 \text{mgO}_2/\text{L}$) y la alta contaminación orgánica, particularmente en sequía, así como la presencia de Enterobacterias de importancia patogénica. El estudio indica que la contaminación del río

Atoyac se ha incrementado en el tiempo, que el agua utilizada para el riego de cultivos no es apta para tal uso de acuerdo a la NOM CE-CCA-001-1989, y que las fuentes de agua para consumo humano en EPG están contaminadas posiblemente por la infiltración del agua del río Atoyac. Se concluye que la ingesta del agua de los pozos y del manantial, implica un riesgo en la salud, particularmente en sequía, ya que en esta temporada existe un flujo continuo del agua contaminada del río Atoyac debido a los mayores requerimientos para el riego.

Contaminación del río Atoyac en época de sequía-lluvia (2016)

Las características hidrológicas del río presentaron marcadas variaciones entre sequía y lluvia (tabla 63 y fig. 60). La DQO se duplicó en la época seca (260.60mg/L) y alcanzó valores que clasifican al cuerpo de agua como “altamente contaminado” ($\text{DQO} > 200 \text{mg/L}$) según la Escala de Clasificación de Calidad del Agua (ECCA) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), los valores de DBO5 y CT (Coliformes Totales) se incrementaron en un 50%. El Análisis de Componentes Principales (ACP) (fig. 8) demostró la relación positiva entre la DQO, DBO5, y los CT, y la relación inversa entre estos tres indicadores de contaminación, con respecto a la precipitación.

En época de lluvias se registraron aguas más turbias, coloreadas, y relativamente más oxigenadas, el río es más caudaloso y turbulento. Las tres variables se encontraron positivamente asociadas, pero solo la turbidez y el color registraron una correlación significativa (tabla 59). Aunque las concentraciones de O_2 en las aguas superficiales presentaron valores relativamente superiores en lluvia (de hasta 3mg/L de O_2), el valor medio no excedió a los 2mg/L , encontrándose por debajo del Límite Máximo Permisible (LMP) para la Protección de Vida Acuática (5mg/L) según la CE-CCA-001/89. Las bacterias mesofílicas aeróbicas (BMA) se correlacionaron positivamente con la turbidez, el color y el O_2 , coincidiendo sus picos en lluvia.

El agua del Atoyac se caracterizó por su alcalinidad ($\text{pH} \sim 8$) y temperaturas que fluctúan, más en época de sequía, entre 20°C . Se registró correlación positiva (significativa) entre los valores de pH y CT. En relación a los metales pesados, el Fe y el Al registraron valores supe-



riores a los LMP para la Protección de Vida Acuática (PVA) (LMP: Al=0.05 mg/L y Fe= 1 mg/L), según CE-CCA-001/89, en ambas temporadas, y para el Riego Agrícola (RA) (LMP Fe=5 mg/L) en el caso del Fe en época lluviosa (~5.92mg/L). El Cd y Ni, mostraron valores significativamente mayores en sequía, pero estos, al igual que el resto de los metales, no rebasaron los LMP indicados en las NOMs. Con base en el ACP, el Cd y Ni se relacionaron positivamente con el Cr y Zn, con tendencia a incrementarse en temporada seca. Lo mismo se observó con Al y Fe y con Pb en época de lluvia.

Contaminación del río Atoyac a nivel espacial

En la tabla 63 se observa el patrón de incremento en la contaminación orgánica (DBO5 y DQO) y bacteriológica desde la represa Covadonga (Z1) hasta EPG (Z3). Sin embargo, las diferencias espaciales no fueron significativas de acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis, lo que indica que el caudal se encuentra igualmente contaminado en toda su extensión, incluido el efluente que se desvía hacia Emilio Portes Gil (EPG).

En el estudio se registraron densidades promedios de Coliformes Totales (CT) entre $1.86E^5$ a $3.02E^5$ NMP/100 mL, alcanzando hasta $2.6E^5$ NMP/100 mL de coliformes de origen fecal (CF), cifra que supera sustancialmente el Límite Máximo Permisible (LMP) para riego agrícola (<1000 NMP/100 mL) de acuerdo a CE-CCA-001/89. Se identificaron 11 especies de bacterias patógenas oportunistas gram-negativas, pertenecientes a las familias 1) *Enterobacteriaceae* (*Morganella morganii*, *Enterobacter cloacae*, *Escherichia coli*, *Klebsiella oxytoca*, *Klebsiella pneumoniae*, *Hafnia alvei*, *Kluyvera sp.*, *Pantoea sp.*) 2) *Pseudomonadaceae* (*Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas sp.*), y 3) *Xanthomonadaceae* (*Stenotrophomona maltophilia*).

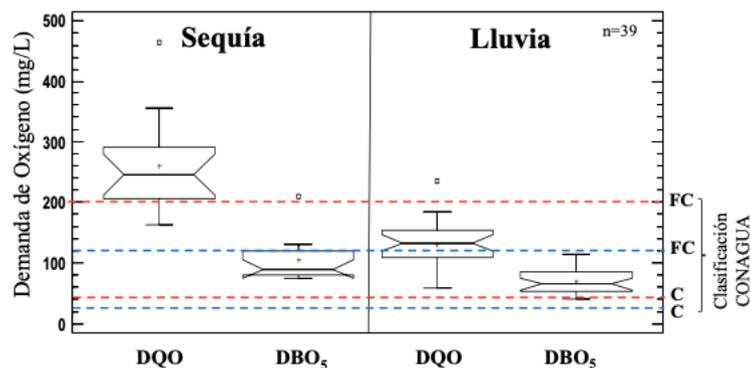
Tabla 63. Estadísticos descriptivos y valores de significancia de la Prueba Kruskal-Wallis en el análisis en lluvia y sequía, en el río Atoyac

Parámetros	Temporada de lluvia			Temporada de sequía			K. Wallis P-valor
	Media	Min-Max	DS	Media	Min-Max	DS	
TURB (UNT)	234.41	106 – 460	115.50	102.20	59 – 136	26.70	0.00*
Color (1/m)	35.42	16.40 – 65	14.70	19.40	14.30 – 24.20	3.80	0.00*
T (°C)	20.25	19 – 22	0.97	19.94	17.8 – 23	2.21	0.29
pH	8.02	7.60 – 8.40	0.21	8.21	7.80 – 8.70	0.28	0.00*
O ₂ (mg/L)	1.47	0 – 3.80	1.40	0.27	0 – 1.90	0.60	0.05*
DBO ₅ (mg/L)	69.79	40 – 115	22.52	105.00	75 – 210	34.89	0.00*
DQO (mg/L)	130.91	58 – 234	39.52	260.60	163 – 464	75.42	0.00*
CT	246 868	44 497 – 6.00E ⁵	1.8E ⁵	357 539	83 557 – 6.00E ⁵	2.0E ⁵	0.10
BMA	1.08E ⁸	2.47E ⁷ – 4.09E ⁸	1.5E ⁸	2.96E ⁷	6.09E ⁶ – 6.56E ⁷	8.6E ⁷	0.07
Al (mg/L)	4.807	0 – 21.16	7.13	2.131	0 – 20.72	5.21	0.50
Fe (mg/L)	5.928	0.77 – 16.5	4.84	3.388	0.93 – 16.5	4.19	0.00*
Zn (mg/L)	0.056	0 – 0.156	0.04	0.067	0 – 0.133	0.03	0.16
Ni (mg/L)	0.007	0 – 0.056	0.01	0.023	0 – 0.1	0.027	0.03*
Pb (mg/L)	0.019	0 – 0.07	0.02	0.008	0 – 0.03	0.009	0.28
Cr (mg/L)	0.015	0 – 0.067	0.022	0.028	0 – 0.178	0.046	0.26
Cu (mg/L)	0.017	0 – 0.089	0.020	0.014	0 – 0.067	0.022	0.38
Cd (mg/L)	0.000	-	-	0.004	0 – 0.011	0.005	0.00*

Nota: estadísticos descriptivos y p-valor de la prueba de Kruskal-Wallis en lluvias y sequía; Río Atoyac n = 39; SD = Desviación estándar S / * p < 0.05 diferencia significativa entre estaciones. CT en NMP/100 mL v BMA en UFC/100 mL. CT: coliformes totales; TURB: turbidez; BMA: bacterias mesofílicas aerobias.

Pérez-Castresana, 2016

Figura 60. Valores promedios de DQO y DBO5 en el río Atoyac, en época de Sequía y Lluvia. *FC=Fuertemente contaminado, C=Contaminado. Límites para DQO en líneas rojas, para DBO5 líneas azules



Pérez-Castresana, 2016



Se observa que la turbidez, el color, el pH, O₂ y las bacterias mesofílicas aeróbicas (BMA), muestran el mismo patrón de incremento desde Z1 a Z3, y son estadísticamente significativo el incremento en Z3, para el pH, O₂ y las BMA. El pH osciló alrededor de 8 indicando la condición básica del agua. La temperatura del agua superficial registró valores significativamente más bajos en la represa Covadonga Z1 (19.17°C), con respecto a las zonas Z2 y Z3. De los ocho metales que se detectaron en el agua, seis presentaron concentraciones superiores en la Z2 (represa Echeverría), y fueron significativas (pruebas Kruskal-Wallis y Tamhane) para Al, Zn, Ni y Pb, con incrementos del 468%, 100%, 355% y 409% respectivamente, el Al excedió los LMP para la PVA y el RA según CE-CCA-001/89.

Tabla 64. Estadísticos descriptivos y P valores en el análisis espacial, del río Atoyac

Parámetros	Zona 1	Zona 2	Zona 3	K.Wallis	Prueba Tamhane
	R. Covadonga	R. Echeverría	Canal de Riego		
	Media	Media	Media	P-Valor	Diferencias
TURB (UNT)	151.06	190.20	203.66	0.172	-
Color (1/m)	25.23	29.79	32.27	0.053	-
T (°C)	19.17	20.97	20.26	0.004*	Z1≠Z2,Z3
pH	8.04	7.98	8.14	0.000*	Z3≠Z2,Z1
O ₂ (mg/L)	0.52	0.49	2.32	0.000*	Z3≠Z2,Z1
DBO ₅ (mg/L)	87.00	78.66	94.58	0.128	-
DQO (mg/L)	179.33	180.60	215.5	0.429	-
CT	1.86E ⁵	2.84E ⁵	3.09E ⁵	0.092	-
BMA	3.03E ⁷	6.69E ⁷	8.05E ⁷	0.031*	Z3≠Z2,Z1
Al (mg/L)	1.11	7.73	1.62	0.039*	Z2≠Z1,Z3
Fe (mg/L)	2.96	7.50	4.00	0.128	-
Zn (mg/L)	0.038	0.088	0.050	0.007*	Z2≠Z1,Z3
Ni (mg/L)	0.006	0.025	0.005	0.029*	Z2≠Z1,Z3
Pb (mg/L)	0.008	0.028	0.003	0.004*	Z2≠Z1,Z3
Cr (mg/L)	0.013	0.033	0.011	0.081	-
Cu (mg/L)	0.006	0.019	0.026	0.063	-
Cd (mg/L)	0.002	0.002	0.000	0.354	-

n=39; D.S= Desviación Estándar/ *p<0.05 diferencia significativa entre zonas. CT, CF en NMP/100mL y BMA en UFC/100mL. TURB: Turbidez; BMA: Bacterias mesofílicas aeróbicas; CT: Coliformes totales.

Pérez-Castresana, 2016

Contaminación generada entre 2011-2016 (río Atoyac)

En la tabla 65, se presentan los datos correspondientes a la calidad del agua en el 2011 publicados en la Declaratoria del río Oficial 2011,

los resultados de la presente investigación, de la RNM del 2016 y las metas de calidad indicadas en la Declaratoria para el plazo 2012-2015. Asimismo, se incluye los porcentajes de incremento para los parámetros que registraron alzas en el período 2011-2016.

Al comparar los valores de DBO₅ y DQO del año 2011 con los obtenidos 5 años después (2016) se observa que la DBO₅ se mantuvo prácticamente constante en el tiempo (<3%), sin embargo, la DQO presentó un incremento superior al 22% (estudio) y 71% (RNM). Las concentraciones de Al y Fe se incrementaron en un 885%, y 1000% respectivamente. El resto de los metales no excedieron los LMP de la Declaratoria, sin embargo, se registra un aumento del 5% en el Pb y 815% en Cd, lo que indica el aporte adicional en el tiempo. Aunque en la Declaratoria no se incluye el valor de la carga bacteriana para el 2011, sí se especifica para el 2015, fijándose un valor inferior a las 1000 bacterias en 100 mL, lo cual estuvo muy lejos de cumplirse, pues se registraron densidades de CF de hasta 265631 NMP/100 mL en el agua del río.

Tabla 65. Comparación de datos entre la Declaratoria Oficial 2011, los resultados de la presente investigación, la RNM 2016 y la Declaratoria 2012-2015

Parámetros	Declaratoria Datos 2011	RNM Datos 2016	Evaluación actual 2016	Declaratoria Meta 2012-2015
T °C	-	-	20	<35
pH	-	-	8	<6.5-8.5
CF NMP/100mL	-	19900	2.6E ⁵	<1000
DBO ₅ (mg/L)	84.54	82.64 (-)	87.33 (3%)	39.6
DQO (mg/L)	160.62	274 (71%)	195.75 (22%)	93.9
Cd (mg/L)	0.002	-	0.018 (815%)	0.004
Cu (mg/L)	0.032	-	0.012	0.06
Cr (mg/L)	0.025	-	0.002	0.05
Ni (mg/L)	0.098	-	0.063	0.60
Pb (mg/L)	0.009	-	0.015 (5%)	0.03
Zn (mg/L)	0.059	-	0.023	0.12
Al (mg/L)	0.563	-	4.42 (685%)	0.50
Fe (mg/L)	0.200	-	5.23 (2519%)	0.34

Parámetros en negrillas excedieron la capacidad de asimilación y dilución del río para el 2011, según la Declaratoria de Clasificación del río Atoyac. CT: Coliformes fecales.

Pérez-Castresana, 2016



PERÍODO 2017

El equipo de investigadores de Tabla-Hernández *et al.* (2019), desarrollaron en abril de 2017 un estudio que tuvo como objetivo evaluar la presa Valsequillo como sistema de biofiltración, que realiza un proceso de autodepuración mediante la acción de las plantas de jacinto de agua que cubren el embalse. Para ello se determinó la concentración de trece metales potencialmente tóxicos (PTM) (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Ti, V y Zn) en agua, plantas de jacinto de agua (*E. crassipes*) y sedimentos. También se calcularon para determinar tanto la calidad de los sedimentos como la capacidad de las plantas de jacinto de agua para absorber y transferir PTM a las diferentes partes de la planta.

Se seleccionaron catorce puntos de muestreo de agua, incluidos dos en el río Atoyac, dos en el río Alseseca y diez en el embalse de Valsequillo (fig. 61) en la selección de los puntos de muestreo se tuvo en cuenta la entrada y salida del sistema así como varios puntos intermedios del embalse de Valsequillo.

Debido a que el embalse del Valsequillo es un valle fluvial inundado, tiene diferentes profundidades de agua, que dependen de la ubicación; las muestras fueron colectadas a 20 cm de profundidad.

Resultados. Los parámetros fisicoquímicos medidos a lo largo del punto de muestreo se presentan en la tabla 66. Las concentraciones de OD están entre 0.25 y 3.52 mg/L. La parte del embalse cubierta

Figura 61. Puntos de muestreo en el sitio Ramsar (embalse de Valsequillo) en Puebla, centro de México

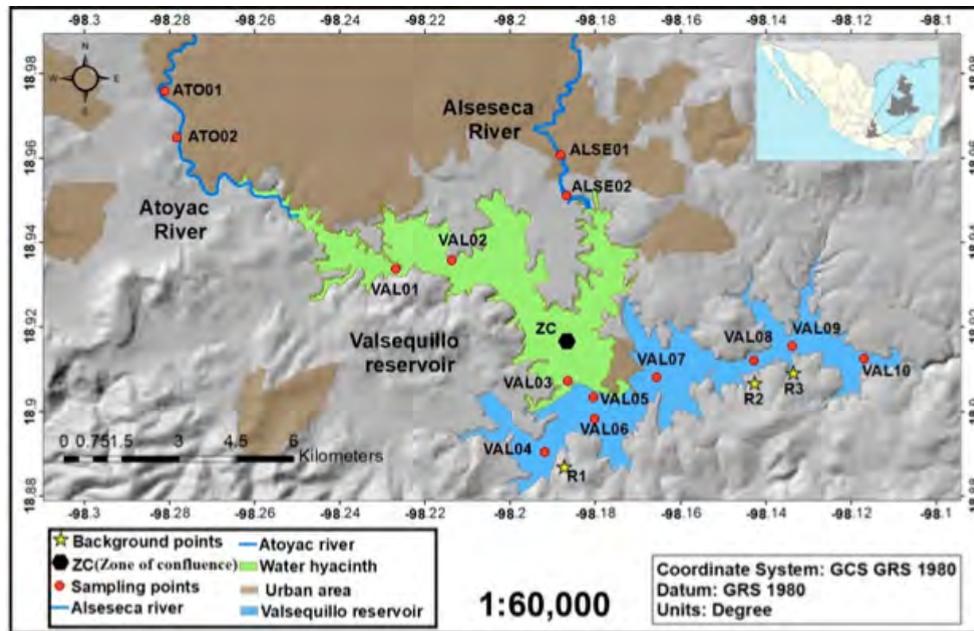


Tabla-Hernández *et al.* 2019

con plantas de jacinto de agua (RW) presenta los valores más bajos principalmente porque las plantas acuáticas actúan como barrera entre la atmósfera y el agua, evitando la disolución del oxígeno en el agua superficial. Sin embargo, la diferencia no es estadísticamente significativa ($p > 0,05$). Es razonable asumir esta premisa, pero se necesitan más datos para verificar esta suposición. La temperatura es significativamente más alta en los ríos que en el resto del embalse, sin embargo, esto puede deberse a que el horario del muestreo no fue el mismo, siendo en la mañana en los ríos (8:00 am) y en la tarde para el reservorio. El pH no es significativamente diferente entre las diferentes zonas estudiadas, probablemente debido al efecto amortiguador que una alta concentración de carbonatos provenientes de fuentes naturales, confiere al reservorio. Además, como el pH, el ORP es casi constante a lo largo del sistema. Sin embargo, el ORP se correlaciona negativamente con la temperatura ($p < 0,05$) principalmente porque el oxígeno (el agente oxidante en las reacciones de óxido de reducción) se reduce a temperaturas más altas y viceversa.

Tabla 66. Parámetros fisicoquímicos medidos a lo largo de puntos de muestreo en el área de estudio

Sampling Point	DO (mg/L)	Temp (°C)	pH	ORP	Turb (NTU)	EC (µS/cm)
ALSE01	2.53	22.70	8.11	143.00	138.00	2147.20
ALF02	2.79	23.70	6.71	135.00	135.00	1756.70
ATO01	-	25.60	7.42	91.70	56.60	1187.20
ATO02	2.62	26.70	7.82	-76.30	57.70	1167.20
VAL01	1.17	18.72	7.85	32.10	99.80	1271.14
VAL02	2.33	21.62	7.51	126.00	23.60	1096.56
VAL03	0.31	19.63	7.64	223.80	9.74	838.00
VAL04	0.79	19.12	6.81	170.30	9.10	827.00
VAL05	2.76	21.40	7.60	149.30	8.76	837.70
VAL06	2.78	19.90	7.17	145.10	4.66	826.00
VAL07	2.25	19.91	6.89	122.10	2.90	821.00
VAL08	0.25	20.15	7.76	150.40	1.90	816.00
VAL09	3.52	20.69	7.96	159.00	2.10	810.00
VAL10	2.30	21.97	7.66	181.90	1.27	813.00

Physicochemical Parameters (Mean Values ± SD) in Water from Different Zones of the Reservoir						
Sampling zone	DO (mg/L)	Temp (°C)	pH	ORP (mV)	Turb (NTU)	EC (µS/cm)
Inlet ¹	2.64 ± 0.13 ^a	24.67 ± 1.80 ^a	7.51 ± 0.60 ^b	73.35 ± 102.28 ^a	96.83 ± 45.83 ^{b,c}	1564.45 ± 474.86 ^{b,c}
RW ²	1.26 ± 1.01 ^a	19.98 ± 1.48 ^{b,a}	7.66 ± 0.17 ^a	127.30 ± 95.85 ^a	44.38 ± 48.49 ^a	1069.57 ± 217.92 ^a
RF ³	2.09 ± 1.16 ^a	20.44 ± 0.97 ^{c,b}	7.40 ± 0.44 ^b	154.01 ± 19.15 ^a	4.38 ± 3.28 ^{c,b}	821.46 ± 9.41 ^{c,b}

¹ Both rivers, ² Valsequillo reservoir with *Eichhornia crassipes* (RW) and ³ Valsequillo reservoir free of *Eichhornia crassipes* (RF). Note: The superscript different letters (a, b and c) indicate a significant difference in levels among different zones of the study area (Tukey's test or Dunn's method when appropriate, $p < 0.05$).

Tabla-Hernández et al. 2019

Los resultados más significativos en cuanto a los parámetros fisicoquímicos son Turbidez y Conductividad eléctrica, desde la entrada (ambos ríos) hasta la salida del sistema de biofiltración (reservorio

cubierto con Jacinto de agua); se registró una disminución de ambos parámetros. De hecho, la salida del sistema (RF) presenta valores de ambos parámetros significativamente más bajos que en la entrada del sistema de biofiltración (ambos ríos). Además, la Turbidez y la Conductividad eléctrica tienen una fuerte correlación positiva (0.953) con $p < 0.05$ (tabla S1), revelando que el sistema de biofiltración es eficiente en la remoción de sólidos suspendidos y disueltos.

Con respecto a los resultados de los PTM, para determinar el grado de contaminación del agua en el área de estudio, todos los valores de concentración se compararon con los valores de referencia de la reglamentación local para descargas de aguas residuales a las aguas superficiales (NOM-001-SEMARNAT-1996, Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015 (LFD-MA) y Finalmente Declaratoria de clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac y sus afluentes (DCRAX)). Además, al igual que con la regulación local, los resultados del agua también se compararon con las tablas de referencia rápida de detección (SQuiRT) de la administración Nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los estados Unidos (NOAA). Se demostró que todos los niveles de metales potencialmente tóxicos (PTM) son más bajos que los límites permitidos establecidos por las regulaciones locales, excepto para Hg y Ba (tabla 67).

En el río Alseseca, la concentración media de Hg excedió el límite de DCRAX, probablemente debido al constante derrame de desechos industriales textiles y automotrices a lo largo del río Alseseca. Por otro lado, la concentración media de Ba superó el límite establecido por LFDMA en todas las zonas estudiadas, posiblemente relacionado con el enriquecimiento natural en la cuenca geológica. En cuanto a los valores de agua de SquiRT, el contenido de metales en las cuatro zonas estudiadas estuvo apenas por encima de los límites. Además, los niveles de Hg en los ríos están por debajo de los límites y en el embalse están cerca del límite. Los niveles de cadmio en las dos zonas del embalse (RW y RF) se encuentran por debajo del límite, lo que puede representar una amenaza para la biota acuática del embalse debido a la alta toxicidad de este elemento.



Con respecto a la diferencia de concentraciones de metales entre las partes del yacimiento cubiertas con *E. crassipes* (RW) y desprovistas de *E. crassipes* (RF), se observó que los valores medios de Zn y Ti son significativamente mayores en el RW que en RF ($p < 0,05$). Esto probablemente se deba a que en la orilla del embalse de Valsequillo, particularmente cerca del punto de muestreo VAL03, se encuentra un asentamiento humano llamado San Baltazar Tetela, que descarga sus aguas residuales en el embalse. Estas aguas residuales pueden contener metales provenientes de una amplia variedad de productos domésticos, como pasta de dientes, cosméticos, baterías y materiales de limpieza que contienen trazas de concentraciones de estos metales y enriqueciendo así el contenido de estos metales en esa zona específica. Además, las plantas de jacinto de agua que cubren el embalse de Valsequillo absorben metales del agua durante el período de crecimiento durante la senescencia, la planta es susceptible de liberar metales junto con los tejidos de las plantas de jacinto de agua en el agua circundante.

Los valores medios de concentración de Ni y V son significativamente mayores ($p < 0.05$) en los ríos (Atoyac y Alseseca) que en la zona de embalse libre de plantas de jacinto de agua (FR). Así, se puede suponer que dentro de la zona que cubren las plantas de jacintos de agua, existe un proceso de remoción de metales que es realizado principalmente por estas plantas. Además, la presencia de plantas de jacinto de agua en esta zona podría favorecer el proceso de sedimentación impulsado principalmente por el cambio de régimen hidráulico. Además, la rizosfera de la planta estimula el crecimiento de la biopelícula aeróbica que puede desempeñar un papel importante en la adsorción de PTM del agua. Además, las plantas pueden secretar exudados que contienen carbohidratos, aminoácidos, polisacáridos y flavonoides, que a su vez pueden actuar como agentes quelantes exógenos y precipitar así PTM. En consecuencia, esta zona también puede denominarse sistema de biofiltración.

Tabla 67. Concentraciones potenciales de metales tóxicos (valores medios \pm DE) en agua y sedimentos de diferentes zonas: río Alseseca, río Atoyac, embalse de Valsequillo con *Eichhornia crassipes* (RW) y embalse de Valsequillo libre de *Eichhornia crassipes* (RF)

Sampling Zone	Water ($\mu\text{g/l}$)												
	Co	Zn	As	Ni	Cu	Pb	Ti	Cr	Ba	Mo	V	Hg	Cd
Alseseca R.	0.6	51.1	2.2	7.6	1.7	0.2	8.5	4.2	89.3	0.8	8.0	1.5	0.1
Atoyac R.	0.4	4.8	2.8	3.9	1.2	0.1	0.4	2.0	63.1	0.6	4.8	0.8	0.0
RW	1.2 ± 0.8^a	6.9 ± 2.8^a	3.4 ± 0.8^a	4.8 ± 0.7^a	1.7 ± 0.7^a	0.9 ± 1.1^a	3.2 ± 3.1^a	2.0 ± 0.0^a	78.9 ± 6.9^a	1.4 ± 1.1^a	4.7 ± 1.8^a	0.6 ± 0.2^a	0.6 ± 1.0^a
RF	0.8 ± 1.3^a	2.0 ± 0.0^b	2.7 ± 1.5^a	2.8 ± 1.2^a	0.9 ± 0.9^a	0.4 ± 1.0^a	0.4 ± 0.2^b	2.2 ± 0.6^a	76.8 ± 4.8^a	0.8 ± 1.3^a	2.3 ± 1.4^a	0.6 ± 0.0^a	0.5 ± 1.3^a
Comparison with Permissible Limits of Water Set by Different Local and International Regulation													
Regulation													
NOM-001-SEMARNAT-1996	-	10000	200	2000	4000	500	-	1000	-	-	-	10	200
LFDMA	-	2000	100	200	200	500	-	100	10 ^a	-	-	-	10
DCRAX	-	120	50	600	50	30	-	50	-	-	-	1	4
(SQuiRTs) *	3.0	120	3.1 ^a	52	9	2.5	-	11 ^a	3.9	34	19	0.77	0.25
Sediments (mg/Kg)													
Inlet (both Rivers)	15.7 ± 2.7^a	88.7 ± 16.3^a	3.5 ± 1.0^a	45.2 ± 13.2^a	15.5 ± 3.1^a	18.7 ± 5.9^a	2675.0 ± 1081.2^a	61.5 ± 22.4^a	76.15 ± 24.6^a	1.0 ± 0.0^a	63.5 ± 55.2^a	1.2 ± 0.5^a	0.35 ± 0.1^a
RW	18.0 ± 5.3^a	151.0 ± 23.4^a	3.0 ± 0.0^a	68.7 ± 9.3^a	44.3 ± 3.1^b	24.3 ± 2.5^a	5033.3 ± 568^b	68.7 ± 6.7^a	79.0 ± 6.9^a	7.0 ± 5.2^a	$118.3 \pm 22^{b\text{-inlet}}$	5.7 ± 7.2^a	0.5 ± 0.3^a
RF	$24.7 \pm 5.4^{b\text{-inlet}}$	135.3 ± 41.9^a	4.3 ± 2.2^a	$71.7 \pm 6.3^{b\text{-inlet}}$	44.3 ± 12.4^c	24.9 ± 6.4^a	4428.6 ± 442^c	74.7 ± 8.6^a	76.8 ± 4.8^a	$12.4 \pm 5.8^{b\text{-inlet}}$	92.7 ± 9.4^a	1.0 ± 0.0^a	0.5 ± 0.2^a
Comparison with Permissible Limits of Sediments Set by International Regulation													
(SQuiRTs) ¹	50.0	120.0	6.0	16.0	16.0	31.0	-	26.0	-	-	-	0.2	0.6
(SQuiRTs) ²	-	98.0	10.8	19.5	28.0	37.0	-	36.3	-	-	-	-	0.6

Note: The superscript different letters (a and b) indicate a significant difference in levels of the particular metal between different zones of the study area (Tukey's test or Dunn's method when appropriate, $p < 0.05$); ^a Protection to aquatic life; * Chronic values for freshwater; ^a As (V); ^a Cr (VI); ¹ Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario Aug 1993; ² EPA 905-R96-008.

El sistema de biofiltración en el embalse de Valsequillo demostró ser efectivo en la remoción de PTM del agua ya que la eficiencia total de remoción de PTM (desde la entrada hasta la salida) de Co, Zn, As, Ni, Cu, Pb, Ti, Cr, Mo y V fue (todos los valores en%) 18, 71, 19, 42, 51, 65, 51, 5, 54 y 65, respectivamente. Sin embargo, para casi todos los PTM, la eficiencia de eliminación en las primeras etapas del sistema de biofiltración (es decir, VAL01, VAL02 y VAL03) fue baja (para algunos PTM fue de cero%). Lo anterior puede indicar que al morir, las plantas de jacinto de agua podrían estar agregando estos elementos al sistema.

Por lo tanto, se puede plantear la hipótesis de que dentro del sistema de biofiltración existe un equilibrio dinámico en el que la bioacumulación y liberación de PTM por las plantas de jacinto de agua está presente al mismo tiempo. Para probar la hipótesis anterior, se midió el contenido de PTM en plantas de jacinto de agua y sedimentos y los resultados se presentan a continuación (Tabla-Hernández, 2019).

PERÍODO 2018

La SEMARNAT en diciembre de 2018, con la finalidad de conocer el estado de la práctica en el tratamiento integral de las aguas residuales municipales, generó el inventario comprende el conjunto de plantas de tratamiento registrado para tal efecto en Conagua, sin considerar quién las haya construido o las opere (tablas 68a y b; 69a y b; 70, 71 y 72).

- No se incluyen las plantas de tratamiento de descargas provenientes de industrias, centros comerciales y hospitales, entre otras de carácter privado.
- Este inventario considera los efluentes de fosas sépticas de núcleos habitacionales como parte del caudal tratado, pero no el de fosas unitarias de casas habitación.

Evolución de las plantas de tratamiento de aguas residuales del 2017 al 2018.

- Al concluir el año 2017 existían registradas en el país, 2,526 plantas municipales de tratamiento en operación, con una capaci-

dad total instalada de 181.150.24 l/s, las que daban tratamiento a 135.580.28 l/s, equivalentes al 63.0% del agua residual generada y colectada en los sistemas municipales de alcantarillado del país.

- Al cierre de 2018 el registro de plantas en operación aumentó a 2,540 instalaciones en relación con el año anterior con una capacidad instalada de 181.152.22 l/s y un caudal tratado de 137.698.61 l/s, que significa incrementos que permitieron alcanzar una cobertura nacional de tratamiento de aguas residuales municipales del 64% en el ejercicio.
- A diciembre de 2018 en el estado de Puebla existían 85 plantas de tratamiento con una capacidad instalada de 3,516.9 litros por segundo (l/s) y con un caudal tratado de 5,592.5 l/s de los cuales 34 plantas son de tipo Rafa o WASB16 son lagunas de estabilización, 14 son de lodos activados, 7 son fosas sépticas, 4 son filtros percoladores, 4 con solo tratamiento primario avanzado, 1 de tratamiento biológico, 1 de biodiscos, 1 con fosa séptica+wetland, 1 con sólo tratamiento primario o sedimentación y 1 con Rafa + filtro biológico (Tabla 73).

A diciembre de 2018 en el estado de Puebla existían 85 plantas de tratamiento con una capacidad instalada de 3,516.9 litros por segundo (l/s) y con un caudal tratado de 5,592.5 l/s de los cuales 34 plantas son de tipo Rafa o WASB16 son lagunas de estabilización, 14 son de lodos activados, 7 son fosas sépticas, 4 son filtros percoladores, 4 con solo tratamiento primario avanzado, 1 de tratamiento biológico, 1 de biodiscos, 1 con fosa séptica+wetland, 1 con sólo tratamiento primario o sedimentación y 1 con Rafa + filtro biológico (tabla 73).

El estado de Puebla es que tiene mayor número de plantas de tratamiento (55) con un gasto tratado de 3,418.5 l/s de la región administrativa IV y de 30 plantas más con un gasto tratado de 174.0 l/s en la región administrativa X, lo que hacen un total de 85 plantas con un gasto tratado de 3,592.5 l/s.

El más grande de estas plantas Puebla San Francisco, localizado en el municipio de Puebla tiene una capacidad instalada de 1,100 l/s y un caudal tratado de 1,100 l/s, y utiliza un proceso primario avanzado. El cuerpo receptor de esta agua tratada es el río Atoyac. Las otras plantas de tratamiento de aguas residuales más grandes del estado



están ubicadas en el municipio de Puebla y son: Atoyac Sur, Parque Ecológico, Puebla Alseseca, y Puebla Barranca el Conde. Juntas estas plantas tienen una capacidad instalada total de 1520 l/s y una caudal tratado de 960 l/s. Con excepción de la planta Parque Ecológico que utiliza una parte del agua tratada para áreas verdes, todas estas plantas vierten el agua tratada en los ríos Atoyac y Alseseca.

De las 85 plantas de tratamiento de aguas residuales en el estado de Puebla, dos de estas plantas (Palmar el Bravo y La Candelaria-Purificación) utilizan métodos de infiltración al subsuelo. El destino del agua restante que es tratada son las barrancas, los ríos, drenes agrícolas y áreas de cultivo.

Tabla 68. Resumen del inventario de plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación a diciembre de 2018

Estado	No. Plantas	Capacidad Instalada (l/s)	Caudal Tratado (l/s)
Aguascalientes	135	4 840.0	2 982.7
Baja California	45	7 892.6	5 977.6
Baja California Sur	31	2 051.3	1 626.5
Campeche	17	155.0	162.8
Coahuila de Zaragoza	26	5 680.0	4 516.0
Colima	82	2 434.9	1 739.8
Chiapas	14	2 001.7	1 343.6
Chihuahua	185	10 263.1	7 031.7
Ciudad de México	29	6 604.5	2 451.5
Durango	220	4 638.7	5 496.1
Guanajuato	64	7 560.8	5 231.2
Querrero	107	4 420.3	3 755.5
Hidalgo	50	23 026.0	22 133.0
Jalisco	122	15 245.2	12 346.2
México	131	9 744.7	6 400.1
Micróvval de Ocampo	16	4 143.3	3 175.4
Morelos	52	2 769.7	1 276.4
Nayarit	10	3 493.8	2 819.3
Nuevo León	55	16 157.0	12 590.4
Oaxaca	76	1 819.6	1 291.2
Puebla	85	3 516.3	3 592.5
Querétaro de Arteaga	51	2 449.4	1 892.4
Quintana Roo	31	2 685.0	1 780.2
San Luis Potosí	40	2 572.7	2 108.0
Sinaloa	279	6 496.7	5 837.2
Sonora	109	7 394.1	6 119.9
Tabasco	99	2 969.9	2 665.0
Tamaulipas	47	7 369.2	4 096.4
Tlaxcala	55	1 481.8	1 049.6
Veracruz de Ignacio de la Llave	108	7 014.8	4 771.9
Yucatán	28	448.7	231.5
Zacatecas	65	2 012.4	1 616.0
Total Nacional	2 540	181 152.2	137 698.6



Tabla 68a. Resumen por estado y por tipo de proceso (parte 1)

Estado	Aerobio		Anaerobio		Biológico		Discos Biológicos o Biodiscos		Dual		Filtros biológicos o Rotadores o Percoladores	
	No.	QOP (l/s)	No.	QOP (l/s)	No.	QOP (l/s)	No.	QOP (l/s)	No.	QOP (l/s)	No.	QOP (l/s)
Aguascalientes	-	-	5	72.0	-	-	1	10.0	1	1 890.2	-	-
Baja California	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	159.4
Baja California Sur	1	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Campeche	-	-	-	-	-	-	-	-	1	6.0	1	10.0
Coahuila de Zaragoza	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Colima	-	-	-	-	-	-	1	1.0	-	-	-	-
Chiapas	2	3.5	4	64.1	2	254.7	-	-	1	100.0	3	691.5
Chihuahua	1	28.0	1	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
Ciudad de México	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Durango	-	-	1	0.2	5	189.0	-	-	-	-	-	-
Guerrero	6	1 763.8	6	477	1	18.0	-	-	-	-	1	726.0
Hidalgo	-	-	16	42.1	-	-	6	20.8	1	21 650.0	1	1.0
Jalisco	-	-	-	-	-	-	1	5.0	-	-	2	225.0
México	2	7.5	16	75.9	8	54.7	1	8.0	2	1172.4	2	5.5
Michoacán de Ocampo	-	-	-	-	-	-	2	60.0	-	-	2	35.0
Morelos	1	41.2	4	9.4	-	-	3	33.5	3	24.1	6	606.5
Nayarit	-	-	-	-	-	-	8	483.0	-	-	2	900.0
Nuevo León	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oaxaca	-	-	8	21.1	-	-	-	-	-	-	1	75.0
Puebla	-	-	-	-	1	3.5	1	80.0	-	-	4	120.5
Queretaro de Arteaga	1	2.4	1	7.2	1	16.0	-	-	6	679.5	3	379.1
Quintana Roo	-	-	1	1.0	-	-	-	-	7	324.9	1	227.8
San Luis Potosí	-	-	6	14.7	-	-	-	-	1	1000.0	-	-
Sinaloa	-	-	-	-	-	-	2	26.9	1	547.8	-	-
Sonora	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tabasco	-	-	3	40.0	6	174	1	10.0	-	-	1	75.0
Tamaulipas	-	-	-	-	1	18.0	-	-	-	-	-	-
Tlaxcala	-	-	1	1.1	-	-	-	-	-	-	1	200.0
Veracruz Ignacio de la Llave	-	-	18	198.6	6	166.0	-	-	-	-	2	1054.7
Yucatán	-	-	8	74.6	-	-	1	12.0	1	7.3	-	-
Zacatecas	-	-	-	-	-	-	2	122.0	-	-	1	43.6
Total Nacional	20	1 848.5	100	624.7	30	737.3	30	872.2	24	27 402.3	39	5 129.6

SEMARNAT, 2018



Tabla 68b. Resumen por estado y por tipo de proceso (parte 1)

Estado	Fosa Séptica		Fosa Séptica + Filtro Biológico		Fosa Séptica + Wetland		Humedales (Wetland)		Lagunas Aireadas		Lagunas de Estabilización		Otro	
	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)
Aguascalientes	15	111	-	-	-	-	3	3.4	-	-	66	150.7	-	-
Baja California	-	-	-	-	-	-	-	-	9	2 993.0	-	-	-	-
Baja California Sur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	273.0	-	-
Campeche	-	-	-	-	-	-	1	12.0	-	-	-	-	-	-
Coahuila de Zaragoza	1	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	6	1 461.0	-	-
Colima	1	1.0	15	16.1	1	0.7	-	-	-	-	10	44.4	-	-
Chiapas	4	3.5	-	-	-	-	1	27.0	-	-	12	777.7	-	-
Chihuahua	-	-	-	-	-	-	1	0.7	-	-	144	1 219.8	-	-
Ciudad de México	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	51.1
Durango	4	5.5	-	-	-	-	2	9.0	1	1 680.0	186	1 037.3	2	2.8
Guanajuato	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	714.0	-	-
Guerrero	-	-	-	-	-	-	1	6.0	1	6.0	10	79.2	-	-
Hidalgo	-	-	1	4.0	1	4.0	1	0.9	1	30.0	4	25.3	2	6.3
Jalisco	-	-	-	-	-	-	4	5.2	1	16.0	9	87.0	-	-
México	1	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	14	517.2	2	53.8
Michoacán de Ocampo	-	-	-	-	1	3.5	4	17.9	1	190.0	15	714.0	-	-
Morelos	1	4.0	-	-	-	-	2	2.0	-	-	-	-	-	-
Nayarit	1	1.0	-	-	-	-	1	2.0	1	40.0	36	416.1	-	-
Nuevo León	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	122.0	-	-
Oaxaca	-	-	-	-	-	-	39	145.2	-	-	6	40.0	-	-
Puebla	2	12.2	-	-	1	1.1	-	-	-	-	16	158.7	-	-
Queretaro de Arteaga	-	-	-	-	-	-	1	1.5	-	-	1	1.9	-	-
Quintana Roo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
San Luis Potosí	1	0.2	-	-	-	-	2	10.7	1	240.0	8	310.5	2	22.0
Sinaloa	18	86.1	23	19.4	108	183.7	1	10.2	3	32.5	33	1 970.9	-	-
Sonora	11	4.8	-	-	-	-	1	4.1	2	1104.1	80	1 435.5	-	-
Tabasco	-	-	-	-	-	-	7	975.2	2	416.0	11	676.3	2	14.0
Tamaulipas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	1 162.4	2	40.0
Tlaxcala	-	-	-	-	3	6.0	2	16.5	3	220.0	9	227.2	-	-
Veracruz Ignacio de la Llave	7	9.7	-	-	-	-	-	-	-	-	14	548.2	2	6.4
Yucatán	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zacatecas	-	-	1	4.1	-	-	-	-	3	56.2	20	218.3	2	7.2
Total Nacional	100	141.8	40	43.6	115	207.0	74	1 249.4	29	7 023.8	774	13 738.6	17	203.5

SEMARNAT, 2018



Tabla 69a. Resumen por estado y por tipo de proceso (parte 2)

Estado	Lodos Activados		Primario Avanzado		Primario o Sedimentación		Rafa + Filtro Biológico		Rafa o Wasb		Rafa, Wasb + Humedal		Reactor Enzimático	
	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)
Aguascalientes	45	903.6	-	-	-	-	-	-	-	-	1	183	-	-
Baja California	75	1 951.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Baja California Sur	77	1 401.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Campeche	13	104.0	1	10.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coahuila de Zaragoza	10	3 004.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Colima	10	1 482.3	-	-	-	-	28	142.0	-	-	-	-	-	-
Chiapas	4	16.00	-	-	-	-	-	-	-	45	-	-	-	-
Chihuahua	14	5 742.0	-	-	5	95	-	-	-	-	-	-	-	-
Ciudad de México	28	2 400.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Durango	77	571.2	-	-	1	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-
Guanajuato	21	2 042.2	-	-	2	2.69	7	209.50	10	29.2	6	168.0	-	-
Guerrero	50	3 539.3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	10.0	-	-
Hidalgo	11	302.4	-	-	-	-	5	36.0	-	-	1	0.20	-	-
Jalisco	79	11 861.0	-	-	1	2.00	-	-	25	55.0	-	-	-	-
México	56	4 361.4	-	-	-	-	15	98.1	7	21.7	2	9.0	1	3.0
Michoacán de Ocampo	12	2 026.0	2	19.0	-	-	-	-	5	84.0	1	8.0	-	-
Morelos	26	555.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nayarit	13	584.5	-	-	-	-	1	68.00	3	6.0	4	9.70	-	-
Nuevo León	38	17 468.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oaxaca	20	991.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3.0
Puebla	14	435.9	2	2 695.0	1	6.0	1	2.8	34	73.2	-	-	-	-
Queretaro de Arteaga	36	727.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quintana Roo	22	1 226.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sán Luis Potosí	15	477.9	-	-	-	-	-	-	1	13.0	-	-	-	-
Sinaloa	27	1 169.1	1	1 687.0	-	-	-	-	-	-	1	29.5	51	75.1
Sonora	15	3 567.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tabasco	3	85.0	2	20.0	-	-	-	-	-	78	1	20.0	2	4.7
Tamaulipas	13	2 876.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tlaxcala	4	276.9	-	-	-	-	-	-	26	64.3	5	32.9	-	-
Veracruz (Estado de la Llave)	33	1 874.5	-	-	3	14.0	-	-	8	785.5	6	14.5	4	12
Yucatán	18	137.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zacatecas	10	1 073.5	-	-	-	-	5	20.8	10	30.6	5	28.0	5	9.6
Total Nacional	725	70 239.2	10	4 431.0	13	34.5	62	577.2	133	1 175.0	34	330.6	44	96.6

SEMARNAT, 2018



Tabla 69b. Resumen por estado y por tipo de proceso (parte 2)

Estado	Sedimentación + Wetland		Tanque Imhoff		Tanque Imhoff + Filtro Biológico		Tanque Imhoff + wetland		Terciario		Zanjas de Oxidación		Total	
	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)
Aguascalientes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	135	2 902.7
Baja California	-	-	-	-	-	-	-	-	2	33.7	7	838.5	45	5 977.8
Baja California Sur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	1 626.5
Campeche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	142.8
Coahuila de Zaragoza	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	50.0	26	4 516.0
Colima	-	-	2	4.70	14	39.6	-	-	-	-	-	-	82	1 739.8
Chilapas	-	-	1	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	34	1 343.6
Chihuahua	19	31.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	185	7 031.7
Ciudad de México	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	2 401.1
Durango	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.8	220	3 496.1
Guanajuato	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	5 221.2
Guerrero	-	-	1	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	67	3 755.5
Hidalgo	-	-	1	4.0	1	1.50	3	5.50	-	-	-	-	56	22 133.9
Jalisco	-	-	-	-	2	90.0	-	-	-	-	-	-	122	12 346.2
México	-	-	-	-	-	-	-	-	1	10.0	-	-	131	6 400.1
Michoacán de Ocampo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	18.0	46	3 175.4
Morelos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	1 276.4
Nayarit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	2 510.5
Nuevo León	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	12 590.4
Oaxaca	-	-	1	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	76	1 291.2
Puebla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3.6	85	3 592.8
Querétaro de Arteaga	-	-	-	-	1	4.5	-	-	-	-	1	73.0	51	1 892.4
Quintana Roo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	1 780.2
San Luis Potosí	1	6.00	-	-	1	1.0	1	5.0	-	-	-	-	40	2 101.0
Sinaloa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	279	5 037.2
Sonora	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	109	6 115.9
Tabasco	-	-	45	253.2	7	44.0	2	6.5	-	-	-	-	99	2 665.0
Tamaulipas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	4 096.4
Tlaxcala	-	-	1	4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	55	1 049.6
Veracruz Ignacio de la Llave	-	-	6	37.4	-	-	-	-	-	-	1	1.2	108	4 711.9
Yucatán	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	231.5
Zacatecas	1	2.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65	1 616.0
Total Nacional	21	39.9	58	326.0	26	180.5	6	17.0	3	43.7	13	985.1	2 540	137 698.6

SEMARNAT, 2018



Tabla 70. Resumen por proceso

Proceso	Plantas		Capacidad Instalada		Caudal Tratado	
	No.	%	l/s	%	l/s	%
Aerobio	71	3.79	3 098.8	1.71	1 648.9	1.34
Anaerobio	100	3.94	9 413.6	0.52	6 217.7	0.46
Biológico	30	1.18	1 131.4	0.62	737.3	0.54
Lodos Biológicos o Rodados	30	1.18	1 155.6	0.66	8 122.2	0.63
Otra	24	0.94	29 602.3	16.34	27 402.3	19.9
Filtros Biológicos o Rodados o Percoladores	39	1.54	6 418.1	3.54	5 129.6	3.73
Fosa Séptica	100	3.94	203.3	0.11	141.8	0.1
Fosa Séptica + Filtro Biológico	40	1.57	69.8	0.04	43.6	0.03
Fosa Séptica + Wetland	15	0.53	252.2	0.14	207.0	0.15
Humedales (Wetland)	74	2.91	1 416.6	0.78	1 249.4	0.91
Lagunas Aerasadas	29	1.14	8 773.8	4.84	7 023.8	5.10
Lagunas de Estabilización	774	30.47	10 391.0	10.15	13 730.0	9.90
Lodos Activados	725	28.54	93 298.1	54.81	70 239.2	51.01
Primario Avanzado	10	0.39	4 257.0	2.37	4 631.0	3.22
Primario o Sedimentación	13	0.51	32.0	0.03	34.5	0.03
Rafa + Filtro Biológico	62	2.44	853.1	0.47	577.2	0.42
Rafa o Wab	133	5.24	1 807.2	1.00	1 175.0	0.85
Rafa, Wab + Humedal	34	1.34	425.0	0.23	330.6	0.24
Reactor Enzimático	44	1.73	105.4	0.06	36.6	0.07
Sedimentación + Wetland	71	0.81	61.6	0.03	39.9	0.03
Tanque Imhoff	58	2.28	574.6	0.36	326.0	0.24
Tanque Imhoff + Filtro Biológico	26	1.02	219.2	0.12	100.5	0.13
Tanque Imhoff + Wetland	6	0.24	25.1	0.01	17.0	0.01
Terciario	3	0.12	80.0	0.04	43.7	0.03
Zanjas de Driedación	13	0.51	1 428.8	0.79	985.1	0.72
Otro	17	0.67	529.9	0.29	203.5	0.15
Total Nacional	2 540	100	181 152.2	100	137 698.6	100

SEMARNAT, 2018



Tabla 71. Resumen por estado y Región administrativa

Estado	I		II		III		IV		V		VI	
	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)
Aguascalientes												
Baja California	45	5 977.8										
Baja California Sur	31	1 626.5										
Campeche												
Coahuila de Zaragoza											18	2 338.0
Colima												
Chiapas												
Chihuahua			22	100.2	14	29.6					149	6 301.9
Ciudad de México												
Durango					117	2 435.0					0	12.0
Guangxi												
Guangzhou												
Guerrero							24	907.5	43	2 848.0		
Hidalgo												
Jalisco												
México							27	306.9				
Michoacán de Campesinos							16	1 178.0				
Moravia							52	1 276.4				
Nayarit					16	251.8						
Nuevo León											51	12 562.4
Oaxaca							7	93.0	53	931.0		
Puebla							55	3 418.5				
Querétaro de Arteaga												
Quintana Roo												
San Luis Potosí												
Sinaloa					279	5 837.2						
Sonora			109	6 115.9								
Tabasco												
Tamaulipas											15	2 244.6
Tlaxcala							48	981.0				
Veracruz (Ignacio de la Llave)												
Yucatán												
Zacatecas					2	44.6						
Total Nacional	76	7 604.3	131	6 216.1	428	8 599.0	229	8 161.3	96	3 779.0	241	24 659.9

VII		VIII		IX		X		XI		XII		XIII		Total	
No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)	No.	Qop (l/s)
		135	2 982.7											135	2 982.7
														45	5 977.8
														31	1 626.5
										17	142.0			17	142.0
0	1 577.0													36	4 510.0
		82	1 739.8											82	1 739.8
														34	1 243.6
														185	7 031.7
														29	2 451.5
95	1 048.4													29	2 451.5
		81	5 198.7	3	22.5									220	3 496.1
														64	5 221.1
														67	3 755.4
				20	701	2	63							34	22 057.6
														56	22 133.9



			20	701	2	63			54	22 057.6	56	22 133.9			
	122	12 346.2									122	12 346.2			
	36	2 921.4	6	44.4					63	3 127.5	131	6 400.1			
	30	1 997.4									46	3 175.4			
											54	1 276.4			
	54	2 258.5									70	2 310.3			
3	28 0		1	2 0							55	12 590.4			
					15	203 0	1	3 3			70	1 201.2			
					20	174 0					05	3 002.5			
	20	1 327.5	31	565 0							51	1 902.4			
								5	1 780.2		31	1 780.2			
21	1 607.9		19	493 1							40	2 101 0			
											279	5 837.2			
											109	6 115 9			
							99	2 665 0			99	2 665 0			
1	13.2		31	1 838 7							47	4 096 4			
									7	68 6	55	1 049 6			
			4	501	104	4 661 8					108	4 711 9			
									28	231 5	28	231 5			
36	1 310 3	27	261 2								65	1 616 0			
164	5 582 8	567	31 033 4	115	3 085 9	151	5 106 0	134	4 011 9	76	2 154 5	132	27 705 2	2 540	137 698 6

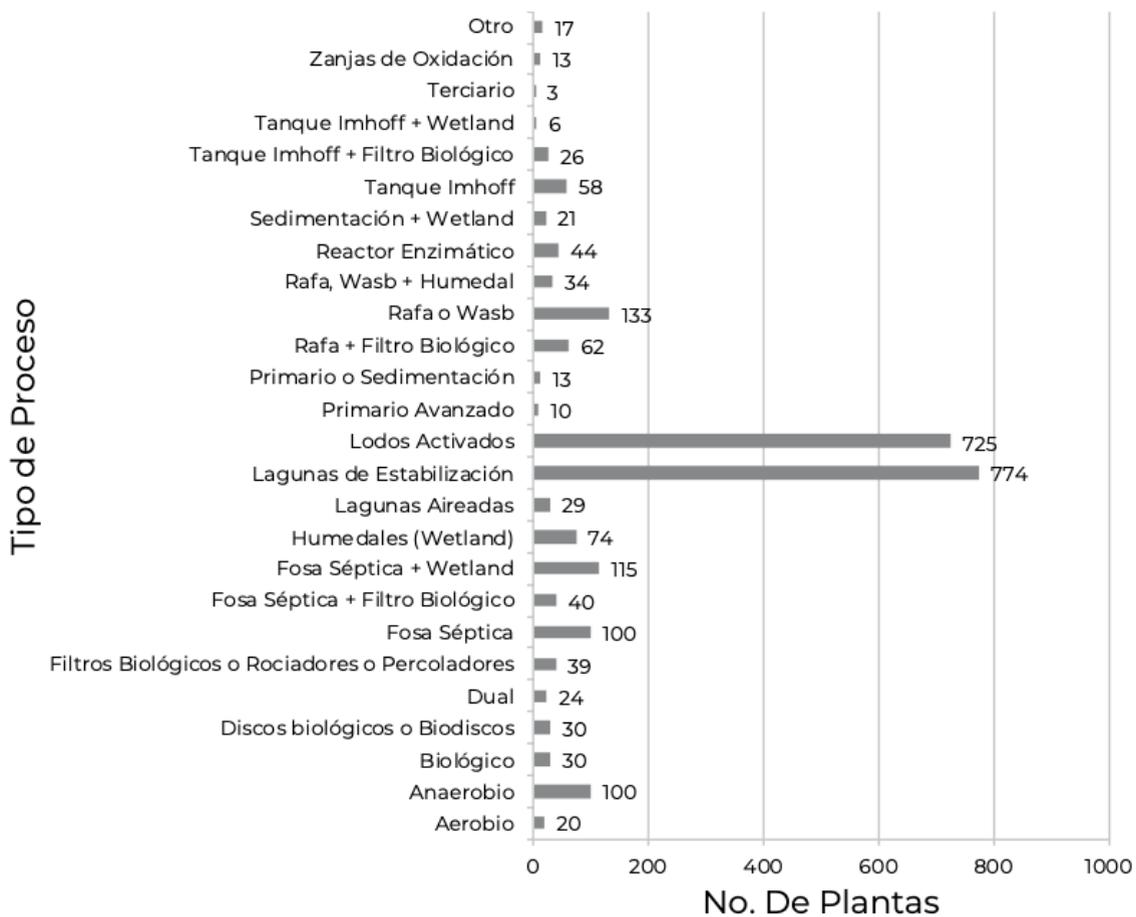
SEMARNAT, 2018

Tabla 72. Evolución del saneamiento del Agua en México

Año	Total		En Operación		
	No. de Plantas	Gasto Instalado (L/a)	No. de Plantas	Instalado (L/a)	Tratado (L/a)
1996	733 0	54 765 0	595 0	51 696 3	33 745 4
1997	871 0	61 653 1	639 0	57 401 7	39 388 8
1998	916 0	63 150 9	727 0	38 560 2	40 854 7
1999	999 0	67 532 9	777 0	61 559 0	42 396 8
2000	1 077 0	75 937 5	733 0	68 370 0	45 327 3
2001	1 131 0	80 607 2	938 0	73 852 6	50 810 0
2002	1 241 0	85 027 6	1 077 0	79 735 0	56 148 3
2003	1 359 0	89 570 3	1 182 0	84 331 5	60 242 6
2004	1 480 0	92 659 8	1 200 0	88 718 3	64 541 9
2005	1 664 0	101 332 0	1 433 0	95 774 3	71 784 8
2006	1 837 0	104 895 9	1 295 0	99 764 3	74 388 3
2007	2 020 0	112 294 8	1 710 0	106 266 7	79 294 3
2008	2 101 0	118 320 0	1 833 0	113 024 0	83 640 6
2009	2 303 0	125 623 8	2 029 0	120 860 9	88 127 1
2010	2 500 0	132 144 1	2 186 0	126 847 5	93 600 2
2011	2 719 0	144 074 7	2 289 0	137 082 1	97 640 2
2012	2 794 0	148 307 7	2 342 0	140 142 1	99 750 2
2013	2 835 0	161 727 1	2 287 0	152 171 9	105 934 9
2014	2 892 0	161 137 3	2 537 0	151 883 4	111 253 3
2015	3 076 0	187 953 8	2 477 0	177 973 6	120 902 2
2016	3 266 0	192 510 7	2 536 0	180 569 7	123 986 8
2017	3 285 0	194 455 3	2 546 0	181 150 2	135 580 3
2018	3 359 0	195 239 1	2 540 0	181 152 2	137 698 6



Figura 62. Número de plantas nacional por tipo de proceso de tratamiento



Semarnat, 2018



Tabla 73. Plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación en el estado de Puebla a diciembre de 2018

Municipio	Localidad	Nombre de la Planta	Proceso	Capacidad Instalada (l/s)	Caudal Tratado (l/s)	Cuerpo Receptor o Destino
Acajete	Acajete	Acajete	Lodos Activados	95.5	95.5	Barranca La Aguila
Acateno	Ejido Palo Gacho	Ejido Palo Gacho	Rafa o Wasb	18	18	Rio sin nombre
Acatlán	Acatlán de Osorio	Acatlán	Lodos Activados	40.0	40.0	Rio Acatlán
Albino Zertuche	Acaxtlahuacán de Albino Zertuche	Albino Zertuche	Lagunas de Estabilización	2.2	1.9	Barranca Huehuetera
Aljojuca	Aljojuca	Aljojuca	Lagunas de Estabilización	6.3	6.3	Laguna Aljojuca
Aljojuca	San Miguel Tecuclapa	San Miguel Tecuclapa	Lagunas de Estabilización	2.2	2.2	Lago San Miguel Tecuclapa
Atlequizarán	Ignacio Allende (Concepción)	Ignacio de Allende	Rafa o Wasb	2.1	2.1	Barranca de la localidad Ignacio Allende
Atlixco	Atlixco	Atlixco	Lodos Activados	150.0	113.0	Rio Cantárranas
Lamocauautla	Lamocauautla	Lamocauautla	Rafa o Wasb	2.5	2.5	Barranca sin nombre de la localidad Lamocauautla
Chalchicomula de Serna	Ciudad Serdán	Ciudad Serdán	Lagunas de Estabilización	44.0	44.0	Dren Agrícola en Ciudad Serdán
Chalchicomula de Serna	Maravillas	Maravillas	Lagunas de Estabilización	2.0	2.0	Dren agrícola en la localidad Maravillas
Chiautzingo	San Lorenzo Chiautzingo	Chiautzingo	Lodos Activados	20.0	20.0	Barranca Xochiac
Chichiquila	Chichiquila	Chichiquila	Lagunas de Estabilización	5.0	4.2	Rio Triapa
Lhiconcuautla	Tlahuapan	Tlahuapan	Rafa o Wasb	1.4	1.4	Rio sin nombre en localidad de Tlahuapan
Cmetla	Pueblo Nuevo de Porfirio Díaz	Pueblo Nuevo	Rafa o Wasb	1.3	1.3	Dren agrícola en la localidad Pueblo Nuevo
Chignahuapan	Ciudad de Chignahuapan	Chignahuapan	Filtros Biológicos o Rotadores o Petcoladeras	50.0	22.0	Rio San Pedro
Chila	Chila	Chila de las Flores	Rafa o Wasb	3.1	3.1	Barranca sin nombre de la localidad Chila de las Flores
Chila	Francisco Ibarra Ramos	Francisco Ibarra Ramos	Rafa o Wasb	2.0	2.0	Barranca sin nombre de la localidad Francisco Ibarra Ramos
Chilchotla	Rafael J. Garesa	Chilchotla	Lagunas de Estabilización	12.2	12.2	Rio sin nombre de la localidad Chilchotla
Coatepec	Coatepec	Coatepec	Fosa Séptica + Wetland	1.1	1.1	Canal sin nombre de la localidad de Coatepec
Cuautempan	Itzico de Morelos	Itzico de Morelos	Rafa o Wasb	1.2	1.2	Barranca sin nombre de la localidad de Itzico de Morelos
Cuautlanchán	Cuautlanchán	Cuautlanchán	Rafa o Wasb	10.0	10.0	Barranca inominada
Cuayuca de Andrade	San Pedro Cuayuca	San Pedro Cuayuca	Rafa o Wasb	4.1	4.1	Barranca Grande
Domingo Arenas	Domingo Arenas	Domingo Arenas	Lodos Activados	9.0	9.0	Barranca Acuscontitla
Eloxochilán	Eloxochilán	Eloxochilán	Rafa o Wasb	1.7	1.7	Barranca sin nombre de la localidad de Eloxochilán
Epatlan	San Juan Epatlan	San Juan Epatlan	biológico	3.5	3.5	Laguna de Epatlan
Huehuetlán el Grande	Santo Domingo Huehuetlán	Santo Domingo Huehuetlán	Zanjas de Oxidación	3.6	3.6	Rio Huehuetlán
Huehuetlán el Grande	Santo Domingo Huehuetlán	Santo Domingo Huehuetlán	Fosa Séptica	3.4	3.4	Rio Huehuetlán
Huejotzingo	Benito Juárez	Benito Juárez	Rafa o Wasb	0.5	0.5	Barranca sin nombre
Hueytamalco	El Progreso	El Progreso	Fosa Séptica	2.1	2.1	Dren inominado en la localidad El Progreso
Hueytamalco	Limontlán Grande	Limontlán	Fosa Séptica	1.4	1.4	Dren inominado en la localidad de Limontlán
Hueytlalpan	Hueytlalpan	Hueytlalpan	Rafa o Wasb	2.6	2.6	Dren inominado en la localidad de Hueytlalpan



Ixcamilán de Serdán	Ixcamilán	Ixcamilán de Serdán	Rafo o Wash	2.0	2.6	Río sin nombre en la localidad de Huitzilán de Serdán
Ixcamilpa de Cuerrero	Ixcamilpa	Ixcamilpa	Rafo o Wash	2.3	2.3	Río Tiapaneco
Ixcaquixtía	Cuatro Rayas	Cuatro Rayas	Fosa Séptica	1.8	1.2	Barranca sin nombre de la localidad de Cuatro Rayas
Ixtacamaxitlán	Ixtacamaxitlán	Ixtacamaxitlán 2	Fosa Séptica	1.5	1.5	Barranca sin nombre de la localidad de Ixtacamaxitlán
Ixtacamaxitlán	La Unión Ejido Mexcaltepec	La Unión	Fosa Séptica	1.6	1.6	Barranca sin nombre de la localidad La Unión
Ixtepēc	Ixtepēc	Ixtepēc 1	Rafo o Wash	1.5	1.5	Arroyo sin nombre de la localidad Ixtepēc
Ixtepēc	Ixtepēc	Ixtepēc 2	Rafo o Wash	1.5	1.5	Arroyo sin nombre de la localidad Ixtepēc
Izúcar de Matamoros	Izúcar de Matamoros	Izúcar de Matamoros	Filtros biológicos o Rocedores o Percoladores	90.0	90.0	Río Nexaba
Lafragua	Los Capulines	Los Capulines	Rafo o Wash	0.1	0.1	Barranca sin nombre
Lafragua	Cuahtemoc	Cuahtemoc	Rafo o Wash	1.2	1.2	Barranca sin nombre
Lafragua	La Ermita	La Ermita	Rafo o Wash	0.3	0.3	Barranca seca sin nombre
Lafragua	Las Trancas (Santa Cruz)	Las Trancas	Rafo o Wash	0.04	0.04	Barranca seca sin nombre
Los Reyes de Juárez	Los Reyes de Juárez	Los Reyes de Juárez	Lagunas de Estabilización	17.5	17.5	Dren agrícola en la localidad de los reyes de Juárez
Mazapiltepec de Juárez	Mazapiltepec de Juárez	Mazapiltepec	Primario o Sedimentación	6.0	6.0	Dren agrícola en la localidad de Mazapiltepec
Palmar de Bravo	Palmar de Bravo	Palmar de Bravo	Lagunas de Estabilización	7.1	7.1	Riego agrícola en terrenos de labor de la localidad de palmar de bravo
Puebla	Heroica Puebla de Zaragoza	Atoyac Sur	Primario Avanzado	400.0	436.0	Río Atoyac
Puebla	Heroica Puebla de Zaragoza	Parque Ecológico	Discos Biológicos o Biodiscos	80.0	80.0	Río Alseseca / riego áreas verdes
Puebla	Heroica Puebla de Zaragoza	Puebla Alseseca	Primario Avanzado	700.0	758.0	Río Alseseca
Puebla	Heroica Puebla de Zaragoza	Puebla Barranca del Conde	Primario Avanzado	340.0	209.0	Río Atoyac
Puebla	Heroica Puebla de Zaragoza	Puebla San Francisco	Primario Avanzado	1100.0	1292.0	Río Atoyac
Quecholac	Quecholac	Quecholac y Felipe Angeles	Lodos Activados	177	177	Riego
Quimixtlán	Quimixtlán	Quimixtlán	Lagunas de Estabilización	6.0	6.0	Barranca sin nombre de la localidad de Quimixtlán
San José Chiapa	San José Chiapa	San José Chiapa	Lagunas de Estabilización	7.5	7.5	Sin información
San Juan Atzompá	San Juan Atzompá	San Juan Atzompá	Rafo o Wash	1.9	1.9	Barranca sin nombre de la Localidad de San Juan Atzompá
San Martín Totoltepec	San Martín Totoltepec	San Martín Totoltepec	Lodos Activados	1.5	1.5	Dren agrícola de la localidad de San Martín Totoltepec
San Nicolás Buenos Aires	San Nicolás de Buenos Aires	San Nicolás Buenos Aires	Lodos Activados	3.0	3.0	Dren agrícola de la localidad de San Nicolás Buenos Aires
San Salvador el Seco	San Salvador El Seco	San Salvador El Seco	Lagunas de Estabilización	31.0	31.0	Barranca sin nombre en la localidad de San Salvador el Verde
San Salvador el Seco	Santa María Coatepec	Santa María Coatepec (Zona Oriente)	Filtros Biológicos o Rocedores o Percoladores	3.3	3.3	Dren agrícola de la localidad de Santa María Coatepec
San Salvador el Verde	San Simón Acapulco	San Simón Acapulco	Lodos Activados	24.0	24.0	Río Coxtala
San Sebastián Tlacoatepec	Tlacoatepec de Díaz	Tlacoatepec de Díaz	Rafo o Wash	2.7	2.7	Dren innumerado de la localidad de Tlacoatepec de Díaz
San Sebastián Tlacoatepec	Zacatlilhuic	Zacatlilhuic	Rafo o Wash	2.1	2.1	Dren innumerado de la localidad de Zacatlilhuic



Soitepec	Soitepec	Soitepec y Mazapiltepec	Lodos Activados	16.4	16.4	Dren agrícola de la localidad de Soitepec
Tehuiztlingo	Santa Cruz Tejalpa	Santa Cruz Tejalpa	Fosa Séptica	3.0	3.0	Río Atoyac
Tenampulco	El Chacal	El Chacal	Rafa o Wasb	11.0	11.0	Río sin nombre de la localidad El Chacal
Teopantlán	Teopantlán	Teopantlán	Lagunas de Estabilización	5.0	5.0	Cañada Teopantlán
Teotlalco	Teotlalco	Teotlalco	Rafa + Filtro Ringlerm	7.8	7.8	Barranca sin nombre de la localidad de Teotlalco
Tepapan de Apan	San Luis Temalacayuca	San Luis Temalacayuca	Rafa o Wasb	2.7	2.7	Barranca sin nombre de la localidad de San Luis Temalacayuca
Tepetzintla	Chicometepec (San Simón)	Chicometepec	Rafa o Wasb	1.0	1.0	Dren innominado de la localidad de Chicometepec
Tepetzintla	Xochitlaxco (San Balazar)	Xochitlaxco	Rafa o Wasb	1.7	1.7	Río sin nombre de la localidad de Xochitlaxco
Tepeyahualco	Itzoteno (San Miguel)	Itzoteno (San Miguel)	Lagunas de Estabilización	1.5	1.5	Dren innominado de la localidad de Itzoteno
Tlahuapan	Santa María Texmelucan	Santa María Texmelucan	Rafa o Wasb	5.0	6.0	Río Atoyca
Tlahuapan	Santa Rita Tlahuapan	Santa Rita Tlahuapan	Lodos Activados	8.0	8.0	Río Atoyac
Tlanuapan	Santiago Coltezingo	Santiago Coltezingo	Lodos Activados	3.0	7.8	Barranca sin nombre de la localidad Santiago Coltezingo
Tlapanalá	Santo Domingo Atoytlacha	Santo Domingo Atoytlacha	Rafa o Wasb	1.4	1.4	Río Ahuehuyo
Tlapanalá	Tlapanalá	Tlapanalá	Lagunas de Estabilización	8.0	5.0	Río Tila
Tochimilco	San Lucas Tulcingo	San Lucas Tulcingo	Rafa o Wasb	1.3	1.3	Barranca sin nombre de la localidad San Lucas Tulcingo
Tuzamapan de Galeana	Teztlilla de Islas	Teztlilla de Islas	Rafa o Wasb	2.2	2.2	Barranca sin nombre de la localidad de Teztlilla de Islas
Venustiano Carranza	Coronel Tito Hernández (María Andrea)	Coronel Tito Hernández	Lodos Activados	4.0	4.0	Barranca sin nombre de la localidad de Coronel Tito Hernández
Xochitlapeoc	Xochitlapeoc	Xochitlapeoc	Filtros Biológicos o Biocederos o Percoladores	5.2	5.2	Río sin nombre de localidad Xochitlapeoc
Zacapala	Zacapala	Zacapala	Lagunas de Estabilización	2.0	1.5	Río Axamilpa
Zacapoaxtla	Ahuacatlán	Ahuacatlán	Rafa o Wasb	2.7	2.7	Río sin nombre de la localidad Ahuacatlán
Zacatlán	Zacatlán	Zacatlán	Lodos Activados	80.0	80.0	Barranca Ilguerbis
Zaoula	San Andrés Yahualtepec	San Andrés Yahualtepec	Rafa o Wasb	1.7	1.7	Barranca sin nombre de la localidad San Andrés Yahualtepec
Total de Plantas			85	3 516.2	3 522.5	

SEMARNAT, 2018



PERÍODO 2019

La CONAGUA (2019), con la finalidad de conocer el estado de la práctica en el tratamiento integral de las aguas residuales No municipales, generó el inventario comprende el conjunto de plantas de tratamiento registrado para tal efecto en CONAGUA (tablas 74, 75 y 76).

Tabla 74. Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales no municipales en 2019, Cuenca del río Atoyac

CONSECUTIVO	AÑO	ESTADO	REGIÓN HIDROLÓGICO- ADMINISTRATIVA	MUNICIPIO	LOCALIDAD	NOMBRE DEL USUARIO	TIPO DE INDUSTRIA O GIRO
1	2019	TLAXCALA	BALSAS	ACUAMANALA DE MIGUEL HIDALGO	CARRTERA FEDERAL 171 SANTA ANA-PUEBLA KM 172, OLEXTLA, ACUAMANALA	SE BORDNETZE-MEXICO, S.A. DE C.V. (SEBN)	INDUSTRIAL
2	2019	TLAXCALA	BALSAS	ACUAMANALA DE MIGUEL HIDALGO	CARRTERA FEDERAL 121 SANTA ANA-PUEBLA KM 175, OLEXTLA, ACUAMANALA	SCHNEIDER ELECTRIC MEXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
3	2019	PUEBLA	BALSAS	AMOZOC	CARRIL NORTE SAN FELIPE SIN NUM.	AUTO CAN S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
4	2019	PUEBLA	BALSAS	AMOZOC	KM 136.5 SUPER CARRTERA MEXICO-ORIZABA ESQ. CALLE NORTE, XONACATEPEC III, AMOZOC	CIA INDUSTRIAL PAPELERA PORNANA S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
5	2019	PUEBLA	BALSAS	AMOZOC		MARMOL VICTORIA S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
6	2019	PUEBLA	BALSAS	AMOZOC		MEISSNER MEXICANA S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
7	2019	PUEBLA	BALSAS	AMOZOC		MEISSNER MEXICANA S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
8	2019	TLAXCALA	BALSAS	APIZACO	AV. MEXICO, 1 OMAS DEL TETEL, APIZACO	CELULOSA DE FIBRAS MEXICANAS, S.A. DE C.V. (CELFIMEX)	INDUSTRIAL
9	2019	TLAXCALA	BALSAS	APIZACO	AV. MEXICO 19, COL. SAN JOSE TETEL, APIZACO	HOVOMEX S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
10	2019	TLAXCALA	BALSAS	APIZACO	CALZADA ANGEL SOLANA #18 SEGUNDA SECCION KM 2, SAN LUIS APIZQUITO, APIZACO	PANAMCO GOLFO, S.A. DE C.V. (ANTES BEBIDAS AZTECAS DE ORIENTE, S.A. DE C.V.)	INDUSTRIAL
11	2019	TLAXCALA	BALSAS	APIZACO	AQUILES SERDAN # 1227, ESQ. HEROICO COLEGIO MILITAR, CENTRO	ROHM AND HAAS, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
12	2019	TLAXCALA	BALSAS	APIZACO	APIZACO	SALICILATOS DE MEXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
13	2019	TLAXCALA	BALSAS	ATLANGATEPEC		GRANJA PORCINA SAN PEDRO ECATEPEC	PECUARIO
14	2019	TLAXCALA	BALSAS	ATLANGATEPEC	CARRTERA FEDERAL 119 TLAXCO-APIZACO, AV. OAXACA, SANTA MARÍA TEPETZALA	PRODUCTORA MEXICANA DE PAPEL S.A. DE C.V. (ANTES INMOBILIARIA Y ADMINISTRADORA CAFETAL S.A. DE C.V. Y/O PAPELERA DE TLAXCALA S.A. DE C.V.)	INDUSTRIAL
15	2019	PUEBLA	BALSAS	CORONANGO	ANILLO PERIFERICO NO. 46, SAN FRANCISCO OCOTLAN, CORONANGO	HUF MEXICO S. DE RL. DE C.V.	INDUSTRIAL
16	2019	PUEBLA	BALSAS	CUAUTLANCINGO	AV. MEXICO-PUEBLA NO. 10, CUAUTLANCINGO	CANAMEX S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
17	2019	PUEBLA	BALSAS	CUAUTLANCINGO	CARRTERA MEXICO-PUEBLA, KM 117, CUAUTLANCINGO	CINTAS Y ELÁSTICOS EL CARMEN S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
18	2019	PUEBLA	BALSAS	CUAUTLANCINGO	CALLE AUTOMOCION NO. 8, SAN LORENZO ALMEGATLA	GESTAMP, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
19	2019	PUEBLA	BALSAS	CUAUTLANCINGO		GONVAUTO PUEBLA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
20	2019	PUEBLA	BALSAS	CUAUTLANCINGO	PARQUE INDUSTRIAL EMPRESARIAL, CALLE CAMINO A SAN LORENZO 1213, SANCTORUM	INDUSTRIAS COBRAMEX S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
21	2019	PUEBLA	BALSAS	CUAUTLANCINGO	AV. REVOLUCIÓN NO 55, CUAUTLANCINGO	INDUSTRIAS MACROQUÍMICA S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
22	2019	PUEBLA	BALSAS	CUAUTLANCINGO		RESINAS Y ALMIDONES INTERNACIONALES, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
23	2019	PUEBLA	BALSAS	CUAUTLANCINGO	CARRTERA FEDERAL 150 D MEXICO-PUEBLA KM 116 (AV. 28 DE NOVIEMBRE), COL. SAN LORENZO ALMEGATLA, SANCTORUM, CUAUTLANCINGO	VOLKSWAGEN DE MEXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
24	2019	PUEBLA	BALSAS	HUEJOTZINGO	HUEJOTZINGO	AGROPECUARIA LA FORTUNA, S.A. DE C.V. (PRODUCTORA PORCINA VII)	AGROPECUARIO
25	2019	PUEBLA	BALSAS	HUEJOTZINGO	CALLE CORREDOR INDUSTRIAL 1 OFE R-17, MANZANA A, PARQUE INDUSTRIAL QUETZALCOATL, CAPULTILÁN, HUEJOTZINGO	AJEMEX S.A. DE C.V. (BIG COLA)	INDUSTRIAL
26	2019	PUEBLA	BALSAS	HUEJOTZINGO	CARRTERA FEDERAL 190 PUEBLA-MEXICO, CIRCUITO PARQUE INDUSTRIAL 1 OFE 1 MANZANA C, PARQUE INDUSTRIAL QUETZALCOATL, HUEJOTZINGO	AUNDE, SA DE CV	INDUSTRIAL
27	2019	PUEBLA	BALSAS	HUEJOTZINGO		CALCETINES DE EXPORTACION SAN JOSE SA DE CV	INDUSTRIAL
28	2019	PUEBLA	BALSAS	HUEJOTZINGO		CALLE LINES DE EXPORTACION SAN JOSE SA DE CV	INDUSTRIAL
29	2019	PUEBLA	BALSAS	HUEJOTZINGO	CARRTERA FEDERAL 190 MEXICO-PUEBLA KM 90.5, HUEJOTZINGO	CALCETINES DE EXPORTACION SAN JOSE, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
30	2019	PUEBLA	BALSAS	HUEJOTZINGO	MANZANA A, AREA 2, CORREDOR INDUSTRIAL QUETZALCOATL, HUEJOTZINGO	CIA. CERRILERA ATLAS, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
31	2019	PUEBLA	BALSAS	HUEJOTZINGO		COMPAÑIA CERILLERA ATLAS, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
32	2019	PUEBLA	BALSAS	HUEJOTZINGO	CARRTERA FEDERAL MEXICO-PUEBLA KM 816, SAN MATEO CAPULTILÁN, HUEJOTZINGO	CRISOL TEXTIL, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL



33	2019	PUEBLA	GOLFO CENTRO	HUEJOTZINGO	BLVD. HUEJOTZINGO AEROPUERTO NO. 5 ESQ. AV. JOSÉ MARÍA MORELOS, HUEJOTZINGO	DRAEXLMAIER COMPONENTS AUTOMOTIVE DE MÉXICO A	INDUSTRIAL
34	2019	PUEBLA	GOLFO CENTRO	HUEJOTZINGO	BLVD. HUEJOTZINGO AEROPUERTO NO. 5 ESQ. AV. JOSÉ MARÍA MORELOS, HUEJOTZINGO	DRAEXLMAIER COMPONENTS AUTOMOTIVE DE MÉXICO B	INDUSTRIAL
35	2019	PUEBLA	GOLFO CENTRO	HUEJOTZINGO	BLVD. HUEJOTZINGO AEROPUERTO NO. 5 ESQ. AV. JOSÉ MARÍA MORELOS, HUEJOTZINGO	DRAEXLMAIER COMPONENTS AUTOMOTIVE DE MÉXICO C	INDUSTRIAL
36	2019	PUEBLA	BALSAS	HUEJOTZINGO	CARRERA FEDERAL 190 MÉXICO-PUEBLA KM 961, SANTA MARÍA ZACATEPEC, JUAN C. BONILLA	EMBOTELLADORA ARCO IRIS, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
37	2019	PUEBLA	BALSAS	HUEJOTZINGO	[ENTRE LOC. SAN MATEO CAPUTITLÁN Y SANTA ANA XALMIMILULCO], SAN MATEO CAPUTITLÁN	FALANX, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
38	2019	PUEBLA	BALSAS	HUEJOTZINGO	CARRERA FEDERAL 190 MÉXICO-PUEBLA ESQ. FRANCISCO IGRES MADERO, SAN MATEO CAPUTITLÁN	JANSSEN FARMACÉUTICA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
39	2019	PUEBLA	BALSAS	HUEJOTZINGO		LABORATORIOS FARMACÉUTICOS LOREN, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
40	2019	PUEBLA	BALSAS	HUEJOTZINGO	EL CARMEN, HUEJOTZINGO	MEDAM, S. DE R.L. DE C.V.	SERVICIOS
50	2019	TLAXCALA	BALSAS	IXTACUXTLA		PORCELANITE LAMOSA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
51	2019	TLAXCALA	BALSAS	IXTACUXTLA		PORCELANITE LAMOSA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
52	2019	TLAXCALA	BALSAS	LA MAGDALENA TLALTÉLULCO		AS MAQUILA DE MÉXICO S, DE R.L. DE C.V. (ANTES IDEAL STANDARD, S.A. DE C.V.)	INDUSTRIAL
53	2019	TLAXCALA	BALSAS	LA MAGDALENA TLALTÉLULCO	CARRERA FEDERAL 121 SANTA ANA-PUEBLA (LIC. MAURO ANGULO SUR), LA MAGDALENA TLALTÉLULCO	GRES, S.A. DE C.V. (PORCELANITE)	INDUSTRIAL
54	2019	TLAXCALA	BALSAS	LA MAGDALENA TLALTÉLULCO	CARRERA FEDERAL 121 SANTA ANA-PUEBLA KM 215 (LIC. MAURO ANGULO SUR), COL. VOYACOC, LA MAGDALENA TLALTÉLULCO	IDEAL STANDARD, S.A. DE C.V. (ANTES MAPRI)	INDUSTRIAL
55	2019	TLAXCALA	BALSAS	MAZATECOCHCO DE JOSÉ MARÍA MORELOS	CARRERA FEDERAL 121 PUEBLA-SANTA ANA, KM 148, MAZATECOCHCO	ALPHA CERÁMICA S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
56	2019	TLAXCALA	BALSAS	MAZATECOCHCO DE JOSÉ MARÍA MORELOS	CARRERA FEDERAL 121 SANTA ANA-PUEBLA KM 148, SAN COSME MAZATECOCHCO	CANTERAS Y MÁRMOL PONZANELLI, S.A. DE C.V.	MINERÍA
57	2019	TLAXCALA	BALSAS	NATIVITAS	CARRERA XOXTLA-TLALTENANGO, SAN MIGUEL ANILCO, NATIVITAS	KEMWATER DE MÉXICO, S.A. DE C.V. (KEMHA, S.A. DE C.V.)	INDUSTRIAL
58	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	CARRERA FEDERAL 119 PUEBLA-TLAXCALA (AV. TLAXCALA SUR 25), COL. PANZACOLA, PAPALOTLA	ACABADOS TEXTILES ZALDO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
59	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	PRIVADA SEGUNDA BENITO JUÁREZ BARRIO XOXTLA, PAPALOTLA	ACUMULADORES MEXICANOS S.A.	INDUSTRIAL
60	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	REFORMA SUR # 27, COL. PANZACOLA, PAPALOTLA	COSTURAS Y MANUFACTURAS DE TLAXCALA, S. DE R.L. DE C.V. (ANTES INMOBILIARIA ORANGE COUNTRY, S.A. DE C.V. Y ANTES AZT INMOBILIARIA, S. DE R.L. DE C.V.)	INDUSTRIAL
61	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	CARRERA FEDERAL 119 PUEBLA-TLAXCALA (AV. TLAXCALA SUR 25), COL. PANZACOLA, PAPALOTLA	DISEÑO EN MÁRMOL CANTERA (GRANITOS NATURALES BETA, S.A. DE C.V.)	MINERÍA
62	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	REFORMA SUR NO. 25, COL. PANZACOLA, PAPALOTLA	ENERTEC MÉXICO, S. DE R.L. DE C.V. (ACUMED)	INDUSTRIAL
63	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	REFORMA SUR # 4, COL. PANZACOLA, PAPALOTLA	IMPULSORA TLAXCALTECA DE INDUSTRIAS, S.A. DE C.V. (ITSA)	INDUSTRIAL
64	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	AV. TLAXCALA SUR # 75, COL. PANZACOLA, PAPALOTLA	MALTA TEXO DE MÉXICO, S.A. DE C.V. (ANTES ANDERSON CLAYTON, S.A. DE C.V.)	INDUSTRIAL
65	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	AV. DEL TRABAJO SUR, COL. PANZACOLA, XICOHTENCATL	METALES KENDAL, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
66	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	PIONNER S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
67	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	CARRERA FEDERAL TLAXCALA-PUEBLA KM 34.5, (AV. DE LAS INDUSTRIAS, COL. EL CARMEN), PAPALOTLA, XICOHTENCATL	PLAMI, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
68	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	CARRERA FEDERAL 121 PUEBLA-SANTA ANA ESQ. CALLE MALITZIN, COL. SAN MARCOS CONTLA, PAPALOTLA	PORCEL, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
69	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	CARRERA AUTOPISTA PUEBLA-TLAXCALA S/N KM 34.5 (CASETA DE COBRO ZACATELCO)	SKY LAB. 2000 S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
70	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	CARRERA FEDERAL 119 PUEBLA-TLAXCALA KM 14.5 (AV. DE LAS INDUSTRIAS # 94), COL. LA CIENEGA, PAPALOTLA	SPINTEX, S.A. DE C.V. (ANTES KERAMICA, S.A. DE C.V.)	INDUSTRIAL
71	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	CALLE MA. AMPARO VEREDIQUE S/HEM # 5, COL. SANTO TORIBIO XICOHTENCATL, PAPALOTLA	TEXTILES TENEXAC, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
72	2019	TLAXCALA	BALSAS	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL		INDUSTRIAS POLIMEX S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
73	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA		ACABADOS RIO TEXO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
74	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	AVENIDA 1A DE CUAUHTEMÓC # 1, COL. AGRÍCOLA IGNACIO ZARAGOZA, PUEBLA	ACABADOS Y CORTES TEXTILES, S.A. DE C.V. (ACAFINTEX)	INDUSTRIAL
75	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	AV. 80 PONIENTE # 310, ESQ. PRIVADA DE LA 5 NORTE, COL. 16 DE SEPTIEMBRE NORTE, PUEBLA	ACEITERA EL PARAISO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
76	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	ANTICUO CAMINO A MANZANILLA # 5428, ZONA INDUSTRIAL, PUEBLA	AGUAS PURIFICADAS DE PUEBLA S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
77	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	BOULEVARD "A" # 13, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	ALEN DEL CENTRO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
78	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	BOULEVARD "A" # 13, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	ALEN DEL CENTRO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
79	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	ALUMEX, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
80	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRERA FEDERAL PUEBLA-TEHUACÁN # 1062, PUEBLA	ALUMINIO CONESA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
81	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRERA PUEBLA-TLAXCALA, SAN ANTONIO XOCHIMEHUACÁN, PUEBLA	ARCADIO I FDO BRISTAN	INDUSTRIAL
82	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRERA FEDERAL 150 PUEBLA-TEHUACÁN KM 10.5 ESQ. CALLE SAN LORENZO, COL. SAN LORENZO, PUEBLA	AUTOMOTORES DE CHACHAPA S.A. DE C.V.	SERVICIOS
83	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	PROLONGACIÓN CALLE "F" # 50, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	AUTOTEX INDUSTRIAL DE MÉXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL



84	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	DEFENSORES DE LA REPÚBLICA # 163, PUEBLA	BENEFICIO DE BORRAS, RENO S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
85	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	BLVD. RESURRECCIÓN SUR COL. INDUSTRIAL RESURRECCIÓN, PUEBLA	BIMBO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
86	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	CAFÉS DE VERACRUZ S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
87	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA FEDERAL 150 PUEBLA-TEHUACÁN, CALLE 18 DE NOVIEMBRE, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	CAPSUGEL DE MÉXICO, S. DE R.L. DE C.V.	INDUSTRIAL
88	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA FEDERAL 150 D PUEBLA-ORIZABA KM 14.5 CRUCE CARRIL NORTE SAN CRISTOBAL, PARQUE INDUSTRIAL CHACHAPA, PUEBLA	CARTEC S.A. DE C.V. (PWO DE MÉXICO, S.A. DE C.V.)	INDUSTRIAL
89	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA		CENTRAL MARMOLEHA DE PUEBLA S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
90	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA FEDERAL 150 MEXICO-VERACRUZ # 102B, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000	CHICLE ADAMS, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
91	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CAMINO A MANZANILLA # 5425, CORREDOR INDUSTRIAL LA CEMESA, PUEBLA	CIA EMBOTELLADORA HERDOMO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
92	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA TLAXCALA-PUEBLA, CARRTERA A FÁBRICAS 5000, COL. SAN JERÓNIMO CALERAS, PUEBLA	CIBA ESPECIALIDADES QUÍMICAS MÉXICO, S.A. DE C.V. (BASF)	INDUSTRIAL
93	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA TLAXCALA-PUEBLA, CARRTERA A FÁBRICAS 5000, COL. SAN JERÓNIMO CALERAS, PUEBLA	CIBA GEIGY MEXICANA, S.A. DE C.V. (BASF)	INDUSTRIAL
94	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA		CONVERTIDORA MEXICANA DE PLÁSTICOS, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
95	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	AV. MÁRTIRES DE RÍO BLANCO # 16, LAS ALAMEDAS PARQUE INDUSTRIAL 5 DE MAYO, PUEBLA	DEACERO S. A. DE C. V.	INDUSTRIAL
96	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA TLAXCALA PUEBLA, CARRTERA A FÁBRICAS 5000, COL. SAN JERÓNIMO CALERAS, PUEBLA	DEGUSSA CATALIZADORES, S.A. DE C.V. (BASF)	INDUSTRIAL
97	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA FEDERAL 150 PUEBLA-TEHUACÁN KM 112.8, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	DERIVADOS MALEICOS, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
98	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CALLE DE LOS PAÍSES # 15, SAN PABLO XOCHIMEHUACAN, PUEBLA	EMBOTELLADORA DE PUEBLA S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
99	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	ANTIGUO CAMINO A MANZANILLA (CAMINO A LA RESURRECCIÓN) # 102, COL. NUEVA RESURRECCIÓN, PUEBLA	EMBOTELLADORA FERSAN, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
100	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA FEDERAL PUEBLA-TLAXCALA # 10613 (KM 6), SAN PABLO XOCHIMEHUACAN, PUEBLA	EMPACADORA DE CARNES LIDO S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
101	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	BLVD. "A" # 15, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	EXTRACCIÓN SOLER & PALAU S.A. DE C.V.	SERVICIOS
102	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CALLE C # 18, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	FÁBRICA DE MÁQUINAS Y ACCESORIOS S.A. DE C.V. (FAMA, S.A. DE C.V.)	INDUSTRIAL
103	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	ANTIGUO CAMINO CHOLULA-TLAXCALA, CIUDAD LIPF CAI FRAS, SAN FRANCISCO OCOTLÁN, PUEBLA	FÁBRICA MARÍA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
104	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CALLE C # 18, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	FAMA S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
105	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA A LA RESURRECCIÓN # 73 ZONA INDUSTRIAL RESURRECCIÓN, (PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000)	FEDERAL MOGUL, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
106	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA FEDERAL 150 D PUEBLA-ORIZABA KM 14.5 PARQUE INDUSTRIAL CHACHAPA (ANTIGUO CARRIL DE SAN CRISTOBAL), PUEBLA	FISCHER MEXICANA S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
107	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	A SAN PABLO DEL MONTE # 45, PARQUE INDUSTRIAL 5 DE MAYO, PUEBLA	FUNDICIÓN DE PRECISIÓN EUTECTIC, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
108	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CALLE 13 DE MARZO # 33, ZONA SIN ASIGNACIÓN DE NOMBRE DE COL. 1, SAN PABLO XOCHIMEHUACAN, PUEBLA	GALLETERA DE PUEBLA (GAPSA)	INDUSTRIAL
109	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	AV. ALFREDO TOQUI, COL. 3 DE MAYO, ANTIGUO CAMINO A LA RESURRECCIÓN, PUEBLA	GALVANPLASTIA Y PINTURAS DE PUEBLA, S.A. DE C.V. (CVPSA)	INDUSTRIAL
110	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA FEDERAL 50 D MEXICO-PUEBLA CRUCE CALLE CARRIL SAN CRISTOBAL, PUEBLA	GRIMM DE MÉXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
111	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	MÁRTIRES DE RÍO BLANCO 23, PARQUE INDUSTRIAL CINCO DE MAYO, PUEBLA	GRUPO GAMESA S. DE R.L. DE CV	INDUSTRIAL
112	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA A LA RESURRECCIÓN # 1019, PUEBLA 2000	GRUPO PRIMEX, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
113	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA FEDERAL 150 MEXICO-PUEBLA KM 124 (AV. FERRUCARRIL) COL. ANEXO A LA LOMA, ZONA INDUSTRIAL NORTE, PUEBLA	HERRAMIENTAS STANLEY S.A. DE C.V. (BLACK & DECKER)	INDUSTRIAL
114	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	AV. JUAN DE PALAFOX Y MENDOZA # 3403, COL. SANTA BARBARA, PUEBLA	HILADOS Y TEJIDOS MARIBEL, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
115	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CALLE D # 8 MZ. LOTE 2, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	HILATURAS PARRAS, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
116	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CALLE D # 8 MZ. LOTE 2, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	HILATURAS PARRAS, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
117	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CALLE D # 7, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000	INDUSTRIAS COBITEL, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
118	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA FEDERAL 150 PUEBLA-TEHUACÁN KM 112.8, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	INDUSTRIAS DERIVADAS DEL ETILENO, S.A. DE C.V. (IDESA)	INDUSTRIAL
119	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRTERA FEDERAL PUEBLA-ORIZABA KM 14.5, PARQUE INDUSTRIAL CHACHAPA	INDUSTRIAS JAS. S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
120	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CALLE MÁRTIRES DE RÍO BLANCO # 28, PARQUE INDUSTRIAL 5 DE MAYO, PUEBLA	INDUSTRIAS VITER, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
121	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	ANTIGUO CAMINO A SAN PABLO DEL MONTE # 15, PUEBLA	J. G. MÁRMOL, S.A.	MINERÍA
122	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	AV. JUAN DE PALAFOX Y MENDOZA # 3403 COL. SANTA BARBARA, PUEBLA	JER-CAM, S. A. DE C.V.	INDUSTRIAL



123	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	ANTIGUO CAMINO A MANZANILLA # 10, PUEBLA	JUMBOTEX S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
124	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	AV. RESURRECCIÓN NORTE # 12, INDUSTRIAL RESURRECCIÓN, PUEBLA	LUX MEXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
125	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CALLE D # 4 PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	MOLES SANTA MÓNICA	INDUSTRIAL
126	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRETERA FEDERAL PUEBLA-TLAXCALA ESQ. CALLE RICARDO FLORES MACÓN # 98, SAN FEBÓNIMO CALERAS, PUEBLA	NIROBOLTA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
127	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	SAN PABLO XOCHIMEHUACAN # 7215 FRACCIONAMIENTO PARQUE INDUSTRIAL CINCO DE MAYO, PUEBLA	OVOENVAS S. A. DE C.V.	INDUSTRIAL
128	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	BLVD. ESTEBAN DE ANTUÑANO # 690, COL. LA LIBERTAD, PUEBLA	PCM CONCRETO S.A. DE C.V. (CEMENTO CRUZ AZUL)	INDUSTRIAL
129	2019	PUEBLA	LERMA SANTIAGO PACIFICO	PUEBLA	CARRETERA FEDERAL 150 PUEBLA-TEHUACÁN KM 111, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	PEMEX REFINACIÓN (TAD)	ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE PETRÓLEO Y GAS
130	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	AUTOPISTA FEDERAL 500 MÉXICO-PUEBLA (AV. FERROCARRIL) COL. ANEXO A LA LOMA, PARQUE INDUSTRIAL 5 DE MAYO, PUEBLA	PLASTIC OMNIUM AUTO EXTERIORES, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
131	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRETERA FEDERAL 150 PUEBLA-TEHUACÁN # 1033, COL. MARAVILLAS BENIGNO PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	PRODUCTOS PELIKAN, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
132	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRETERA FEDERAL 50 D MÉXICO-PUEBLA KM. 120, # 7534, PUEBLA	QUALYTEL DE PUEBLA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
133	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CALLE PROLONGACIÓN # 27 NORTE ESQ. CALLE 104 PONIENTE COL. EL CONDE FRENTE A PARQUE INDUSTRIAL 5 DE MAYO, PUEBLA	RVC ALIMENTOS, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
134	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CALLE RESURRECCIÓN SUR # 302, INDUSTRIAL RESURRECCIÓN, PUEBLA	SABORMEX S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
135	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRETERA FEDERAL 150 PUEBLA-TEHUACÁN KM 112.8, PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000, PUEBLA	SÍNTESIS ORGÁNICAS S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
136	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	BLVD. MÁRTIRES DEL RÍO BLANCO # 20, PARQUE INDUSTRIAL 5 DE MAYO, PUEBLA	SÍNTESIS Y PROCESADOS DE MÉXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
137	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA		SÍNTESIS Y PROCESADOS DE MEXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
138	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA		SÍNTESIS Y PROCESADOS DE MEXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
139	2019	PUEBLA	LERMA SANTIAGO PACIFICO	PUEBLA	CARRETERA FEDERAL 500 MÉXICO-PUEBLA KM 125 ZONA INDUSTRIAL NORTE, COL. EL CONDE, PUEBLA	SKF DE MEXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
140	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA		SKF DE MEXICO S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
141	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CALZ. ZAVALETA # 3, STA CRUZ BUENAVISTA, PUEBLA	SOCIEDAD COOP. DE PROD. STA. CRUZ GPE. S.C.L.	INDUSTRIAL
142	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARRETERA FEDERAL PUEBLA-TLAXCALA KM 7, COL. SAN PABLO XOCHIMEHUACAN, PUEBLA	SÚD CHEMIE DE MEXICO, S.A. DE C.V. (CLARIN PRODUCCIONES QUÍMICAS, S.A. DE C.V.)	INDUSTRIAL
143	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CERRADA MÁRTIRES DE RÍO BLANCO # 29, PARQUE INDUSTRIAL 5 DE MAYO, PUEBLA	TALLERES MECÁNICOS MONTEBAT S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
144	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	EMILIO CARRANZA # 10, COL. AGRÍCOLA IGNACIO ZARAGOZA, PUEBLA	TELAS EL ASTURCON, S.A. DE C.V. (COVADONGA)	INDUSTRIAL
145	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	PROLONGACIÓN 14 SUR # 4423, COL. LOMA LINDA, PUEBLA	TENIDOS DE HILOS FALLO S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
146	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	ANTIGUO CAMINO A RESURRECCIÓN 10242, PUEBLA	TENIDOS SCALA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
147	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CARR. A LA RESURRECCION NO. 8215, PUEBLA	TEXTILES LA ALSACIANA S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
148	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	CALLE "D" # 2 PARQUE INDUSTRIAL PUEBLA 2000	TEXTILES MARIE LOU, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
149	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	ANDADOR MÁRTIRES DE RÍO BLANCO NO. 8, PUEBLA	TEXTILES NO TEJIDOS NACIONALES, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
150	2019	PUEBLA	BALSAS	PUEBLA	AV. DE LAS AMÉRICAS # 4201 ESQ. CERRADA DE VENIQUILLA, COL. AMÉRICA SUR	VACIADOS METÁLICOS, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
151	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN ANDRÉS CHOLULA	SAN ANDRÉS CHOLULA	ACABADOS Y TENIDOS DE MEXICO S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
152	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN ANDRÉS CHOLULA	CARRETERA PUEBLA-ATLIXCO KM 5, COL. EMILIANO ZAPATA, SAN ANDRÉS CHOLULA	ROLLS MEXICANA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
153	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN ANDRÉS CHOLULA	KM 5 CARRETERA PUEBLA-ATLIXCO, COL. EMILIANO ZAPATA	INDUSTRIAS SUPERTEX, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
154	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN ANDRÉS CHOLULA	RIV. DE LOS REYES # 6217, SAN BERNARDINO TLAXCALANGUINO	LABORATORIOS FARMACEUTICOS SON'S, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
155	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN ANDRÉS CHOLULA	SAN ANDRÉS CHOLULA	MELANICA INDUSTRIAL PUEBLANA S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
156	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN ANDRÉS CHOLULA	SAN ANDRÉS CHOLULA	PATRICIA VALLARTA AGUILAR	AGROPECUARIO
157	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN ANDRÉS CHOLULA	AV. BENITO JUÁREZ # 111 COL. ACATEPEC, SAN ANDRÉS CHOLULA	TEXTILES MORALES S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
158	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCÁN	A TLAXCALA, COL. SAN DAMIÁN, SAN MARTÍN TEXMELUCÁN	ACABADOS TEXMELUCAN, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
159	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCÁN	V. CARRANZA NO 1 ESQ. AV. REVOLUCION, SANTA MARIA MOYOTZINGO	CRISOBA INDUSTRIAL, S.A. DE C.V. (PLANTA TEXMELUCÁN)	INDUSTRIAL
160	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCÁN	ANTIGUA CARRETERA SAN MARTÍN TEXMELUCÁN	DOW CORNING, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
161	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCÁN		EMBOTELLADORA AGA DE MEXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
162	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCÁN	V. CARRANZA NO. 1 ESQ. AV. REVOLUCION, SANTA MARIA MOYOTZINGO	FÁBRICA DE PAPEL SAN JUAN S.A. DE C.V. (CRISOBA)	INDUSTRIAL
163	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCÁN		FÁBRICA SAN MARTÍN S.A.	INDUSTRIAL
164	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCÁN	MÁRTIRES DEL 7 DE ENERO COL. VILLA EL CARMEN, SAN MARTÍN TEXMELUCÁN	FÁBRICA TEXTIL SAN MARTÍN, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL



165	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	AV. INDUSTRIAL QUETZALCOATL, COL. SAN BALTAZAR TEMACALAC, SANTA MARÍA MOYOTZINGO	GLOBAL DENIM, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
166	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	CARRERA FEDERAL MÉXICO-PUEBLA KM 87.6	INDUSTRIA MEXICANA DE ALIMENTOS	INDUSTRIAL
CONSECUTIVO	AÑO	ESTADO	REGIÓN HIDROLÓGICO- ADMINISTRATIVA	MUNICIPIO	LOCALIDAD	NOMBRE DEL USUARIO	TIPO DE INDUSTRIA O GIRO
167	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCAN		KENDALL DE MEXICO S. A. DE C.V.	INDUSTRIAL
168	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	CALLE 2 Y CALLE 7 MANZANA H S/N	KENDALL DE MEXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
169	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCAN		OXQUIMICA, S.A.P.I. DE C.V.	INDUSTRIAL
170	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	CARRERA FEDERAL MEXICO-PUEBLA KM 76.5, SAN MARTÍN TEXMELUCAN	PEMEX PETROQUIMICA - COMPLEJO PETROQUIMICO INDEPENDENCIA	INDUSTRIAL
171	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	PRIVADA EX-HACIENDA SAN BARTOLO GRANILLO, PUEBLO SANTA MARÍA MOYOTZINGO, SAN MARTÍN TEXMELUCAN	POLIMEROS CENTRO INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
172	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	CALLE ROYUOSA S/N. COL. ÁLVARO OBREGÓN. SAN MARTÍN TEXMELUCAN	PONDEROSA TEXTIL, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
173	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	AUTOPISTA 300 MÉXICO-PUEBLA 269, SAN BALTAZAR TEMACALAC, SANTA MARÍA MOYOTZINGO, SAN MARTÍN TEXMELUCAN	RASSINI FRENOS, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
174	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	CARRERA FEDERAL MEXICO PUEBLA KM 85.5, LOTE 2 (PARQUE INDUSTRIAL QUETZALCOATL), SAN PEDRO CHOLULA	SERVICIOS INTEGRADOS DE ENVASADO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
175	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MIGUEL XOXTLA	ALTOPISTA MEXICO-PUEBLA KM 108, SAN MIGUEL XOXTLA	HYLSA, S.A. DE C.V. (TERNIUM)	INDUSTRIAL
176	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MIGUEL XOXTLA	CAMINO A SANTA AGUEDA 4, SAN MIGUEL XOXTLA	PERSTORP COMPONENTS SA DE CV (ACNA MEXICO)	INDUSTRIAL
177	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN MIGUEL XOXTLA	CAMINO A SANT AGUEDA 1, BARRIO DEL CARMEN, SAN MIGUEL XOXTLA	THYSENKRUPP METALÚRGICA DE MÉXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
178	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN PEDRO CHOLULA	CARRERA FEDERAL PUEBLA-CHOLULA KM 121.5, SAN PEDRO CHOLULA	GLAXO DE MÉXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
179	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN PEDRO CHOLULA	LAGO DE CHAPALA PONIENTE NO. 701-702 SANTIAGO MOMOXPAN, SAN PEDRO CHOLULA	HILADOS Y TEJIDOS SAN JORGE, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
180	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN PEDRO CHOLULA	KM. 123 CARRERA FEDERAL PUEBLA-CHOLULA KM 123 TLATEMPAN, SAN PEDRO CHOLULA	METALÚRGICA MÉXICO S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
181	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN PEDRO CHOLULA	24 ORIENTE NO. 602 ESQ. SEIS NORTE, BARRIO DE JESÚS TLATEMPA, SAN PEDRO CHOLULA, PUEBLA	UNIVERSAL PRODUCTORA, S.A. DE C.V. (U.S. COTTON MÉXICO, S. DE RL. DE C.V.)	INDUSTRIAL
182	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN SALVADOR EL VERDE	CAMINO REAL ITXACCHHUATL KM 8.5, SAN SALVADOR EL VERDE	COMPAÑIA TEXTIL ALMA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
183	2019	PUEBLA	BALSAS	SAN SALVADOR EL VERDE	COMPUBORDADOS, SAN SIMÓN ATZITZINTLA, SAN SALVADOR EL VERDE	SANTA FÉ MILLS, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
184	2019	TLAXCALA	BALSAS	TEOLOCHOLCO	CARRERA FEDERAL 121 PUEBLA-SANTA ANA KM 20.5 (CALLE INDUSTRIAL ESQ. CALLE ZARAGOZA), COL. PRIMERA SECC., TEOLOCHOLCO	JOHNSON CONTROLS, S.A. DE C.V. (ANTES KEIPER DE MÉXICO, S.A. DE C.V.)	INDUSTRIAL
185	2019	TLAXCALA	BALSAS	TEOLOCHOLCO	CARRERA FEDERAL 121 PUEBLA-SANTA ANA KM 20 (CALLE ZARAGOZA ESQ. EL PORVENIR, COL. PRIMERA, TEOLOCHOLCO)	PAVILLION, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
186	2019	TLAXCALA	BALSAS	TEOLOCHOLCO	CARRERA FEDERAL 171 VÍA CORTA PUERTO A-SANTA ANA CHIAUTEMPAN KM 19.5, TEOLOCHOLCO	TAURUS MEXICANA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
187	2019	TLAXCALA	BALSAS	TETLA DE LA SOLIDARIDAD	JOSÉ MARÍA MORELOS Y PAVÓN, TETLA DE SOLIDARIDAD	DOW AGROSCIENCIAS DE MEXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
188	2019	TLAXCALA	LERMA SANTIAGO PACIFICO	TETLA DE LA SOLIDARIDAD	CARRERA FEDERAL 119 TLAXCO-APIZACO RUMBO A JOSÉ MARÍA MORELOS Y PAVÓN, JOSÉ MARÍA MORELOS Y PAVÓN	KIMBERLY CLARK DE MÉXICO, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
189	2019	TLAXCALA	BALSAS	TETLA DE LA SOLIDARIDAD	PROLONGACIÓN ZACATEPEC, MANZANA 42 LOTE 3, CD. INDUSTRIAL XICOHTENCATL, JOSÉ MA. MORELOS	MINETEC S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
190	2019	TLAXCALA	BALSAS	TETLA DE LA SOLIDARIDAD	CALLE ZACATEPEC ESQ. CALLE PIEDRAS NEGRAS CD. INDUSTRIAL XICOHTENCATL, JOSÉ MA. MORELOS, TETLA	SAINT GOBAIN VETROTEX AMERICA, S.A. DE C.V. (ANTES VETROTEX AMERICA, S.A. DE C.V.)	INDUSTRIAL
191	2019	TLAXCALA	BALSAS	TETLA DE LA SOLIDARIDAD		VETROTEX AMERICA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
192	2019	TLAXCALA	BALSAS	TETLATLAHUCA	SANTA ISABEL TETLATLAHUCA, LA REGADERA, TETLATLAHUCA	LICONSA S.A. DE C.V. (LECHE INDUSTRIALIZADA CONASUPO, S.A. DE C.V.)	INDUSTRIAL
193	2019	PUEBLA	BALSAS	TLAHUAPAN	CARRERA FEDERAL MÉXICO-PUEBLA KM 56.4, TLAHUAPAN, PUEBLA	CIA. UNIVERSAL DE INDUSTRIAS, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
194	2019	PUEBLA	BALSAS	TLAHUAPAN	CARRERA FEDERAL MÉXICO-PUEBLA KM 54.5, SANTA RITA TLAHUAPAN	LUIS DOMINGO SALVADOR PUEYO BRAVO	AGROPECUARIO
195	2019	PUEBLA	BALSAS	TLAHUAPAN	CARRERA FEDERAL MÉXICO - PUEBLA KM 57.5, SANTA RITA TLAHUAPAN	MANANTIALES LA ASUNCIÓN, S.A.P.I. DE C.V.	INDUSTRIAL
196	2019	PUEBLA	BALSAS	TLAHUAPAN	RANCHO LAS UALIAS, LA PRECIOSITA, TLAHUAPAN	TRUCHAS LA PRECIOSITA S.A. DE C.V.	AGROPECUARIO
197	2019	PUEBLA	BALSAS	TLAHUAPAN	KM 54.5 CARRERA FEDERAL MÉXICO-PUEBLA	GRANJA PORCICOLA EL LAUREL (JESUS GONZALES DEL ANGEL)	AGROPECUARIO
198	2019	PUEBLA	BALSAS	TLAHUAPAN	SANTA RITA TLAHUAPAN	ALBERTO NAJERA PÉREZ	AGROPECUARIO
199	2019	TLAXCALA	BALSAS	TLAXCO	CARRERA TLAXCO SAN PEDRO VILLANUEVA, TLAXCO	GRANJA PORCINA TLAXCO, S.P.R. DE R.L.	AGROPECUARIO
200	2019	TLAXCALA	AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO	TLAXCO	TLAXCOSAN LORENZO SOLTEPEC	HORACIO ROBLES SORIANO	AGROPECUARIO
201	2019	TLAXCALA	BALSAS	TLAXCO	CARRERA CASA BLANCA-EL ROSARIO, CASA BLANCA	JAVIER RABRAGAN CISNEROS (QUEFERIA CASABLANCA)	INDUSTRIAL



202	2019	TLAXCALA	BALSAS	TLAXCO		LACTEOS SANTA URSULA, S. DE R.L. (ANTES JAVIER BARRACAN CISNEROS O QUERERÍA CASABLANCA)	INDUSTRIAL
203	2019	TLAXCALA	BALSAS	XALOZTOC	CARRTERA FEDERAL 136 APIZACO-HUAMANTLA KM 143.6, COL. VENUSTIANO CARRANZA, XALOZTOC	DANA DE MÉXICO CORPORACIÓN, S. DE R.L. DE C.V. (DIVISIÓN FORJAS TLAXCALA)	INDUSTRIAL
204	2019	TLAXCALA	BALSAS	XALOZTOC	CARRTERA FEDERAL 136 APIZACO-HUAMANTLA KM 128, SAN PEDRO TLACOTEPEC, XALOZTOC	INDUSTRIA QUÍMICA DEL DDTMU, S.A. DE C.V. (IGLIISA)	INDUSTRIAL
205	2019	TLAXCALA	BALSAS	XALOZTOC	CARRTERA FEDERAL 136 APIZACO-HUAMANTLA KM 127.5, SAN PEDRO TLACOTEPEC, XALOZTOC	LA HACIENDA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
206	2019	TLAXCALA	BALSAS	XALOZTOC		METAPOL, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
207	2019	TLAXCALA	BALSAS	XALOZTOC	CARRTERA FEDERAL 136 APIZACO-HUAMANTLA KM 144, SAN COSME XALOZTOC, XALOZTOC	POLAQUIMA DE TLAXCALA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
208	2019	TLAXCALA	BALSAS	XALOZTOC	CARRTERA FEDERAL 136 APIZACO-HUAMANTLA KM 8 ESQ. BLVD. ADOLFO LÓPEZ MATEOS, XALOZTOC	POLIESTIRENO Y DERIVADOS, S.A. DE C.V. (IDESA)	INDUSTRIAL
209	2019	TLAXCALA	BALSAS	XALOZTOC	CARRTERA FEDERAL 136 APIZACO-HUAMANTLA KM 123 CRUCE BLVD. ATLAX, COL. SAN COSME XALOZTOC, XALOZTOC	SIMEC INTERNATIONAL S.A. DE C.V. (ANTES CIA. SIDEDÚRGICA DE CALIFORNIA, S.A. DE C.V. QUE A SU VEZ ANTES ERA ATLAX)	INDUSTRIAL
210	2019	TLAXCALA	BALSAS	XALOZTOC	CARRTERA FEDERAL 136 APIZACO-HUAMANTLA KM 8 ESQ. BLVD. ADOLFO LÓPEZ MATEOS, XALOZTOC	SÍNTESIS ORGÁNICAS, S.A. DE C.V. (IDESA)	INDUSTRIAL
211	2019	TLAXCALA	BALSAS	XICOHTZINCO	CARRTERA FEDERAL PUEBLA-TLAXCALA KM 15.5, STO. TORIBIO XICOHTZINCO	INDUSTRIA KAY INTERNACIONAL DE TLAXCALA S.A.	INDUSTRIAL
212	2019	TLAXCALA	BALSAS	XICOHTZINCO	KM 15.5 CARRTERA FEDERAL PUEBLA-TLAXCALA, STO. TORIBIO XICOHTZINCO	INDUSTRIAS KAJ DE TLAXCALA, S.A.	INDUSTRIAL
213	2019	TLAXCALA	BALSAS	XICOHTZINCO	CALLE DE LA SOLEDAD ESQ. CALLE DEL CAMPO, COL. XITOTOTLA, XICOHTZINCO	JOEL VARGAS GONZÁLEZ, (CRANJA OVINA SAN BERNARDO)	AGROPECUARIO
214	2019	TLAXCALA	BALSAS	XICOHTZINCO	CARRTERA FEDERAL PUEBLA-TLAXCALA KM 15.5 TERCERA SECCIÓN (AV. HIDALGO # 9), XICOHTZINCO	POLÍMEROS DE MÉXICO, S.A. DE C.V., (MEXICHEM, S.A. DE C.V.)	INDUSTRIAL
215	2019	TLAXCALA	BALSAS	XICOHTZINCO	CARRTERA FEDERAL TLAXCALA-PUEBLA KM 32.5, XICOHTZINCO	QUIMICA "M", S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
216	2019	TLAXCALA	BALSAS	XICOHTZINCO	CARRTERA FEDERAL PUEBLA-TLAXCALA KM 15.5 PRIMERA SECCIÓN (AV. HIDALGO), XICOHTZINCO	RESIRENE, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
217	2019	TLAXCALA	BALSAS	YAUHQUEMEHCAN	CARRTERA FEDERAL MÉXICO-VERACRUZ KM 127 VÍA TEXCOCO, SAN LORENZO TLACUALOYAN, YAUHQUEMEHCAN	BICILEYA, S.A. DE C.V.	INDUSTRIAL
218	2019	TLAXCALA	BALSAS	YAUHQUEMEHCAN		JULIANA SÁNCHEZ CHIMAL	PECUARIO
219	2019	TLAXCALA	BALSAS	YAUHQUEMEHCAN	CARRTERA FEDERAL 121 MÉXICO-VERACRUZ KM 115, SANTA URSULA ZIMATEPEC, YAUHQUEMEHCAN	PROCTER AND GAMBLE MANUFACTURAS, S. DE R.L. DE C.V.	INDUSTRIAL

CONAGUA, 2019

Tabla 75. Características de las plantas de tratamiento de aguas residuales no municipales en 2019, en la cuenca del río Atoyac (CONAGUA, 2019).

CONSECUTIVO	NO. DE PLANTAS	NO. DE PLANTAS EN OPERACIÓN	GASTO INSTALADO (t/s)	GASTO DE OPERACIÓN (t/s)	NIVEL DE TRATAMIENTO	PROCESO DE TRATAMIENTO	CUERPO RECEPTOR O REUSO	LONGITUD	LATITUD
1	1	1	0.984000	0.710000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	BARRANCA SIN NOMBRE	-98.197044	19.211342
2	2	2	2.620000	1.850000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	BARRANCA ESCALOPO	-98.196411	19.214011
3	1	1	0.092593	0.092593	SECUNDARIO	BIODIGESTOR, FILTRACIÓN, CLORACIÓN	ÁREAS VERDES	Sin Dato	Sin Dato
4	1	1	0.208333	0.208333	PRIMARIO	CRIBADO Y SEDIMENTACIÓN	BARRANCA TLACOVOTLA	-98.078675	19.058633
5	1	1	0.128575	0.128575	PRIMARIO	FOSA SÉPTICA	BARRANCA LOS OCOTES	-98.100278	19.054167
6	1	1	0.032051	0.032051	PRIMARIO	FOSA SÉPTICA	BARRANCA MIQUIXATLACO	Sin Dato	Sin Dato
7	1	1	0.016546	0.016546	PRIMARIO	FOSA SÉPTICA	BARRANCA MIQUIXATLACO	Sin Dato	Sin Dato
8	1	1	30.000000	30.000000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	BARRANCA SIN NOMBRE	-97.851175	19.425083
9	1	1	15.780000	10.410000	PRIMARIO	FLOTACIÓN (KROFTA)	ZANJA INNOMINADA	-98.148903	19.426594
10	1	1	20.000000	12.650000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	RIO APIZAQUITO	-98.123472	19.418733
11	1	1	15.780000	10.410000	TERCIARIO	NANOFILTRACIÓN	RIO ATENCO (TEQUIXQUIATL)	-98.134828	19.409919
12	1	1	1.370000	0.880000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	INFILTRACIÓN	-98.062944	19.397472
13	1	1	0.043866	0.043866	PRIMARIO	FOSA SÉPTICA	INFILTRACIÓN	-98.150361	19.521194
14	2	2	11.570000	11.570000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN Y COAGULACIÓN	PROCESO	-98.113333	19.506667



15	1	1	0.232000	0.232000	SECUNDARIO	ANAEROBIO	ÁREAS VERDES	-98.259522	19.138711
16	1	1	0.579000	0.579000	SECUNDARIO	DUAL (FÍSICO Y BIOLÓGICO)	ARROYO PUENTE TABLAS	Sin Date	Sin Date
17	1	1	0.161000	0.161000	SECUNDARIO	DUAL (FÍSICO Y BIOLÓGICO)	CANAL SIN NOMBRE	Sin Date	Sin Date
18	1	1	1.470000	1.470000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	DREN INNOMINADO	-98.254214	19.140833
19	1	1	0.033555	0.033555	NO ESPECIFICADO	FISICOQUÍMICO	RIO TLAPALAC	-98.233333	19.157333
20	1	1	0.095000	0.095000	SECUNDARIO	ANAEROBIO	POZO DE ABSORCIÓN	-98.258625	19.112667
21	1	1	0.139000	0.139000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	CANAL INNOMINADO	-98.256119	19.104286
22	1	1	0.138850	0.138850	NO ESPECIFICADO	FISICOQUÍMICO	CANAL INNOMINADO	Sin Date	Sin Date
23	1	1	45.197000	45.197000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	RÍO ATOYAC	-98.250131	19.113967
24	1	1	0.583000	0.583000	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO	RIEGO AGRÍCOLA	-98.367914	19.177564
25	1	1	6.407292	6.407292	SECUNDARIO	DUAL (ANAEROBIO Y AEROBIO)	RÍO XOCHIAC	-98.413058	19.215272
26	1	1	2.040000	2.040000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	XOCHIAC	-98.413211	19.216553
27	1	1	0.151578	0.151578	NO ESPECIFICADO	FISICOQUÍMICO	SUELO (RIEGO EN ÁREAS VERDES)	-98.386944	19.142250
28	1	1	0.040614	0.040614	SECUNDARIO	FISICOQUÍMICO	SUELO (RIEGO EN ÁREAS VERDES)	-98.386889	19.141889
29	1	1	0.150000	0.150000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	ÁREAS VERDES	-98.386450	19.142489
30	1	1	0.060000	0.060000	SECUNDARIO	NO ESPECIFICADO	ÁREAS VERDES	-98.407752	19.216057
31	1	1	0.242988	0.242988	NO ESPECIFICADO	FISICOQUÍMICO	SUELO	-98.406222	19.215750
32	1	1	7.500000	7.500000	SECUNDARIO	DUAL (BIOLÓGICO Y FISICOQUÍMICO)	RÍO XOCHIAC	-98.420394	19.208336
33	1	1	0.030000	0.030000	PRIMARIO	REACTOR BIOLÓGICO Y POZO DE ABSORCIÓN	INFILTRACIÓN	-98.378719	19.172003
34	1	1	0.030000	0.030000	PRIMARIO	REACTOR BIOLÓGICO Y POZO DE ABSORCIÓN	INFILTRACIÓN	-98.378719	19.172003
35	1	1	0.531000	0.531000	PRIMARIO	REACTOR BIOLÓGICO Y POZO DE ABSORCIÓN	INFILTRACIÓN	-98.378719	19.172003
36	1	1	1.113000	1.113000	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO	BARRANCA INNOMINADA	-98.358333	19.113889
37	1	1	0.290000	0.290000	PRIMARIO	QUÍMICO Y AERACIÓN	ÁREAS VERDES	-98.405414	19.205769
38	1	1	0.519329	0.519329	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	RÍO TENIZATL	-98.419964	19.205308
39	1	1	0.027770	0.027770	PRIMARIO	FOSA SÉPTICA	AREAS VERDES	-97.388056	19.143056
40	1	1	0.145000	0.145000	SECUNDARIO	ANAEROBIO	INFILTRACIÓN SUPERFICIAL	-98.409896	19.205824
41	1	1	1.150000	1.150000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	RÍO XOCHIAC	-98.407967	19.206428
42	1	1	0.210000	0.210000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	RÍO XOCHIAC	-98.362500	19.207389
43	1	1	0.561000	0.561000	SECUNDARIO	DUAL (FISICOQUÍMICO Y BIOLÓGICO)	CANAL INNOMINADO	-98.372014	19.227228
44	1	1	35.253899	35.253899	NO ESPECIFICADO	BIOLÓGICO Y FISICOQUÍMICO	RIO XOCHIAC	-98.391944	19.213056
45	1	1	2.180000	2.180000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	RÍO TENIZATL	-98.420394	19.208336
46	1	1	24.000000	16.200000	SECUNDARIO	LADOS ACTIVADOS	BARRANCA LOS PESOS	-98.397889	19.296377
47	1	1	0.350000	0.230000	PRIMARIO	LADOS ACTIVADOS	PROCESO Y RIEGO DE ÁREAS VERDES	-98.391822	19.312969
48	1	1	16.203704	16.203704	SECUNDARIO	LADOS ACTIVADOS	BARRANCA LOS PESOS	-98.386944	19.300000
49	1	1	0.670000	0.670000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	ÁREAS VERDES	-98.395589	19.307850



50	1	1	0.670000	0.670000	NO ESPECIFICADO	FLOCULACIÓN Y LODOS ACTIVADOS	SUELO MEDIANTE RIEGO DE ÁREAS VERDES	-98.392306	19.305333
51	2	2	0.670000	0.670000	NO ESPECIFICADO	FLOCULACIÓN Y LODOS ACTIVADOS	BARRANCA LOS PESOS	-98.392139	19.307667
52	1	1	0.280000	0.280000	NO ESPECIFICADO	FLOCULACIÓN Y FOSA SÉPTICA	SUELO MEDIANTE RIEGO DE ÁREAS VERDES	-98.200528	19.264306
53	1	1	0.600000	0.600000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	BARRANCA LLELOTLAMATLAC Y/O INFILTRACIÓN SUPERFICIAL	-98.195169	19.294314
54	1	1	0.320000	0.280000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	ÁREAS VERDES	-98.198711	19.266575
55	1	1	0.260000	0.260000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	BARRANCA TOCHPA	-98.193819	19.188044
56	1	1	0.004000	0.004000	PRIMARIO	SEDIMENTACIÓN	BARRANCA TOXPA	-98.193658	19.187244
57	1	1	0.600000	0.200000	SECUNDARIO	FILTRACIÓN (FILTRO PERCOLADOR)	INFILTRACIÓN SUPERFICIAL	-98.328117	19.171403
58	2	2	10.000000	3.600000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	RÍO ATOYAC	-98.223158	19.140728
59	1	1	0.299700	0.299700	SECUNDARIO	SEDIMENTACIÓN Y AIREACIÓN	RÍO ATOYAC	-98.195563	19.177068
60	1	1	12.820000	12.820000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	ÁREAS VERDES	-98.220692	19.141242
61	1	1	2.310000	0.140000	PRIMARIO	SEDIMENTACIÓN	INFILTRACIÓN	-98.222864	19.140758
62	1	1	10.000000	3.600000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	ÁREAS VERDES	-98.221281	19.143667
63	1	1	0.700000	0.700000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	BARRANCA PILARES	-98.221378	19.144194
64	1	1	0.230000	0.040000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS NEUTRALIZACIÓN Y FLOCULACIÓN	INFILTRACIÓN SUPERFICIAL	-98.221969	19.143969
65	1	1	1.040000	1.040000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	CANAL PRESA DERIVADORA	-98.228477	19.147917
66	1	1	0.380000	0.380000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	ARROYO S/N	-98.244444	19.176389
67	1	1	0.300000	0.300000	SECUNDARIO	SEDIMENTACIÓN Y AIREACIÓN	RÍO ATOYAC	-98.226064	19.162794
68	2	2	1.380000	0.069000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	INFILTRACIÓN	-98.192772	19.198994
69	1	1	3.530000	3.530000	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO		-98.264472	19.210325
70	1	1	2.190000	2.190000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS Y FLOCULACIÓN-COAGULACIÓN	RÍO ATOYAC	-98.395561	19.307881
71	1	1	1.150000	0.382000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	BARRANCA HUEHUEXOTLA	-98.232603	19.158222
72	1	1	0.370000	0.370000	PRIMARIO	FOSA SÉPTICA	RÍO ATOYAC	-98.241111	19.175000
73	1	1	1.492638	1.492638	NO ESPECIFICADO	FISICOQUÍMICO	RÍO ATOYAC	-98.230864	19.111583
74	1	1	2.750000	2.750000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	INFILTRACIÓN SUPERFICIAL	-98.150944	19.072744
75	1	1	4.638000	4.638000	PRIMARIO	TRAMPA DE GRASAS Y ACEITES Y FISICOQUÍMICO	RÍO EL SANTUARIO DE APARICIO	-98.184086	19.075578
76	1	1	0.460000	0.130000	SECUNDARIO	ANAEROBIO	BARRANCA INNOMINADA	-98.156894	19.058086
77	1	1	0.463000	0.463000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	BARRANCA SAN ANTONIO	-98.157936	19.071086
78	1	1	48.610000	48.610000	PRIMARIO	COAGULACIÓN	BARRANCA SAN ANTONIO	-98.157936	19.071086
79	1	1	0.029051	0.029051	SECUNDARIO	FISICOQUÍMICO	BARRANCA SAN ANTONIO	-98.155556	19.043056
80	1	1	0.290000	0.290000	SECUNDARIO	DUAL (FISICOQUÍMICO Y BIOLÓGICO)	BARRANCA SAN ANTONIO	-98.155556	19.059722
81	1	1	0.089000	0.060000	PRIMARIO	TRAMPA DE GRASAS Y ACEITES Y SEDIMENTACIÓN PRIMARIA	BARRANCA DEL CONDE	-98.211472	19.097583
82	1	1	0.017361	0.017361	SECUNDARIO	BIODIGESTOR	BARRANCA INNOMINADA	-98.104622	19.046119
83	1	1	2.037000	2.037000	SECUNDARIO	FISICOQUÍMICO	BARRANCA SAN ANTONIO	-98.150619	19.075875
84	1	1	0.196759	0.196759	SECUNDARIO	FISICOQUÍMICO	ARROYO XONACA	Sin Dato	Sin Dato
85	1	1	0.285000	0.285000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	ÁREAS VERDES	-98.156583	19.079500
86	1	1	2.888889	2.888889	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	BARRANCA INNOMINADA	Sin Dato	Sin Dato



87	1	1	0.695000	0.695000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	ÁREAS VERDES	-98.160419	19.067978
88	1	1	1.260000	0.820000	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO	BARRANCA ASCENCIÓN	-98.100444	19.066869
89	1	1	0.024993	0.024993	PRIMARIO	FOSA SÉPTICA	BARRANCA INNOMINADO	-98.114444	18.936667
90	1	1	5.497685	5.497685	SECUNDARIO	NO ESPECIFICADO	ARROYO MARAVILLAS	-98.160019	19.065494
91	1	1	5.409000	5.409000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	BARRANCA SAN ANTONIO	-98.158384	19.057544
92	1	1	11.374000	11.374000	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO	RÍO ATOYAC	-98.230069	19.108086
93	1	1	12.570000	8.600000	SECUNDARIO	NO ESPECIFICADO	RÍO ATOYAC	-98.230069	19.108086
94	1	1	3.422081	3.422081	PRIMARIO	FOSA SÉPTICA	BARRANCA SAN ANTOBIO	-98.155972	19.057722
95	1	1	0.990000	0.990000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	INFILTRACION	-98.188792	19.095139
96	1	1	0.020833	0.020833	SECUNDARIO	ANAEROBIO Y DESINFECCIÓN	BARRANCA ASCENCIÓN	-98.230097	19.108064
97	1	1	0.640000	0.640000	SECUNDARIO	NO ESPECIFICADO	BARRANCA XONACA	-98.160281	19.063984
98	1	1	4.670000	2.002315	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	BARRANCA SANTO DOMINGO	-98.206106	19.096228
99	1	1	3.230000	2.894000	SECUNDARIO	DUAL (BIOLÓGICO Y FISICOQUÍMICO)	BARRANCA SAN ANTONIO Y/O XAXALPA	-98.151778	19.065942
100	1	1	0.089000	0.089000	PRIMARIO	TRAMPA DE GRASAS Y ACEITES Y SEDIMENTACIÓN PRIMARIA	BARRANCA DE XAXALPA	-98.207542	19.098494
101	1	1	0.092014	0.092014	PRIMARIO	NEUTRALIZACIÓN	BARRANCA SAN ANTONIO	-98.157278	19.071061
102	1	1	0.064815	0.064815	SECUNDARIO	DUAL (BIOLÓGICO Y FISICOQUÍMICO)	BARRANCA MANZANILLA	-98.153119	19.074197
103	1	1	2.454000	2.454000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	ARROYO INNOMINADO	-98.229289	19.102153
104	1	1	0.500000	0.500000	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO	INFILTRACIÓN	-98.153119	19.074197
105	1	1	1.180000	1.180000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	BARRANCA TLALOXTOC	-98.155064	19.062947
106	1	1	0.013194	0.013000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	INFILTRACIÓN	-98.100858	19.065878
107	1	1	0.052083	0.052083	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	BARRANCA EL CONDE	-98.184356	19.096944
108	1	1	0.600000	0.500000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	BARRANCA DEL CONDE	-98.202197	19.087639
109	1	1	0.580000	0.035000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	BARRANCA XALTONATL	-98.163272	19.087328
110	1	1	0.143519	0.143519	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO	POZO DE ABSORCIÓN	-98.099719	19.068031
111	1	1	0.035000	0.035000	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO	BARRANCA DEL CONDE	-98.186242	19.097658
112	1	1	0.058000	0.021000	PRIMARIO	SEDIMENTACIÓN	BARRANCA SAN ANTONIO	Sin Dato	Sin Dato
113	1	1	0.880000	0.880000	SECUNDARIO	DUAL (FISICOQUÍMICO Y LODOS ACTIVADOS)	BARRANCA DEL CONDE	-98.195731	19.084847
114	1	1	0.040000	0.040162	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	RÍO ALSESECA	Sin Dato	Sin Dato
115	1	1	0.093000	0.093000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	BARRANCA SAN ANTONIO	-98.156369	19.066653
116	1	1	3.100000	3.100000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	BARRANCA SAN ANTONIO	-98.156369	19.066653
117	1	1	0.197000	0.197000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	BARRANCA SAN ANTONIO	-98.156528	19.066303
118	1	1	1.000000	1.000000	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO	ARROYO MARAVILLAS	-98.160244	19.064028



119	1	1	0.011574	0.011574	SECUNDARIO	BIODIGESTOR Y DESINFECCIÓN	ÁREAS VERDES	-98.103889	19.066667
120	1	1	0.677000	0.677000	SECUNDARIO	DUAL (FISICOQUÍMICO Y BIOLÓGICO)	BARRANCA DEL CONDE	-98.187019	19.096747
121	1	1	0.030000	0.030000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	BARRANCA DEL CONDE	Sin Dato	Sin Dato
122	1	1	0.074000	0.074000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	RÍO ALSESECA	Sin Dato	Sin Dato
123	1	1	0.222000	0.222000	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO	ARROYO SAN ANTONIO	-98.156708	19.058008
124	1	1	0.922454	0.922454	SECUNDARIO	DUAL (FISICOQUÍMICO Y BIOLÓGICO)	BARRANCA XAXALPA	-98.149811	19.080686
125	1	1	0.021000	0.021000	SECUNDARIO	DUAL (FISICOQUÍMICO Y BIOLÓGICO)	BARRANCA SAN ANTONIO	-98.156503	19.065897
126	1	1	3.240000	3.200000	PRIMARIO	HOMOGENIZACIÓN, REDUCCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE, FILTRACIÓN	BARRANCA AXOXOCA	-98.208658	19.093311
127	1	1	0.029000	0.028935	SECUNDARIO	BIODIGESTOR	POZO DE ABSORCIÓN	-98.179975	19.107194
128	1	1	0.006000	0.006000	PRIMARIO	POZO DE ABSORCIÓN	INFILTRACIÓN SUPERFICIAL	-98.238794	19.080497
129	1	1	0.466000	0.466435	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	ARROYO MARAVILLAS	-99.603103	19.288039
130	1	1	0.111111	0.111111	PRIMARIO	FILTRACIÓN	INFILTRACIÓN SUPERFICIAL	-98.192903	19.084372
131	1	1	4.177071	4.177071	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	ARROYO MARAVILLAS	-98.236111	19.107944
132	1	1	4.178241	4.178241	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	ARROYO MARAVILLAS	-98.160822	19.069108
133	1	1	2.968000	2.967940	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	RÍO ATOYAC	-98.236111	19.107944
134	1	1	0.129000	0.128588	PRIMARIO	TRAMPA DE GRASAS Y ACEITES	POZO DE ABSORCIÓN	-98.194914	19.089697
135	1	1	0.130000	0.130000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	BARRANCA SAN ANTONIO	-98.150222	19.077356
136	1	1	0.099884	0.099884	PRIMARIO	TRAMPA DE GRASAS Y ACEITES Y FISICOQUÍMICO	ARROYO MARAVILLAS	-98.160244	19.064028
137	1	1	0.100000	0.100000	SECUNDARIO	ANAEROBIO	ARROYO MARAVILLAS	-98.188667	19.095133
138	1	1	0.140974	0.140974	SECUNDARIO	ANAEROBIO	ARROYO MARAVILLAS	-98.188611	19.096111
139	1	1	1.092000	1.092000	SECUNDARIO	DUAL (FISICOQUÍMICO Y BIOLÓGICO)	BARRANCA EL CONDE	-100.915278	20.508333
140	1	1	1.091824	1.091824	NO ESPECIFICADO	BIOLÓGICO Y FISICOQUÍMICO	BARRANCA EL CONDE	-98.197500	19.086111
141	1	1	18.056000	18.056000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	RÍO RABANILLO	-98.248181	19.050975
142	1	1	208.330000	208.330000	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO	BARRANCA DE SANTO DOMINGO	-98.207458	19.099642
143	1	1	0.006000	0.006000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	BARRANCA DEL CONDE	-98.185000	19.098889
144	1	1	2.430000	2.430000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	RÍO ATOYAC	-98.227383	19.124769
145	1	1	0.159000	0.159000	SECUNDARIO	DUAL (BIOLÓGICO Y FISICOQUÍMICO)	BARRANCA INNOMINADA	-98.211003	18.996289
146	1	1	0.600000	0.010000	SECUNDARIO	NO ESPECIFICADO	ARROYO MARAVILLAS	-98.160600	19.082950
147	1	1	0.015000	0.128588	PRIMARIO	CRIBADO, AIREACIÓN, SEDIMENTACIÓN, DESINFECCIÓN	POZO DE ABSORCIÓN	-98.140506	19.075478
148	1	1	0.052000	0.052000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	BARRANCA SAN ANTONIO	-98.156578	19.065356
149	1	1	0.046296	0.046296	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO	BARRANCA DEL CONDE	Sin Dato	Sin Dato
150	1	1	0.125000	0.125000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	RÍO RABANILLO	-98.165531	19.041184
151	1	1	0.139000	0.139000	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO	CANAL INNOMINADO	Sin Dato	Sin Dato
152	1	1	0.625000	0.250000	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO	DREN NATURAL INNOMINADO	-98.261111	19.028333
153	1	1	0.036458	0.036458	SECUNDARIO	DUAL (BIOLÓGICO Y FISICOQUÍMICO)	ÁREAS VERDES	Sin Dato	Sin Dato



154	1	1	1.080000	1.080000	SECUNDARIO	DUAL (Y FÍSICOQUÍMICO Y BIOLÓGICO)	ARROYO ALAMO	-98.268247	19.007856
155	1	1	0.347125	0.347125	PRIMARIO	FOSA SÉPTICA	RÍO RABANILLO	Sin Dato	Sin Dato
156	1	1	0.005787	0.005787	PRIMARIO	SEDIMENTACIÓN	POZO DE ABSORCIÓN	Sin Dato	Sin Dato
157	1	1	0.969000	0.969000	PRIMARIO	FÍSICOQUÍMICO	RÍO RABANILLO	Sin Dato	Sin Dato
158	1	1	8.000000	0.050000	NO ESPECIFICADO	NO ESPECIFICADO	RÍO ATOYAC	-98.422808	19.285228
159	1	1	17.361111	17.361111	PRIMARIO	FÍSICOQUÍMICO	ARROYO INNOMINDO AFLUENTE RÍO ATOYAC	-98.407081	19.253192
160	1	1	0.697454	0.697454	SECUNDARIO	DUAL (FÍSICOQUÍMICO Y BIOLÓGICO)	INFILTRACIÓN SUPERFICIAL	Sin Dato	Sin Dato
161	1	1	4.132986	4.132986	NO ESPECIFICADO	BIOLÓGICO Y FÍSICOQUÍMICO	RÍO XOCHIAC	-98.391944	19.213056
162	1	1	10.683000	10.683000	PRIMARIO	FÍSICOQUÍMICO	NE	-98.407081	19.253192
163	1	1	2.714518	2.714518	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	RÍO ATOYAC	-98.440833	19.292500
164	1	1	2.715278	2.715000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	RÍO ATOYAC	-98.443053	19.292075
165	1	1	20.000000	20.000000	PRIMARIO	FÍSICOQUÍMICO	RÍO ATOYAC	-98.414036	19.270250
166	1	1	6.342000	6.342000	SECUNDARIO	ANAEROBIO	RÍO CHIQUITO	Sin Dato	Sin Dato
167	1	1	2.048038	2.048038	NO ESPECIFICADO	FÍSICOQUÍMICO	RÍO XOCHIAC	-98.391917	19.213194
168	1	1	2.049000	2.049000	PRIMARIO	FÍSICOQUÍMICO	RÍO XOCHIAC	Sin Dato	Sin Dato
169	1	1	1.102700	1.102700	NO ESPECIFICADO	FÍSICOQUÍMICO	RÍO ATOYAC	-98.414889	19.269139
170	1	1	24.000000	24.000000	SECUNDARIO	LAGUNAS AIREADAS	RÍO ATOYAC	-98.416917	19.255456
171	1	1	2.557870	2.557870	PRIMARIO	FÍSICOQUÍMICO (PRECIPITACIÓN-ESTABILIZACIÓN)	CANAL INNOMINADO	-98.389889	19.241258
172	1	1	1.756000	1.756000	TERCIARIO	NO ESPECIFICADO	RÍO ACOTZALA	-98.439925	19.281214
173	1	1	3.000000	2.960000	SECUNDARIO	BIOLÓGICO	ÁREAS VERDES	-98.418236	19.262606
174	1	1	6.810000	6.810000	SECUNDARIO	BIODIGESTOR	RÍO XOCHIAC	-98.410611	19.219397
175	1	1	8.102000	8.100000	SECUNDARIO	NO ESPECIFICADO	ARROYO PRIETO	-98.309247	19.173839
176	1	1	0.298495	0.298495	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	RÍO TLAPALAC	-98.306892	19.175733
177	1	1	0.660000	0.660000	SECUNDARIO	DUAL (FÍSICOQUÍMICO Y BIOLÓGICO)	ARROYO TLAPALAC Y SUELO (INFILTRACIÓN SUPERFICIAL)	-98.305439	19.176819
178	1	1	1.179977	1.179977	SECUNDARIO	NO ESPECIFICADO	RÍO METLAPANAPA	Sin Dato	Sin Dato
179	1	1	2.000000	2.000000	PRIMARIO	FÍSICOQUÍMICO	RÍO RABANILLO	-98.277983	19.077756
180	1	1	0.601852	0.601852	SECUNDARIO	BIODIGESTOR	ARROYO INNOMINADO	Sin Dato	Sin Dato
181	1	1	0.500000	0.500000	SECUNDARIO	NO ESPECIFICADO	ÁREAS VERDES	-98.297053	19.069594
182	1	1	0.053000	0.053000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	RÍO SANTA ELENA	Sin Dato	Sin Dato
183	1	1	1.000000	0.700000	SECUNDARIO	NO ESPECIFICADO	NE	-98.466376	19.267211
184	1	1	1.330000	1.180000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	BARRANCA BRIONES	-98.203019	19.240947
185	1	1	0.350000	0.350000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	BARRANCA COAXAMAHUA	-98.198928	19.239253
186	1	1	0.125000	0.125000	SECUNDARIO	FÍSICOQUÍMICO	INFILTRACIÓN	-98.206667	19.241111
187	1	1	0.083000	0.083000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	ÁREAS VERDES	-98.062764	19.488992



188	1	1	14.500000	11.600000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	INFILTRACIÓN SUPERFICIAL	-99.985225	20.382994
189	1	1	29.330000	29.330000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO Y LODOS ACTIVADOS	BARRANCA LOS AMEYALES	-98.049944	19.484472
190	2	2	29.500000	29.500000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	BARRANCA LOS AMEYALES	-98.057314	19.495675
191	1	1	0.160000	0.160000	NO ESPECIFICADO	FLOCULACION Y LODOS ACTIVADOS	INFILTRACIÓN	-98.058056	19.495139
192	1	1	1.370000	0.880000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	CANAL INNOMINADO	-98.294650	19.224931
193	1	1	0.650000	0.010000	SECUNDARIO	NO ESPECIFICADO	BARRANCA TEXAL	-98.568056	19.344722
194	1	1	32.824074	32.824074	PRIMARIO	FILTRACIÓN Y SEDIMENTACIÓN	BARRANCA OTLATLA	-98.609722	19.354167
195	1	1	4.580000	4.580000	PRIMARIO	BIOTORRE Y REACTORES SECUENCIALES	BARRANCA INNOMINADA	-98.600517	19.361156
196	1	1	0.100000	0.100000	PRIMARIO	SEDIMENTACIÓN	ARROYO SAN JOSÉ OJO DE AGUA	-98.543411	19.417681
197	1	1	0.069000	0.069000	PRIMARIO	FILTRACIÓN Y SEDIMENTACIÓN	INFILTRACIÓN SUPERFICIAL	Sin Dato	Sin Dato
198	1	1	12.430000	12.430000	PRIMARIO	NO ESPECIFICADO	BARRANCA AGUA AZUL	-98.584611	19.360778
199	1	1	0.035000	0.035000	SECUNDARIO	REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE	INFILTRACIÓN	-98.133583	19.607583
200	1	1	0.500000	0.500000	PRIMARIO	FILTRACIÓN (ARENA)	INFILTRACION SUPERFICIAL	-98.339833	19.603806
201	1	1	0.500000	0.174000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	BARRANCA CASA BLANCA	-98.243472	19.658139
202	1	1	0.500000	0.500000	NO ESPECIFICADO	FLOCULACIÓN Y LODOS ACTIVADOS	BARRANCA CASA BLANCA	-98.243472	19.658139
203	1	1	0.350000	0.210000	SECUNDARIO	BIODISCOS	INFILTRACIÓN	-98.074406	19.401680
204	1	1	1.500000	1.500000	PRIMARIO	NEUTRALIZACIÓN	BARRANCA TOCHATLAC	-98.049739	19.387742
205	1	1	0.093000	0.075000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	BARRANCA TOCHATLAC	-98.054894	19.391142
206	1	1	0.170000	0.170000	PRIMARIO	FOSA SÉPTICA	BARRANCA ZAMBRANO	-98.088889	19.415556
207	1	1	0.520000	0.520000	SECUNDARIO	BIOFILTROS	BARRANCA ZAMBRANO	-98.071517	19.400983
208	2	2	3.125000	3.125000	PRIMARIO	NEUTRALIZACIÓN	BARRANCA TOCHATLAC	-98.062619	19.391742
209	1	1	2.550000	2.550000	SECUNDARIO	LODOS ACTIVADOS	ZANJA INNOMINADA	-98.092522	19.398283
210	1	1	1.110000	0.500000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	BARRANCA TOCHATLAC	-98.066117	19.392344
211	1	1	0.520000	0.520000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	RÍO ATOYAC	-98.224946	19.166037
212	1	1	0.520000	0.520000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	RÍO ATOYAC	-98.228003	19.169444
213	1	1	2.500000	0.070000	SECUNDARIO	LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	INFILTRACIÓN SUPERFICIAL	-98.259722	19.186111
214	1	1	6.500000	0.120000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	RÍO ATOYAC	-98.228033	19.167847
215	1	1	1.840000	0.870000	PRIMARIO	FISICOQUÍMICO	RÍO ATOYAC	-98.230278	19.172361
216	1	1	2.000000	0.520000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	RÍO ATOYAC	-98.228761	19.170289
217	1	1	0.700000	0.070000	PRIMARIO	FLOCULACIÓN	INFILTRACIÓN	-98.175133	19.395100
218	1	1	0.050000	0.050000	PRIMARIO	FOSA SÉPTICA	INFILTRACIÓN POR RIEGO AGRICOLA	-98.182222	19.398889
219	1	1	66.670000	43.790000	SECUNDARIO	BIOFILTROS	ARROYO ATLIXTACA	-98.160617	19.412761



Tabla 76 . Descripción de Campos del Inventario de plantas de tratamiento

CAMPO	DESCRIPCION	TIPO	UNIDADES
ESTADO	Nombre de entidad federativa de acuerdo a INEGI	Texto	No aplica
REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA	Nombre de Región Hidrológico-Administrativa	Texto	No aplica
MUNICIPIO	Nombre de municipio de acuerdo a INEGI	Texto	No aplica
LOCALIDAD	Nombre de localidad de acuerdo a INEGI	Texto	No aplica
NOMBRE DEL USUARIO	Nombre o razón social de la persona física o moral, respectivamente, que opera la planta de tratamiento de aguas residuales	Texto	No aplica
TIPO DE INDUSTRIA O GIRO	Principal actividad económica de acuerdo a SCIAN, que realiza la persona física o moral que genera la descarga de aguas residuales que recibe la planta de tratamiento	Texto	No aplica
PROCEDENCIA DE LA DESCARGA	Nombre de la(s) actividad(es) que genera(n) la descarga de aguas residuales que recibe la planta de tratamiento	Texto	No aplica
No. DE PLANTAS	Número de orden que corresponde a esa planta de tratamiento de aguas residuales, cuando el usuario tiene más de una	Numérico	No aplica
No. PLANTAS EN OPERACIÓN	Número de orden que corresponde a esa planta de tratamiento de aguas residuales, cuando el usuario tiene y opera más de una	Numérico	No aplica
GASTO INSTALADO	Volumen de agua residual por unidad de tiempo que la planta de tratamiento de aguas residuales tiene la capacidad de tratar	Numérico	litros por segundo (l/s)
GASTO DE OPERACIÓN	Volumen de agua residual por unidad de tiempo que la planta de tratamiento de aguas residuales trata	Numerico	litros por segundo (l/s)
NIVEL DE TRATAMIENTO	Grado de tratamiento que reciben las aguas residuales; distingue tres niveles: PRIMARIO (para el nivel básico), SECUNDARIO (para el nivel moderado), TERCARIO (para el nivel avanzado), así como una categoría adicional para los casos NO ESPECIFICADOS	Numérico	No aplica
PROCESO DE TRATAMIENTO	Nombre del (los) proceso(s) de tratamiento que reciben las aguas residuales	Texto	No aplica
CUERPO RECEPTOR O REÚSO	Nombre de cuerpo receptor en el que se depositan las aguas residuales tratadas o del reúso que se reciben (cuando no son depositadas a un cuerpo receptor)	Texto	No aplica
LONGITUD	Medida de los grados, expresados en forma decimal, de la longitud correspondiente al sitio donde se ubica la planta de tratamiento de aguas residuales	Numérico	grados sexagesimales (°)
LATITUD	Medida de los grados, expresados en forma decimal, de la latitud correspondiente al sitio donde se ubica la planta de tratamiento de aguas residuales	Numérico	grados sexagesimales (°)

CONAGUA, 2019



PERÍODO 2020

CONAGUA (2020), presentó el reporte final del diagnóstico de la calidad del agua del río Atoyac y sus afluentes en el cual, se muestra la evaluación de la contaminación del río. La tabla 77 contiene los indicadores anuales de 2012 a 2019, así como las concentraciones promedio determinadas en el estudio de clasificación. Se incluye demanda bioquímica de oxígeno /DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), coliformes fecales (CF) y toxicidad aguada (TOX).

En las siguientes fig.s 63 a 67 se presenta la evolución de estos indicadores. Las barras representan los resultados del estudio de clasificación y las líneas, las medianas de las concentraciones anuales de los contaminantes.

Las fig.s 68 a la 74 contienen la evolución de otros contaminantes que se encontraron ampliamente distribuidos en el cause del río y en las inmediaciones de las confluencias de sus afluentes, estos son: nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, fósforo total, sustancias activas al azul de metileno (SAAM), fenoles totales, bis2- (etil hexil)-ftalato y color verdadero.

Tabla 77. Indicadores de la calidad del agua superficial de 2012 a 2019 y resultados del estudio de clasificación (CONAGUA, 2020).

Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)													
CLAVE_RNM	CL_EST	DESCRIPTOR	ZONA	ORDEN	ESTUDIO	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DLPUE1992M1	RA1	SITIO TESTIGO_Z1	1	1	10.3					9.1	5.5	8.5	12.5
DLPUE2074M1		TEXMELUCAN_Z1	1	1			1.6	0.5	0.5	0.5	1.0	2.0	
DLPUE2013	RA2	AA R. ATOTONILCO_Z1	1	1	20.6	6.8	6.4	10.7	12.7	5.5	7.4	10.1	8.4
DLPUE2012	RA3	R. ATOTONILCO_Z2	2	2	6.7	16.0	6.6	4.5	4.5	0.5	2.8	3.9	2.5
DLPUE2015		AA R. TLANALAPAN_Z2	2	1		35.0	28.0	36.0	100.0	413.3			
DLPUE2014	AF1	R. CHIQUITO_Z2	2	2		110.0	26.8	90.0	113.3	81.7	50.0		
DLPUE2017		PTE. S.MARTIN-TLAXC_Z2	2	1		14.5	62.0	77.5	50.7	91.1	65.0	53.3	35.0
DLPUE2016		R. COTZALA_Z2	2	2	76.7	6.5	16.0	120.0	100.0	124.4	135.0	107.5	80.0
DLTLA2576	AF2	PTAR VILLALTA_Z2	2	1		106.7	179.2	61.7	106.7	55.6	54.3	59.2	83.8
DLTLA2577	RA5	AA BCA CRUZTITLA_Z2	2	1	79.4	38.0	115.0	103.3	39.3	56.7	41.7	52.5	24.0
DLTLA2579	AF3	A. CAPUENTE_Z2	2	2			9.3	4.0	4.4	9.3	5.0	5.0	2.0
DLTLA2578	AF4	A. ZJA. REAL_Z2	2	2		27.0	8.1	25.8	46.2	46.7	48.3	53.3	24.6
DLTLA2581	RA7	AA R. XOCHIAC_Z2	2	1	80.0	17.5	26.0	25.4	68.3	41.1	56.7	70.8	13.4
DLTLA2580	AF5	R. SN IGNACIO_Z2	2	2			15.8	18.0	28.3	18.8	16.0	24.2	10.7
DLPUE2018		R. XOCHIAC_Z3	3	2		170.6	29.0	33.7	27.5	54.4	65.0	47.5	35.9
DLPUE2019	RA8	R. XOC.-AA C. CARM_Z3	3	2	156.7	100.0	16.0	71.0	31.0				
DLPUE2054	RA9	R. XOC.-aa C. CARM_Z3	3	2	323.3	145.0	140.0	105.0	128.3	133.3	196.7		
DLTLA2582	RA10	R. XOPANAC_Z3	3	2	778.3	103.3	385.0	1,075.0	1,475.0	1,375.0	1,183.3	1,240.0	368.0
DLTLA2547	RA12	AA R. ZAHUAPAN_Z3	3	1	235.0	56.0	90.0	60.0	57.7	64.7	86.7	96.7	86.7
DLTLA2546	RA11	R. TLAPALAC_Z3	3	2	236.7	126.7	147.5	174.2	220.0	245.0	176.7	170.0	136.4
DLTLA2545	RA13	R. ZAHUAPAN_Z4	4	2	69.0	46.0	62.3	54.6	33.3	80.0	28.5	43.3	29.9
DLPUE1993	RA14	aa CO. PANZACOLA_Z4	4	1	143.0	41.7	53.5	96.7	40.8	86.7	30.0	78.3	69.8
DLTLA2544		PANZACOLA_Z4	4	1		78.0	93.3	66.0	48.3	115.6	35.0	55.0	56.5
DLTLA2543	AF6	BCA. ATLAPLITZ_Z4	4	2		14.5	30.0	41.7	30.0	74.4	60.0	96.7	45.7



DLPUE1988	RA16	aa TEX. ZALDO_Z5	5	1	130.0	64.0	50.0	78.0	42.5	75.0	58.3	61.7	99.7
DLPUE2022M1		BCA. HONDA_Z5	5	2				260.0	265.0	169.4	123.3	373.3	277.0
DLPUE1989		LA AUTOPISTA_Z5	5	1		82.0	86.7	48.3	57.3	50.3	65.0	55.0	74.3
DLPUE1991W1		AA PTAR BCA D CONDE_Z5	5	1		60.0	118.3	37.0	63.7	77.2	66.7	55.0	60.0
DLPUE1992	RA17	aa BCA DEL CONDE_Z5	5	1	145.8	61.5	69.0	35.0	52.2				
DLPUE2071	RA18	AA A. RABANILLO_Z5	5	1	245.0	66.0	81.0	38.0	58.2	70.8	56.7	78.3	116.7
DLPUE2019M1		A. RABANILLO_Z6	6	2						88.5	98.3	88.3	90.6
DLPUE1975	RA19	R. SAN FRANCISCO_Z6	6	2	41.2	11.0	56.8	120.0	125.0	40.0			
DLPUE2067W1		R. SAN FRANCISCO_Z6	6	2		54.6	35.5	104.2	39.2	37.0	28.0	9.7	9.1
DLPUE1976		AA. R. SAN FCO_Z6	6	1		116.7	106.7	39.4	57.5	62.5	73.3	85.8	49.6
DLPUE1977		aa. R. SAN FCO_Z6	6	1		100.0	65.7	66.4	83.3	73.6	115.0	93.3	60.8
DLPUE2014M1		A. PRIETO_Z6	6	2						15.0	7.0	3.4	4.8
DLPUE2063M1		A. PRIETO_Z6	6	2						215.0	100.0	106.7	75.5
DLPUE2062M1		A. METLAPANAPA_Z6	6	2						54.4	91.7	96.7	77.3
DLPUE1975M1		A. ZAPATERO_Z6	6	2						206.1	46.7	120.0	97.9
DLPUE2050		LA CARMELITA_Z6	6	1		93.3	125.0	72.0	83.3	96.7	50.0	134.2	140.3
DLPUE2051	RA20	A. ATENCO_Z6	6	2	1,263.3	370.0	405.0	656.7	845.0	550.0	426.7	693.3	560.0
DLPUE2053		AA PTAR ATOYAC SUR_Z6	6	1		93.0	90.0	48.0	57.9	95.6	44.2	113.3	104.3
DLPUE2052	RA21	AA DERIV. ECHEVERRIA_Z6	6	1	78.8	80.0	42.5	62.7	51.7				
DLPUE2055		HID. ECHEVERRIA_Z6	6	1		123.3	106.7	80.0	51.7	106.1	58.3		
DLPUE2056		A. U. ANTORCH_Z6	6	1		116.7	88.3	72.0	51.7	113.3	60.0	98.3	78.9
DLPUE2057	PVA23	PRESA MAC-1_Z6	6	3	43.3		16.4	6.3	32.0	25.2	14.5	16.0	5.4
DLPUE2065		PRESA MAC-5_Z6	6	3			8.5	8.5	10.3	8.3	7.8	8.1	6.0
DLPUE2068	PVA25	PRESA MAC-6_Z6	6	3	30.3		10.5	7.8	14.7	10.0	5.5	9.3	7.0

Notas:

AA = aguas arriba

aa= aguas abajo

Demanda Química de Oxígeno (mg/L)

CLAVE_RNM	CL_EST	DESCRIPTOR	ZONA	ORDEN	ESTUDIO	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DLPUE1992M1	RA1	SITIO TESTIGO_Z1	1	1	19.8					40.6	34.8	34.8	49.3
DLPUE2074M1		TEXMELUCAN_Z1	1	1				15.3	19.0	19.0	23.6	20.2	10.0
DLPUE2013	RA2	AA R. ATOTONILCO_Z1	1	1	33.1	25.6	43.0	37.5	35.0	28.5	24.7	36.0	36.4
DLPUE2012	RA3	R. ATOTONILCO_Z2	2	2	23.8	51.1	29.0	67.9	36.9	39.9	20.0	31.7	38.6
DLPUE2015		AA R. TLANALAPAN_Z2	2	1		53.0	178.6	89.0	225.9	1,026.7			
DLPUE2014	AF1	R. CHIQUITO_Z2	2	2		169.3	94.4	119.9	234.5	369.7	254.7		
DLPUE2017		PTE. S.MARTIN-TLAXC_Z2	2	1		38.6	164.6	122.5	159.1	226.6	149.6	147.7	133.2
DLPUE2016		R. COTZALA_Z2	2	2	134.6	40.1	87.1	118.6	220.9	336.9	366.8	318.0	309.8
DLTLA2576	AF2	PTAR VILLALTA_Z2	2	1		169.3	369.7	166.8	263.0	130.0	209.7	189.2	263.9
DLTLA2577	RA5	AA BCA CRUZTITLA_Z2	2	1	172.0		246.6	218.5	95.1	139.6	159.9	172.5	154.4



DLTLA2579	AF3	A. CAPUENTE_Z2	2	2		58.6	25.7	72.0	29.6	90.3	43.5	64.8	30.4
DLTLA2578	AF4	A. ZJA. REAL_Z2	2	2		63.1	34.5	118.0	99.0	143.4	91.6	157.0	36.3
DLTLA2581	RA7	AA R. XOCHIAC_Z2	2	1	142.6	62.1	259.9	111.7	94.5	140.7	144.9	160.1	159.8
DLTLA2580	AF5	R. SNI GNACIO_Z2	2	2		33.1	109.8	154.0	72.2	66.1	106.4	73.6	35.2
DLPUE2018		R. XOCHIAC_Z3	3	2		341.8	139.4	88.3	123.5	306.8	205.5	176.2	99.7
DLPUE2019	RA8	R. XOC.-AA C. CARM_Z3	3	2	253.4	116.8	122.6	219.0	162.9				
DLPUE2054	RA9	R. XOC.-aa C. CARM_Z3	3	2	838.0	311.8	477.2	322.8	297.5	488.6	578.3		
DLTLA2582	RA10	R. XOPANAC_Z3	3	2	1,293.6		1,157.4	1,865.5	2,358.2	2,897.8	1,914.0	1,966.3	536.1
DLTLA2547	RA12	AA R. ZAHUAPAN_Z3	3	1	324.7	131.8	226.5	172.3	174.2	168.8	255.8	312.7	295.1
DLTLA2546	RA11	R. TLAPALAC_Z3	3	2	348.5	194.3	312.0	380.3	409.1	661.0	411.1	488.9	325.9
DLTLA2545	RA13	R. ZAHUAPAN_Z4	4	2	142.6		185.4	149.4	140.2	297.4	83.8	153.2	144.9
DLPUE1993	RA14	aa CO. PANZACOLA_Z4	4	1	285.1	60.6	183.5	181.5	232.1	262.8	191.1	212.2	217.1
DLTLA2544		PANZACOLA_Z4	4	1		233.0	281.2	210.8	164.5	202.6	143.7	305.5	215.6
DLTLA2543	AF6	BCA. ATLAPLITZ_Z4	4	2			109.1	144.9	172.2	331.5	177.9	428.5	132.6
DLPUE1988	RA16	aa TEX. ZALDO_Z5	5	1	163.0	109.3	191.7	172.8	142.3	209.3	176.8	233.5	371.6
DLPUE2022M1		BCA. HONDA_Z5	5	2				408.9	519.0	525.9	428.0	930.5	693.1
DLPUE1989		LA AUTOPISTA_Z5	5	1		129.3	272.0	203.1	166.0	150.5	196.2	175.7	212.9
DLPUE1991W1		AA PTAR BCA D CONDE_Z5	5	1		94.3	238.9	164.0	165.4	160.6	218.4	162.8	242.2
DLPUE1992	RA17	aa BCA DEL CONDE_Z5	5	1	272.0	114.3	225.1	186.5	143.6				
DLPUE2071	RA18	AA A. RABANILLO_Z5	5	1	348.5	104.3	192.6	229.8	181.4	261.0	190.2	318.0	321.3
DLPUE2019M1		A. RABANILLO_Z6	6	2						232.9	290.3	354.3	265.6
DLPUE1975	RA19	R. SAN FRANCISCO_Z6	6	2	61.9	49.6	124.3	441.0	240.4	146.9			
DLPUE2067W1		R. SAN FRANCISCO_Z6	6	2		109.3	141.4	165.7	102.3	145.1	118.2	61.6	45.4
DLPUE1976		AA. R. SAN FCO_Z6	6	1		196.8	279.1	224.8	188.7	175.3	195.8	291.9	232.1
DLPUE1977		aa. R. SAN FCO_Z6	6	1		231.8	228.4	199.0	259.1	304.1	267.1	336.9	320.6
DLPUE2014M1		A. PRIETO_Z6	6	2						170.2	96.3	33.8	47.9
DLPUE2063M1		A. PRIETO_Z6	6	2						671.7	271.8	403.2	227.6
DLPUE2062M1		A. METLAPANAPA_Z6	6	2						219.6	241.2	431.6	278.6
DLPUE1975M1		A. ZAPATERO_Z6	6	2						616.2	224.8	461.9	288.1
DLPUE2050		LA CARMELITA_Z6	6	1		251.8	326.3	204.8	241.5	316.7	207.6	415.7	285.7
DLPUE2051	RA20	A. ATENCO_Z6	6	2	1,694.9	1,617.5	939.6	1,233.0	1,551.5	1,020.3	971.5	995.1	948.1
DLPUE2053		AA PTAR ATOYAC SUR_Z6	6	1		189.3	362.2	184.8	173.0	367.9	132.9	422.2	271.9
DLPUE2052	RA21	AA DERIV. ECHEVERRIA_Z6	6	1	182.0	156.8	196.8	181.0	190.4				
DLPUE2055		HID. ECHEVERRIA_Z6	6	1		181.8	238.1	194.8	179.3	423.4	202.3		
DLPUE2056		A. U. ANTORCH_Z6	6	1		216.8	240.9	192.3	165.4	340.9	169.3	299.2	202.6
DLPUE2057	PVA23	PRESA MAC-1_Z6	6	3	187.0		163.2	64.0	74.9	131.1	97.1	71.4	52.9
DLPUE2065		PRESA MAC-5_Z6	6	3			67.5	39.2	72.1	58.5	67.7	35.0	48.9
DLPUE2068	PVA25	PRESA MAC-6_Z6	6	3	75.2	15.6	60.9	82.7	75.8	55.0	45.7	49.0	42.5



Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)

CLAVE_RNM	CL_EST	DESCRIPTOR	ZONA	ORDEN	ESTUDIO	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DLPUE1992M1	RA1	SITIO TESTIGO_Z1	1	1	58.0					46.0	36.5	36.5	60.5
DLPUE2074M1		TEXMELUCAN_Z1	1	1				6.3	2.5	2.5	2.5	5.0	76.5
DLPUE2013	RA2	AA R. ATOTONILCO_Z1	1	1	64.0	20.0	25.0	76.5	73.0	17.5	33.0	34.5	30.0
DLPUE2012	RA3	R. ATOTONILCO_Z2	2	2	25.5	12.0	19.0	26.0	162.5	23.3	8.3	7.5	10.0
DLPUE2015		AA R. TLANALAPAN_Z2	2	1		44.0	74.0	41.3	71.7	280.0			
DLPUE2014	AF1	R. CHIQUITO_Z2	2	2	150.0	29.0	65.0	93.8	81.5	85.3			
DLPUE2017		PTE. S.MARTIN-TLAXC_Z2	2	1	26.0	73.4	115.0	94.3	158.6	80.0	120.4	57.4	
DLPUE2016		R. COTZALA_Z2	2	2	44.0	8.0	6.8	54.0	112.1	71.5	179.5	129.7	60.5
DLTLA2576	AF2	PTAR VILLALTA_Z2	2	1	108.0	395.0	124.1	128.8	142.2	502.3	108.0	98.0	
DLTLA2577	RA5	AA BCA CRUZTITLA_Z2	2	1	99.0		278.3	155.7	61.0	123.5	204.3	70.7	54.3
DLTLA2579	AF3	A. CAPUENTE_Z2	2	2			14.5	16.0	19.0	19.5	17.0	13.0	10.0
DLTLA2578	AF4	A. ZJA. REAL_Z2	2	2		32.0	2.5	23.0	32.3	26.5	26.0	41.5	10.0
DLTLA2581	RA7	AA R. XOCHIAC_Z2	2	1	70.0	34.0	117.9	197.5	102.8	160.7	868.8	158.2	133.8
DLTLA2580	AF5	R. SN IGNACIO_Z2	2	2		2.5	2.5	18.5	25.5	10.0	6.3	15.5	10.0
DLPUE2018		R. XOCHIAC_Z3	3	2		200.0	323.3	38.0	81.0	63.0	104.6	121.1	111.8
DLPUE2019	RA8	R. XOC.-AA C. CARM_Z3	3	2	172.0	105.0	38.5	64.9	93.6				
DLPUE2054	RA9	R. XOC.-aa C. CARM_Z3	3	2	195.0	96.7	118.3	77.5	107.9	149.5	217.2		
DLTLA2582	RA10	R. XOPANAC_Z3	3	2	335.0	108.0	505.0	405.0	456.7	366.4	134.6	118.7	124.6
DLTLA2547	RA12	AA R. ZAHUAPAN_Z3	3	1	100.0	60.0	64.5	134.0	105.0	221.9	583.7	136.4	150.0
DLTLA2546	RA11	R. TLAPALAC_Z3	3	2	660.0	87.0	53.3	96.4	96.7	115.4	85.7	98.1	59.0
DLTLA2545	RA13	R. ZAHUAPAN_Z4	4	2	45.7	54.0	72.8	91.0	95.1	92.5	133.7	55.8	62.5
DLPUE1993	RA14	aa CO. PANZACOLA_Z4	4	1	156.0	51.0	141.3	92.0	209.0	110.6	230.7	123.0	80.0
DLTLA2544		PANZACOLA_Z4	4	1		40.0	482.5	88.0	117.1	223.9	276.6	154.6	53.3
DLTLA2543	AF6	BCA. ATLAPLITZ_Z4	4	2		18.0	6.8	27.0	18.2	49.3	145.9	60.5	42.0
DLPUE1988	RA16	aa TEX. ZALDO_Z5	5	1	96.0	78.8	163.1	72.0	250.0	111.5	212.6	138.5	####
DLPUE2022M1		BCA. HONDA_Z5	5	2				155.0	119.5	232.0	98.2	237.1	160.6
DLPUE1989		LA AUTOPISTA_Z5	5	1		57.5	371.5	1,311.7	259.3	93.6	412.5	129.8	399.3
DLPUE1991W1		AA PTAR BCA D CONDE_Z5	5	1		68.0	216.0	1,120.0	222.5	86.5	339.1	131.9	104.0
DLPUE1992	RA17	aa BCA DEL CONDE_Z5	5	1	376.0	105.0	221.5	940.0	176.7				
DLPUE2071	RA18	AA A. RABANILLO_Z5	5	1	312.0	97.5	349.3	1,827.3	237.5	117.7	360.3	188.3	108.0
DLPUE2019M1		A. RABANILLO_Z6	6	2						518.1	148.2	77.1	75.3
DLPUE1975	RA19	R. SAN FRANCISCO_Z6	6	2	24.0	16.0	2.5	121.3	62.6	34.0			
DLPUE2067W1		R. SAN FRANCISCO_Z6	6	2		21.0	31.0	50.5	16.0	25.9	23.0	7.5	10.0
DLPUE1976		AA. R. SAN FCO_Z6	6	1		160.0	522.0	221.7	103.1	113.3	276.7	127.5	271.2
DLPUE1977		aa. R. SAN FCO_Z6	6	1		124.0	542.5	104.1	151.7	146.7	293.4	121.9	194.3
DLPUE2014M1		A. PRIETO_Z6	6	2						187.8	53.0	16.0	182.3



DLPUE2063M1		A. PRIETO_Z6	6	2						95.5	50.3	61.1	50.8
DLPUE2062M1		A. METLAPANAPA_Z6	6	2						277.7	172.7	135.2	114.3
DLPUE1975M1		A. ZAPATERO_Z6	6	2						181.7	67.4	93.8	96.6
DLPUE2050		LA CARMELITA_Z6	6	1		84.0	196.0	264.0	184.3	125.0	211.6	139.2	138.3
DLPUE2051	RA20	A. ATENCO_Z6	6	2	424.0	900.0	116.3	141.5	153.3	211.8	159.3	245.7	131.3
DLPUE2053		AA PTAR ATOYAC SUR_Z6	6	1		125.0	####	306.7	169.0	173.8	247.2	146.0	115.3
DLPUE2052	RA21	AA DERIV. ECHEVERRIA_Z6	6	1	218.0	146.7	303.8	338.0	157.4				
DLPUE2055		HID. ECHEVERRIA_Z6	6	1		144.0	463.3	252.0	162.7	177.5	175.0		
DLPUE2056		A. U. ANTORCH_Z6	6	1		44.0	212.5	183.6	162.0	112.1	250.0	121.8	104.7
DLPUE2057	PVA23	PRESA MAC-1_Z6	6	3	39.5		211.3	69.6	28.5	55.7	69.3	22.0	10.0
DLPUE2065		PRESA MAC-5_Z6	6	3			2.5	8.8	12.5	29.7	20.5	12.0	11.0
DLPUE2068	PVA25	PRESA MAC-6_Z6	6	3	13.0	2.5	10.3	6.3	8.3	23.2	7.3	11.0	12.0

Coliformes Fecales (NMP/100mL)

CLAVE_RNM	CL_EST	DESCRIPTOR	ZONA	ORDEN	ESTUDIO	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DLPUE1992M1	RA1	SITIO TESTIGO_Z1	1	1	2,400					24,000	24,000	14,300	24,098
DLPUE2074M1		TEXMELUCAN_Z1	1	1				1,065	110	230	930	46	1,743
DLPUE2013	RA2	AA R. ATOTONILCO_Z1	1	1	2,000	120	135	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,196
DLPUE2012	RA3	R. ATOTONILCO_Z2	2	2	2,400	3	245	14,300	24,000	17,500	24,000	24,000	24,000
DLPUE2015		AA R. TLANALAPAN_Z2	2	1		3	2,400	24,000	24,000	24,000			
DLPUE2014	AF1	R. CHIQUITO_Z2	2	2		3	840	14,300	24,000	24,000	24,000		
DLPUE2017		PTE. S.MARTIN-TLAXC_Z2	2	1		2,400	335	24,000	24,000	17,500	24,000	24,000	24,098
DLPUE2016		R. COTZALA_Z2	2	2	9,000,000	2,400	90	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	241,960
DLTLA2576	AF2	PTAR VILLALTA_Z2	2	1		21	22,700	24,000	24,000	17,500	24,000	24,000	241,960
DLTLA2577	RAS	AA BCA CRUZTITLA_Z2	2	1	2,400,000	2,400	2,400	24,000	24,000	24,000	24,000	14,300	24,196
DLTLA2579	AF3	A. CAPUENTE_Z2	2	2		2,400	2,400	24,000	24,000	13,200	24,000	12,465	24,000
DLTLA2578	AF4	A. ZJA. REAL_Z2	2	2		2,400		24,000	24,000	11,000	24,000	24,000	24,196
DLTLA2581	RA7	AA R. XOCHIAC_Z2	2	1	2,400,000		1,100	24,000	24,000	4,600	24,000	24,000	241,960
DLTLA2580	AF5	R. SN IGNACIO_Z2	2	2		2,400	3,350	24,000	24,000	2,400	24,000	24,000	24,196
DLPUE2018		R. XOCHIAC_Z3	3	2		64	1,235	24,000	24,000	7,800	24,000	24,000	24,196
DLPUE2019	RAB	R. XOC.-AA C. CARM_Z3	3	2	1,500,000	120	75	24,000	24,000				
DLPUE2054	RA9	R. XOC.-aa C. CARM_Z3	3	2	280,000	2,400	1,800	24,000	24,000	17,500	24,000		
DLTLA2582	RA10	R. XOPANAC_Z3	3	2	24,000,000	2,400	46,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	2,419,600
DLTLA2547	RA12	AA R. ZAHUAPAN_Z3	3	1	2,300,000	1,100	216,200	24,000	24,000	11,000	24,000	24,000	24,196
DLTLA2546	RA11	R. TLAPALAC_Z3	3	2	240,000	1,305	1,100	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	132,980
DLTLA2545	RA13	R. ZAHUAPAN_Z4	4	2	240,000	2,400	4,600	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	132,980
DLPUE1993	RA14	aa CO. PANZACOLA_Z4	4	1	2,400,000	3	150	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	241,960
DLTLA2544		PANZACOLA_Z4	4	1		1,100	230,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,098



DLTLA2543	AF6	BCA. ATLAPLITZ_Z4	4	2		2,400	1,750	24,000	24,000	17,500	24,000	24,000	24,196
DLPUE1988	RA16	aa TEX. ZALDO_Z5	5	1	2,400,000	21	130	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	132,980
DLPUE2022M1		BCA. HONDA_Z5	5	2				24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000
DLPUE1989		LA AUTOPISTA_Z5	5	1		210	1,415	24,000	24,000	17,500	24,000	24,000	132,980
DLPUE1991W1		AA PTAR BCA D CONDE_Z5	5	1		2,400	2,250	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,196
DLPUE1992	RA17	aa BCA DEL CONDE_Z5	5	1	4,000,000	21	840	24,000	24,000				
DLPUE2071	RA18	AA A. RABANILLO_Z5	5	1	28,000,000	2,400	1,750	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	241,960
DLPUE2019M1		A. RABANILLO_Z6	6	2						17,500	24,000	24,000	24,098
DLPUE1975	RA19	R. SAN FRANCISCO_Z6	6	2	460,000	3	89	24,000	24,000	24,000			
DLPUE2067W1		R. SAN FRANCISCO_Z6	6	2		2,400	1,150	24,000	24,000	17,500	17,500	24,000	24,000
DLPUE1976		AA. R. SAN FCO_Z6	6	1		2,400	1,550	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000
DLPUE1977		aa. R. SAN FCO_Z6	6	1		2,400	1,150	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000
DLPUE2014M1		A. PRIETO_Z6	6	2						2,100	24,000	590	34,550
DLPUE2063M1		A. PRIETO_Z6	6	2						280	24,000	24,000	24,098
DLPUE2062M1		A. METLAPANAPA_Z6	6	2						17,500	24,000	24,000	24,098
DLPUE1975M1		A. ZAPATERO_Z6	6	2						24,000	24,000	24,000	24,098
DLPUE2050		LA CARMELITA_Z6	6	1		2,400	2,400	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	132,980
DLPUE2051	RA20	A. ATENCO_Z6	6	2	90,000,000	210	2,400	24,000	24,000	24,000	24,000	12,750	24,000
DLPUE2053		AA PTAR ATOYAC SUR_Z6	6	1		2,400	1,430	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	132,980
DLPUE2052	RA21	AA DERIV. ECHEVERRIA_Z6	6	1	2,300,000	7	1,210	17,500	24,000				
DLPUE2055		HID. ECHEVERRIA_Z6	6	1		2,400	210	24,000	24,000	24,000	24,000		
DLPUE2056		A. U. ANTORCH_Z6	6	1		2,400	1,105	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,098
DLPUE2057	PVA23	PRESA MAC-1_Z6	6	3	15,000		3	12,465	24,000	12,140	11,000	11,000	24,000
DLPUE2065		PRESA MAC-5_Z6	6	3			3	24,000	17,500	12,750	17,500	24,000	1,500
DLPUE2068	PVA25	PRESA MAC-6_Z6	6	3	15,000		37	24,000	2,400	320	5,965	930	4,600

Toxicidad aguda (UT)

CLAVE_RNM	CL_EST	DESCRIPTOR	ZONA	ORDEN	ESTUDIO	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DLPUE1992M1	RA1	SITIO TESTIGO_Z1	1	1	4.3					<1	<1	<1	<1
DLPUE2074M1		TEXMELUCAN_Z1	1	1				<1	<1	<1	<1	<1	<1
DLPUE2013	RA2	AA R. ATOTONILCO_Z1	1	1	47.2	<1	<1	<1	<1	1.4	<1	<1	<1
DLPUE2012	RA3	R. ATOTONILCO_Z2	2	2	4.3	<1	<1	3.0	<1	<1	<1	<1	<1
DLPUE2015		AA R. TLANALAPAN_Z2	2	1		<1	<1	5.3	8.9	18.2			
DLPUE2014	AF1	R. CHIQUITO_Z2	2	2		<1	7.2	5.2	3.6	5.5	35.7		
DLPUE2017		PTE. S. MARTIN-TLAXC_Z2	2	1		<1	10.5	8.5	3.7	3.7	3.1	2.3	<1
DLPUE2016		R. COTZALA_Z2	2	2		<1	<1	5.1	3.5	10.7	9.8	9.3	3.8
DLTLA2576	AF2	PTAR VILLALTA_Z2	2	1		<1	<1	13.6	11.8	4.9	4.3	2.9	3.0



DLTLA2577	RAS	AA BCA CRUZTITLA_Z2	2	1	5.4	<1	<1	10.3	4.0	6.6	2.6	6.8	5.2
DLTLA2579	AF3	A. CAPUENTE_Z2	2	2		<1	<1	<1	2.3	<1	1.5	<1	<1
DLTLA2578	AF4	A. ZJA. REAL_Z2	2	2		<1	<1	1.6	3.0	6.0	4.0	11.3	24.9
DLTLA2581	RA7	AA R. XOCHIAC_Z2	2	1	23.1	<1	<1	2.9	2.2	3.5	4.1	17.8	11.9
DLTLA2580	AF5	R. SN IGNACIO_Z2	2	2		<1	<1	2.1	3.6	2.0	1.6	<1	1.6
DLPUE2018		R. XOCHIAC_Z3	3	2		<1	<1	16.7	3.1	4.9	4.4	1.9	<1
DLPUE2019	RA8	R. XOC.-AA C. CARM_Z3	3	2	2.9	<1	1.5	9.8	7.4				
DLPUE2054	RA9	R. XOC.-aa C. CARM_Z3	3	2	13.3	<1	20.4	13.2	8.1	7.0	10.8		
DLTLA2582	RA10	R. XOPANAC_Z3	3	2	36.8	<1	23.2	21.9	34.6	53.8	27.6	49.9	50.0
DLTLA2547	RA12	AA R. ZAHUJAPAN_Z3	3	1	21.3	<1	3.0	5.5	4.7	7.8	3.1	46.4	11.6
DLTLA2546	RA11	R. TLAPALAC_Z3	3	2	23.2	<1	5.3	18.7	5.0	10.2	10.0	65.4	39.1
DLTLA2545	RA13	R. ZAHUJAPAN_Z4	4	2		<1	<1	6.0	3.8	4.4	3.1	4.3	<1
DLPUE1993	RA14	aa CO. PANZACOLA_Z4	4	1	11.6	<1	4.7	9.3	6.2	6.1	3.1	15.2	53.4
DLTLA2544		PANZACOLA_Z4	4	1		1.6	6.3	20.4	3.9	8.4	18.7	7.2	1.2
DLTLA2543	AF6	BCA. ATLAPLITZ_Z4	4	2		<1	1.1	4.6	6.1	9.0	5.6	12.5	1.9
DLPUE1988	RA16	aa TEX. ZALDO_Z5	5	1	2.4	2.7	4.6	9.0	5.1	4.9	3.6	9.7	3.2
DLPUE2022M1		BCA. HONDA_Z5	5	2				7.5	6.7	7.0	7.7	15.2	39.9
DLPUE1989		LA AUTOPISTA_Z5	5	1		<1	<1	8.4	3.9	6.1	4.0	9.7	1.8
DLPUE1991W1		AA PTAR BCA D CONDE_Z5	5	1		<1	1.1	31.7	3.5	7.0	4.1	7.8	1.7
DLPUE1992	RA17	aa BCA DEL CONDE_Z5	5	1	6.9	<1	1.6	3.4	3.2				
DLPUE2071	RA18	AA A. RABANILLO_Z5	5	1	6.1	<1	10.6	7.8	3.2	7.9	3.8	9.1	1.6
DLPUE2019M1		A. RABANILLO_Z6	6	2						5.6	4.1	5.2	6.4
DLPUE1975	RA19	R. SAN FRANCISCO_Z6	6	2		<1	3.7	7.8	10.5	<1			
DLPUE2067W1		R. SAN FRANCISCO_Z6	6	2		<1	2.6	11.9	15.0	2.9	1.9	2.0	<1
DLPUE1976		AA. R. SAN FCO_Z6	6	1		<1	1.1	6.4	5.8	9.0	3.3	16.4	55.1
DLPUE1977		aa. R. SAN FCO_Z6	6	1		<1	1.2	5.3	4.4	8.0	4.1	6.2	53.4
DLPUE2014M1		A. PRIETO_Z6	6	2						1.2	1.4	<1	<1
DLPUE2063M1		A. PRIETO_Z6	6	2						2.8	6.2	11.5	8.5
DLPUE2062M1		A. METLAPANAPA_Z6	6	2						8.5	7.3	4.3	<1
DLPUE1975M1		A. ZAPATERO_Z6	6	2						6.3	5.0	40.0	16.0
DLPUE2050		LA CARMELITA_Z6	6	1		<1	2.6	19.0	4.0	5.5	4.4	27.8	21.3
DLPUE2051	RA20	A. ATENCO_Z6	6	2	27.9	<1	11.2	13.5	15.3	13.4	9.8	38.0	63.7
DLPUE2053		AA PTAR ATOYAC SUR_Z6	6	1		<1	1.6	8.8	3.0	5.3	4.4	10.9	9.8
DLPUE2052	RA21	AA DERIV. ECHEVERRIA_Z6	6	1	3.5	<1	1.3	4.7	3.7				
DLPUE2055		HID. ECHEVERRIA_Z6	6	1		<1	1.5	7.4	4.2	5.2	4.5		
DLPUE2056		A. U. ANTORCH_Z6	6	1		<1	1.4	9.8	3.2	6.4	4.2	13.0	15.9
DLPUE2057	PVA23	PRESA MAC-1_Z6	6	3		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
DLPUE2065		PRESA MAC-5_Z6	6	3		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
DLPUE2068	PVA25	PRESA MAC-6_Z6	6	3	11.8	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1



Figura 63a. Demanda Bioquímica de Oxígeno en río Atoyac y afluentes

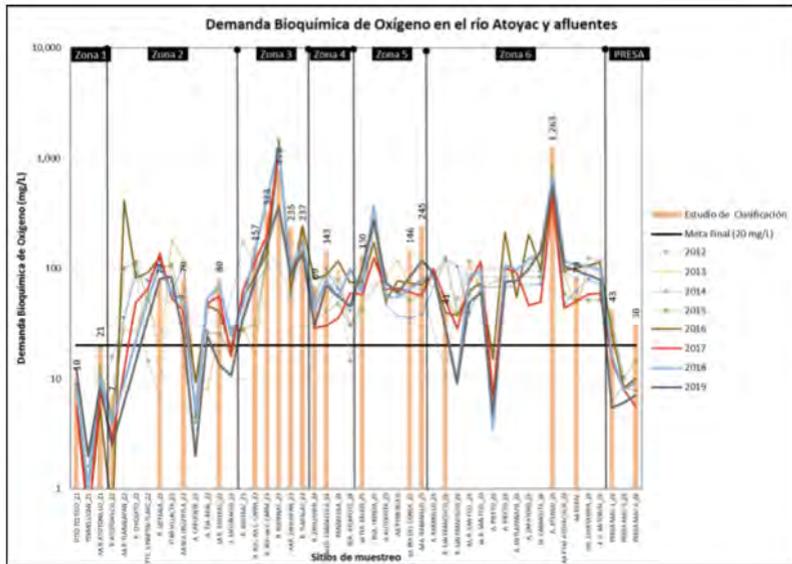


Figura 63b. DBO en río Atoyac

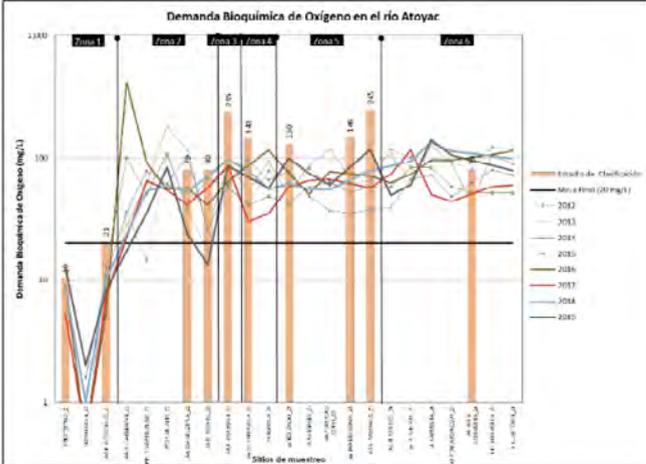


Figura 63c. DBO en afluentes

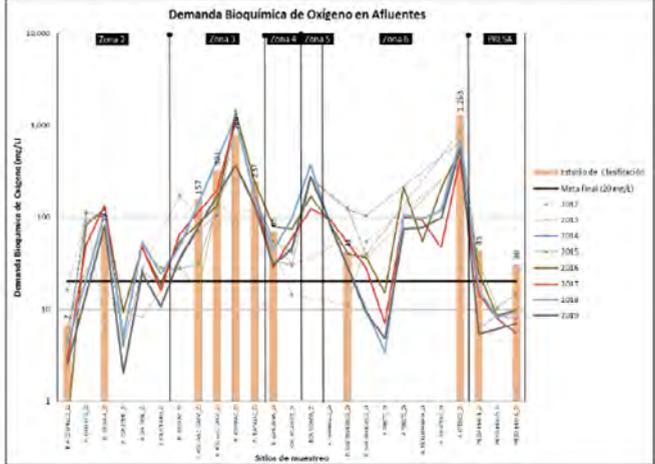


Figura 64a. Demanda Química de Oxígeno en río Atoyac y afluentes

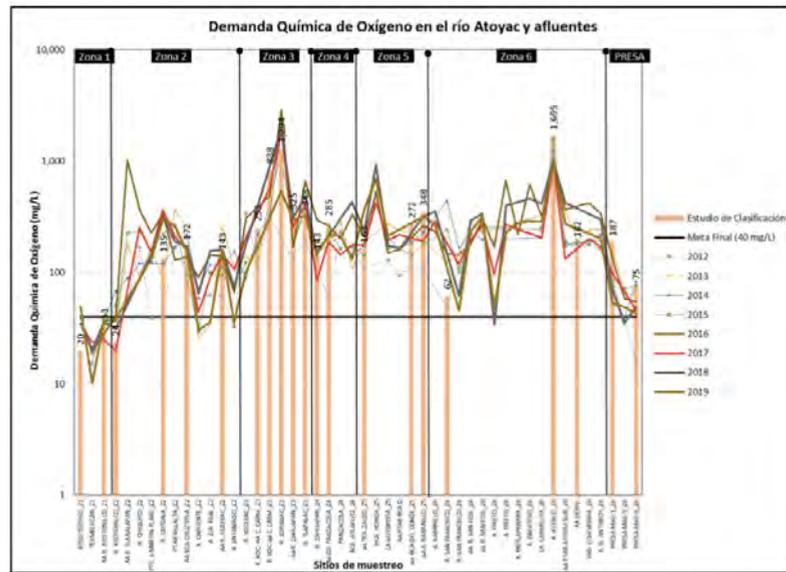


Figura 64b. DQO en río Atoyac

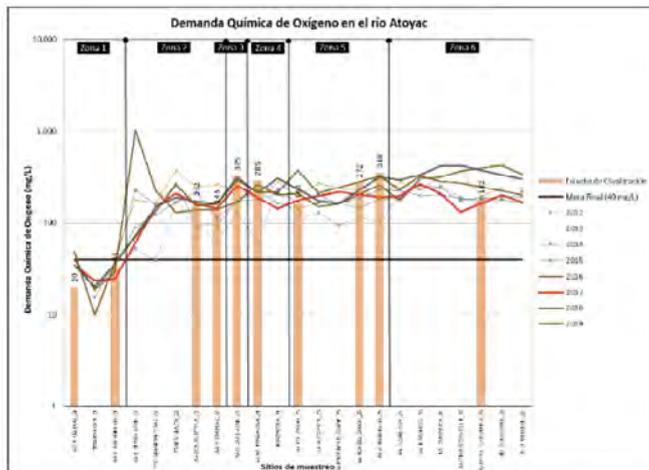


Figura 64c. DQO en afluentes

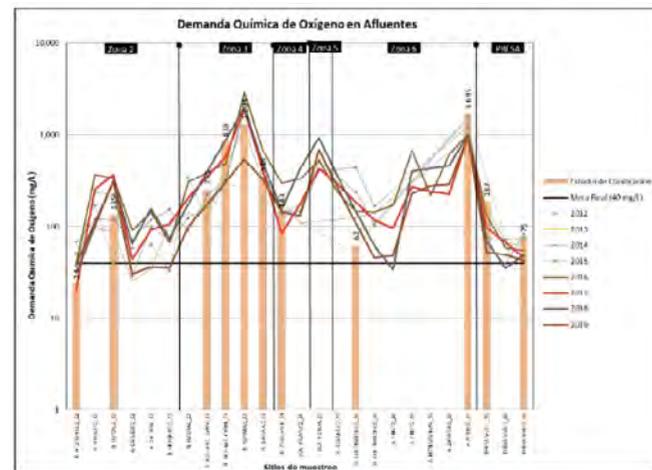


Figura 65a. Sólidos Suspendedos Totales en río Atoyac y afluentes

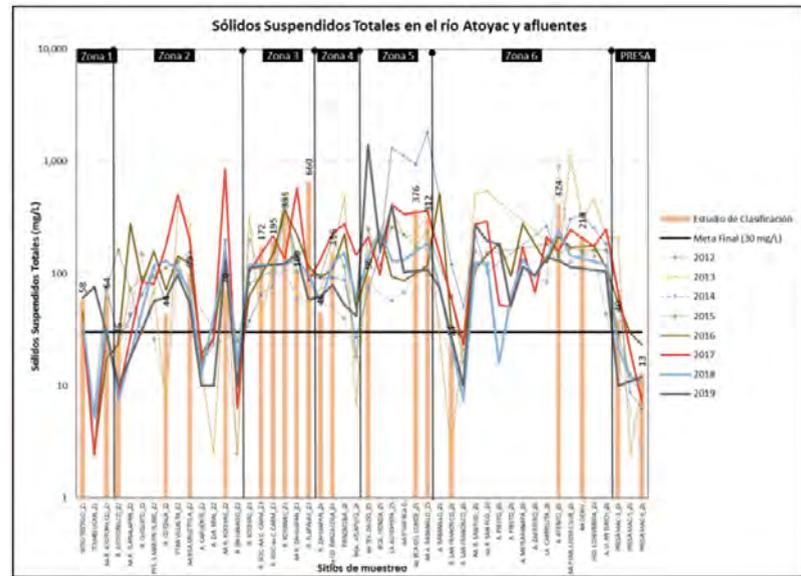


Figura 65b. SST en río Atoyac

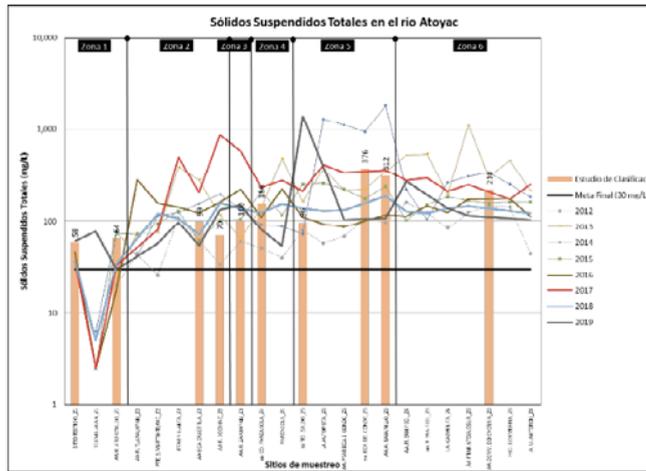


Figura 65c. SST en afluentes

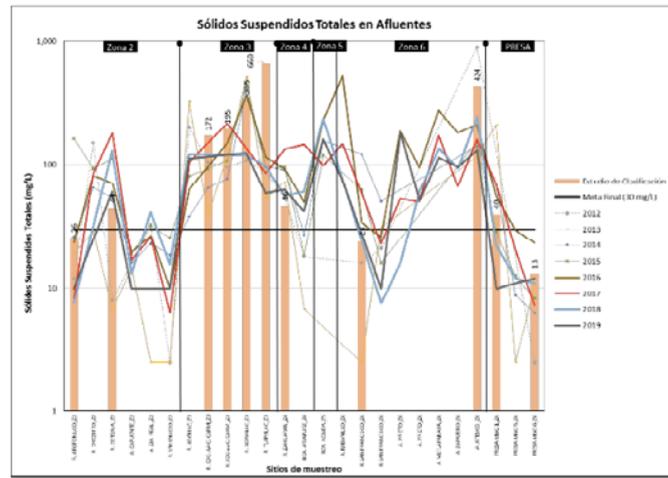


Figura 66a. Coliformes fecales en río Atoyac y afluentes

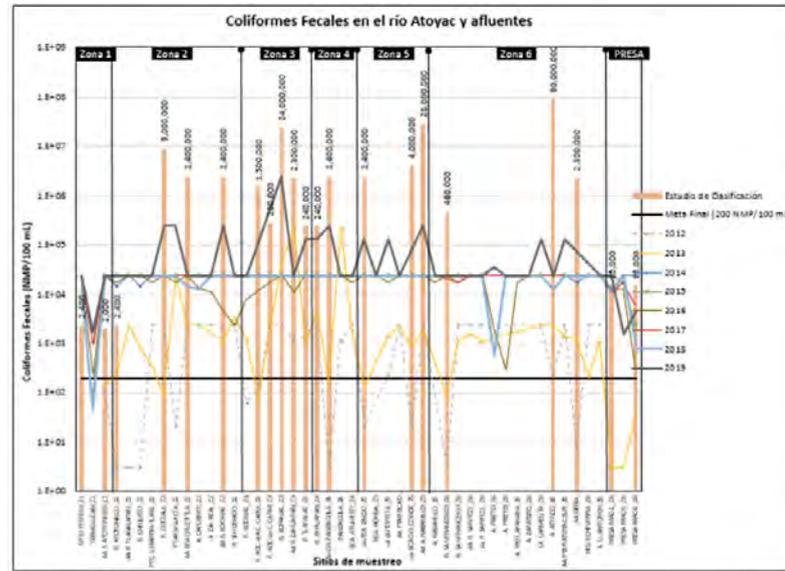


Figura 66b. Coliformes fecales en río Atoyac

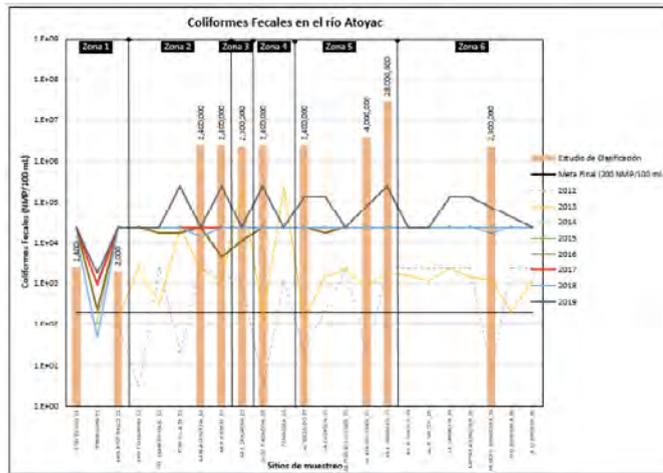


Figura 66c. Coliformes fecales en afluentes

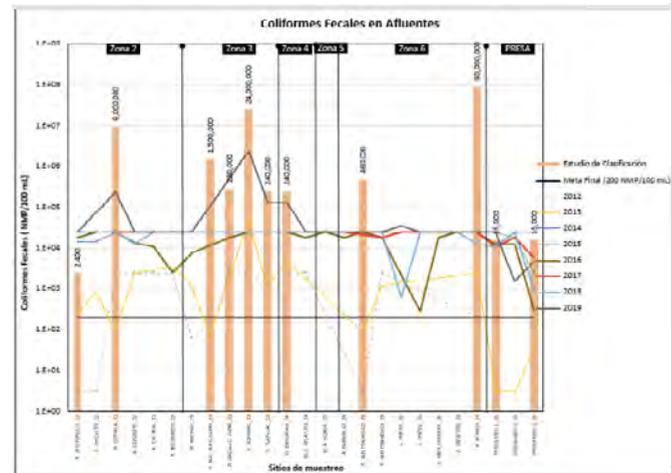


Figura 67a. Toxicidad en río Atoyac y afluentes

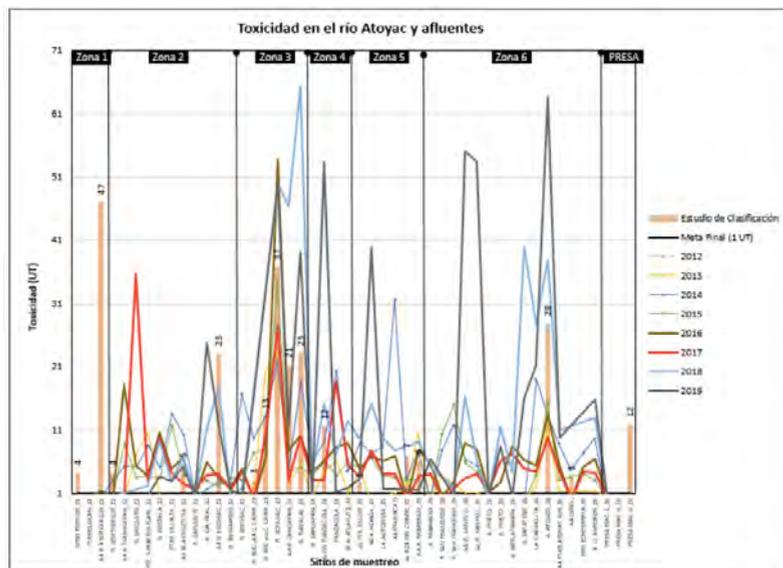


Figura 67b. Toxicidad en río Atoyac

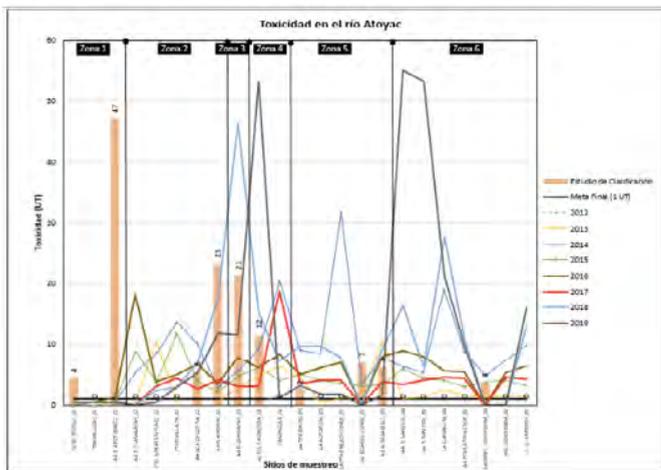


Figura 67c. Toxicidad en afluentes

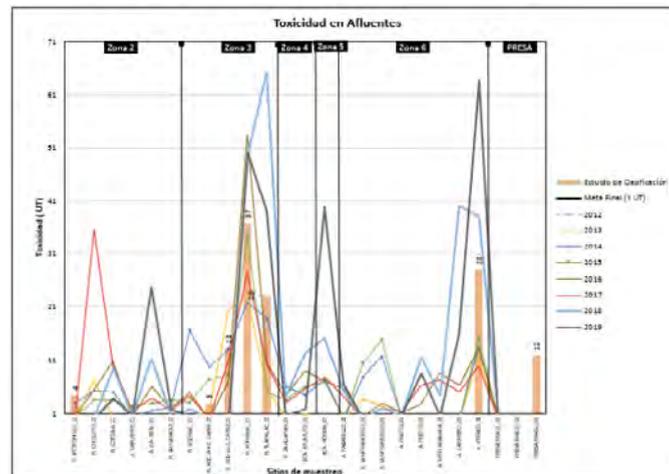


Figura 68a. Nitrógeno total en río Atoyac y afluentes

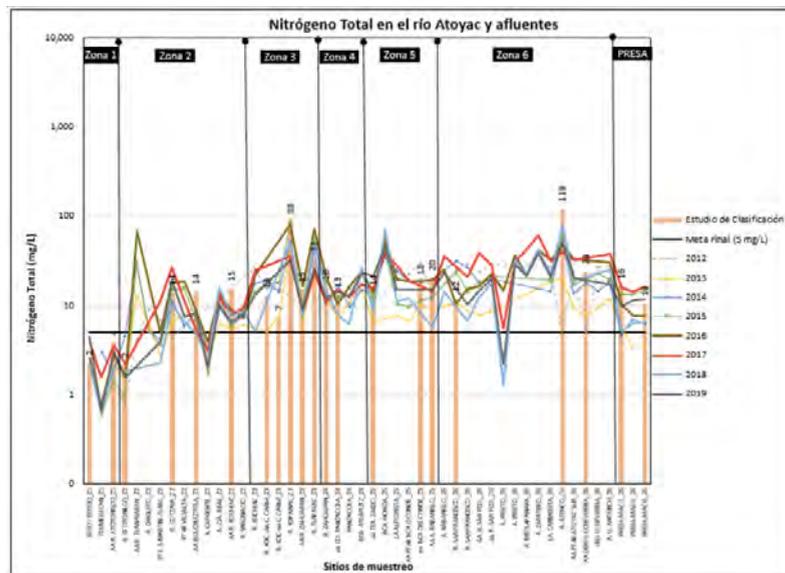


Figura 68b. Nitrógeno total en río Atoyac

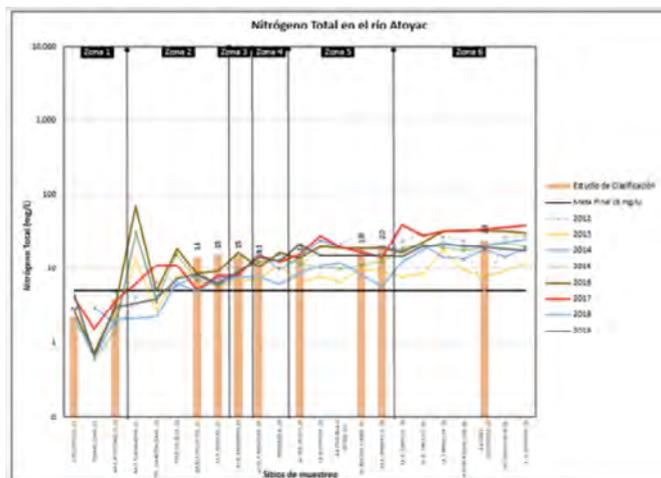


Figura 68b. Nitrógeno total en afluentes

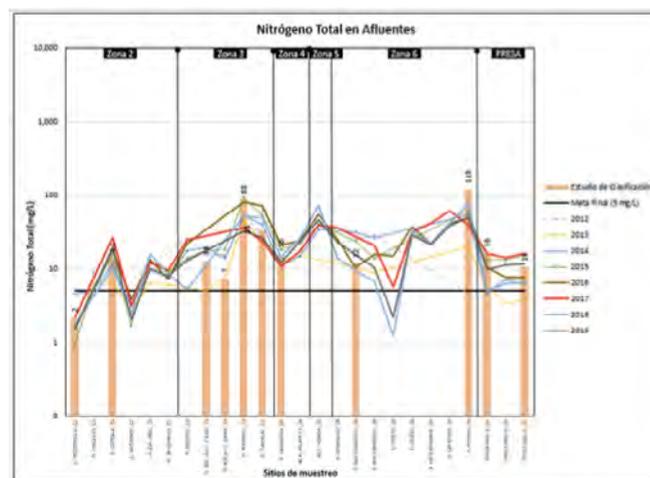


Figura 69a. Nitrógeno amoniacal en río Atoyac y afluentes

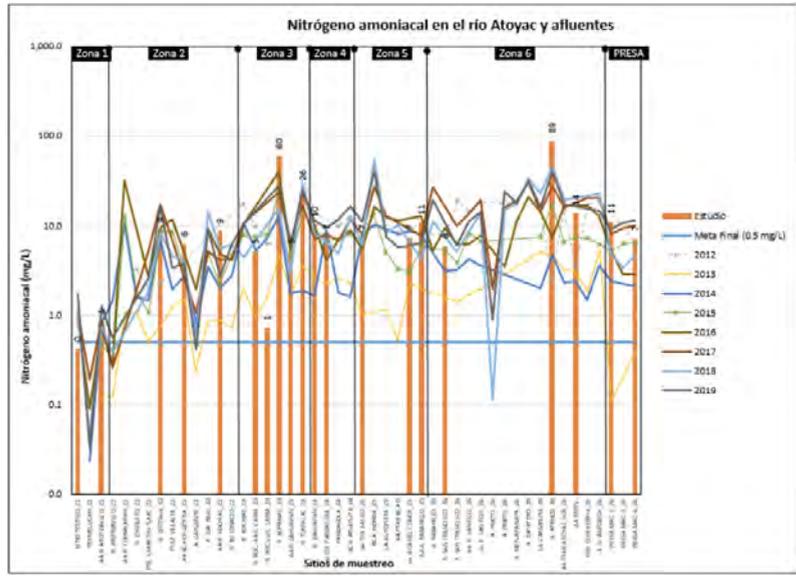


Figura 69b. Nitrógeno amoniacal en río Atoyac

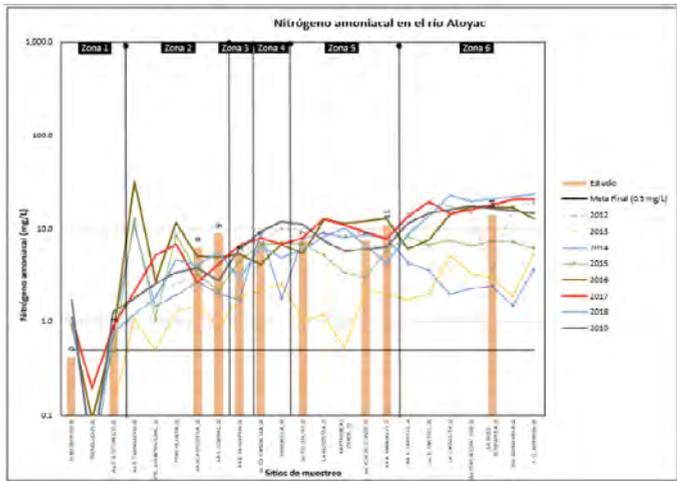


Figura 69c. Nitrógeno amoniacal en afluentes

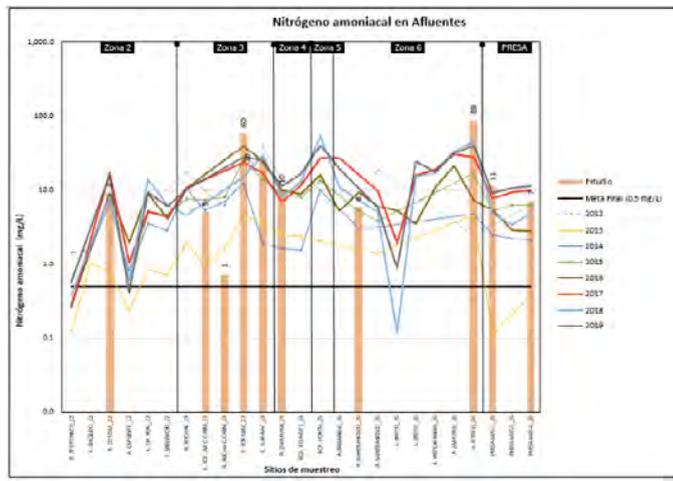


Figura 70a. Fósforo total en río Atoyac y afluentes

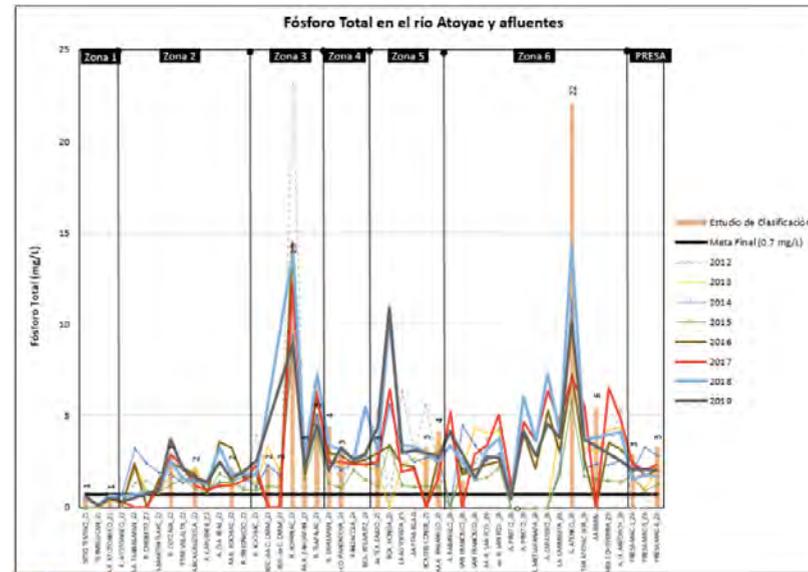


Figura 70b. Fósforo total en río Atoyac

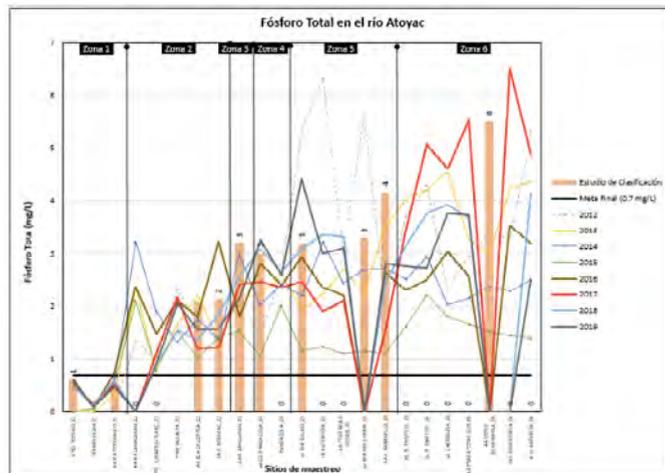


Figura 70c. Fósforo total en afluentes (CONAGUA, 2020).

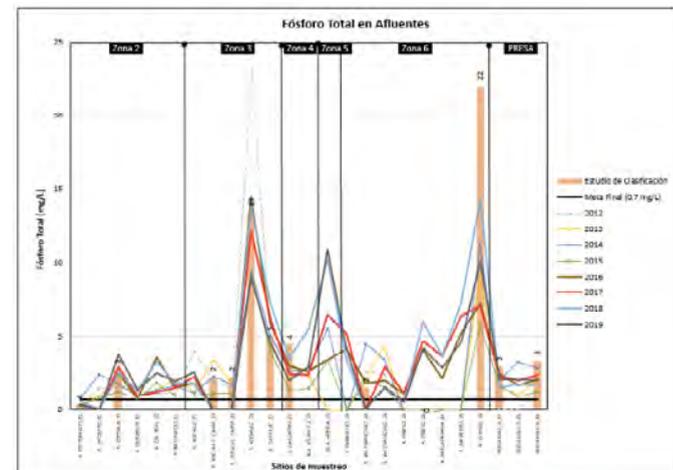


Figura 72a. Fenoles en río Atoyac y afluentes

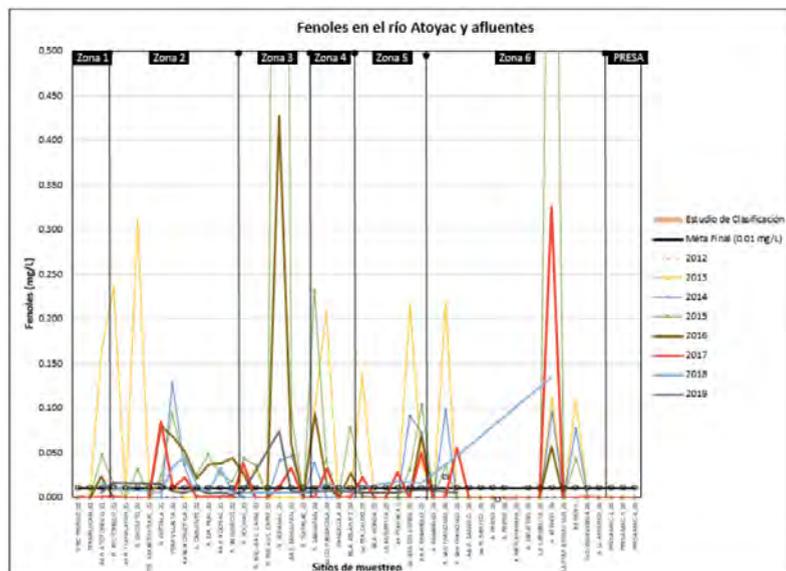


Figura 72b. Fenoles en río Atoyac

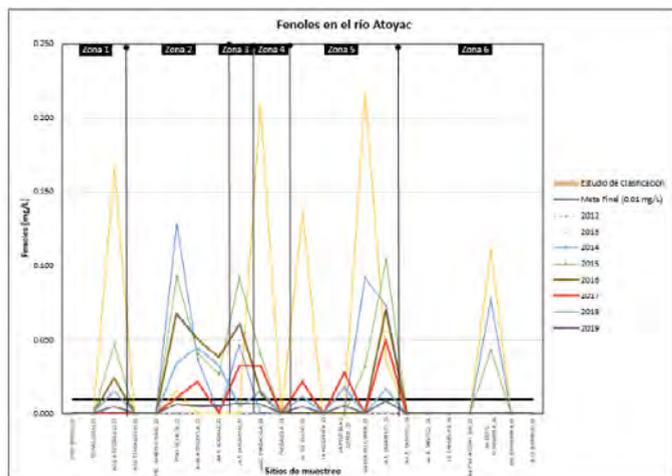


Figura 72c. Fenoles en afluentes

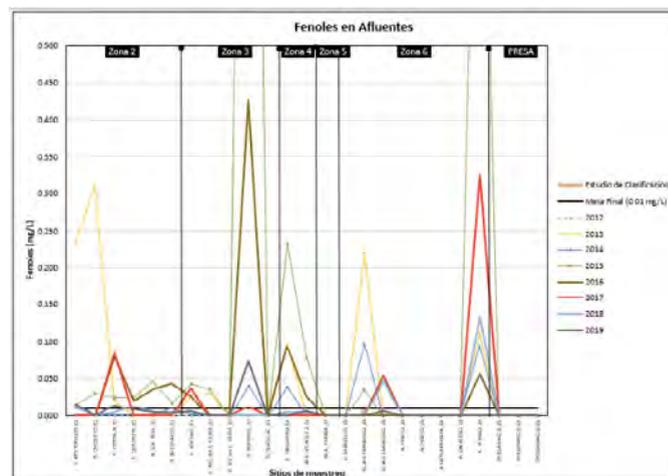


Figura 73a. Bis2 (etil hexil) ftalato en río Atoyac y afluentes

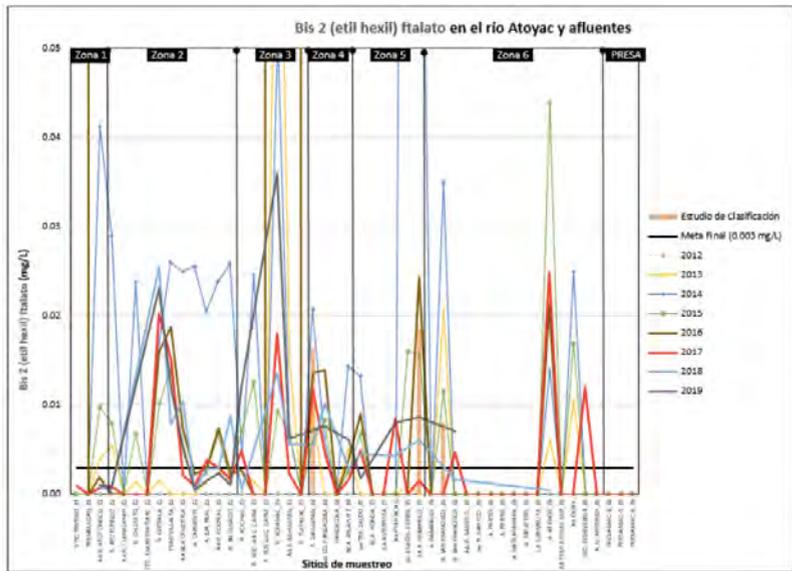


Figura 73b. Bis2 (etil hexil) ftalato en río Atoyac

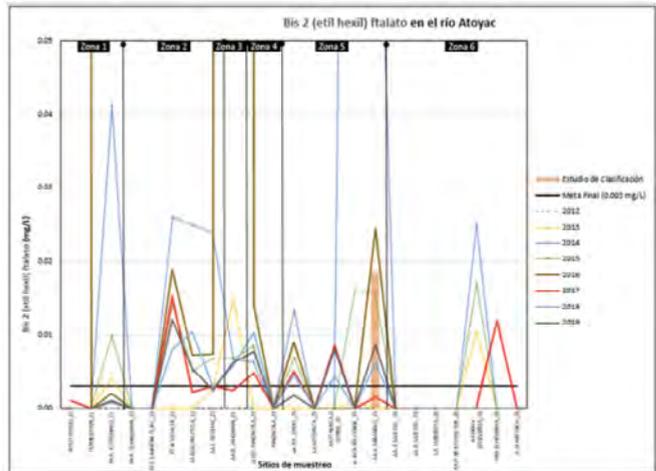


Figura 73c. Bis2 (etil hexil) ftalato en afluentes

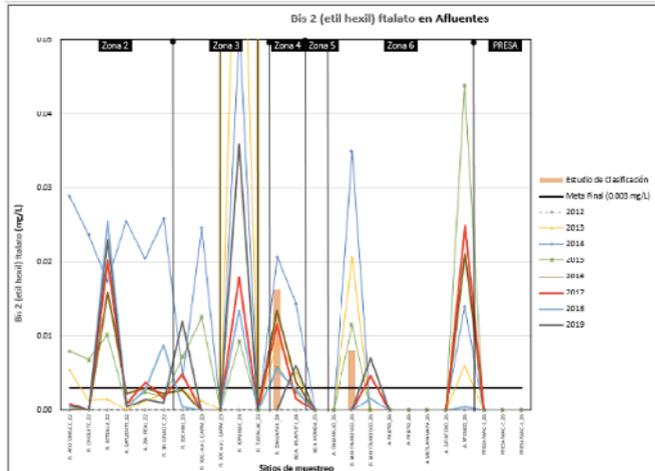


Figura 74a. Color verdadero en río Atoyac y afluentes

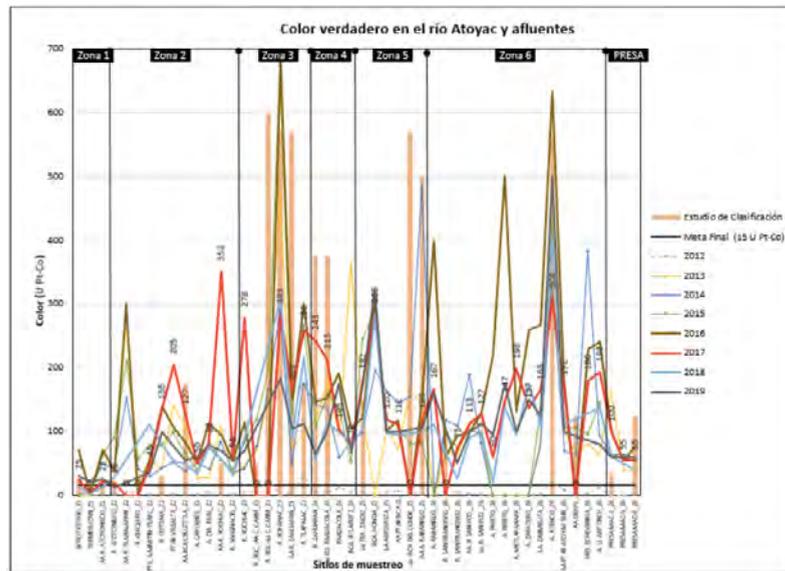


Figura 74b. Color verdadero en río Atoyac

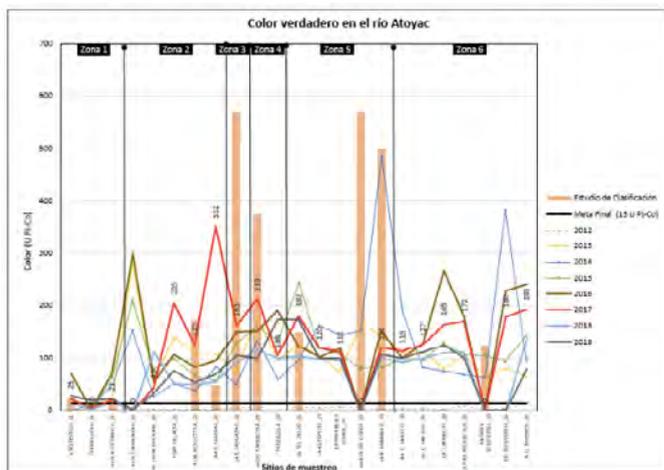
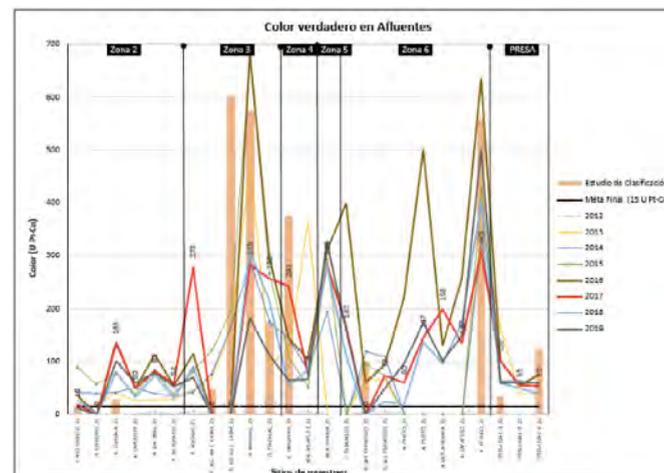


Figura 74c. Color verdadero en afluentes



Indicadores de Calidad. Con base en los Indicadores de Calidad del Agua de la tabla 77 y sus escalas de clasificación (fig. 75), así como los promedios de las concentraciones anuales para otros parámetros regulados en la Declaratoria, y las Metas del Estudio de Clasificación, se determinó la contaminación en cada zona del río Atoyac, en sus afluentes y en la Presa Valsequillo.

Tabla 78. Contaminación en el río Atoyac, afluentes y presa

Corriente principal	Zona	DBO	DQO	SST	CF	TOX	AS	CD	CR	HG	PB	NT	PT	NH3	COLOR	CN	SAAM	SO4
Río Atoyac	1	NC	IC-	C	FC	NT	NC	IC	IC	NC	NC	NC	C	C	C	IC	C	NC
Río Atoyac	2	FC	FC	FC	FC	TA	NC	IC	IC	NC	IC	C	C	C	C	IC	C	IC
Río Atoyac	3	C	FC	FC	FC	TA	NC	IC	IC	IC	NC	C	C	C	C	NC	C	NC
Río Atoyac	4	C	FC	FC	FC	TA	NC	IC	IC	NC	IC	C	C	C	C	NC	C	NC
Río Atoyac	5	C	FC	FC	FC	TA	NC	C	IC	IC	IC	C	C	C	C	NC	C	IC
Río Atoyac	6	FC	FC	FC	FC	TA	NC	C	IC	NC	C	C	C	C	C	IC	C	NC
Afluentes																		
Arroyo Capuente	2	NC	C	NC	FC	T	NC	NC	NC	NC	NC	NC	C	C	C	NC	C	NC
Arroyo Zanja Real	2	C	C	C	FC	TA	NC	NC	C	NC	NC	C	C	C	C	NC	C	NC
Río Atotonilco	2	NC	C	C	FC	T	NC	IC	NC	NC	NC	NC	C	NC	C	NC	C	NC
Río Chiquito	2	C	FC	C	FC	TA	NC	IC	NC	NC	NC	NC	C	C	C	NC	C	NC
Río Cotzala	2	FC	FC	C	FC	TA	NC	IC	NC	NC	NC	C	C	C	C	NC	C	NC
Río San Ignacio	2	C	C	NC	FC	T	NC	NC	NC	NC	NC	NC	C	C	C	NC	C	NC
Río Tlapalac	3	FC	FC	C	FC	TA	NC	IC	C	NC	IC	C	C	C	C	NC	C	SD
Río Xochiac	3	FC	FC	C	FC	TA	NC	IC	IC	IC	NC	C	C	C	C	NC	C	NC
Río Xopanac	3	FC	FC	FC	FC	TA	NC	NC	NC	NC	NC	C	C	C	C	NC	C	IC
Barranca Atlapltiz	4	C	FC	C	FC	TA	NC	NC	IC	NC	NC	C	C	C	C	NC	C	IC
Río Zahuapan	4	C	FC	C	FC	TA	NC	NC	C	NC	NC	C	C	C	C	NC	C	NC
Barranca Honda	5	FC	FC	C	FC	TA	NC	NC	C	IC	NC	C	C	C	C	NC	C	SD
Río Rabanillo	6	C	FC	FC	FC	TA	NC	IC	C	NC	NC	C	C	C	C	NC	C	SD
Río San Francisco	6	FC	FC	C	FC	TA	NC	IC	NC	NC	IC	C	C	C	C	NC	C	IC
Arroyo Prieto	6	FC	FC	C	FC	TA	NC	NC	C	NC	NC	C	C	C	C	NC	C	SD
Arroyo Metlapanapa	6	C	FC	C	FC	TA	NC	NC	NC	IC	NC	C	C	C	C	NC	C	SD
Arroyo Zapatero	6	FC	FC	C	FC	TA	NC	NC	NC	NC	NC	C	C	C	C	NC	C	SD
Arroyo Atenco	6	FC	FC	FC	FC	TA	NC	IC	NC	IC	IC	C	C	C	C	NC	C	IC
Presa																		
Presa Manuel Ávila Camacho		IC	C	C	FC	NT	NC	IC	IC	NC	IC	C	C	C	C	SD	SD	SD



Figura 75. Indicadores de la Calidad del agua

Abreviación	Significado
C	Contaminada (la concentración del contaminante es superior a la meta)
NC	No contaminada (la concentración del contaminante es igual o menor a la meta)
IC	Con indicios de contaminación (ocasionalmente se encontró un sitio con concentraciones no mayores a 5 veces la meta, de 2012 a 2019)
IC-	Con indicios de contaminación, pero no contaminada en 2019
T	Tóxico
NT	No Tóxico
SD	Sin dato
FC	Fuertemente contaminada la concentración media del contaminante se encontró, al menos en un año del periodo, por arriba de las concentraciones siguientes 120 mg/L para DBO 200 mg/L para DQO 400 mg/L para SST 10,000 NMP/100 mL para CF
TA	Toxicidad alta (la toxicidad se encuentra por arriba de 5 UT)

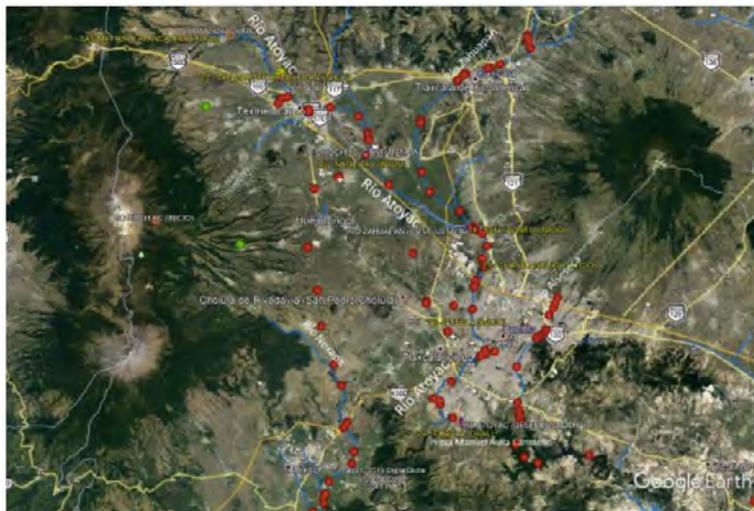
Indicadores de calidad del agua superficial										
Indicador	Unidades	Aplica a:			Cumple			No cumple		Semáforo
		Cuerpos de agua libres	Cuerpos de agua frías/cas	Zonas costeras	Excelente	Buena calidad	Aceptable	Contaminada	Fuertemente contaminada	
Demanda Bioquímica de Oxígeno, cinco días (DBO)	mg/L	x	x		DBO \leq 3	3<DBO \leq 6	6<DBO \leq 10	10<DBO \leq 120	DBO>120	Rojo
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	x	x		DQO \leq 10	10<DQO \leq 20	20<DQO \leq 40	40<DQO \leq 200	DQO>200	Rojo
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	x	x	x	SST \leq 25	25<SST \leq 75	75<SST \leq 150	150<SST \leq 400	SST>400	Amarillo
Coliformes Focales (CF)	NMP/100 mL	x	x	x	CF \leq 100	100<CF \leq 200	200<CF \leq 1000	1000<CF \leq 10000	CF>10000	Amarillo
Escherichia coli (EC)	NMP/100 mL	x	x		EC \leq 250	250<EC \leq 500	500<EC \leq 1000	1000<EC \leq 10000	EC>10000	Amarillo
Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (OD)	%	x			70<OD \leq 110	50<OD \leq 70 Y 110<OD \leq 120	30<OD \leq 50 Y 120<OD \leq 130	10<OD \leq 30 Y 130<OD \leq 150	OD \leq 10 Y OD>150	Amarillo
Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, superficial	%		x	x	70<OD \leq 110	50<OD \leq 70 Y 110<OD \leq 120	30<OD \leq 50 Y 120<OD \leq 130	10<OD \leq 30 Y 130<OD \leq 150	OD \leq 10 Y OD>150	Amarillo
Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, medio	%		x		70<OD \leq 110	50<OD \leq 70 Y 110<OD \leq 120	30<OD \leq 50 Y 120<OD \leq 130	10<OD \leq 30 Y 130<OD \leq 150	OD \leq 10 Y OD>150	Amarillo
Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, fondo	%		x	x	70<OD \leq 110	50<OD \leq 70 Y 110<OD \leq 120	30<OD \leq 50 Y 120<OD \leq 130	10<OD \leq 30 Y 130<OD \leq 150	OD \leq 10 Y OD>150	Amarillo
Enterococos Focales (ENTEROC)	NMP/100 mL			x	ENTEROC \leq 100	100<ENTEROC \leq 200		200<ENTEROC \leq 500	ENTEROC>500	Rojo
					No tóxico	Toxicidad baja		Toxicidad moderada	Toxicidad alta	
Toxicidad <i>Daphnia magna</i> , 48 h	Unidades de Toxicidad	x			Tox < 1	1<Tox \leq 1.33		1.33<Tox \leq 5	Tox > 5	Rojo
Toxicidad <i>Vibrio fischeri</i> , 15 min	Unidades de Toxicidad	x			Tox < 1	1<Tox \leq 1.33		1.33<Tox \leq 5	Tox > 5	Rojo
Toxicidad <i>Daphnia magna</i> , 48 h, superficial	Unidades de Toxicidad		x		Tox < 1	1<Tox \leq 1.33		1.33<Tox \leq 5	Tox > 5	Rojo
Toxicidad <i>Daphnia magna</i> , 48 h, fondo	Unidades de Toxicidad		x		Tox < 1	1<Tox \leq 1.33		1.33<Tox \leq 5	Tox > 5	Rojo
Toxicidad <i>Vibrio fischeri</i> , 15 min, superficial	Unidades de Toxicidad		x	x	Tox < 1	1<Tox \leq 1.33		1.33<Tox \leq 5	Tox > 5	Rojo
Toxicidad <i>Vibrio fischeri</i> , 15 min, fondo	Unidades de Toxicidad		x	x	Tox < 1	1<Tox \leq 1.33		1.33<Tox \leq 5	Tox > 5	Rojo

Nota: en caso de cumplir con todos los indicadores el color del semáforo es verde.



A continuación, en las fig.s 76 a 82 se presentan mapas de la calidad del agua de río Atoyac y sus afluentes, con base a los indicadores de la calidad del agua superficial y las escalas de clasificación de la fig. 75.

Figura 76. Calidad del agua del río Atoyac y sus afluentes

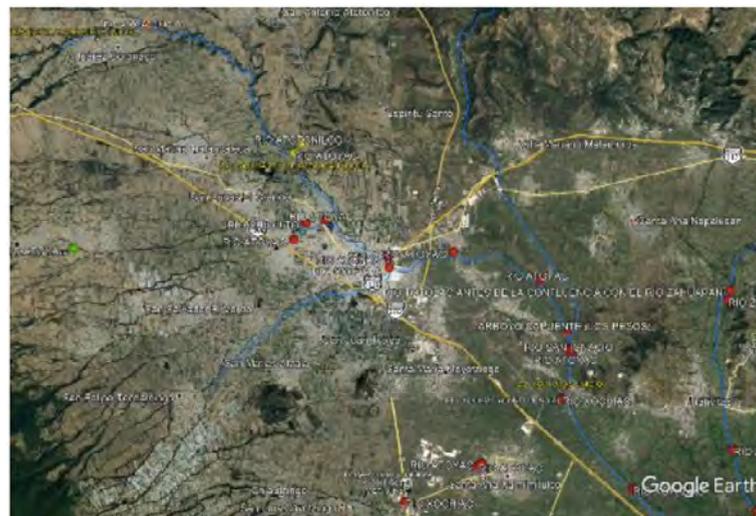


CONAGUA, 2020

Resumen de la contaminación del río Atoyac y sus afluentes

En la tabla 79, se resume la situación de la contaminación del río Atoyac y sus afluentes, para cada uno de los contaminantes regulados en la Declaratoria de Clasificación.

Figura 77. Calidad del agua de las zonas 1, 2 y 3 del río Atoyac y sus afluentes



CONAGUA, 2020



Figura 78. Calidad del agua de las zonas 4 y 5 del río Atoyac y sus afluentes

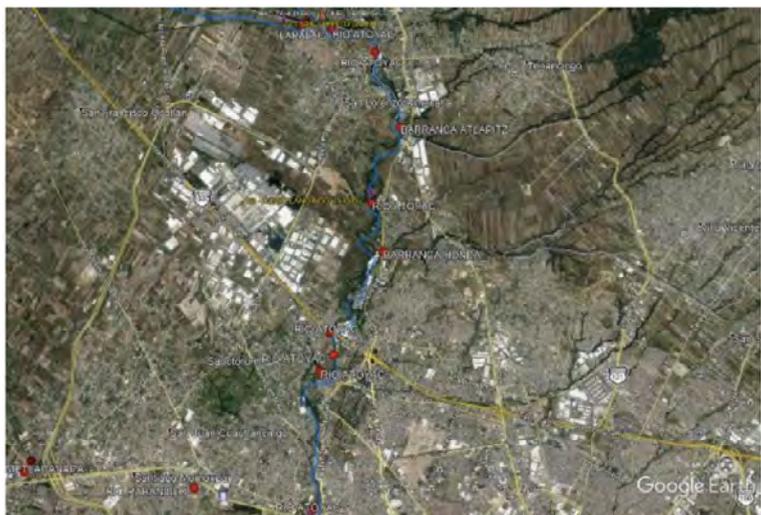


Figura 79. Calidad del agua de la zona 6 del río Atoyac y presa Manuel Ávila Camacho



CONAGUA, 2020

CONAGUA, 2020

Tabla 79. Resumen de la contaminación del río Atoyac y sus afluentes

Contaminante	Río Atoyac	Afluentes
Demanda bioquímica de oxígeno	<p>Se encuentran contaminadas las zonas 2, 3, 4, 5 y 6, del cauce del río Atoyac.</p> <p>En estas zonas, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 450, mínimo <2, y promedio 72, mg/L, esto es, se encuentra muy por arriba de la meta de 20 mg/L.</p>	<p>Se encuentran contaminados los ríos Chiquito, San Ignacio, Rabanillo, y Zahuapan, los arroyos Zanja Real y Metlapanapa, y la barranca Atlapitz.</p> <p>Se encuentran fuertemente contaminados los ríos Cotzala, Xochiac, Xopanac, Tlapalac, y San Francisco, los arroyos Prieto, Zapatero y Atenco, y la barranca Honda.</p> <p>En estos afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 1,850, mínimo <2, y promedio 167.1, mg/L, esto es, se encuentra muy por arriba de la meta de 20 mg/L.</p>



Demanda química de oxígeno	<p>Se encuentra contaminada la zona 1 y fuertemente contaminadas las zonas 2, 3, 4, 5 y 6, del cauce del río Atoyac.</p> <p>En estas zonas, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 1,492, mínimo <10, y promedio 220, mg/L, esto es, se encuentra muy por arriba de la meta de 40 mg/L.</p>	<p>Se encuentran contaminados los arroyos Capuente, Zanja Real, y los ríos Atotonilco, y San Ignacio; y fuertemente contaminados los ríos Chiquito, Cotzala, Tlapalac, Xochiac, Xopanac, Zahuapan, Rabanillo y San Francisco, y los arroyos Prieto, Metlapanapa, Zapatero y Atenco, y las barrancas Atlapitz y Honda.</p> <p>En estos afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 5,341.71, mínimo <10, y promedio 390.6, mg/L, esto es, se encuentra muy por arriba de la meta de 40 mg/L.</p>
Sólidos suspendidos totales	<p>Se encuentran contaminada la zona 1 y fuertemente contaminadas las zonas 2, 3, 4, 5 y 6, del cauce del río Atoyac.</p> <p>En estas zonas, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 7,380, mínimo <10 y promedio 437, mg/L, esto es, se encuentra muy por arriba de la meta de 30 mg/L.</p>	<p>Se encuentran contaminados los ríos Atotonilco, Chiquito, Cotzala, Tlapalac, Xochiac, Zanja Real, Zahuapan y San Francisco, los arroyos Prieto, Metlapanapa, y Zapatero y las barrancas Atlapitz y Honda.</p> <p>Se encuentran fuertemente contaminados el río Xopanac Rabanillo y el arroyo Atenco.</p> <p>En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 5,214, mínimo <10, y promedio 145, mg/L, esto es, se encuentra muy por arriba de la meta de 30 mg/L.</p>
Coliformes fecales	<p>Se encuentran fuertemente contaminadas las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6, del cauce del río Atoyac.</p> <p>En estas zonas, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 930,000, mínimo <3, y promedio 18,806 NMP/100 mL, esto es,</p>	<p>Se encuentran fuertemente contaminados los ríos Atotonilco, Chiquito, Cotzala, San Ignacio, Tlapalac, Xochiac, Xopanac, Zahuapan, Rabanillo y San Francisco, los arroyos Capuente, Zanja Real, Prieto, Metlapanapa, Zapatero y Atenco, y las barrancas Atlapitz y Honda.</p> <p>En estos afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo=</p>
	<p>se encuentra muy por arriba de la meta de 200 NMP/100 mL.</p>	<p>2,400,000, mínimo <3, y promedio 21,128 NMP/100 mL, esto es, se encuentra muy por arriba de la meta de 200 NMP/100 mL.</p>
Toxicidad aguda	<p>Presentaron alta toxicidad las zonas 2, 3, 4, 5 y 6, del cauce del río Atoyac.</p>	<p>Los afluentes con mayor toxicidad son los ríos Chiquito, Cotzala, Tlapalac, Xochiac, Xopanac, Zahuapan, Rabanillo y San Francisco, los arroyos Zanja Real, Prieto, Metlapanapa, Zapatero y Atenco, y las barrancas Atlapitz y Honda.</p>



Arsénico	No se encontró arsénico por arriba de la meta de 0.05 mg/L, por lo que el cauce del río Atoyac no se encuentra contaminado con este metal.	No se encontró arsénico por arriba de la meta de 0.05 mg/L, por lo que los afluentes del río Atoyac no se encuentran contaminados con este metal.
Cadmio	Se encuentra contaminadas la zonas 5 y 6, del cauce del río Atoyac. Presentan indicios de contaminación las zonas 1, 2, 3 y 4. En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.03, mínimo <0.003, solo en algunos sitios se encontró por arriba de la meta de 0.004 mg/L.	Se encontraron indicios de contaminación con cadmio en los ríos Atotonilco, Chiquito, Cotzala, Tlapalac, Xochiac, Rabanillo y San Francisco, y el arroyo Atenco. En los afluentes este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.04, mínimo <0.003, solo en algunos sitios se encontró por arriba de la meta de 0.004 mg/L.
Cromo	Se encontraron indicios de contaminación con cromo, en las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6. En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.7, mínimo 0.0025, y promedio 0.024, mg/L, esto es, en algunos sitios se encontró por arriba de la meta de 0.05 mg/L.	Se encuentran contaminados los río Rabanillo, Tlapalac, y Zahuapan, los arroyos Zanja Real y Prieto, y la barranca Honda. Se encontraron indicios de contaminación con cromo en el río Xochiac y en la barranca Atlapitz. En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.86, mínimo 0.0021, y promedio 0.017, mg/L, esto es, en algunos sitios se encontró por arriba de la meta de 0.05 mg/L.
Mercurio	Se encontraron indicios de contaminación con mercurio, en las zonas 3 y 5. En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.045, mínimo <0.0002, solo en algunos sitios se encontró por arriba de la meta de 0.001 mg/L.	Se encontraron indicios de contaminación con mercurio en el río Xochiac, en los arroyos Metlapanapa y Atenco, y en la barranca Honda. En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.01, mínimo <0.0002, solo en algunos sitios se encontró por arriba de la meta de 0.001 mg/L.
Plomo	Se encuentra contaminada la zona 6. Se encontraron indicios de contaminación con mercurio, en las zonas 2, 4 y 5. En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.75, mínimo <0.005, y promedio 0.015, mg/L, esto es, en algunos sitios se encontró por arriba de la meta de 0.03 mg/L.	Se encontraron indicios de contaminación con plomo en los ríos Tlapalac, San Francisco y el arroyo Atenco. En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.38, mínimo <0.005, y promedio 0.008, mg/L, esto es, en algunos sitios se encontró por arriba de la meta de 0.03 mg/L.



Nitrógeno total	Se encuentran contaminadas las zonas 2, 3, 4, 5 y 6.	Se encuentran contaminados los ríos Atotonilco, Chiquito, Cotzala, San Ignacio, Tlapalac, Xochiac,
	En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 110, mínimo 0.057, y promedio 13.2, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 5 mg/L.	Xopanac, Zahuapan, Rabanillo y San Francisco, los arroyos Capuente, Zanja Real, Prieto, Metlapanapa, Zapatero y Atenco, y las barrancas Atlapitz y Honda. En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 178, mínimo 0.28, y promedio 22.5, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 5 mg/L.
Fósforo total	Se encuentran contaminadas las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6. En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 19.4, mínimo <0.007, y promedio 2.3, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.7 mg/L.	Se encuentran contaminados los ríos Atotonilco, Chiquito, Cotzala, San Ignacio, Tlapalac, Xochiac, Xopanac, Zahuapan, Rabanillo y San Francisco, los arroyos Capuente, Zanja Real, Prieto, Metlapanapa, Zapatero y Atenco, y las barrancas Atlapitz y Honda. En estos afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 23.2, mínimo <0.007, y promedio 3.4 mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.7 mg/L.
Nitrógeno amoniacal	Se encuentran contaminadas las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6. En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 56.5, mínimo <0.01, y promedio 6.1, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.5 mg/L.	Se encuentran contaminados los ríos Atotonilco, Chiquito, Cotzala, San Ignacio, Tlapalac, Xochiac, Xopanac, Zahuapan, Rabanillo y San Francisco, los arroyos Capuente, Zanja Real, Prieto, Metlapanapa, Zapatero y Atenco, y las barrancas Atlapitz y Honda. En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 92.6, mínimo <0.01, y promedio 9.7, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.5 mg/L.



Color	<p>Se encuentran contaminadas las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6.</p> <p>En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 2,000, mínimo 2.5, y promedio 108, Pt Co, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 15 Pt Co.</p>	<p>Se encuentran contaminados los ríos Atotonilco, Chiquito, Cotzala, San Ignacio, Tlapalac, Xochiac, Xopanac, Zahuapan, Rabanillo y San Francisco, los arroyos Capuente, Zanja Real, Prieto, Metlapanapa, Zapatero y Atenco, y las barrancas Atlapitz y Honda.</p> <p>En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 2,000, mínimo 2.5, y promedio 147, Pt Co, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 15 Pt Co.</p>
Cianuros	<p>Se encontraron indicios de contaminación con cianuros, en las zonas 1, 2 y 6.</p> <p>En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.158, mínimo <0.005, y promedio 0.003, mg/L, esto es, en promedio se encontró por abajo de la meta de 0.01 mg/L.</p>	<p>No se encontraron cianuros por arriba de la meta de 0.01 mg/L.</p> <p>En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.039, mínimo <0.005, y promedio 0.003, mg/L, esto es, en promedio se encontró por abajo de la meta de 0.01 mg/L.</p>
Contaminante	Río Atoyac	Afluentes
SAAM	<p>Se encuentran contaminadas las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6.</p> <p>En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 50.4, mínimo <0.05, y promedio 2.5, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.1 mg/L.</p>	<p>Se encuentran contaminados los ríos Atotonilco, Chiquito, Cotzala, San Ignacio, Tlapalac, Xochiac, Xopanac, Zahuapan, Rabanillo y San Francisco, los arroyos Capuente, Zanja Real, Prieto, Metlapanapa, Zapatero y Atenco, y las barrancas Atlapitz y Honda.</p> <p>En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 36.4, mínimo <0.05, y promedio 4.4, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.1 mg/L.</p>
Sulfatos	<p>Se encontró indicios de contaminación con sulfatos en las zonas 2 y 5.</p> <p>En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 620, mínimo <3, y promedio 63, mg/L, esto es, en promedio se encontró por abajo de la meta de 150 mg/L.</p>	<p>Se encontraron indicios de contaminación con sulfatos en los ríos Xopanac y San Francisco, el arroyo Atenco, y la barranca Atlapitz.</p> <p>En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 293, mínimo <3, y promedio 53.7, mg/L, esto es, en promedio se encontró por abajo de la meta de 150 mg/L.</p>
1,2, Diclorobenceno	No se encontró por arriba de la meta de 0.01 mg/L.	No se encontró por arriba de la meta de 0.01 mg/L.



1,2, Dicloroetano	No se encontró por arriba de la meta de 0.069 mg/L.	No se encontró por arriba de la meta de 0.069 mg/L.
1,3, Diclorobenceno	No se encontró por arriba de la meta de 0.01 mg/L.	No se encontró por arriba de la meta de 0.01 mg/L.
1,4, Diclorobenceno	No se encontró por arriba de la meta de 0.01 mg/L.	No se encontró por arriba de la meta de 0.01 mg/L.
Aluminio	Se encuentran contaminadas las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6. En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 118.4, mínimo <0.005, y promedio 8.6 mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.05 mg/L.	Se encuentran contaminados los ríos Atotonilco, Chiquito Cotzala, San Ignacio, Xochiac, Xopanac, Zahuapan y San Francisco, los arroyos Capuente, Zanja Real, y Atenco, y la barranca Atlapitz. En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 82.5, mínimo <0.005, y promedio 4.32, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.05 mg/L.
Benceno	No se encontró por arriba de 0.01 mg/L.	No se encontró por arriba de 0.01 mg/L.
Bis (2-Etilhexil) Ftalato	Se encuentran contaminadas las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6. En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 1.25, mínimo <0.0002, y promedio 0.087 mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.003 mg/L.	Se encuentran contaminados los ríos Atotonilco, Chiquito Cotzala, San Ignacio, Xochiac, Xopanac, Zahuapan, y San Francisco, los arroyos Capuente, Zanja Real y Atenco, y la barranca Atlapitz. En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 16.3, mínimo <0.0002, y promedio 0.13, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.003 mg/L.
Cloroformo	Se encontró indicios de contaminación en las zonas 1, 3, 4, 5 y 6. En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo=	Se encuentra con indicios de contaminación el río Zahuapan, San Francisco, Xopanac, Cotzala, Xochiac, los arroyos Zanja Real y Atenco, y la barranca Atlapitz.
	0.15, mínimo <0.0001, y promedio 0.004, mg/L, esto es, en promedio se encontró por abajo de la meta de 0.003 mg/L.	En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.37, mínimo <0.0001, y promedio 0.006, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.003 mg/L.
Cloruro de metilo	Se encontró indicios de contaminación en las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6. En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.02, mínimo 0.0005, y promedio 0.0013, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.0002 mg/L.	Se encuentran contaminados los ríos Atotonilco, Chiquito Cotzala, San Ignacio, Xochiac, Xopanac y San Francisco, los arroyos Capuente, Zanja Real y Atenco, y la barranca Atlapitz. En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.009, mínimo 0.0005, y promedio 0.0006, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.0002 mg/L.



Cloruro de Vinilo	<p>Se encontró indicios de contaminación en la zona 4 y 5.</p> <p>En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.008, mínimo 0.0003, y promedio 0.00053, mg/L, esto es, en promedio se encontró por abajo de la meta de 0.002 mg/L.</p>	No se encontró por arriba de 0.002 mg/L.
Cloruros	No se encontró por arriba de la meta de 250 mg/L.	Se encuentran con indicios de contaminación los ríos San Francisco y Xopanac.
Cobre	<p>Se encuentran contaminadas las zonas 1, 2, 4, y 5.</p> <p>En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.2, mínimo 0.00075, y promedio 0.02, mg/L, esto es, en promedio se encontró por abajo de la meta de 0.05 mg/L.</p>	<p>Se encuentran con indicios de contaminación los ríos Atotonilco, San Ignacio, Xochiac, y Xopanac, los arroyos Zanja Real y Atenco, y la barranca Atlapitz.</p> <p>En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.19, mínimo 0.00075, y promedio 0.02, mg/L, esto es, en promedio se encontró por abajo de la meta de 0.05 mg/L.</p>
Dietilftalato	<p>Se encontró indicios de contaminación en las zonas 2, 5 y 6.</p> <p>En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.016, mínimo <0.00003, y promedio 0.0008, mg/L, esto es, en promedio se encontró por abajo de la meta de 0.003 mg/L.</p>	<p>Se encuentra con indicios de contaminación los ríos San Francisco, Xopanac, Xochiac, arroyo Atenco y barranca Atlapitz.</p> <p>En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.017, mínimo <0.00003, y promedio 0.0012, mg/L, esto es, en promedio se encontró por abajo de la meta de 0.003 mg/L.</p>
Etilbenceno	No se encontró por arriba de la meta de 0.1 mg/L.	No se encontró por arriba de la meta de 0.1 mg/L.
Fenoles totales	<p>Se encuentran contaminadas las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6.</p> <p>En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 0.21, mínimo 0.005, y promedio 0.031,</p>	<p>Se encuentran contaminados los ríos Atotonilco, Chiquito Cotzala, Xochiac, Xopanac, Zahuapan y San Francisco, el arroyo Atenco, y la barranca Atlapitz.</p> <p>Se encontraron con indicios de contaminación los arroyos Capuente y Zanja Real y el río San Ignacio.</p>
	mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.01 mg/L.	En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 1.9, mínimo 0.005, y promedio 0.06, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.01 mg/L.



Fierro	<p>Se encuentran contaminadas las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6.</p> <p>En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 70.2, mínimo 0.012, y promedio 6.8, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.3 mg/L.</p>	<p>Se encuentran contaminados los ríos Atotonilco, Chiquito Cotzala, San Ignacio, Xochiac, Xopanac, Zahuapan y San Francisco, los arroyos Capuente, Zanja Real y Atenco, y la barranca Atlapitz.</p> <p>En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 47.3, mínimo <0.01, y promedio 2.77, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.3 mg/L.</p>
Grasas y aceites	<p>Se encuentran contaminadas las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6.</p> <p>En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 125, mínimo <3, y promedio 12.4, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 5 mg/L.</p>	<p>Se encuentran contaminados los ríos Atotonilco, Chiquito Cotzala, San Ignacio, Xochiac, Xopanac, Zahuapan y San Francisco, los arroyos Capuente, Zanja Real y Atenco, y la barranca Atlapitz.</p> <p>En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 207, mínimo <3, y promedio 15.4, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 5 mg/L.</p>
Materia flotante	Se encontró presente en el río Atoyac, en las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6.	Se encuentran contaminados los ríos Atotonilco, Chiquito Cotzala, San Ignacio, Xochiac, Xopanac, Zahuapan y San Francisco, los arroyos Capuente, Zanja Real y Atenco, y la barranca Atlapitz.
Níquel	No se encontró por arriba de la meta de 0.6 mg/L.	Se encuentra con indicios de contaminación en la barranca Atlapitz.
Nitrobenceno	No se encontró por arriba de la meta de 0.03 mg/L.	No se encontró por arriba de la meta de 0.03 mg/L.
pH	No se encontró valores de pH fuera del rango de 6.5 a 8.5 UpH.	Se encontró pH menor a 6.5 en el río Xopanac.
SDT	<p>Se encuentran contaminadas las zonas 2, 3, 4, 5 y 6.</p> <p>En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 1,548, mínimo 5, y promedio 520, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 500 mg/L.</p>	<p>Se encuentran contaminados los ríos Cotzala, San Ignacio, Tiapalac, Xochiac, Xopanac, Zahuapan, Rabanillo y San Francisco, los arroyos Capuente, Zanja Real, Prieto, Metlapanapa, Zapatero y Atenco, y las barrancas Atlapitz y Honda.</p> <p>En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 2,532, mínimo 10.24, y promedio 893, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 500 mg/L.</p>
Sólidos sedimentables	Se encontró por arriba de la meta de 1 mL/L en el río Atoyac, en las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6.	Se encontró por arriba de la meta de 1 mL/L en los ríos Cotzala, Xochiac, Xopanac y Zahuapan, y barranca Atlapitz.



Sulfuros	Se encuentran contaminadas las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6.	Se encontró contaminados los arroyos Atenco, Capuente y Zanja Real, la barranca Atlapitz, y los ríos Atotonilco, Chiquito, Cotzala, San Francisco, Zahuapan, San Ignacio, Xochiac, y Xopanac.
	En el cauce, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 166.6, mínimo <0.05, y promedio 16.9 mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.002 mg/L.	En los afluentes, este contaminante presentó las siguientes concentraciones: máximo= 215.46, mínimo <0.05 y promedio 20.28, mg/L, esto es, en promedio se encontró por arriba de la meta de 0.002 mg/L.
Temperatura	No se encontró por arriba de la meta de 35 °C.	No se encontró por arriba de la meta de 35 °C.
Tetracloroetano	No se encontró por arriba de la meta de 0.05 mg/L.	No se encontró por arriba de la meta de 0.05 mg/L.
Tolueno	No se encontró por arriba de la meta de 0.2 mg/L.	Se encontró indicios de contaminación en el río Xopanac.
Xilenos (mezcla de isómeros)	No se encontró por arriba de la meta de 0.3 mg/L.	No se encontró por arriba de la meta de 0.3 mg/L.
Zinc	Se encontró por arriba de la meta de 0.12 mg/L en el río Atoyac, en las zonas 1, 2, 5 y 6.	Se encontró por arriba de la meta de 0.12 mg/L en el arroyo Atenco, en los ríos Xochiac, Zahuapan y Xopanac, y la barranca Atlapitz.

CONAGUA, 2020

Finalmente, la CONAGUA en su reporte final de 2012 a 2019 sobre el Diagnóstico del Agua de río Atoyac y sus afluentes llegó a las siguientes conclusiones:

El río Atoyac y sus afluentes se encuentran actualmente contaminados, principalmente por materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes, tóxicos orgánicos, bacterias y color.

No se han alcanzado las metas de calidad de agua establecidas en la Declaratoria de Clasificación, para alcanzarlas es necesario establecer Condiciones Particulares de Descarga, con base en la Declaratoria, a todos los usuarios o modificar sus plantas de tratamiento para cumplirlas.

Por materia orgánica se encuentra fuertemente contaminado en las zonas 2,3,4,5 y 6. También se encuentran contaminados por materia orgánica, los ríos Chiquito, San Ignacio, Rabanillo y Zahuapan, los arroyos Zanja Real y Metlapanapa y la barranca Atlapitz. Y fuerte-

mente contaminados los ríos Cotzala, Xochiac, Xoapanac, Tlapalac y San Francisco, así como los arroyos Prieto, Zapotero y Atenco y la Barranca Honda.

El río Atoyac presenta fuerte contaminación microbiológica en todo su cauce, así como los ríos Atotonilco, Chiquito, Cotzala, San Ignacio, Tlapalac, Xochiac, Xopanac, Zahuapan, rabanillo y San Francisco, así también los arroyos Capuente, Zanja Real, Prieto, Metlapanapa, Zapotero y Atenco, y las barrancas Atlapitz y Honda.

El río Atoyac presenta contaminación por nutrientes en todo su cauce, así como en los ríos s Atotonilco, Chiquito, Cotzala, San Ignacio, Tlapalac, Xochiac, Xopanac, Zahuapan, Rabanillo y San Francisco, y también en los arroyos Capuente, Zanja Real, prieto, Metlapanapa, Zapotero y Atenco, y las barrancas Atlapitz y Honda.

Se encuentran contaminados por detergentes (SAAM), las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6, del río Atoyac, así como los ríos Atotonilco, Chiquito,



Cotzala, San Ignacio, Tlalpalac, Xochiac, Xopanac, Zahuapan, Rabanillo y San Francisco, además de los arroyos Capuente, zanja Real, Prieto, Metlapanapa, Zapatero y Atenco y las barrancas Atlapitz y Honda.

Por color se encuentran contaminadas las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6, del cauce principal del río Atoyac, así como los críos Atotonilco, chiquito, Cotzala, San Ignacio, Tlalpalac, Xochiac, Xopanac, Zahuapan, Rabanillo y San Francisco, y los arroyos Capuente, Zanja Real, Prieto, Metlapanapa, Zapatero y Atenco, barrancas Atlapitz y Honda.

Por *bis* (2-etilhexil) ftalato, se encuentran contaminadas las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6, así como los ríos Atotonilco, Chiquito, Cotzala, San Ignacio, Xochiac, Xopanac, Zahuapan, y San Francisco, los arroyos Capuente, Zanja Real y Atenco, y la barranca Atlapitz.

Por dietilftalato, se encuentran contaminado el río San Francisco y se encontró indicios de contaminación en las zonas 2, 5 y 6 del río Atoyac, y los ríos Xopanac y Xochiac, el arroyo Atenco y la Barranca Atlapitz.

Por fenoles totales, se encuentran contaminadas las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6, así como los ríos Chiquito, Cotzala, San Francisco, Atotonilco, Xochiac, Xopanac, Zahuapan y San Francisco, el arroyo Atenco y la barranca Atlapitz, y con indicios de contaminación el río San Ignacio y los arroyos Capuente y Zanja Real.

Se encuentran presentes otros contaminantes como cloroformo, cloruro de metilo, cadmio, cromo, mercurio, plomo, cianuros, sulfatos, aluminio, cobre, hierro, grasas y aceites, sólidos disueltos, sulfuros y zinc.

Se encontró alta toxicidad en el cauce del río Atoyac, en las zonas 2, 3, 4, 5, y 6. Los afluentes con mayor toxicidad son los ríos chiquito, Tlalpalac, Xochiac, Xopanac, y San Francisco, el arroyo Atenco y la barranca Honda.

Si bien la presa Manuel Ávila Camacho no está incluida en la Declaratoria, se consideró en este análisis, ya que es cuerpo receptor de las aguas del río Atoyac; encontrándose que la presa esté contaminada con nutrientes, nitrógeno amoniacal, color y coliformes fecales principalmente.

Tabla 80. Indicadores de calidad del agua superficial en la cuenca del río Atoyac (2012-2019)

CLAVE	SITIO	ORGANISMO DE CUENCA	ESTADO	MUNICIPIO	CUENCA
DLPUE1975M1	ARROYO ZAPATERO	BALSAS	PUEBLA	SAN ANDRES CHOLULA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1976	PUEBLA SAN FRANCISCO (A) AGUAS ARRIBA	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1977	DESPUES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO SAN FRANCISCO	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1978	ERT RIO ALSESECA ANTES DEL COLECTOR SUBTERRANEO A PTAR ALSESECA SUR	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1979M1	BARRANCA SAN DIEGO LOS ALAMOS	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1980	ER4 BARRANCA MANZANILLA	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1981	ER3 BARRANCA SAN ANTONIO AGUAS ARRIBA DE BARRANCA MANZANILLA	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1982	ER2 BARRANCA SAN ANTONIO AGUAS ABAJO DE COLECTOR INDUSTRIAL PUEBLA 2000	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1983	SABORMEX, S.A. DE C.V. (ANTES CAFES DE VERACRUZ, S.A. DE C.V.) (AGUAS ABAJO)	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1984	SABORMEX, S.A. DE C.V. (ANTES CAFES DE VERACRUZ, S.A. DE C.V.) (AGUAS ARRIBA)	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1985	ER1 BARRANCA SAN ANTONIO AGUAS ARRIBA DE COLECTOR INDUSTRIAL RESURRECCION	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1987	ER5 BARRANCA MICXATLAL	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1988	AGUAS ABAJO DE LA DESCARGA TEXTIL ZALDO	BALSAS	PUEBLA	CJAU TLANCINGO	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1989	LA AUTOPISTA P1 (24)	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1991W1	ANTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO BARRANCA DEL CONDE	BALSAS	PUEBLA	CJAU TLANCINGO	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1992M1	RA-1 RIO ATOYAC, ANTES TLAHUAPAN (ESTACION TESTIGO)	BALSAS	PUEBLA	TLAHUAPAN	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE1993	AGUAS ABAJO DEL COLECTOR PANZACOLA	BALSAS	PUEBLA	CJAU TLANCINGO	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE2012	RIO ATOTONILCO	BALSAS	PUEBLA	SAN SALVADOR EL VERDE	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE2013	ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOTONILCO	BALSAS	PUEBLA	SAN SALVADOR EL VERDE	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE2014M1	SANTA MARIA CORONANGO	BALSAS	PUEBLA	CORONANGO	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE2015M1	ARROYO LA PRESA	BALSAS	PUEBLA	SAN MARTIN TEXMELUCAN	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE2016	RIO COTZALA	BALSAS	PUEBLA	SAN MARTIN TEXMELUCAN	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE2017	PUNTE CARRETERA SAN MARTIN-TLAXCALA P1(15)	BALSAS	PUEBLA	SAN MARTIN TEXMELUCAN	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE2018	RA-9 RIO XOCHIAC, ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOYAC	BALSAS	PUEBLA	HUEJOTZINGO	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE2019M1	RIO RABANILLO	BALSAS	PUEBLA	SAN PEDRO CHOLULA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE2022M1	BARRANCA HONDA	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE2050	ATOYAC LA CARAMELITA P1 (26)	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE2051	ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOYAC	BALSAS	PUEBLA	OCCUYUCAN	RIO ALTO ATOYAC
DLPUE2053	ECHEVERRIA ANTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO ATOYAC SUR	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC



DLPUE2054M1	RIO XOCHIAC ALFUENTE DE RIO ATOYAC	BALSAS	PUEBLA	SAN MARTIN TEXMELUCAN	RIO ALTO ATOYAC						
DLPUE2055W1	HIDROMETRICÁ ECHEVERRÍA P1 (28)	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC						
DLPUE2056	AMPLIACION UNION ANTORCHISTA	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC						
DLPUE2057	PRESA MANUEL AVILA CAMACHO 1	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC						
DLPUE2059M1	RIO AL SESECA COLONIA LA HACIENDA	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC						
DLPUE2060W1	TOTMEHUACAN	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC						
DLPUE2061W1	ALSESECA SAN FRANCISCO TOTMEHUACAN P1 (22)	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC						
DLPUE2062M1	ARROYO METLAPANAPA	BALSAS	PUEBLA	SAN PEDRO CHOLULA	RIO ALTO ATOYAC						
DLPUE2063M1	ARROYO PRIETO	BALSAS	PUEBLA	SAN PEDRO CHOLULA	RIO ALTO ATOYAC						
DLPUE2064	PUNTE SAN FRANCISCO TOTMEHUACAN	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC						
DLPUE2065	PRESA MANUEL AVILA CAMACHO 5	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC						
DLPUE2067W1	ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOYAC	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC						
DLPUE2068	PRESA MANUEL AVILA CAMACHO 6	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC						
DLPUE2071	ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL ARROYO RABANILLO (PUENTE DE MEXICO)	BALSAS	PUEBLA	PUEBLA	RIO ALTO ATOYAC						
DLPUE2074M1	SANTA MARIA TEXMELUCAN	BALSAS	PUEBLA	TLAHUAPAN	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2543	AF-6 BARRANCA ATAPLITZ	BALSAS	TLAXCALA	TENANCINGO	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2544	ATOYAC-PANZACOLA	BALSAS	TLAXCALA	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2545	ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOYAC	BALSAS	TLAXCALA	PAPALOTLA DE XICOHTENCATL	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2546	TLAPALAC ANTES DE CONFLUENCIA CON RIO ATOYAC	BALSAS	PUEBLA	CUAUHTLANCINGO	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2547	RA-12 RIO ATOYAC, ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ZAHUAPAN	BALSAS	PUEBLA	CUAUHTLANCINGO	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2548	RIO VIEJO ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ZAHUAPAN	BALSAS	TLAXCALA	ZACATELCO	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2549M1	RIO ZAHUAPAN AGUAS ARRIBA DE PRESA SANTA AGUEDA	BALSAS	TLAXCALA	TETLATLAHUCA	Rio Alto Atoyac						
DLTLA2550	BARRANCA SAMBRANO AGUAS ABAJO DESCARGA POLAQUIMIA	BALSAS	TLAXCALA	XALOTZOC	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2551	ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ZAHUAPAN	BALSAS	TLAXCALA	NATIVITAS	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2552	RIO ZAHUAPAN ANTES DERIVADORA PANOTLA	BALSAS	TLAXCALA	PANOTLA	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2554M1	RIO ZAHUAPAN AGUAS ABAJO DE LA CONFLUENCIA DEL RIO TOTOLAC	BALSAS	TLAXCALA	TLAXCALA	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2555	BARRANCA HUEHUETITLA ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ZAHUAPAN	BALSAS	TLAXCALA	TOTOLAC	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2556	PUNTE CARRETERA TLAXCALA-SAN MARTIN (EL TEBRELO)	BALSAS	TLAXCALA	TLAXCALA	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2557M1	RIO ZAHUAPAN DESPUES DE CONFLUENCIA DE RIO DE LOS NEGROS	BALSAS	TLAXCALA	TLAXCALA	Rio Alto Atoyac						
DLTLA2558	RIO DE LOS NEGROS ANTES DE CONFLUENCIA CON RIO ZAHUAPAN	BALSAS	TLAXCALA	TLAXCALA	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2559	RIO ATENCO ANTES DE CONFLUENCIA CON RIO ZAHUAPAN	BALSAS	TLAXCALA	AMAXAC DE GUERRERO	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2560	RIO ZAHUAPAN AGUAS ARRIBA DE LA CASCADA ATLUHUETZIA	BALSAS	TLAXCALA	AMAXAC DE GUERRERO	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2561	RIO ZAHUAPAN AGUAS ABAJO DE LA CASCADA ATLUHUETZIA	BALSAS	TLAXCALA	AMAXAC DE GUERRERO	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2562	PROCTER & GAMBLE MANUFACTURA, S. DE R.L. DE C.V. (AGUAS ABAJO)	BALSAS	TLAXCALA	YAUHQUEMEHCAN	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2563	PROCTER & GAMBLE MANUFACTURA, S. DE R.L. DE C.V. (AGUAS ARRIBA)	BALSAS	TLAXCALA	YAUHQUEMEHCAN	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2564	RIO TEXCALAC ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATENCO	BALSAS	TLAXCALA	APIZACO	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2565	PRESA ATLANGA SANTA CLARA OZUMBA (PRESA SAN JOSE ATLANGA 2)	BALSAS	TLAXCALA	ATLANGATEPEC	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2566	PRESA ATLANGA CENTRO ORIENTE (PRESA SAN JOSE ATLANGA 7)	BALSAS	TLAXCALA	ATLANGATEPEC	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2567	PRESA ATLANGA AEROPUERTO (PRESA SAN JOSE ATLANGA 4)	BALSAS	TLAXCALA	ATLANGATEPEC	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2568	PRESA ATLANGA ZACAPEXCO (PRESA SAN JOSE ATLANGA 6)	BALSAS	TLAXCALA	ATLANGATEPEC	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2569	PRESA ATLANGA LA HERRADURA (PRESA SAN JOSE ATLANGA 3)	BALSAS	TLAXCALA	ATLANGATEPEC	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2570	PRESA ATLANGA CORTINA (PRESA DE ATLANGATEPEC 3)	BALSAS	TLAXCALA	ATLANGATEPEC	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2571	PRESA ATLANGA ZAHUAPAN (PRESA SAN JOSE ATLANGA 5)	BALSAS	TLAXCALA	ATLANGATEPEC	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2572	ZAHUAPAN-PRESA ATLANGA	BALSAS	TLAXCALA	ATLANGATEPEC	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2576	AF-2 PTAR DM VILLALTA	ARROYO	TLAXCALA	TEPETITLA DE LARDIZABAL	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2577	RA-5 RIO ATOYAC, AGUAS ARRIBA DE LA BARRANCA CRUZITITLA	ARROYO	TLAXCALA	TEPETITLA DE LARDIZABAL	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2578	AF-4 ARROYO ZANIA REAL	BALSAS	TLAXCALA	TEPETITLA DE LARDIZABAL	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2579	AF-3 ARROYO CAPUENTE	BALSAS	TLAXCALA	TEPETITLA DE LARDIZABAL	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2580	AF-5 RIO SAN IGNACIO	BALSAS	TLAXCALA	NATIVITAS	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2581	RA-7 RIO ATOYAC, ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO XOCHIAC	BALSAS	TLAXCALA	NATIVITAS	RIO ALTO ATOYAC						
DLTLA2582	RA-10 RIO XOPANAC, ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOYAC	BALSAS	TLAXCALA	NATIVITAS	RIO ALTO ATOYAC						
CLAVE	CUERPO DE AGUA	TIPO	SUBTIPO	LONGITUD	LATITUD	PERIODO	DBO_mg/L	CALIDAD DBO	DOO_mg/L	CALIDAD DOO	SST_mg/L
DLPUE1975M1	ARROYO ZAPATERO	LOTICO	ARROYO	-98.26846	19.04648	2019	97.85	Contaminada	288.07	Fuertemente contaminada	96.57
DLVJC1976	RIO ATOYAC	LOTICO	RIO	-99.22052	19.62503	2019	49.505	Contaminada	232.00	Fuertemente contaminada	271.21
DLPUE1977	RIO ATOYAC	LOTICO	RIO	-98.23172	19.01978	2019	60.75	Contaminada	320.505	Fuertemente contaminada	194.34
DLPUE1978	RIO AL SESECA	LOTICO A - Tipo 2	RIO	-98.16850	19.03898	2019	360.376	Fuertemente contaminada	892.46	Fuertemente contaminada	153.985
DLPUE1979M1	BARRANCA SAN DIEGO LOS ALAMOS	LOTICO A - Tipo 2	RIO	-98.16306	19.04166	2019	670.6	Fuortomonto contaminada	1243.628	Fuertemente contaminada	162.368
DLPUE1980	BARRANCA MANZANILLA	LOTICO A - Tipo 2	RIO	-98.15722	19.04792	2019	208.5	Fuertemente contaminada	629.875	Fuertemente contaminada	163.105
DLPUE1981	BARRANCA SAN ANTONIO	LOTICO A - Tipo 2	RIO	-98.15771	19.04785	2019	295.165	Fuertemente contaminada	916.38	Fuertemente contaminada	114.78
DLPUE1982	BARRANCA SAN ANTONIO	LOTICO A - Tipo 2	RIO	-98.15771	19.04785	2019	292.665	Fuertemente contaminada	573.07	Fuertemente contaminada	295.118
DLPUE1983	BARRANCA SAN ANTONIO	LOTICO	DESCARGA	-98.14908	19.07150	2019	171.75	Fuertemente contaminada	360.27	Fuertemente contaminada	56.465
DLPUE1984	BAKONANJA SAN AN UNIU	LITULO	UNLU	-98.14333	19.07861	2019	433.83	Fuertemente contaminada	801.505	Fuertemente contaminada	153.485
DLPUE1985	BARRANCA SAN ANTONIO	LOTICO A - Tipo 2	RIO	-98.14462	19.06294	2019	420.2	Fuertemente contaminada	816.695	Fuertemente contaminada	166.14
DLPUE1987	BARRANCA MICHATALI	LOTICO A - Tipo 2	RIO	-98.14225	19.14225	2019	372.7	Fuertemente contaminada	896.585	Fuertemente contaminada	236.64
DLPUE1988	RIO ATOYAC	LOTICO A - Tipo 1	RIO	-98.22491	19.12423	2019	99.665	Contaminada	371.645	Fuertemente contaminada	1394.075
DLPUE1989	RIO ATOYAC	LOTICO	RIO	-98.23744	19.10108	2019	74.285	Contaminada	212.92	Fuertemente contaminada	399.345
DLPUE1991W1	RIO ATOYAC	LOTICO A - Tipo 1	RIO	-98.23675	19.09719	2019	60	Contaminada	242.18	Fuertemente contaminada	104
DLPUE1992M1	RIO ATOYAC	LOTICO	ARROYO	-98.21524	19.26778	2019	12.915	Aceptable	45.36	Contaminada	60.3
DLPUE1993	RIO ATOYAC	LOTICO A - Tipo 1	RIO	-98.23730	19.15612	2019	69.8	Contaminada	217.14	Fuertemente contaminada	80
DLPUE2012	RIO ATOTONILCO	LOTICO A - Tipo 1	RIO	-98.45800	19.32619	2019	2.47	Excelente	38.57	Aceptable	10
DLPUE2013	RIO ATOYAC	LOTICO A - Tipo 1	RIO	-98.46194	19.32276	2019	6.42	Aceptable	36.43	Aceptable	30
DLPUE2014M1	ARROYO PRIETO	LOTICO	ARROYO	-98.20783	19.33015	2019	4.785	Buena calidad	47.92	Contaminada	162.075
DLPUE2015M1	RIO ATOYAC	LOTICO A - Tipo 1	RIO	-98.44957	19.29922	2019	400	Fuertemente contaminada	579.73	Fuertemente contaminada	140
DLPUE2016	RIO COTZALA	LOTICO A - Tipo 1	RIO	-98.42564	19.28252	2019	80	Contaminada	309.82	Fuertemente contaminada	60.49
DLPUE2017	RIO ATOYAC	LOTICO	RIO	-98.42633	19.28608	2019	35	Contaminada	133.21	Contaminada	57.395
DLPUE2018	RIO XOCHIAC	LOTICO A - Tipo 1	RIO	-98.41181	19.39982	2019	35	Contaminada	93.85	Contaminada	111.72
DLPUE2019M1	RIO RABANILLO	LOTICO	RIO	-98.28212	19.07401	2019	90.585	Contaminada	265.635	Fuertemente contaminada	75.25
DLPUE2022M1	BARRANCA HONDA	LOTICO	RIO	-98.22750	19.11548	2019	277	Fuertemente contaminada	693.085	Fuertemente contaminada	160.635
DLPUE2050	RIO ATOYAC	LOTICO	RIO	-98.26481	19.99215	2019	140.25	Fuertemente contaminada	285.74	Fuertemente contaminada	138.335
DLPUE2051	ARROYO DE TENCO	LOTICO A - Tipo 1	RIO	-98.26481	19.97388	2019	662	Fuertemente contaminada	348.08	Fuertemente contaminada	131.25
DLPUE2053	RIO ATOYAC	LOTICO	RIO	-98.27811	19.87201	2019	104.25	Contaminada	271.925	Fuertemente contaminada	115.28
DLPUE2094M1	RIO XOCHIAC	LOTICO A - Tipo 1	RIO	-98.36154	19.23623	2019	140	Fuertemente contaminada	639.24	Fuertemente contaminada	182.3
DLPUE2095W1	RIO ATOYAC	LOTICO A - Tipo 1	RIO	-98.27720	19.96750	2019	93.6	Contaminada	246.25	Fuertemente contaminada	156
DLPUE2096	RIO ATOYAC	LOTICO	RIO	-98.26328	19.85339	2019	78.815	Contaminada	202.565	Fuertemente contaminada	104.705
DLPUE2097	PRESA MANUEL AVILA CAMACHO	LENTICO (HUMEDAL)	PRESA	-98.19167	19.86460	2019	5.41	Buena calidad	69.00	Contaminada	10
DLPUE2099M1	RIO ALSESECA	LOTICO A - Tipo 2	RIO	-98.19071	19.00819	2019	256.125	Fuertemente contaminada	792.905	Fuertemente contaminada	121.904
DLPUE2060W1	RIO ALSESECA	LOTICO A - Tipo 2 (HUMEDAL)	RIO	-98.18695	19.85778	2019	150.79	Fuertemente contaminada	502.425	Fuertemente contaminada	115.6
DLPUE2061W1	RIO ALSESECA	LOTICO A - Tipo 2 (HUMEDAL)	RIO	-98.18697	19.85111	2019	215.96	Fuertemente contaminada	636.505	Fuertemente contaminada	169.63
DLPUE2062M1	ARROYO METLAPANAPA	LOTICO	ARROYO	-98.20341	19.07678	2019	77.335	Contaminada	278.82	Fuertemente contaminada	114.63
DLPUE2063M1	ARROYO PRIETO	LOTICO	ARROYO	-98.29221	19.07874	2019	75.485	Contaminada	227.57	Fuertemente contaminada	50.775
DLPUE2064	RIO ALSESECA	LOTICO (HUMEDAL)	RIO	98.18666	18.96666	2019	207	Fuortomonto contaminada	616.70	Fuertemente contaminada	137.1
DLPUE2065	PRESA MANUEL AVILA CAMACHO	LENTICO (HUMEDAL)	PRESA	-98.18208	18.91068	2019	6	Buena calidad	48.93	Contaminada	111



CLAVE	CALIDAD SST	COLI FEC NMP 100ML	CALIDAD COLI FEC	E COLI NMP 100ml	CALIDAD E COLI	OD PORC	CALIDAD OD PORC	OD PORC SUP	CALIDAD OD PORC SUP	OD PORC MED	CALIDAD OD PORC MED
DL.PUE206W1	RIO ATOYAC										
DL.PUE206	PRESA MANUEL AVILA CAMACHO										
DL.PUE207	RIO ATOYAC										
DL.PUE207AM1	RIO ATOYAC										
DL.TLA2543	BARRANCA ATLAFTIZ										
DL.TLA2544	RIO ATOYAC										
DL.TLA2545	RIO ZAHUAPAN										
DL.TLA2546	TLAXCAL										
DL.TLA2547	RIO ATOYAC										
DL.TLA2548	RIO VIEJO										
DL.TLA2548M1	RIO ZAHUAPAN										
DL.TLA2550	BARRANCA SAMBRANO										
DL.TLA2551	RIO TOTOLAC ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ZAHUAPAN										
DL.TLA2552	RIO ZAHUAPAN										
DL.TLA2554M1	RIO ZAHUAPAN										
DL.TLA2555	BARRANCA HUETLILITLA										
DL.TLA2556	RIO ZAHUAPAN										
DL.TLA2557M1	RIO ZAHUAPAN										
DL.TLA2558	RIO DE LOS NEGROS										
DL.TLA2559	RIO ATLANTEPEC										
DL.TLA2560	RIO ZAHUAPAN										
DL.TLA2561	RIO ZAHUAPAN										
DL.TLA2562	ARROYO ATLIXTACA										
DL.TLA2563	ARROYO ATLIXTACA										
DL.TLA2564	RIO TEXCAL										
DL.TLA2565	PRESA DE ATLANGATEPEC										
DL.TLA2566	PRESA DE ATLANGATEPEC										
DL.TLA2567	PRESA DE ATLANGATEPEC										
DL.TLA2568	PRESA DE ATLANGATEPEC										
DL.TLA2569	PRESA DE ATLANGATEPEC										
DL.TLA2670	PRESA DE ATLANGATEPEC										
DL.TLA2571	PRESA DE ATLANGATEPEC										
DL.TLA2572	RIO ZAHUAPAN										
DL.TLA2576	RIO ATOYAC										
DL.TLA2577	RIO ATOYAC										
DL.TLA2578	ARROYO ZANJA REAL										
DL.TLA2579	ARROYO CAPLENTE (LOS PESOS)										
DL.TLA2580	RIO SAN ISACIJO										
DL.TLA2581	RIO ATOYAC										
DL.TLA2582	RIO XOPANCA										
DL.PUE1975M1	Aceptable	24098	Fuertemente contaminada	24098	Fuertemente contaminada	14.145	Contaminada				
DL.PUE1976	Contaminada	24000	Fuertemente contaminada	24000	Fuertemente contaminada	26.145	Contaminada				
DL.PUE1977	Contaminada	24000	Fuertemente contaminada	24000	Fuertemente contaminada	21.146	Contaminada				
DL.PUE1978	Aceptable	1221800	Fuertemente contaminada	1215300	Fuertemente contaminada	10	Fuertemente contaminada				
DL.PUE1979M1	Contaminada	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	10	Fuertemente contaminada				
DL.PUE1980	Contaminada	24000	Fuertemente contaminada	24000	Fuertemente contaminada	13.05	Contaminada				
DL.PUE1981	Aceptable	24000	Fuertemente contaminada	24000	Fuertemente contaminada	10	Fuertemente contaminada				
DL.PUE1982	Contaminada	1221800	Fuertemente contaminada	1221800	Fuertemente contaminada	10	Fuertemente contaminada				
DL.PUE1983	Buena calidad	194700	Fuertemente contaminada	73800	Fuertemente contaminada	10	Fuertemente contaminada				
DL.PUE1984	Contaminada	24098	Fuertemente contaminada	21931.5	Fuertemente contaminada	20.295	Contaminada				
DL.PUE1985	Contaminada	24098	Fuertemente contaminada	24098	Fuertemente contaminada	20.345	Contaminada				
DL.PUE1987	Contaminada	1221800	Fuertemente contaminada	1221800	Fuertemente contaminada	10	Fuertemente contaminada				
DL.PUE1988	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	39.7	Aceptable				
DL.PUE1989	Contaminada	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	41.55	Aceptable				
DL.PUE1991W1	Aceptable	24196	Fuertemente contaminada	24196	Fuertemente contaminada	44.8	Aceptable				
DL.PUE1992M1	Buena calidad	24098	Fuertemente contaminada	44009	Fuertemente contaminada	69.48	Buena calidad				
DL.PUE1993	Aceptable	24196	Fuertemente contaminada	24196	Fuertemente contaminada	51.4	Aceptable				
DL.PUE2012	Excelente	24000	Fuertemente contaminada	24000	Fuertemente contaminada	56.7	Buena calidad				
DL.PUE2013	Buena calidad	24196	Fuertemente contaminada	24196	Fuertemente contaminada	48.5	Aceptable				
DL.PUE2014M1	Contaminada	24098	Fuertemente contaminada	15300	Fuertemente contaminada	33.7	Aceptable				
DL.PUE2013M1	Aceptable	24196	Fuertemente contaminada	24196	Fuertemente contaminada	22.4	Contaminada				
DL.PUE2016	Buena calidad	24196	Fuertemente contaminada	24196	Fuertemente contaminada	33.6	Aceptable				
DL.PUE2017	Buena calidad	24098	Fuertemente contaminada	24098	Fuertemente contaminada	37.85	Aceptable				
DL.PUE2018	Aceptable	24196	Fuertemente contaminada	24196	Fuertemente contaminada	35.1	Aceptable				
DL.PUE2019M1	Aceptable	24098	Fuertemente contaminada	24098	Fuertemente contaminada	33.7	Aceptable				
DL.PUE2022M1	Contaminada	24000	Fuertemente contaminada	24000	Fuertemente contaminada	11.595	Contaminada				
DL.PUE2050	Aceptable	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	16.095	Contaminada				
DL.PUE2051	Aceptable	24000	Fuertemente contaminada	24000	Fuertemente contaminada	10	Fuertemente contaminada				
DL.PUE2053	Aceptable	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	10.490	Contaminada				
DL.PUE2054M1	Contaminada	24196	Fuertemente contaminada	24196	Fuertemente contaminada	31.1	Contaminada				
DL.PUE2055W1	Contaminada	24196	Fuertemente contaminada	24196	Fuertemente contaminada	22.05	Contaminada				
DL.PUE2056	Aceptable	24098	Fuertemente contaminada	17698	Fuertemente contaminada	35.76	Aceptable				
DL.PUE2057	Excelente	24000	Fuertemente contaminada	11000	Fuertemente contaminada			48.3	Aceptable		14.2
DL.PUE2059M1	Aceptable	1221800	Fuertemente contaminada	1221800	Fuertemente contaminada	11.440	Contaminada				
DL.PUE2060W1	Aceptable	1221800	Fuertemente contaminada	1221800	Fuertemente contaminada	17.995	Contaminada				
DL.PUE2061W1	Contaminada	1221800	Fuertemente contaminada	1221800	Fuertemente contaminada	18.345	Contaminada				
DL.PUE2063M1	Aceptable	24098	Fuertemente contaminada	24098	Fuertemente contaminada	44.2	Aceptable				
DL.PUE2063M1	Buena calidad	24098	Fuertemente contaminada	24098	Fuertemente contaminada	19.695	Contaminada				
DL.PUE2064	Aceptable	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	16.645	Contaminada				
DL.PUE2065	Excelente	1500	Contaminada	800	Contaminada			66.8	Buena calidad		41.8
DL.PUE2067W1	Excelente	24000	Fuertemente contaminada	24000	Fuertemente contaminada	49.2	Aceptable				
DL.PUE2068	Excelente	4600	Contaminada	1500	Fuertemente contaminada			69	Buena calidad		45.4
DL.PUE2071	Aceptable	24196	Fuertemente contaminada	24196	Fuertemente contaminada	40.6	Aceptable				
DL.PUE2074M1	Aceptable	1742.5	Contaminada	1583	Fuertemente contaminada						
DL.TLA2543	Buena calidad	24196	Fuertemente contaminada	24196	Fuertemente contaminada	27.3	Contaminada				
DL.TLA2544	Buena calidad	24098	Fuertemente contaminada	17098	Fuertemente contaminada	52.2	Buena calidad				
DL.TLA2545	Buena calidad	132980	Fuertemente contaminada	127130	Fuertemente contaminada	34.6	Aceptable				
DL.TLA2546	Buena calidad	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	35.95	Aceptable				
DL.TLA2547	Aceptable	24196	Fuertemente contaminada	24196	Fuertemente contaminada	10.0	Contaminada				
DL.TLA2548	Buena calidad	24098	Fuertemente contaminada	24098	Fuertemente contaminada	18.39	Contaminada				
DL.TLA2548M1	Aceptable	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	50.05	Buena calidad				
DL.TLA2550	Excelente	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	10.145	Contaminada				
DL.TLA2551	Excelente	132980	Fuertemente contaminada	111315	Fuertemente contaminada	27.06	Contaminada				
DL.TLA2552	Buena calidad	24098	Fuertemente contaminada	24098	Fuertemente contaminada	18.3	Contaminada				
DL.TLA2554M1	Aceptable	132980	Fuertemente contaminada	126480	Fuertemente contaminada	45.65	Aceptable				
DL.TLA2555	Aceptable	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	48	Aceptable				
DL.TLA2556	Aceptable	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	31	Aceptable				
DL.TLA2557M1	Contaminada	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	41.55	Aceptable				
DL.TLA2558	Buena calidad	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	26.395	Contaminada				
DL.TLA2559	Buena calidad	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	25.645	Contaminada				
DL.TLA2560	Buena calidad	24098	Fuertemente contaminada	24098	Fuertemente contaminada	67.1	Buena calidad				
DL.TLA2561	Excelente	61200	Fuertemente contaminada	52820	Fuertemente contaminada	61.25	Buena calidad				
DL.TLA2562	Excelente	24098	Fuertemente contaminada	24098	Fuertemente contaminada	33.35	Aceptable				
DL.TLA2563	Favorable	24098	Fuertemente contaminada	24098	Fuertemente contaminada	37.1	Buena calidad				
DL.TLA2564	Buena calidad	132980	Fuertemente contaminada	132980	Fuertemente contaminada	10.745	Contaminada				
DL.TLA2565	Excelente	70	Excelente	40	Excelente			66.4	Buena calidad		65.9



CLAVE	OD PORC	FON	CALIDAD OD PORC	FON	TOX D 48 UT	CALIDAD TOX D 48	TOX V 15 UT	CALIDAD TOX V 15	TOX D 48 SUP UT	CALIDAD TOX D 48 SUP	TOX D 48 FON UT	CALIDAD TOX D 48 FON	TOX FIS SUP 15 UT	
DLTLA2566	Excelente		00	Excelente		40	Excelente				70.3	Excelente	67	Buena calidad
DLTLA2567	Excelente		4.30	Aceptable		4.30	Buena calidad				74.3	Excelente	69.3	Buena calidad
DLTLA2568	Excelente		7.50	Aceptable		4.30	Buena calidad				57.5	Buena calidad		
DLTLA2569	Excelente		40	Excelente		3	Excelente				64.0	Buena calidad	59.3	Buena calidad
DLTLA2570	Excelente		3	Excelente		3	Excelente				68.7	Buena calidad	66.8	Buena calidad
DLTLA2571	Excelente		24000	Fuertemente contaminada		24000	Fuertemente contaminada				65.3	Buena calidad		
DLTLA2572	Excelente		230	Aceptable		65	Excelente			66.15	Buena calidad			
DLTLA2576	Aceptable		241960	Fuertemente contaminada		241960	Fuertemente contaminada			26.3	Contaminada			
DLTLA2577	Buena calidad		24196	Fuertemente contaminada		24196	Fuertemente contaminada			10	Fuertemente contaminada			
DLTLA2578	Excelente		24196	Fuertemente contaminada		24196	Fuertemente contaminada			22.4	Contaminada			
DLTLA2579	Excelente		24000	Fuertemente contaminada		11199	Fuertemente contaminada			39.3	Aceptable			
DLTLA2580	Excelente		24196	Fuertemente contaminada		24196	Fuertemente contaminada			23.7	Contaminada			
DTTLA2581	Aceptable		241960	Fuertemente contaminada		241960	Fuertemente contaminada			22.3	Contaminada			
DTTLA2582	Aceptable		241960	Fuertemente contaminada		241960	Fuertemente contaminada			11.3	Contaminada			
DLPUE1975M1					1.175	Toxicidad baja		15.972	Toxicidad alta					
DLPUE1976					<1	No Tóxico		55.127	Toxicidad alta					
DLPUE1977					~1	No Tóxico		63.447	Toxicidad alta					
DLPUE1978					1.66	Toxicidad moderada		58.72	Toxicidad alta					
DLPUE1979M1					1.76	Toxicidad moderada		90.58	Toxicidad alta					
DLPUE1980					1.59	Toxicidad moderada		14.93	Toxicidad alta					
DLPUE1981					1.99	Toxicidad moderada		13.76	Toxicidad alta					
DLPUE1982					1.19	Toxicidad baja		81.7	Toxicidad alta					
DLPUE1983					<1	No Tóxico		1.78	Toxicidad moderada					
DLPUE1984					5.368	Toxicidad alta		42.141	Toxicidad alta					
DTLPIF1985					3.06	Toxicidad moderada		37.79	Toxicidad alta					
DLPUE1987					2.21	Toxicidad moderada		24.55	Toxicidad alta					
DLPUE1988					<1	No Tóxico		3.2	Toxicidad moderada					
DLPUE1989					~1	No Tóxico		1.767	Toxicidad moderada					
DLPUE1991W1					<1	No Tóxico		1.69	Toxicidad moderada					
DLPUE1992M1					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLPUE1993					<1	No Tóxico		53.39	Toxicidad alta					
DLPUE2012					~1	No Tóxico	~1	No Tóxico						
DLPUE2013					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLPUE2014M1					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLPUE2015M1					5.71	Toxicidad alta		1.55	Toxicidad moderada					
DLPUE2016					<1	No Tóxico		3.81	Toxicidad moderada					
DLPUE2017					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLPUE2018					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLPUE2019M1					<1	No Tóxico		6.448	Toxicidad alta					
DLPUE2022M1					2.214	Toxicidad moderada		39.804	Toxicidad alta					
DLPUE2050					<1	No Tóxico		21.286	Toxicidad alta					
DLPUE2051					5.15	Toxicidad alta		63.85	Toxicidad alta					
DLPUE2053					<1	No Tóxico		9.785	Toxicidad alta					
DLPUE2054M1					1.28	Toxicidad baja		53.13	Toxicidad alta					
DLPUE2055W1					<1	No Tóxico		12.28	Toxicidad alta					
DLPUE2056					<1	No Tóxico		15.858	Toxicidad alta	<1	No Tóxico	<1	No Tóxico	<1
DLPUE2057														
DTLPIF2059M1					1.28	Toxicidad baja		18.47	Toxicidad alta					
DLPUE2060W1					1.55	Toxicidad moderada		8.84	Toxicidad alta					
DLPUE2061W1					1.28	Toxicidad baja		5.16	Toxicidad alta					
DLPUE2062M1					~1	No Tóxico	~1	No Tóxico						
DTLPIF2063M1					<1	No Tóxico		8.511	Toxicidad alta					
DLPUE2064					1.672	Toxicidad moderada		11.321	Toxicidad alta					
DLPUE2065		35.5	Aceptable						<1	No Tóxico	<1	No Tóxico	<1	
DLPUE2067W1					~1	No Tóxico	~1	No Tóxico						
DLPUE2068		26.3	Contaminada						<1	No Tóxico	<1	No Tóxico	<1	
DLPUE2071					<1	No Tóxico		1.57	Toxicidad moderada					
DLPIF2014M1					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLTLA2543					<1	No Tóxico		1.85	Toxicidad moderada					
DLTLA2544					<1	No Tóxico		1.236	Toxicidad baja					
DLTLA2545					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLTLA2546					1.246	Toxicidad baja		39.108	Toxicidad alta					
DLTLA2547					~1	No Tóxico		11.69	Toxicidad alta					
DLTLA2548					<1	No Tóxico		1.26	Toxicidad baja					
DLTLA2549M1					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLTLA2550					2.1	Toxicidad moderada		16.99	Toxicidad alta					
DLTLA2551					<1	No Tóxico		1.92	Toxicidad moderada					
DLTLA2552					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLTLA2554M1					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLTLA2555					<1	No Tóxico		0.616	Toxicidad alta					
DTLPIF2556					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLTLA2557M1					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLTLA2558					<1	No Tóxico		9.22	Toxicidad alta					
DLTLA2559					<1	No Tóxico		1.1	Toxicidad baja					
DTLPIF2560					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLTLA2561					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLTLA2562					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLTLA2563					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLTLA2564					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLTLA2565									<1	No Tóxico	<1	No Tóxico	<1	
DLTLA2566		56.8	Buena calidad						<1	No Tóxico	<1	No Tóxico	<1	
DLTLA2567									<1	No Tóxico	<1	No Tóxico	<1	
DLTLA2568									<1	No Tóxico	<1	No Tóxico	<1	
DLTLA2569									<1	No Tóxico	<1	No Tóxico	<1	
DLTLA2570									<1	No Tóxico	<1	No Tóxico	<1	
DLTLA2571									~1	No Tóxico	~1	No Tóxico	~1	
DLTLA2572					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLTLA2576					<1	No Tóxico		2.97	Toxicidad moderada					
DLTLA2577					<1	No Tóxico		6.21	Toxicidad alta					
DLTLA2578					<1	No Tóxico		24.85	Toxicidad alta					
DLTLA2579					<1	No Tóxico	<1	No Tóxico						
DLTLA2580					<1	No Tóxico		1.02	Toxicidad moderada					
DLTLA2581					<1	No Tóxico		11.92	Toxicidad alta					
DLTLA2582						3.31	Toxicidad moderada		50.03	Toxicidad alta				



CLAVE	CALIDAD_TOX_FIS_SUP_15	TOX_FIS_FON_15_UT	CALIDAD_TOX_FIS_FON_15	SEMAFORO	CONTAMINANTES	CUMPLE_CON_DBO	CUMPLE_CON_DCO	CUMPLE_CON_SST	CUMPLE_CON_CF	CUMPLE_CON_E_COLI
DLPU1076M1				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU1876				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU1977				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU1978				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU1979M1				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU1980				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU1981				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU1982				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU1983				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU1984				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU1985				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU1986				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU1988				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLI	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU1989				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLI	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU1991W1				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLI	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU1992M1				Roto	DQO,CF,E,COLI	SI	NO	SI	NO	NO
DLPU1993				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLITOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2012				Amarillo	CF,E,COLI	SI	SI	SI	NO	NO
DLPU2013				Amarillo	CF,E,COLI	SI	SI	SI	NO	NO
DLPU2014M1				Roto	DQO,SST,CF,E,COLLOD%L	SI	NO	NO	NO	NO
DLPU2015M1				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2016				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLI	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2017				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLI	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2018				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLI	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2018M1				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLITOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2022M1				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU2050				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2051				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2052				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU2054M1				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU2056W1				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU2056				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLITOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2057	No Toxicos	<1	No Toxicos	Roto	DQO,CF,E,COLLOD%L	SI	NO	SI	NO	NO
DLPU2058M1				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2059W1				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2061W1				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	NO	NO	NO
DLPU2062M1				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLI	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2063M1				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2064				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2065	No Toxicos	<1	No Toxicos	Roto	DQO,CF,E,COLI	SI	NO	SI	NO	NO
DLPU2067W1				Roto	DQO,CF,E,COLI	SI	NO	SI	NO	NO
DLPU2068	No Toxicos	<1	No Toxicos	Roto	DQO,CF,E,COLLOD%L	SI	NO	SI	NO	NO
DLPU2071				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLI	NO	NO	SI	NO	NO
DLPU2074M1				Amarillo	CF,E,COLI	SI	SI	SI	NO	NO
DLTA2543				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2544				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLI	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2545				Roto	DQO,CF,E,COLI	SI	NO	SI	NO	NO
DLTA2546				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLITOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2547				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2548				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2548M1				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLI	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2550				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2551				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2552				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2548M1				Roto	DQO,CF,E,COLI	SI	NO	SI	NO	NO
DLTA2550				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLITOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2556				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2557				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2558				Roto	DBO,DQO,SST,CF,E,COLI	NO	NO	NO	NO	NO
DLTA2558				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2559				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2560				Roto	DQO,CF,E,COLI	SI	NO	SI	NO	NO
DLTA2561				Roto	DQO,CF,E,COLI	SI	NO	SI	NO	NO
DLTA2562				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLI	NO	NO	SI	NO	NO
DLTA2563				Amarillo	CF,E,COLI	SI	SI	SI	NO	NO
DLTA2564				Roto	DQO,CF,E,COLLOD%L	SI	NO	SI	NO	NO
DLTA2565	No Toxicos	<1	No Toxicos	Roto	DQO	SI	NO	SI	SI	SI
DLTA2566	No Toxicos	<1	No Toxicos	Roto	DQO	SI	NO	SI	SI	SI
DLTA2567	No Toxicos	<1	No Toxicos	Verde		SI	SI	SI	SI	SI
DLTA2568	No Toxicos			Roto	DQO	SI	NO	SI	SI	SI
DLTA2569	No Toxicos	<1	No Toxicos	Roto	DQO	SI	NO	SI	SI	SI
DLTA2570	No Toxicos	<1	No Toxicos	Roto	DQO	SI	NO	SI	SI	SI
DLTA2571	No Toxicos			Roto	DQO,CF,E,COLI	SI	NO	SI	NO	NO
DLTA2572				Verde		SI	SI	SI	SI	SI
DLTA2576				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L	NO	NO	NO	NO	NO
DLTA2577				Roto	DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	SI	NO	SI	NO	NO
DLTA2578				Roto	CF,E,COLLOD%L,TOX L	SI	SI	SI	NO	NO
DLTA2579				Amarillo	CF,E,COLI	SI	SI	SI	NO	NO
DLTA2580				Amarillo	CF,E,COLLOD%L	SI	SI	SI	NO	NO
DLTA2581				Roto	DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	SI	NO	SI	NO	NO
DLTA2582				Roto	DBO,DQO,CF,E,COLLOD%L,TOX L	NO	NO	SI	NO	NO

CONAGUA, 2020



CLAVE	CUMPLE_CON_ENTEROC	CUMPLE_CON_OD	CUMPLE_CON_TOX	GRUPO
DLPUE1975M1	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE1976	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE1977	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE1978	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE1979M1	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE1980	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE1981	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE1982	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE1983	ND	NO	SI	LOTICO
DLPUE1984	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE1985	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE1987	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE1988	ND	SI	SI	LOTICO
DLPUE1989	ND	SI	SI	LOTICO
DLPUE1991W1	ND	SI	SI	LOTICO
DLPUE1992M1	ND	SI	SI	LOTICO
DLPUE1993	ND	SI	NO	LOTICO
DLPUE2012	ND	SI	SI	LOTICO
DLPUE2013	ND	SI	SI	LOTICO
DLPUE2014M1	ND	NO	SI	LOTICO
DLPUE2015M1	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE2016	ND	SI	SI	LOTICO
DLPUE2017	ND	SI	SI	LOTICO
DLPUE2018	ND	SI	SI	LOTICO
DLPUE2019M1	ND	SI	NO	LOTICO
DLPUE2022M1	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE2050	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE2051	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE2053	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE2054M1	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE2055W1	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE2056	ND	SI	NO	LOTICO
DLPUE2057	ND	NO	SI	LENTICO
DLPUE2059M1	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE2060W1	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE2061W1	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE2062M1	ND	SI	SI	LOTICO
DLPUE2063M1	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE2064	ND	NO	NO	LOTICO
DLPUE2065	ND	SI	SI	LENTICO
DLPUE2067W1	ND	SI	SI	LOTICO
DLPUE2068	ND	NO	SI	LENTICO
DLPUE2071	ND	SI	SI	LOTICO
DLPUE2074M1	ND	SI	SI	LOTICO
DLTLA2543	ND	NO	SI	LOTICO
DLTLA2544	ND	SI	SI	LOTICO
DLTLA2545	ND	SI	SI	LOTICO
DLTLA2546	ND	SI	NO	LOTICO
DLTLA2547	ND	NO	NO	LOTICO
DLTLA2548	ND	NO	SI	LOTICO
DLTLA2549M1	ND	SI	SI	LOTICO
DLTLA2550	ND	NO	NO	LOTICO
DLTLA2551	ND	NO	SI	LOTICO
DLTLA2552	ND	NO	SI	LOTICO
DLTLA2554M1	ND	SI	SI	LOTICO
DLTLA2555	ND	SI	NO	LOTICO
DLTLA2556	ND	SI	SI	LOTICO
DLTLA2557M1	ND	SI	SI	LOTICO
DLTLA2558	ND	NO	NO	LOTICO
DLTLA2559	ND	NO	SI	LOTICO
DLTLA2560	ND	SI	SI	LOTICO
DLTLA2561	ND	SI	SI	LOTICO
DLTLA2562	ND	SI	SI	LOTICO
DLTLA2563	ND	SI	SI	LOTICO
DLTLA2564	ND	NO	SI	LOTICO
DLTLA2565	ND	SI	SI	LENTICO

DLTLA2566	ND	SI	SI	LENTICO
DLTLA2567	ND	SI	SI	LENTICO
DLTLA2568	ND	SI	SI	LENTICO
DLTLA2569	ND	SI	SI	LENTICO
DLTLA2570	ND	SI	SI	LENTICO
DLTLA2571	ND	SI	SI	LENTICO
DLTLA2572	ND	SI	SI	LOTICO
DLTLA2576	ND	NO	SI	LOTICO
DLTLA2577	ND	NO	NO	LOTICO
DLTLA2578	ND	NO	NO	LOTICO
DLTLA2579	ND	SI	SI	LOTICO
DLTLA2580	ND	NO	SI	LOTICO
DLTLA2581	ND	NO	NO	LOTICO
DLTLA2582	ND	NO	NO	LOTICO

CONAGUA, 2020



Tabla 81. Descripción de Campos

Campo	Descripción	Tipo	Valor posible
CLAVE	Clave del sitio de monitoreo	Texto	A - Z
SITIO	Nombre del sitio de muestreo	Texto	A - Z
ID_ORG_CUENCA	Número de identificación de Organismo de Cuenca de agua donde se localiza el sitio de monitoreo	Númerico	Entero
ORGANISMO_DE_CUENCA	Nombre del Organismo de Cuenca de agua donde se localiza el sitio de monitoreo	Texto	A - Z
ID_ESTADO	Número de identificación del estado donde se encuentra el sitio de muestreo	Númerico	Entero
ESTADO	estado donde se encuentra el sitio de muestreo	Texto	A - Z
MUNICIPIO	Municipio donde se encuentra el sitio de muestreo	Texto	A - Z
CUENCA	Nombre de la cuenca donde se localiza el sitio de muestreo	Texto	A - Z
CUERPO_DE_AGUA	Nombre del cuerpo de agua donde se localiza el sitio de muestreo	Texto	A - Z
TIPO	Tipo de cuerpo de agua donde se encuentra el sitio de muestreo	Texto	A - Z
SUBTIPO	Subtipo de cuerpo de agua donde se encuentra el sitio de muestreo	Texto	A - Z
LONGITUD	Coordenada de longitud	Númerico	6 decimales
LATITUD	Coordenada de latitud	Númerico	6 decimales
PERIODO	Año en que se realizó el muestreo	Texto	Actual
CF_NMP100ML	Valor de los Coliformes Fecales, en numero más probable por ciento mililitro	Texto	1 decimal, ND
DBO_MG/L	Valor de la demanda bioquímica de Oxígeno, en miligramos por litro	Texto	1 decimal, ND
DOO_MG/L	Valor de demanda química de Oxígeno, en miligramos por litro	Texto	1 decimal, ND
E_COLI_NMP_100ML	Valor de Escherichia coli, en número más probable por cien mililitros	Texto	1 decimal, ND
OD_PORC	Valor de Porcentaje de Saturación de oxígeno disuelto, en cuerpos loticos	Texto	1 decimal, ND
OD_PORC_FON	Valor de Porcentaje de Saturación de oxígeno disuelto en fondo	Texto	1 decimal, ND
OD_PORC_MED	Valor de Porcentaje de Saturación de oxígeno disuelto medio	Texto	1 decimal, ND
OD_PORC_SUP	Valor de Porcentaje de Saturación de oxígeno disuelto superficial	Texto	1 decimal, ND
SST_MG/L	Valor de los Sólidos Suspendedos Totales, en miligramos por litro	Texto	1 decimal, ND
TOX_D_48_FON_UT	Valor de Toxicidad, Dafnia magna 48 horas, de fondo, Unidades de Toxicidad	Texto	1 decimal, ND
TOX_D_48_SUP_UT	Valor de Toxicidad, Dafnia magna 48 horas, superficial, Unidades de Toxicidad	Texto	1 decimal, ND
TOX_D_48_UT	Valor de Toxicidad, Dafnia magna 48 horas, Unidades de Toxicidad, en cuerpos loticos	Texto	1 decimal, ND
TOX_FIS_FON_15_UT	Valor de Toxicidad, Vibrio Fisheri, 15 minutos, en fondo, Unidades de Toxicidad	Texto	1 decimal, ND
TOX_FIS_SUP_15_UT	Valor de Toxicidad, Vibrio Fisheri, 15 minutos, superficial, Unidades de Toxicidad	Texto	1 decimal, ND
TOX_V_15_UT	Valor de Toxicidad, Vibrio Fisheri, 15 minutos, Unidades de Toxicidad, en cuerpos loticos	Texto	1 decimal, ND
CALIDAD_COLI_FEC	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Coliformes Fecales	Texto	EXCELENTE, BUENA CALIDAD, ACEPTABLE, CONTAMINADA, FUERTEMENTE CONTAMINADA
CALIDAD_DBO	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Demanda bioquímica de oxígeno	Texto	EXCELENTE, BUENA CALIDAD, ACEPTABLE, CONTAMINADA, FUERTEMENTE CONTAMINADA
CALIDAD_DOO	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Demanda química de oxígeno	Texto	EXCELENTE, BUENA CALIDAD, ACEPTABLE, CONTAMINADA, FUERTEMENTE CONTAMINADA
CALIDAD_E_COLI	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Escherichia coli	Texto	EXCELENTE, BUENA CALIDAD, ACEPTABLE, CONTAMINADA, FUERTEMENTE CONTAMINADA
CALIDAD_OD_PORC	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto	Texto	EXCELENTE, BUENA CALIDAD, ACEPTABLE, CONTAMINADA, FUERTEMENTE CONTAMINADA
CALIDAD_OD_PORC_FON	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, en fondo	Texto	EXCELENTE, BUENA CALIDAD, ACEPTABLE, CONTAMINADA, FUERTEMENTE CONTAMINADA
CALIDAD_OD_PORC_MED	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, medio	Texto	EXCELENTE, BUENA CALIDAD, ACEPTABLE, CONTAMINADA, FUERTEMENTE CONTAMINADA
CALIDAD_OD_PORC_SUP	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, superficial	Texto	EXCELENTE, BUENA CALIDAD, ACEPTABLE, CONTAMINADA, FUERTEMENTE CONTAMINADA
CALIDAD_SST	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Sólidos Suspendedos Totales	Texto	EXCELENTE, BUENA CALIDAD, ACEPTABLE, CONTAMINADA, FUERTEMENTE CONTAMINADA
CALIDAD_TOX_D_48	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Toxicidad, Dafnia magna, 48 horas	Texto	No tóxico, Toxicidad baja, Toxicidad moderada, Toxicidad alta
CALIDAD_TOX_D_48_FON	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Toxicidad, Dafnia magna, 48 horas, en fondo	Texto	No tóxico, Toxicidad baja, Toxicidad moderada, Toxicidad alta
CALIDAD_TOX_D_48_SUP	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador de Toxicidad, Dafnia magna, 48 horas, superficial	Texto	No tóxico, Toxicidad baja, Toxicidad moderada, Toxicidad alta
CALIDAD_TOX_FIS_FON_15	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Toxicidad, Vibrio Fisheri, 15 minutos, en fondo	Texto	No tóxico, Toxicidad baja, Toxicidad moderada, Toxicidad alta
CALIDAD_TOX_FIS_SUP_15	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador de Toxicidad, Vibrio Fisheri, 15 minutos, superficial	Texto	No tóxico, Toxicidad baja, Toxicidad moderada, Toxicidad alta
CALIDAD_TOX_V_15	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Toxicidad, Vibrio Fisheri, 15 minutos	Texto	No tóxico, Toxicidad baja, Toxicidad moderada, Toxicidad alta
CALIDAD_CON_COLI_FEC	Indica si cumple con la calidad de Excelente, Buena calidad o Aceptable, para el indicador Coliformes Fecales	Texto	SI, NO, ND
CALIDAD_CON_DBO	Indica si cumple con la calidad de Excelente, Buena calidad o Aceptable, para el indicador Demanda bioquímica de oxígeno	Texto	SI, NO, ND
CALIDAD_CON_DOO	Indica si cumple con la calidad de Excelente, Buena calidad o Aceptable, para el indicador Demanda química de oxígeno	Texto	SI, NO, ND
CALIDAD_CON_E_COLI	Indica si cumple con la calidad de Excelente, Buena calidad o Aceptable, para el indicador Escherichia coli	Texto	SI, NO, ND
CALIDAD_CON_OD	Indica si cumple con la calidad de Excelente, Buena calidad o Aceptable, para el indicador Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto	Texto	SI, NO, ND
CALIDAD_CON_SST	Indica si cumple con la calidad de Excelente, Buena calidad o Aceptable, para el indicador Sólidos suspendidos totales	Texto	SI, NO, ND
CALIDAD_CON_TOX	Indica si cumple con la calidad de No tóxico, Toxicidad baja, o Toxicidad moderada, para el indicador Toxicidad Aguda	Texto	SI, NO, ND
CONTAMINANTES	Contaminantes presentes en incumplimiento (contaminados)	Texto	DBO, DOO, SST, CF, E_COLI, ENT_FEC, OD%S, OD%M, OD%F, TOX_S, TOX_F, TOX_L
SEMAFORO	Indica el nivel de contaminación de acuerdo a los contaminantes presentes	Texto	
GRUPO	Grupo del cuerpo de agua	Texto	
ND	No disponible		

Tabla 82. Escalas de los Indicadores de la calidad del agua superficial

CALIDAD DEL AGUA PARA TOXICIDAD	CRITERIO	DESCRIPCION
No tóxico	TOX menor a 1	Agua no contaminada. Toxicidad no detectable.
Toxicidad baja	TOX mayor o igual a 1 y menor o igual a 1.33	Toxicidad baja
Toxicidad moderada	TOX mayor de 1.33 y menor a 5	Toxicidad moderada
Toxicidad alta	TOX mayor o igual a 5	Toxicidad alta
CALIDAD DEL AGUA PARA SST	CRITERIO	DESCRIPCION
Excelente	SST menor o igual a 25	Clase de excepción, muy buena calidad.
Buena calidad	SST mayor de 25 y menor o igual a 75	Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto.
Aceptable	SST mayor de 75 y menor o igual a 150	Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido.
Contaminada	SST mayor de 150 y menor o igual a 400	Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido.
Fuertemente contaminada	SST mayor de 400	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces.
CALIDAD DEL AGUA PARA E_COLI	CRITERIO	DESCRIPCION
Excelente	E_COLI menor o igual a 126	Agua no contaminada o condición normal. No hay evidencia de alteración en los valores de la calidad bacteriológica para el cuerpo de agua superficial.
Buena calidad	E_COLI mayor de 126 y menor o igual a 576	Aguas superficiales con calidad satisfactoria para la vida acuática y para uso recreativo con contacto primario, así como para otros usos. Indicios de alteración de la calidad bacteriológica.
Aceptable	E_COLI mayor de 576 y menor o igual a 850	Aguas superficiales con calidad admisible como fuente de abastecimiento de agua potable y para riego agrícola. Muestra bajos niveles de alteración como resultado de la actividad humana.
Contaminada	E_COLI mayor de 850 y menor o igual a 1000	Aguas superficiales con contaminación bacteriológica. Indica alteración substancial con respecto a la condición normal.
Fuertemente contaminada	E_COLI mayor de 1000	Aguas superficiales con fuerte contaminación bacteriológica. Alteración severa.
CALIDAD DEL AGUA PARA DQO	CRITERIO	DESCRIPCION
Excelente	DQO menor o igual a 10	Agua no contaminada.
Buena calidad	DQO mayor de 10 y menor o igual a 20	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable.
Aceptable	DQO mayor de 20 y menor o igual a 40	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Contaminada	DQO mayor de 40 y menor o igual a 200	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Fuertemente contaminada	DQO mayor de 200	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.
CALIDAD DEL AGUA PARA DBO5	CRITERIO	DESCRIPCION
Excelente	DBO menor o igual a 3	Agua no contaminada.
Buena calidad	DBO mayor de 3 y menor o igual a 6	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.
Aceptable	DBO mayor de 6 y menor o igual a 30	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Contaminada	DBO mayor de 30 y menor o igual a 120	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Fuertemente contaminada	DBO mayor de 120	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.
CALIDAD DEL AGUA PARA COLI_FEC superficiales	CRITERIO	DESCRIPCION
Excelente	COLI_FEC menor o igual a 100	Agua no contaminada o condición normal. No hay evidencia de alteración en los valores de la calidad bacteriológica para el cuerpo de agua superficial.
Buena calidad	COLI_FEC mayor de 100 y menor o igual a 200	Aguas superficiales con calidad satisfactoria para la vida acuática y para uso recreativo con contacto primario, así como para otros usos. Indicios de alteración de la calidad bacteriológica.
CALIDAD DEL AGUA PARA TOXICIDAD	CRITERIO	DESCRIPCION
Aceptable	COLI_FEC mayor de 200 y menor o igual a 1000	Aguas superficiales con calidad admisible como fuente de abastecimiento de agua potable y para riego agrícola. Muestra bajos niveles de alteración como resultado de la actividad humana.
Contaminada	COLI_FEC mayor de 1000 y menor o igual a 10000	Aguas superficiales con contaminación bacteriológica. Indica alteración substancial con respecto a la condición normal.
Fuertemente contaminada	COLI_FEC mayor de 10000	Aguas superficiales con fuerte contaminación bacteriológica. Alteración severa.
CALIDAD DEL AGUA PARA OXIGENO DISUELTO porcentaje	CRITERIO	DESCRIPCION
Excelente	OD mayor de 70 y menor o igual a 110	Excelente o rica en oxígeno.
Buena calidad	OD mayor de 50 y menor o igual 70; OD mayor a 110 y menor o igual 120	Buena o moderada cantidad de oxígeno.
Aceptable	OD mayor de 30 y menor o igual 50; OD mayor a 120 y menor o igual 130	Aceptable o de moderada deficiencia de oxígeno.
Contaminada	OD mayor de 10 y menor o igual 30; OD mayor a 130 y menor o igual 150	Contaminada o con deficiencia de oxígeno.
Fuertemente contaminada	OD menor o igual a 10; OD mayor de 150	Fuertemente contaminada o anóxica.



Excelente	DBO menor o igual a 3	Agua no contaminada.
Buena calidad	DBO mayor de 3 y menor o igual a 6	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.
Aceptable	DBO mayor de 6 y menor o igual a 30	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Contaminada	DBO mayor de 30 y menor o igual a 120	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Fuertemente contaminada	DBO mayor de 120	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.
CALIDAD DEL AGUA PARA COLI_FEC superficiales	CRITERIO	DESCRIPCION
Excelente	COLI_FEC menor o igual a 100	Agua no contaminada o condición normal. No hay evidencia de alteración en los valores de la calidad bacteriológica para el cuerpo de agua superficial.
Buena calidad	COLI_FEC mayor de 100 y menor o igual a 200	Aguas superficiales con calidad satisfactoria para la vida acuática y para uso recreativo con contacto primario, así como para otros usos. Indicios de alteración de la calidad bacteriológica.
Aceptable	COLI_FEC mayor de 200 y menor o igual a 1000	Aguas superficiales con calidad admisible como fuente de abastecimiento de agua potable y para riego agrícola. Muestra bajos niveles de alteración como resultado de la actividad humana.
Contaminada	COLI_FEC mayor de 1000 y menor o igual a 10000	Aguas superficiales con contaminación bacteriológica. Indica alteración substancial con respecto a la condición normal.
Fuertemente contaminada	COLI_FEC mayor de 10000	Aguas superficiales con fuerte contaminación bacteriológica. Alteración severa.
CALIDAD DEL AGUA PARA OXIGENO DISUELTO porcentaje	CRITERIO	
Excelente	OD mayor de 70 y menor o igual a 110	Excelente o rica en oxígeno.
Buena calidad	OD mayor de 50 y menor o igual 70; OD mayor a 110 y menor o igual 120	Buena o moderada cantidad de oxígeno.
Aceptable	OD mayor de 30 y menor o igual 50; OD mayor a 120 y menor o igual 130	Aceptable o de moderada deficiencia de oxígeno.
Contaminada	OD mayor de 10 y menor o igual 30; OD mayor a 130 y menor o igual 150	Contaminada o con deficiencia de oxígeno.
Fuertemente contaminada	OD menor o igual a 10; OD mayor de 150	Fuertemente contaminada o anóxica.

CONAGUA, 2020



CONAGUA (2020), presentó el reporte final del diagnóstico de la calidad del agua del río Zahuapan y sus afluentes en el cual, se muestra la evaluación de la contaminación del río.

La Declaratoria de Clasificación de los ríos Atoyac, y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes fue publicada el 6 de julio de 2011, en el Diario Oficial de la Federación, con fundamento técnico en el Estudio de Clasificación del río Atoyac, Puebla–Tlaxcala, y en el Estudio de Clasificación del río Zahuapan, Puebla–Tlaxcala.

En el estudio de clasificación, se concluyó que la calidad del agua de los ríos Zahuapan y Atipac o Atenco o Apizaco han sufrido alteración en su calidad con motivo de las descargas de aguas residuales provenientes de procesos industriales y asentamientos humanos, que vierten 59.22 toneladas al día de materia orgánica medida como demanda química de oxígeno, 25.83 toneladas al día de sólidos suspendidos totales, 15.54 toneladas al día de nutrientes, 0.011 toneladas al día de metales pesados, más contaminación microbiológica, entre otros.

También se determinó que el cumplimiento de la NOM-001-SEMAR-NAT-1996 no es suficiente para alcanzar la calidad del agua requerida para los usos de dichos cuerpos de agua, por lo que se determinaron los límites máximos de descarga de deberán cumplir las descargas de aguas residuales para mejorar la calidad de estos cuerpos de agua.

Para el estudio y la regulación de las descargas de aguas residuales, el río Zahuapan y sus afluentes se dividieron en 6 zonas, tabla 83 y fig. 80.

Tabla 83. Zonas en que se dividió el río Zahuapan y río Atipac o Atenco o Apizaco, y sus afluentes para su estudio y su regulación

No.	Zona	Delimitación	Características
1	Atlangatepec	Desde la cortina de la presa Atlangatepec, hasta 8 km antes de la confluencia del arroyo Atlixac.	Longitud de la zona 15 km. Caudal de 70 L/s.
2	Atlixac	Inicia 8 km antes de la confluencia con el arroyo Atlixac, hasta 2 km antes de la confluencia del río Atipac o Atenco o Apizaco.	Longitud de la zona 15 km. Confluencia del arroyo Atlixac por la margen izquierda. Recibe 6.79 toneladas/día de materia orgánica medida como demanda química de oxígeno. Caudal de 638 L/s.

3	Apizaco	Inicia 2 km antes de la confluencia del río Atipac o Atenco o Apizaco, hasta antes de la confluencia del río Los Negros.	Longitud de la zona 8 km. Confluencia del río Atipac o Atenco o Apizaco y del arroyo Dos Arroyos por la margen izquierda. Recibe 22.43 toneladas/día de materia orgánica medida como demanda química de oxígeno. Caudal de 1,025 L/s.
4	Los Negros	Desde antes de la confluencia del río Los Negros hasta 4 km antes de la confluencia del río Totolac.	Longitud de la zona 8 km. Confluencia del río Los Negros por la margen izquierda. Recibe 11.47 toneladas /día de materia orgánica medida como demanda química de oxígeno. Caudal de 1,262 L/s.
5	Totolac	Desde 4 km antes de la confluencia del río Totolac hasta 4 km antes de la presa Santa Agueda.	Longitud de la zona 10 km. Confluencia del río Totolac por la margen derecha. Recibe 9.13 toneladas/día de materia orgánica medida como demanda química de oxígeno. Caudal de 1,277 L/s.
6	Viejo	Desde 4 km antes de la presa Santa Agueda hasta la confluencia con el río Atoyac.	Longitud de la zona 10 km. Confluencia del río Viejo por la margen izquierda. Recibe 9.3 toneladas/día de materia orgánica medida como demanda química de oxígeno. Caudal de 222 L/s.

Fuente: Estudio de Clasificación del río Zahuapan, Puebla –Tlaxcala⁹.

CONAGUA 2020

Monitoreo sistemático de la calidad del agua del río Zahuapan y sus afluentes

A partir del año 2012 se inició la operación de una nueva Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNMCA) que realiza el monitoreo sistemático de los cuerpos de agua nacionales más importantes del país, entre ellos se encuentran el río Zahuapan y sus afluentes; y la presa Atlangatepec.

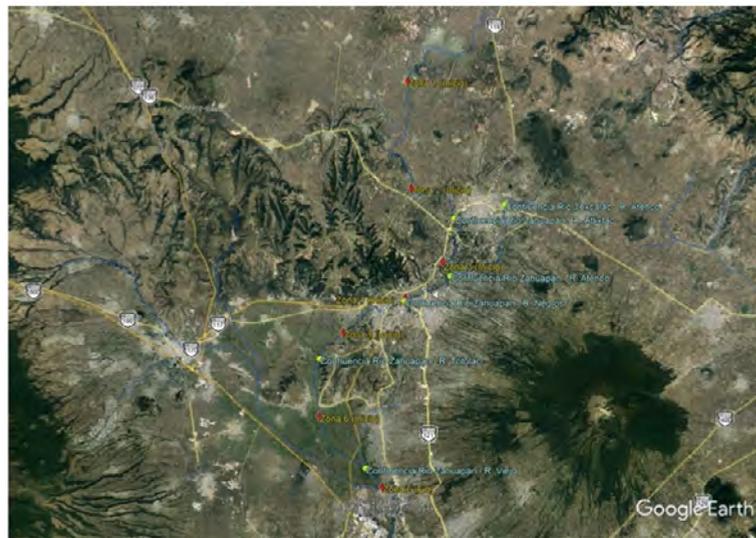
Uno de los objetivos del monitoreo del río Zahuapan y sus afluentes, es dar seguimiento a la calidad del agua y determinar cuantitativamente si existe mejora o deterioro con respecto a la situación que guardaban estos cuerpos de agua cuando se realizó el estudio de clasificación.

La tabla 85 contiene los sitios de la RNMCA y sus equivalentes en el Estudio de Clasificación. Se incluyen las claves de la Red Nacional de Monitoreo (CLAVE_RNM), y sus correspondientes en el Estudio de Clasificación (CL_EST). En la tabla se indica también la zona en que



se encuentra cada sitio, así como su orden, esto es, orden 1 para los sitios que se encuentran en el río Zahuapan, orden 2 para los sitios en afluentes, y orden 3 para los sitios en la presa Atlangatepec.

Figura 80. Zonas en que se dividió el río Zahuapan y sus afluentes para su estudio y regulación de las descargas de aguas residuales



CONAGUA, 2020

Tabla 84. Contaminantes que deberán cumplir las descargas de aguas residuales en los ríos Zahuapan y Atipac o Atenco o Apizaco, y sus afluentes

Contaminantes	
Plazo 1	Plazos 2 y 3
Grasas y aceites	Grasas y aceites
Materia flotante	Materia flotante
Sólidos sedimentables	Sólidos sedimentables
Sólidos suspendidos totales	Sólidos suspendidos totales
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)
Nitrógeno total	Nitrógeno total
Fósforo total	Fósforo total
Potencial de hidrógeno	Potencial de hidrógeno
Arsénico	Arsénico
Cadmio	Cadmio
Cobre	Cobre
Cromo	Cromo

Mercurio	Mercurio
Níquel	Níquel
Plomo	Plomo
Zinc	Zinc
Cianuro	Cianuros
Coliformes fecales	Coliformes fecales
Huevos de helminto	Huevos de helminto
	Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)
	Demanda química de oxígeno
	Color (escala Pt-Co)
	Conductividad eléctrica
	Nitrógeno amoniacal
	Fenoles totales
	Sulfatos
	Hierro
	Manganeso
	Cloruros
	Aluminio
	Toxicidad aguda (Vibrio fischeri y Daphnia magna)
	Hidrocarburos aromáticos polinucleares
	2,4 Dinitrotolueno
	N-Nitrosodi-N-Propilamina
	Bis (2-Cloroetil) Éter
	Bis 2 (Etilhexil) Ftalato
	Dietiltalato

Fuente: Estudio de Clasificación del río Zahuapan, Puebla –Tlaxcala⁷.

CONAGUA; 2020

Tabla 85. Sitios de a RMN y del estudio de Clasificación, en el río Zahuapan y sus afluentes

CLAVE_RNM	CL_EST	DESCRIPTOR	ZONA	SITIO-RNM	ORDEN
DLTA2571		P. ATLANGA 5	1	Presa Atlanga Zahuapan (presa San José Atlanga 5)	3
DLTA2569		P. ATLANGA 3	1	Presa Atlanga La Herradura (presa San José Atlanga 3)	3
DLTA2568		P. ATLANGA 6	1	Presa Atlanga Zacapexco (presa San José Atlanga 6)	3
DLTA2567		P. ATLANGA 4	1	Presa Atlanga aeropuerto (presa San José Atlanga 4)	3
DLTA2566		P. ATLANGA 7	1	Presa Atlanga centro oriente (presa San José Atlanga 7)	3
DLTA2565		P. ATLANGA 2	1	Presa Atlanga Santa Clara Ozumba (presa San José Atlanga 2)	3
DLTA2570		P. ATLANGA CORT	1	Presa Atlanga cortina (presa de Atlangatepec 3)	3
DLTA2572	Z-01	aa PRESA ATLANGA	1	Zahuapan-presa Atlanga	1
DLTA2562	AAZ-01	A. ATLIXTACA	2	Procter & Gamble Manufactura, S. de R.L. de C.V. (aguas abajo)	2
DLTA2560	Z-02	AA CASC ATLIH	2	Río Zahuapan aguas arriba de la cascada Atlihuetzia	1
DLTA2561	Z-03	aa CASC ATLIH	3	Río Zahuapan aguas abajo de la cascada Atlihuetzia	1
DLTA2559	RAZ-01	R. ATENCO	3	Río Atenco antes de confluencia con río Zahuapan	2
DLTA2557	Z-04	AA R. LOS NEGROS	4	Z- 04 Confluencia río Zahuapan río de Los Negros/ Tlaxcala	1
DLTA2558	RNZ-01	R. LOS NEGROS	4	Río de Los Negros antes de confluencia con río Zahuapan	2
DLTA2556		PTE. TLAX-SMARTIN	4	Puente carretera Tlaxcala-San Martín (El Trébol)	1
DLTA2555		BCA. HUEHUETITLA	4	Barranca Huehuetitla antes de la confluencia con el río Zahuapan	2
DLTA2554		aa HORIZONTES S.A	4	Horizontes, S.A. de C.V. (aguas abajo)	1
DLTA2552	Z-05	AA DER. PANOTLA	4	Río Zahuapan antes derivadora Panotla	1
DLTA2551	RTZ-01	R. TOTOLAC	5	Antes de la confluencia con el río Zahuapan	2
DLTA2554M1		aa R. TOTOLAC	5	Río Zahuapan aguas abajo de la confluencia del río Totolac	1
DLTA2549	Z-06	AA P. STA. AGUEDA	6	Río Zahuapan aguas arriba de presa Santa Agueda	1
DLTA2548	RVZ-01	R. VIEJO	6	Río Viejo antes de la confluencia con el río Zahuapan	2
DLTA2545	Z-07	AA R. ATOYAC	6	Antes de la confluencia con el río Atoyac	1

A.A = aguas arriba
a.a= aguas abajo

CONAGUA, 20120

Evolución de la contaminación del río Zahuapan y sus afluentes

La tabla 86 contiene los indicadores anuales de 2012 a 2019, así como las concentraciones promedio determinadas en el Estudio de Clasificación. Se incluye Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Coliformes Fecales (CF) y Toxicidad Aguda (TOX).

Tabla 86a. Indicadores de calidad del agua superficial de 2012 a 2019 y resultados del Estudio de Clasificación (CONAGUA, 2020).

CLAVE_RNM	Demanda Bioquímica de Oxígeno									Demanda Química de Oxígeno								
	Estudio	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Estudio	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DLTLA2571	56	23.7	21	4	4.9	4.2	4.3	10.2		94.3	75.1	153	33.4	42.3	31.9	43.7	51.4	
DLTLA2569	28	9.5	19.9	2.3	1.7	6.6	4	11.4		66.1	94.9	84.8	30.4	34.5	22.8	34.4	68.2	
DLTLA2568	18.5	63.2	14.9	4.1	3.2	4.1	3.3	7.2		84.3	276.4	148.1	38.6	33	54.5	4.3	45.4	
DLTLA2567	18.5	20.1	8.1	5.5	3.1	5	4	2.8		106.8	68.7	116.1	46.7	38.4	32.2	40.3	34.6	
DLTLA2566	17	34.4	10.3	16.5	5.3	6.3	4.3	10.4		81.8	93.2	77.2	54.8	37	45.1	46.5	73.2	
DLTLA2565	18	9.1	15.2	2.2	2.1	4.4	3	12.4		89.3	53.3	79	39.5	39.5	48.7	31.3	74.3	
DLTLA2570	27	8.4	31.2	1.9	2.2	3.3	3	3.6		42.1	40.2	75.8	36.3	31.8	26.1	32.7	41.8	
DLTLA2572	86.2	4.8	6.8	4	3.6	5.8	1.7	2	283.1	39	61.7	47.1	41.1	48.3	40.5	22.5		
DLTLA2562	20	13.5	7.5	47.9	12.8	51.1	48.3	35.5	42.5	32.5	67.6	72.1	120.4	54.4	139.9	122.2	87	74
DLTLA2560	60.5	10.7	13	15.2	10	22.4	17	16.5	14.7	78.7	42.1	104.4	109.8	51	169.5	67.2	92.7	57.3
DLTLA2561	40	18	12	10.9	12.6	13.8	13.8	13.5	12.1	94.2	43.1	121.9	93.1	43.1	124.5	52.5	90.2	46.9
DLTLA2559	183.5	29	106.7	49.2	38.7	42.1	27	41	57.3	420	185	167.8	151.1	156.1	130.7	192.6	151.6	
DLTLA2557	91.9	62	25.8	13.4	26	21.1	15.8		30.9	267.3		121.2	103.8	113.6	123.3	81.5	115.8	
DLTLA2558	359.7	185	145	100.4	228.3	88.3	110	93.3	63.4	612.4		219.5	225.3	479.2	255.3	291	316.5	280.2
DLTLA2556		40	46	15	23.7	25	21.5	24.2	53.4		73.1	140.7	92.8	63.9	123.2	84.9	113.7	418.9
DLTLA2555		1	15.7	15.2	28	53.3	14.8	33.7	110		36.2	72.8	108.2	44.5	137.8	51.5	142.4	442.2
DLTLA2554		12	31	36	31						73.6	152.7	160.3	98.3				
DLTLA2552	99.4	16.5	60.8	21.7	35.8	30.9	21.3	36	34.3	173.4	58.6	168.5	144.2	112.7	149	117.1	148.1	140
DLTLA2551	150.3	10.7	15.5	16.4	9.7	27.3	14.3	15.3	47.3	447.9	47.6	199.2	87	62.5	168.9	71	77.5	148.1
DLTLA2554M1						32	17.3	23	29.3					140.6	68.4	91.9	95.4	
DLTLA2549	46.5	32	16	27.4	14.7	18	22	23.3	39	142	61.6	159.5	118.1	73.4	159.7	68.6	55.8	189.8
DLTLA2548	205	27	98	63.3	59.3	113	73.3	38.3	41.6	617.8	45.6	351.8	186.8	202.9	263.8	202.4	142.3	206.3
DLTLA2545	91.2	46	62.3	54.6	30.2	80	28.5	43.3	29.9	255.7		185.4	149.4	140.2	297.4	83.8	153.2	144.9

Tabla 86b. Continuación de indicadores de calidad del agua superficial de 2012 a 2019 y resultados del Estudios de Clasificación

CLAVE_RNM	Sólidos Suspendedos Totales									Toxicidad aguda								
	Estudio	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Estudio	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DLTLA2571	61	29	57.7	18.5	19	19	14	22		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
DLTLA2569	31	35.5	25	13.5	17.5	16	12	16		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
DLTLA2568	28	65	88.2	21.5	25.5	41.3	15	15		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
DLTLA2567	23	74.9	11.5	23.5	17.5	19.5	14	10		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
DLTLA2566	24	22.5	26.5	17.5	16	14	15	14		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
DLTLA2565	31	27.5	25	20	39.5	16	15	19		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
DLTLA2570	30	40.5	25.5	16	17	15	11	15		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
DLTLA2572	110	12	18	14	15.4	8	5	13.5		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
DLTLA2562	240	11	5	36.5	5	19.5	26.3	20.5	17.5		0.5	0.5	2.3	0.5	2.8	2	6.7	0.5
DLTLA2560	< 5	327	44.5	60.3	42.8	21.5	17.5	27.5		0.5	0.5	0.5	0.5	2.7	0.5	5.3	0.5	
DLTLA2561	< 5	21.5	55.9	34	19	14.5	9	19		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
DLTLA2559	70	74	35.5	43.1	48.1	68.5	37.5	42.3		0.5	0.5	1.5	3.2	3.1	1.9	0.5	1.1	
DLTLA2557	70	42.3	50	74.2	60.4	50.9		161.7		0.5	0.5	0.5	4.1	1.8	2.4		0.5	
DLTLA2558	310	27	100	158	52.1	56	59.9	53.4		0.5	2	3	5.6	4.8	5.7	12.4	9.2	
DLTLA2556	40	5	165	75.5	150.1	75.5	50.8	97.5		0.5	0.5	0.5	2.4	2.1	1.9	1	0.5	
DLTLA2555	8	10.5	124.8	40.1	102.1	63.8	83.3	105.7		0.5	0.5	0.5	0.5	2.1	2.3	4.7	6.6	
DLTLA2554	45	5	202.1	91.3						0.5	0.5	0.5	3.8					
DLTLA2552	200	36	18	79.2	44.5	69	76.2	51	43		0.5	0.5	3.8	3.2	2.1	1.5	0.5	0.5
DLTLA2551	50	6	11.3	61.3	55.4	47	36	24	22.8		0.5	0.5	0.5	1.4	2.2	0.5	0.5	1.9
DLTLA2554M1						72.9	64.5	50.5	132.8					4.5	0.5	0.5	0.5	
DLTLA2549	60	107	55	220.9	85	52.6	114.8	30.5	99.5		0.5	0.5	0.5	0.5	2.9	1.4	0.5	0.5
DLTLA2548	220	28	36.5	43.5	40.8	54.3	66.5	40	34.2		0.5	3.1	4.8	6.7	3.4	2.5	5.6	1.3
DLTLA2545	45	54	72.8	91	95.1	92.5	133.7	55.8	62.5		0.5	0.5	6	3.8	4.4	3.1	4.3	0.5

CONAGUA, 2020



Tabla 86c. Continuación de indicadores de calidad del agua superficial de 2012 a 2019 y resultados del Estudios de Clasificación

CLAVE_RNM	Coliformes fecales								
	Estudio	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DLTLA2571		20		14,300	2,375	14,300	7,800	430	24000
DLTLA2569		1.5		2,400	6,700	430	5,501	90	40
DLTLA2568		4		12,750	4,600	17,500	6,250	930	750
DLTLA2567		9		55	1,215	1,665	11,000	90	430
DLTLA2566				21	785	6,700	11,000	230	90
DLTLA2565		21		930	376	680	2,415	90	70
DLTLA2570		15		135	485	715	3,500	90	3
DLTLA2572	2,400,000		1,100	1,200	1,065	1,125	3,050	580	230.5
DLTLA2562	1,100,000	2,400	2,300	17,500	24,000	24,000	24,000	24,000	24,098
DLTLA2560	2,400,000		1,800	24,000	24,000	11,000	24,000	17,500	24,098
DLTLA2561	2,400,000		2,400	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	61,020
DLTLA2559	2,400,000		2,250	24,000	24,000	17,500	24,000	24,000	132,980
DLTLA2557	2,400,000		2,800	24,000	24,000	7,800	24,000		132,980
DLTLA2558	2,400,000		3,000	24,000	24,000	6,700	24,000	24,000	132,980
DLTLA2556		2,400	2,400	24,000	24,000	24,000	24,000	11,000	132,980
DLTLA2555		2,400	3,500	17,500	24,000	24,000	24,000	24,000	132,980
DLTLA2554		2,400	4,250	24,000	24,000				
DLTLA2552	1,100,000		3,900	24,000	24,000	17,500	24,000	14,300	24,098
DLTLA2551	1,100,000	1.5	24,000	24,000	24,000	17,500	24,000	24,000	132,980
DLTLA2554M1						24,000	24,000	24,000	132,980
DLTLA2549	4,600,000	9	2,400	24,000	24,000	17,500	24,000	24,000	132,980
DLTLA2548	4,600,000	210	9,300	24,000	24,000	17,500	24,000	24,000	24,098
DLTLA2545	460,000	2,400	4,600	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	132,980

CONAGUA, 2020

Las fig.s 92 a la 96 contienen la evolución de otros contaminantes que se encontraron ampliamente distribuidos en el cauce del río y en las inmediaciones de las confluencias de sus afluentes, estos son, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, color verdadero, sustancias activas al azul de metileno (SAAM) y fósforo total.

En las fig.s 87 a 91, se presenta la evolución de estos Indicadores. Las barras representan los resultados del Estudio de Clasificación y las líneas, las medianas de las concentraciones anuales de los contaminantes.



Figura 87a. Seguimiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el río Zahuapan y sus afluentes

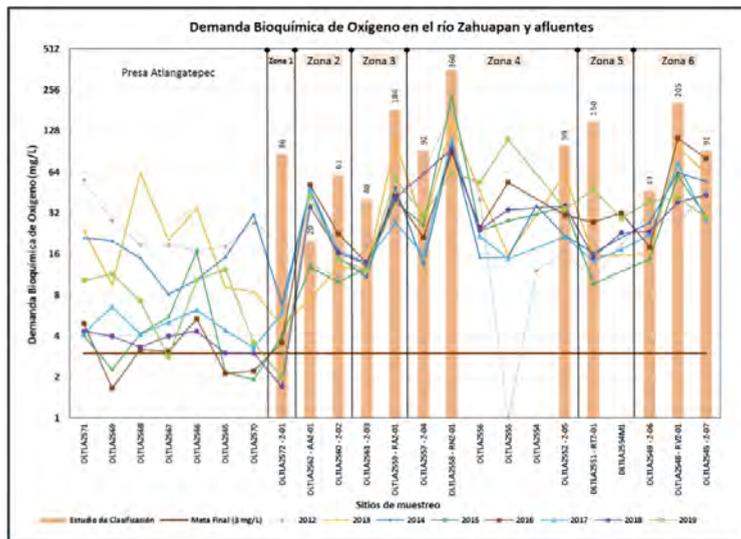


Figura 87b. DBO en el río Zahuapan

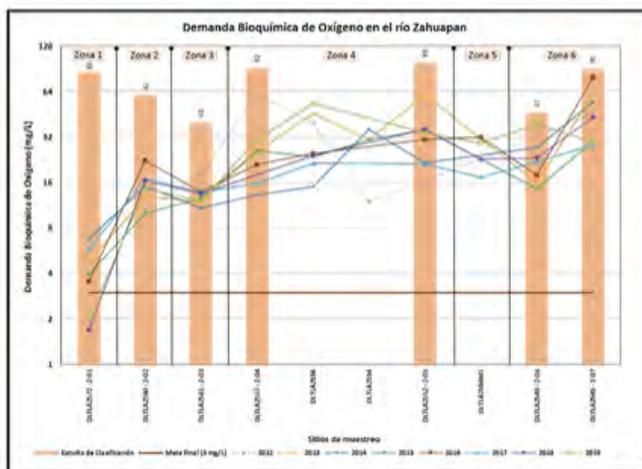


Figura 87c. DBO en presa y afluentes del río Zahuapan

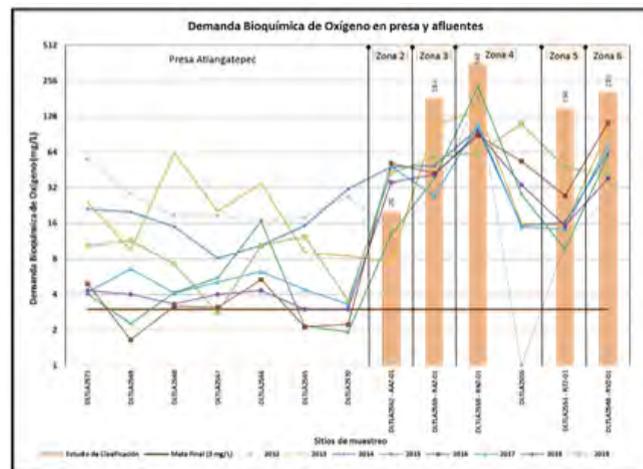


Figura 88a. Seguimiento de la Demanda Química de Oxígeno en el río Zahuapan y sus afluentes

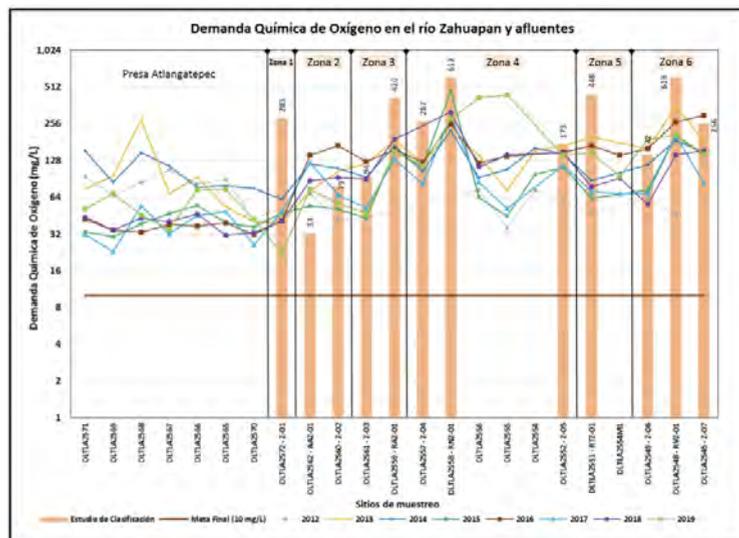


Figura 88b. DQO en el río Zahuapan

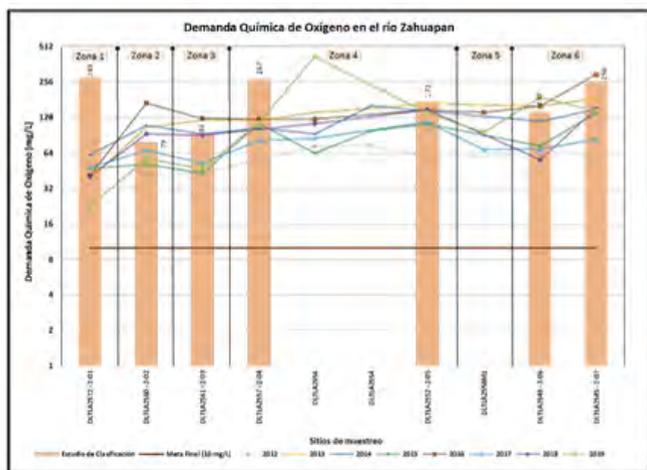


Figura 88c. DQO en presa y afluentes del río Zahuapan

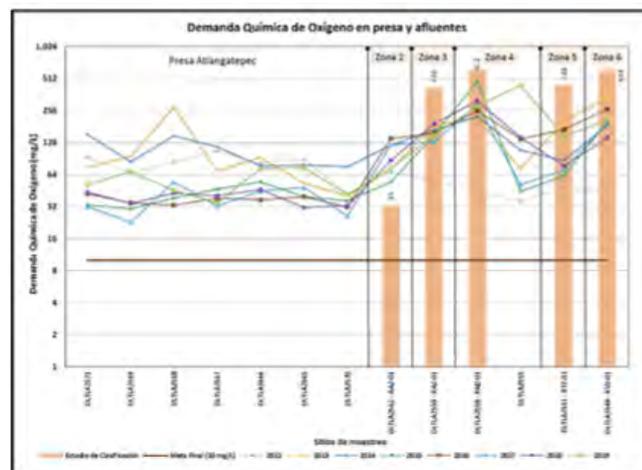


Figura 89a. Seguimiento de los Sólidos Suspendidos Totales en el río Zahuapan y sus afluentes

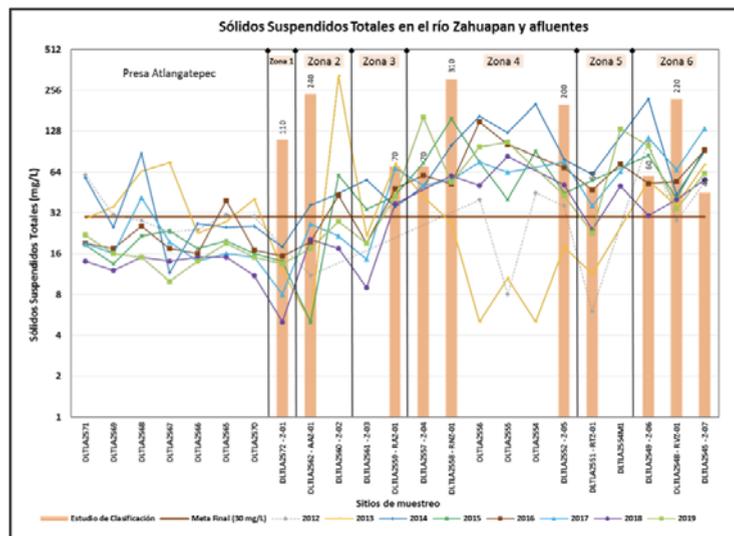


Figura 89b. SST en el río Zahuapan

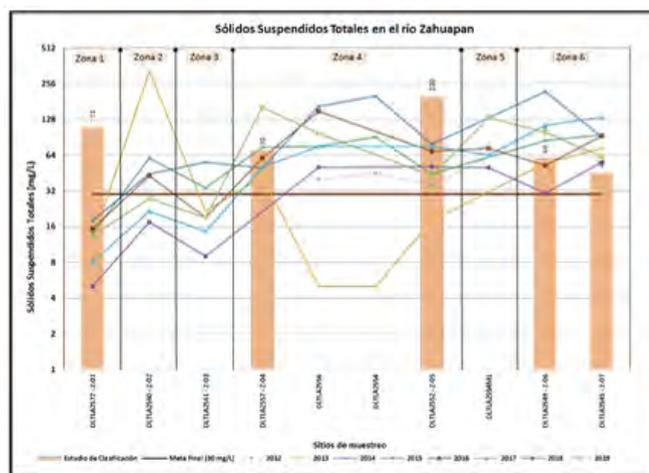


Figura 89c. SST en presa y afluentes del río Zahuapan

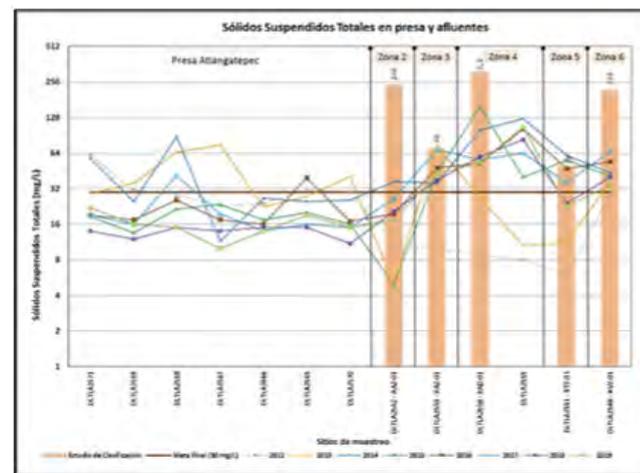


Figura 90a. Seguimiento de Coliformes Fecales en el río Zahuapan y sus afluentes

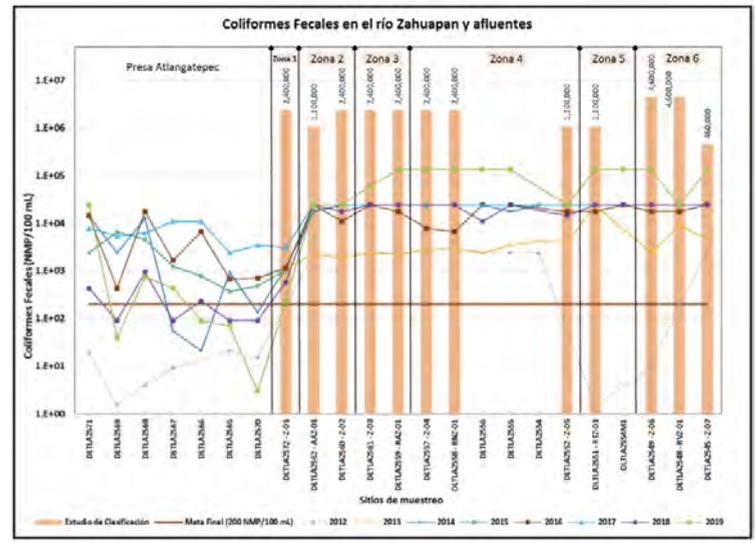


Figura 90b. Coliformes Fecales en el río Zahuapan

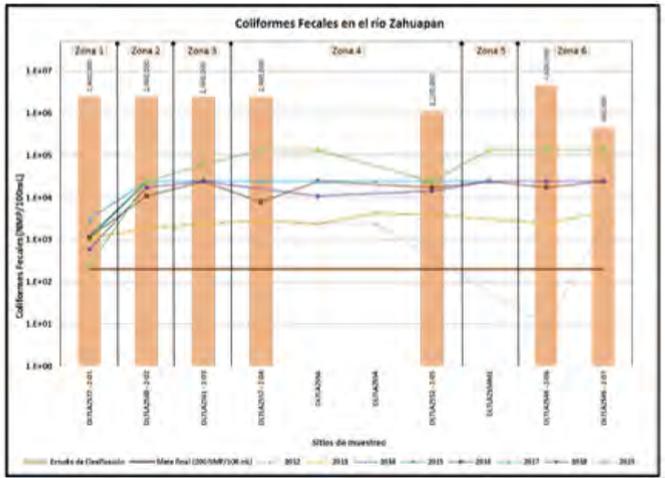


Figura 90c. Coliformes Fecales en la presa y fluentes del río Zahuapan.

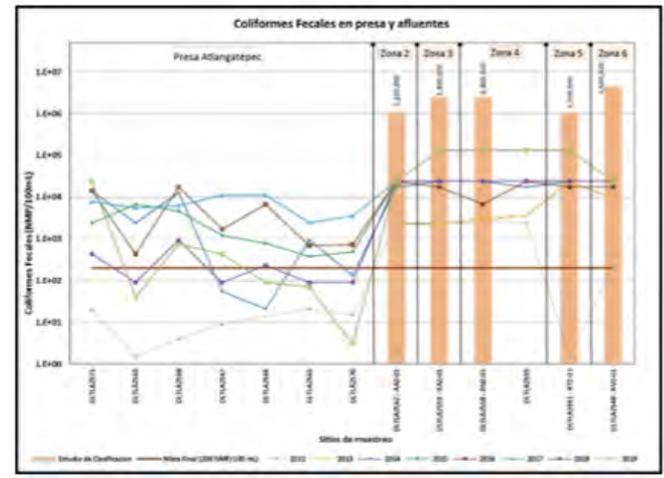


Figura 91a. Seguimiento de la toxicidad en el río Zahuapan y sus afluentes

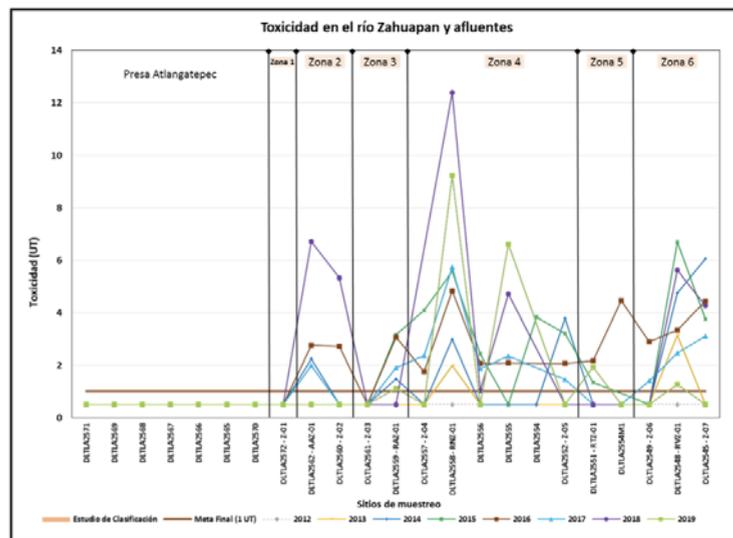


Figura 91b. Toxicidad en el río Zahuapan

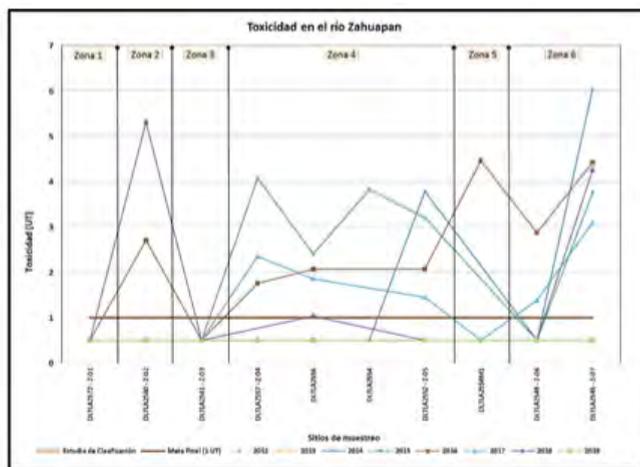


Figura 91c. Toxicidad en presa y afluentes del río Zahuapan.

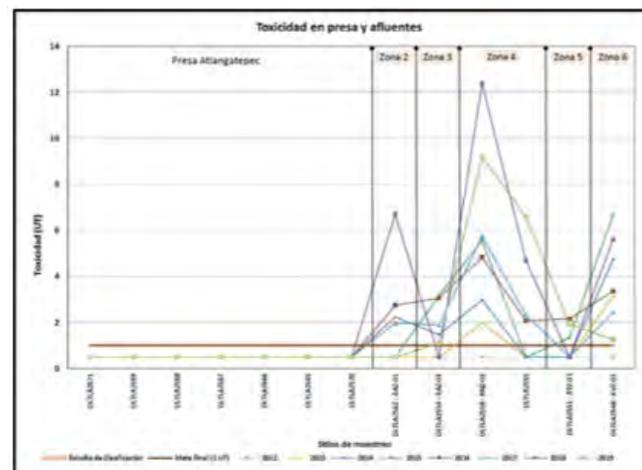


Figura 92a. Seguimiento de Nitrógeno total en el río Zahuapan y sus afluente

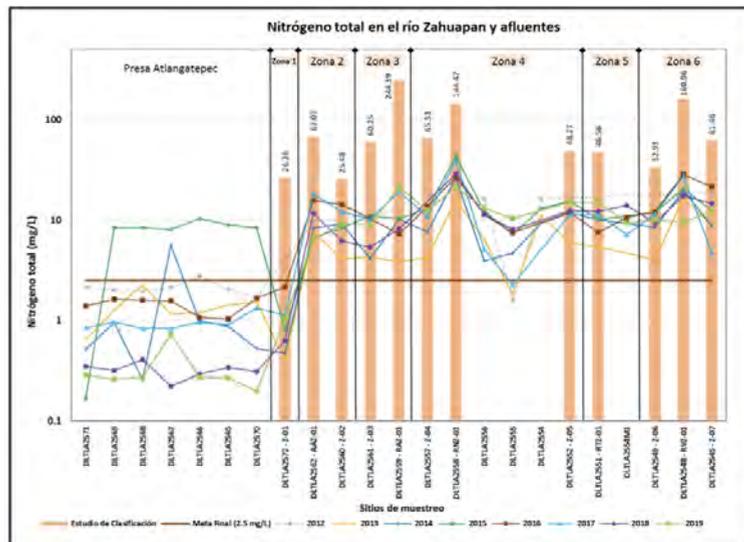


Figura 92b. Nitrógeno total en el río Zahuapan

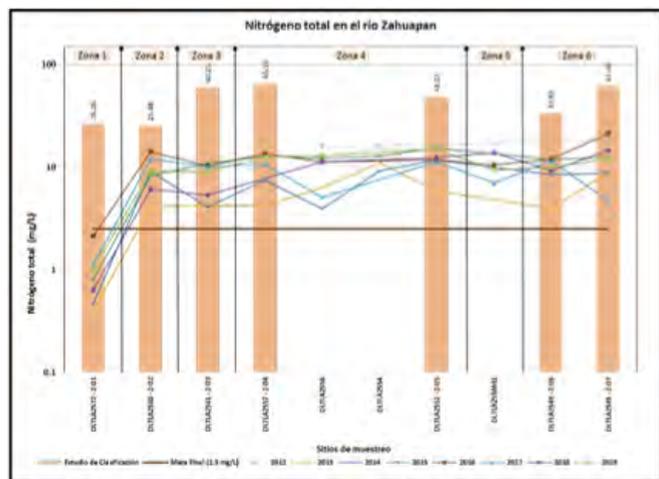


Figura 92c. Nitrógeno total en presa y afluentes del río Zahuapan.

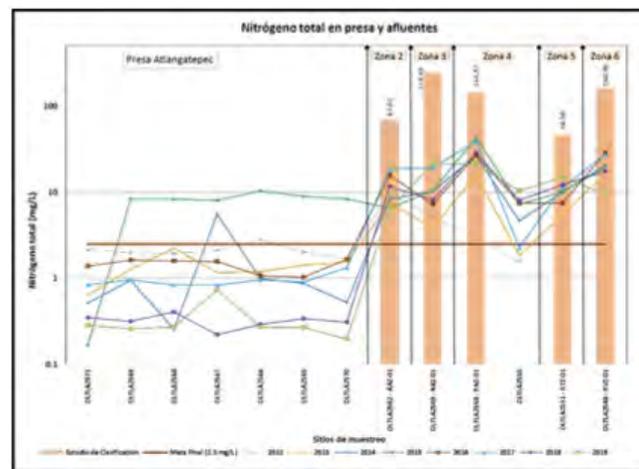


Figura 93a. Seguimiento de Nitrógeno amoniaco en el río Zahuapan y sus afluentes

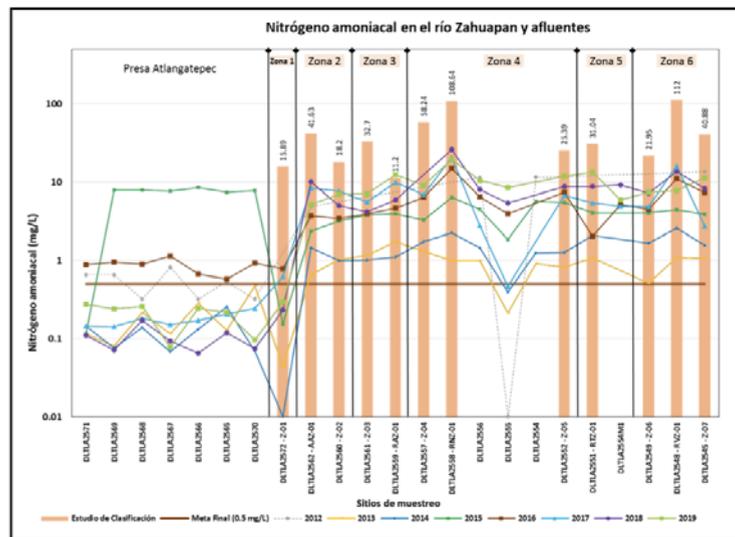


Figura 93b. Nitrógeno amoniaco en el río Zahuapan

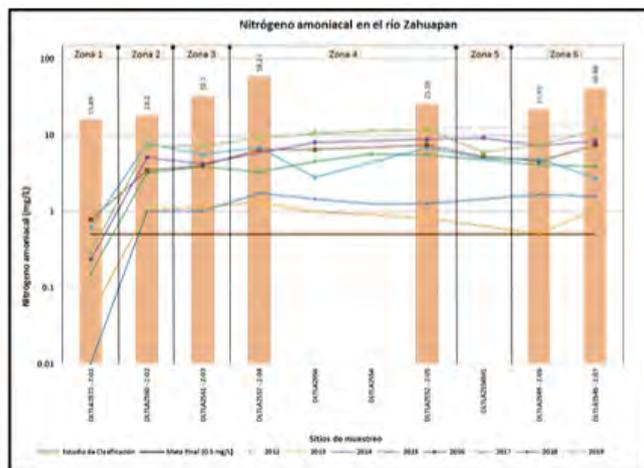


Figura 93c. Nitrógeno amoniaco en presa y afluentes del río Zahuapan.

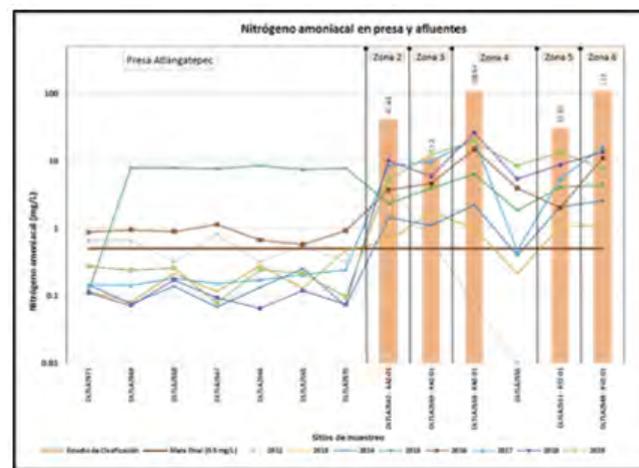


Figura 94a. Seguimiento del Color en el río Zahuapan y sus afluentes

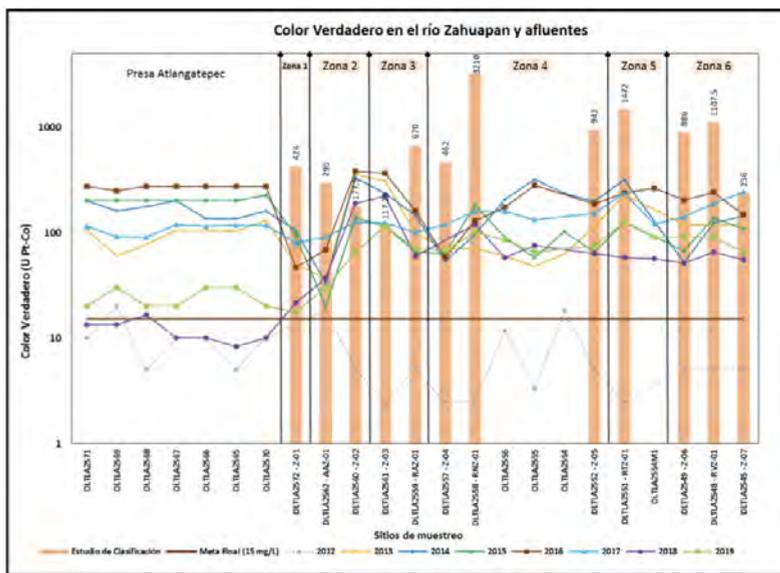


Figura 94b. Color en el río Zahuapan

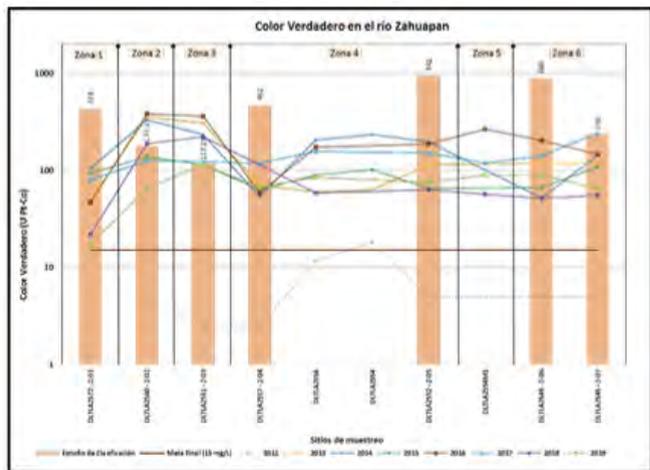


Figura 94c. Color en presa y afluentes del río Zahuapan.

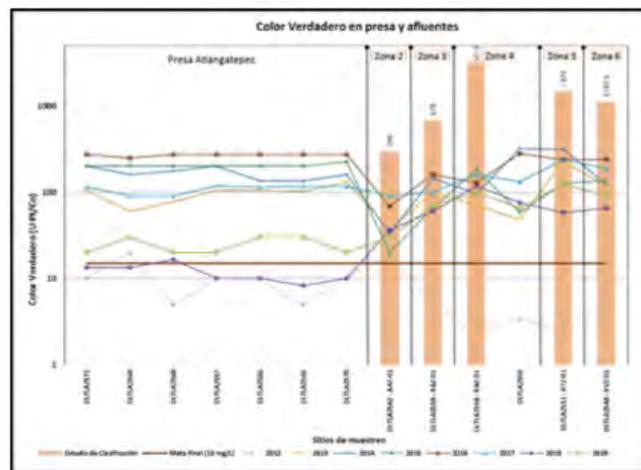


Figura 95a. Seguimiento de SAAM en el río Zahuapan y sus afluentes

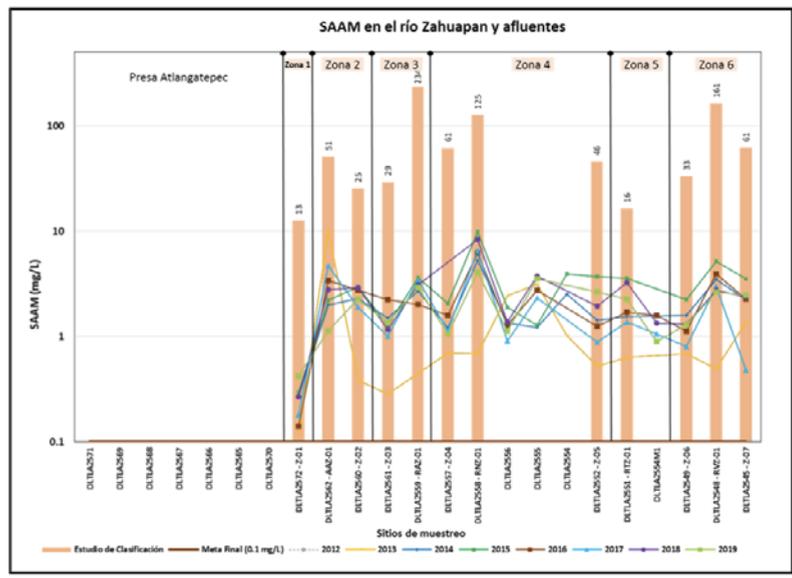


Figura 95b. SAAM en el río Zahuapan

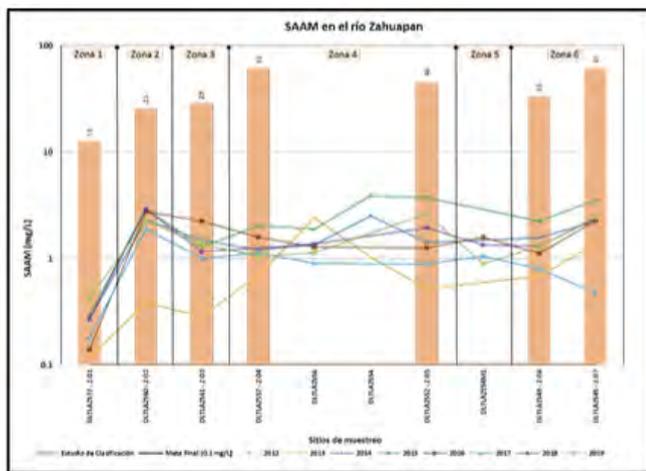


Figura 95c. SAAM en presa y afluentes del río Zahuapan.

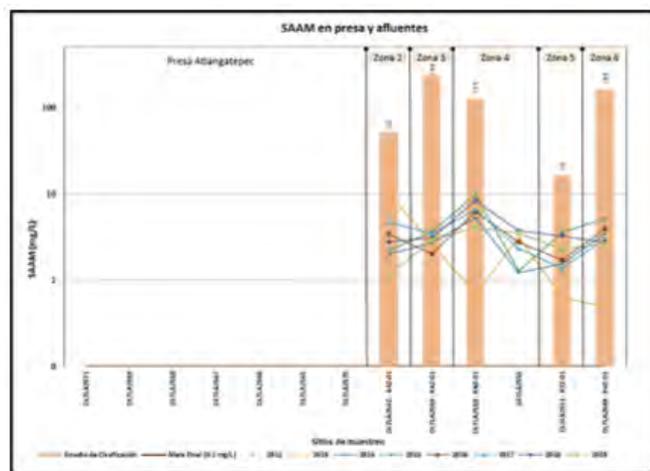


Figura 16a. Seguimiento de Fósforo total en el río Zahuapan y sus afluentes

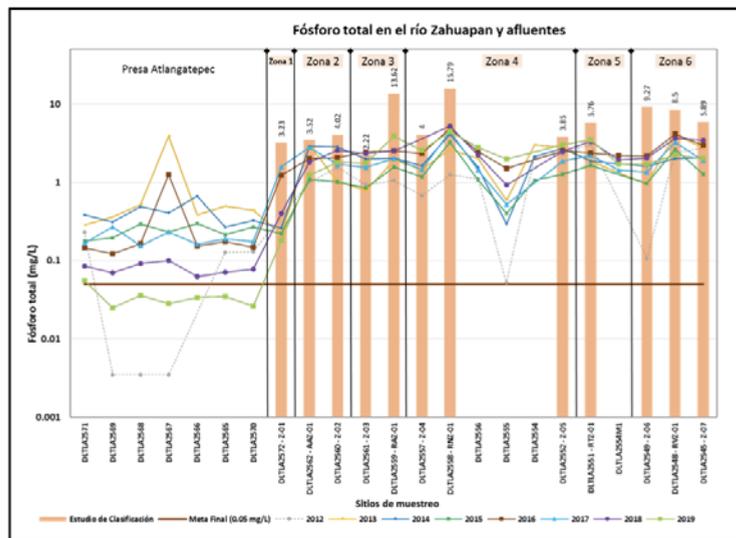


Figura 16b. Fósforo total en el río Zahuapan

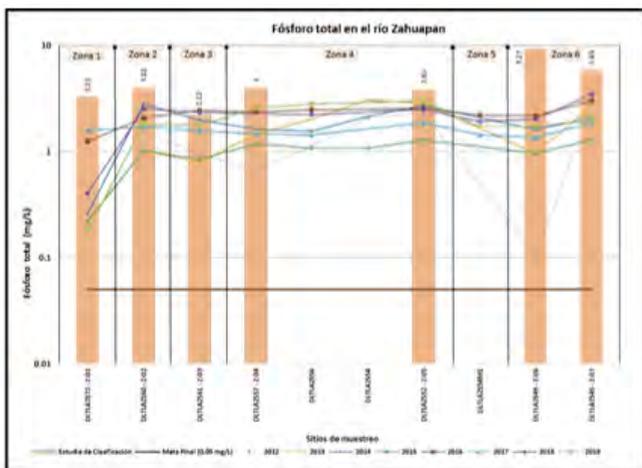
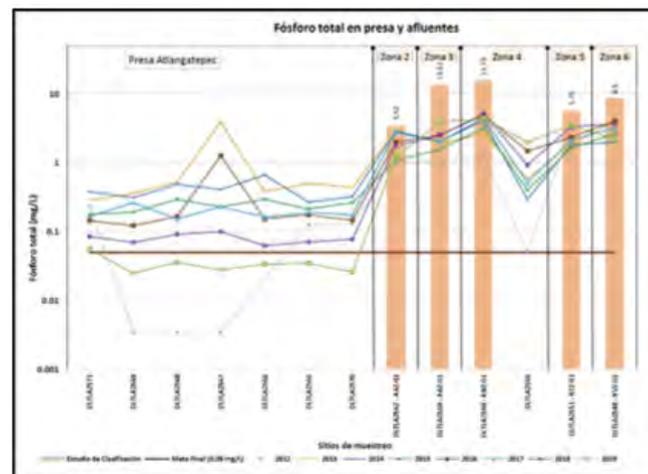


Figura 16c. Fósforo total en presa y afluentes del río Zahuapan



Con base en los Indicadores de Calidad del Agua de la **tabla 86** y sus escalas de calificación, **fig. 82**, así como los promedios de las concentraciones anuales para otros parámetros regulados, y las Metas del Estudio de Clasificación, se determinó la contaminación en cada zona del río Zahuapan, y en la presa Atlangatepec, **tablas 97 y 98**.

Tabla 97. Contaminación en el río Zahuapan, sus afluentes y presa

Corriente principal	Zona	DBO	DQO	SST	CF	TOX	AS	CD	CR	HG	PB	NT	PT	NH3	COLOR	CN	SAAM
Río Zahuapan	1	IC-	C	NC	C	IT-	NC	NC	IC-	IC-	NC	NC	C	IC-	C	IC-	C
Río Zahuapan	2	C	C	IC-	FC	IT-	NC	IC-	IC-	C	NC	C	C	C	C	NC	C
Río Zahuapan	3	C	C	IC-	FC	IT-	NC	NC	IC-	IC-	NC	C	C	C	C	IC-	C
Río Zahuapan	4	C	FC	C	FC	IT-	NC	NC	NC	IC-	IC-	C	C	C	C	IC-	C
Río Zahuapan	5	C	C	C	FC	IT-	NC	NC	C	IC-	NC	C	C	C	C	NC	C
Río Zahuapan	6	C	C	C	FC	IT-	NC	NC	IC-	C	NC	C	C	C	C	NC	C
Afluentes																	
A. Atlixnac	2	C	C	IC-	FC	IT-	NC	IC-	C	NC	IC-	C	C	C	C	NC	C
R. Atenco	3	C	C	C	FC	T	NC	IC-	IC-	NC	IC-	C	C	C	C	NC	C
R. Los Negros	4	C	FC	C	FC	TA	NC	NC	NC	IC-	IC-	C	C	C	C	NC	C
Bca. Huehuetitla	4	C	FC	C	FC	TA	NC	NC	NC	NC	IC-	C	C	C	C	NC	C
Río Totolac	5	C	C	IC-	FC	T	NC	NC	NC	NC	NC	C	C	C	C	NC	C
R. Viejo	6	C	C	C	FC	T	NC	NC	NC	NC	NC	C	C	C	C	NC	C
Presa																	
Presa Atlangatepec	0	IC	C	IC-	IC	NT	NC	IC-	IC-	IC-	IC-	IC-	IC-	IC-	C	SD	SD

CONAGUA, 2020

Tabla 98. Abreviaciones utilizadas en la **Tabla 5**, para la contaminación del agua en el río Zahuapan y sus afluentes

Abreviación	Significado
C	Contaminada (la concentración del contaminante es superior a la meta)
NC	No contaminada (la concentración del contaminante es igual o menor a la meta)
IC	Con indicios de contaminación (ocasionalmente se encontró un sitio con concentraciones no mayores a 5 veces la meta, de 2012 a 2019)
IC-	Con indicios de contaminación, pero no contaminada en 2019
IT-	Con indicios de toxicidad, pero no tóxico en 2019
T	Tóxico
TA	Toxicidad alta (la toxicidad se encuentra por arriba de 5 UT)
NT	No tóxico
SD	Sin dato
FC	Fuertemente contaminada, la concentración del contaminante se encuentra por arriba de las concentraciones siguientes:
	120 mg/L para DBO
	200 mg/L para DQO
	400 mg/l. para SST
	10,000 NMP/100 mL para CF

CONAGUA, 2020



Figura 82. Indicadores de la calidad del agua de cuerpos lóticos y lénticos

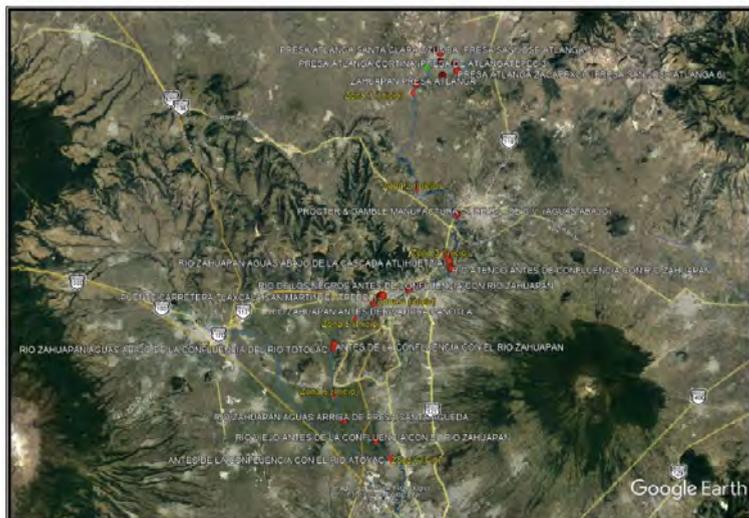
CALIDAD DEL AGUA DE CUERPOS LÓTICOS								
INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA			CALIFICACIÓN, CÓDIGO DE COLORES Y ESCALA DE CALIDAD DEL AGUA DEL INDICADOR					SEMAFORO
INDICADOR	ABREVIACIÓN	UNIDADES	CUMPLIMIENTO			INCUMPLIMIENTO		COLOR DEL SEMAFORO EN CASO DE INCUMPLIMIENTO DEL INDICADOR
			EXCELENTE	BUENA CALIDAD	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, 5 DÍAS	DBO	mg/L	DBO<=3	3<DBO<=6	6<DBO<=30	30<DBO<=120	DBO>120	ROJO
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	DQO	mg/L	DQO<=10	10<DQO<=20	20<DQO<=40	40<DQO<=200	DQO>200	ROJO
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SST	mg/L	SST<=25	25<SST<=75	75<SST<=150	150<SST<=400	SST>400	AMARILLO
COLIFORMES FECALES	CF	NMP/100 mL	CF<=100	100<CF<=200	200<CF<=1000	1000<CF<=10000	CF>10000	AMARILLO
ESCHERICHIA COLI	EC	NMP/100 mL	EC<=126	126<EC<=576	576<EC<=850	850<EC<=1000	EC>1000	AMARILLO
PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELT	OD	%	70<OD<=110	50<OD<=70 Y 110<OD<=120	30<OD<=50 Y 120<OD<=130	10<OD<=30 Y 130<OD<=150	OD<=10 Y OD>150	AMARILLO
INDICADOR	ABREVIACIÓN	UNIDADES	CUMPLIMIENTO			INCUMPLIMIENTO		COLOR DEL SEMAFORO EN CASO DE INCUMPLIMIENTO DEL INDICADOR
			NO TÓXICO	TOXICIDAD BAJA	TOXICIDAD MODERADA	TOXICIDAD ALTA		
TOXICIDAD DAPHNIA MAGNA, 48 h	TA	Unidades de Toxicidad	TA < 1	1<=TA<=1.33	1.33<TA< 5	TA >= 5		ROJO
TOXICIDAD VIBRIO FISCHER, 15 min	TA	Unidades de Toxicidad	TA < 1	1<=TA<=1.33	1.33<TA< 5	TA >= 5		ROJO
TOODS LOS INDICADORES								VERDE

CALIDAD DEL AGUA DE CUERPOS LÉNTICOS								
INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA			CALIFICACIÓN, CÓDIGO DE COLORES Y ESCALA DE CALIDAD DEL AGUA DEL INDICADOR					SEMAFORO
INDICADOR	ABREVIACIÓN	UNIDADES	CUMPLIMIENTO			INCUMPLIMIENTO		COLOR DEL SEMAFORO EN CASO DE INCUMPLIMIENTO DEL INDICADOR
			EXCELENTE	BUENA CALIDAD	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, 5 DÍAS	DBO	mg/L	DBO<=3	3<DBO<=6	6<DBO<=30	30<DBO<=120	DBO>120	ROJO
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	DQO	mg/L	DQO<=10	10<DQO<=20	20<DQO<=40	40<DQO<=200	DQO>200	ROJO
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SST	mg/L	SST<=25	25<SST<=75	75<SST<=150	150<SST<=400	SST>400	AMARILLO
COLIFORMES FECALES	CF	NMP/100 mL	CF<=100	100<CF<=200	200<CF<=1000	1000<CF<=10000	CF>10000	AMARILLO
ESCHERICHIA COLI	EC	NMP/100 mL	EC<=126	126<EC<=576	576<EC<=850	850<EC<=1000	EC>1000	AMARILLO
PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELT, SUPERFICIAL	OD	%	70<OD<=110	50<OD<=70 Y 110<OD<=120	30<OD<=50 Y 120<OD<=130	10<OD<=30 Y 130<OD<=150	OD<=10 Y OD>150	AMARILLO
PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELT, MEDIA	OD	%	70<OD<=110	50<OD<=70 Y 110<OD<=120	30<OD<=50 Y 120<OD<=130	10<OD<=30 Y 130<OD<=150	OD<=10 Y OD>150	AMARILLO
PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELT, FONDO	OD	%	70<OD<=110	50<OD<=70 Y 110<OD<=120	30<OD<=50 Y 120<OD<=130	10<OD<=30 Y 130<OD<=150	OD<=10 Y OD>150	AMARILLO
INDICADOR	ABREVIACIÓN	UNIDADES	CUMPLIMIENTO			INCUMPLIMIENTO		COLOR DEL SEMAFORO EN CASO DE INCUMPLIMIENTO DEL INDICADOR
			NO TÓXICO	TOXICIDAD BAJA	TOXICIDAD MODERADA	TOXICIDAD ALTA		
TOXICIDAD DAPHNIA MAGNA, 48 h, SUPERFICIAL	TA	Unidades de Toxicidad	TA < 1	1<=TA<=1.33	1.33<TA< 5	TA >= 5		ROJO
TOXICIDAD DAPHNIA MAGNA, 48 h, FONDO	TA	Unidades de Toxicidad	TA < 1	1<=TA<=1.33	1.33<TA< 5	TA >= 5		ROJO
TOXICIDAD VIBRIO FISCHER, 15 min, SUPERFICIAL	TA	Unidades de Toxicidad	TA < 1	1<=TA<=1.33	1.33<TA< 5	TA >= 5		ROJO
TOXICIDAD VIBRIO FISCHER, 15 min, FONDO	TA	Unidades de Toxicidad	TA < 1	1<=TA<=1.33	1.33<TA< 5	TA >= 5		ROJO
TOODS LOS INDICADORES								VERDE



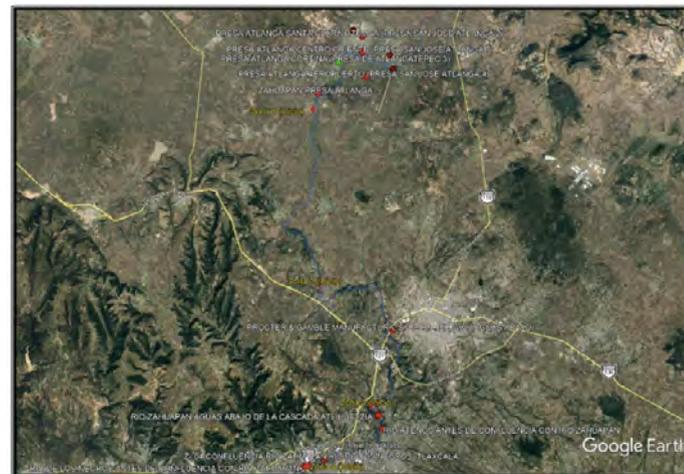
A continuación se presentan mapas de la calidad del agua del río Zahuapan y sus afluentes, (fig.s 83, 84 y 85) con base en los Indicadores de la calidad de agua superficial, para el periodo de 2012 a 2019, y las escalas de clasificación de la fig. 82.

Figura 83. Calidad del agua en el río Zahuapan, sus afluentes, y la presa Atlangatepec



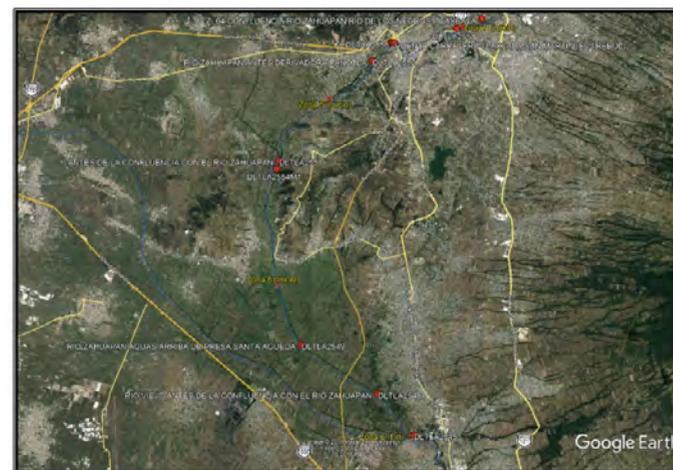
CONAGUA, 2020

Figura 84. Calidad del agua de las zonas 1, 2 y 3 del río Zahuapan, sus afluentes y la presa Atlangatepec



CONAGUA, 2020

Figura 85. Calidad del agua de las zonas 4, 5 y 6 del río Zahuapan y sus afluentes



CONAGUA, 2020



Cuadro resumen de la contaminación del río Zahuapan y sus afluentes

En la tabla 99, se resume la situación de cada uno de los contaminantes regulados en el Estudio de Clasificación del río Zahuapan y río Atipac o Atenco o Apozaco y sus afluentes.

Tabla 99, Contaminación del río Zahuapan y sus afluentes

Contaminante	Río Zahuapan	Afluentes
Demanda bioquímica de oxígeno	Si bien, hay una ligera disminución de la concentración de DBO con respecto al estudio, aún se presentan valores de 2 a 15 mg/L en las zonas 1, 2 y 3; y valores de 30 a 39 mg/L en las zonas 4, 5 y 6 lejos de la meta de 3 mg/L.	Ligera disminución de la DBO con respecto al estudio. En 2019, el arroyo Atlixac (zona 2) aumentó de 20 a 42 mg/L; los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Barranca Huehuetitla (zona 4), ríos Totolac (zona 5) y Viejo (zona 6), tienen concentraciones entre 57 y 110 mg/L, lejos de la meta de 3 mg/L. Las concentraciones en la presa, están por arriba de la meta (entre 3 y 12 mg/L).
Demanda química de oxígeno	Aunque se observa una ligera disminución de la concentración de DQO con respecto al estudio, en todas las zonas la concentración se encuentra lejos de la meta de 10 mg/L, rango entre 22 y 418 mg/L.	Aunque hay una ligera disminución de la DQO respecto al estudio, el arroyo Atlixac (zona 2) aumentó la concentración de 33 a 74 mg/L; y los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Barranca Huehuetitla (zona 4), ríos Totolac (zona 5) y Viejo (zona 6), tienen valores entre 152 y 442 mg/L, lejos de la meta. En la presa, las concentraciones se encuentran entre 35 y 73 mg/L.
Sólidos suspendidos totales	En las zonas 4, 5 y 6 las concentraciones están entre 43 y 162 mg/L, por arriba de la meta.	Aunque hay disminución de SST con respecto al estudio de clasificación, en 2018, los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Barranca Huehuetitla (zona 4), y Viejo (zona 6), presentan entre 34 y 105 mg/L de SST. En la presa, las concentraciones están por debajo de la meta.



Coliformes fecales	Ligera disminución de CF respecto al estudio de clasificación. En la zona 1 la concentración es de 230 NMP/100 mL, en las zonas 2, 3, 4, 5 y 6, la concentración se encuentra entre 24,098 y 132,980 NMP/100 mL, lejos de la meta de 200 NMP/100 mL.	Ligera disminución de CF con respecto al estudio de clasificación. Las concentraciones en el arroyo Atlixnac (zona 2), ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Barranca Huehuetitla (zona 4), ríos Totolac (zona 5) y Viejo (zona 6), están entre 24,098 y 132,980 NMP/100 mL, por arriba de la meta. De 7 sitios en la presa, 3 no cumplen con la meta.
Toxicidad aguda	La toxicidad en el cauce, en todas las zonas, cumple con la meta.	Los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Barranca Huehuetitla (zona 4), río Totolac (zona 5) y río Viejo (zona 6), se encuentran en un rango de 1.1 a 9.2 UT, por arriba de la meta.
Arsénico	No se encontró arsénico por arriba de la meta de 0.05 mg/L, por lo que el cauce del río no se encuentra contaminado con este metal.	No se encontró arsénico por arriba de la meta en ninguna de las zonas. La presa tampoco presenta contaminación por este metal.
Cadmio	A partir del año 2014, no se ha encontrado cadmio por arriba de la meta de 0.004 mg/L, en todas las zonas. Actualmente el cauce no se encuentra contaminado con este metal.	Desde el año 2016, no se ha encontrado cadmio por arriba de la meta de 0.004 mg/L. En la presa no se ha encontrado cadmio desde el año 2013.
Cromo	Se encontró cromo en la zona 5 de 0.066 mg/L, ligeramente por arriba de la meta de 0.05 mg/L. Las zonas 1, 2, 3, 4 y 6 tienen concentraciones que cumplen con la meta.	Se encontró cromo por arriba de la meta de 0.05 mg/L, en el arroyo Atlixnac (zona 2). Los afluentes de las zonas 3, 4, 5 y 6 no presentan contaminación por este metal. La presa tampoco presenta contaminación por este metal.
Mercurio	Se encontró mercurio por arriba de la meta de 0.0005 mg/L en las zonas 2 y 3 (en 2017), zona 4 (en 2015), zona 6 (en 2013); en las zonas 3 y 5 (en 2018), y en las zonas 2 y 6 (en 2019).	En 2017, las concentraciones de mercurio superaron la meta de 0.0005 mg/L, en la zona 3, y en la presa. Actualmente no hay contaminación por mercurio en los afluentes y la presa.
Plomo	Se encontraron concentraciones de plomo por arriba de la meta en 2014, en la zona 4. Actualmente no hay contaminación por plomo en el cauce del río Zahuapan, las concentraciones se encuentran por debajo de la meta de 0.03 mg/L.	Se encontraron indicios de contaminación en el arroyo Atlixnac (zona 2), río Atenco (zona 3), Barranca Huehuetitla (zona 4) y la presa, entre los años 2012 y 2013. Actualmente no hay contaminación por plomo en los afluentes ni en la presa Atlangatepec.



Nitrógeno total	La concentración de NT ha disminuido ligeramente respecto al estudio. El cauce continúa contaminado en las zonas 2, 3, 4, 5 y 6. Las concentraciones de este contaminante oscilan entre 9 y 15 mg/L, por arriba de la meta de 2.5 mg/L. La zona 1 no presenta contaminación.	El arroyo Atlixnac (zona 2), los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Barranca Huehuetitla (zona 4), ríos Totolac (zona 5) y Viejo (zona 6), presentan concentraciones en un rango de 6 a 21 mg/L. La presa Atlangatepec presentó contaminación en el año 2015, a partir de 2016, las concentraciones se encuentran por debajo de la meta.
Fósforo total	Las concentraciones de PT han disminuido ligeramente respecto al estudio. El cauce del río presenta concentraciones que oscilan entre 0.18 y 3 mg/L, por arriba de la meta de 0.05 mg/L en las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6.	El arroyo Atlixnac (zona 2), los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Barranca Huehuetitla (zona 4), ríos Totolac (zona 5) y Viejo (zona 6), presentan concentraciones en un rango de 1.23 a 4.47 mg/L. La presa Atlangatepec solo presenta un sitio con concentración de 0.056 mg/L, ligeramente por arriba de la meta.
Nitrógeno amoniacal	La concentración de Nitrógeno ha tenido una ligera disminución respecto al estudio. Las concentraciones en las zonas 2, 3, 4, 5 y 6, son superiores a la meta de 0.5 mg/L. En 2019 la zona 1 presentó concentraciones por debajo de la meta.	El arroyo Atlixnac (zona 2), los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Barranca Huehuetitla (zona 4), ríos Totolac (zona 5) y Viejo (zona 6), presentan concentraciones entre 5 y 20 mg/L. La presa Atlangatepec, actualmente cumple con la meta de 0.5 mg/L.
Color	El cauce del río continúa contaminado en las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Las concentraciones de este contaminante oscilan entre 18 y 115 U Pt-Co, por arriba de la meta de 15 U Pt-Co.	El arroyo Atlixnac (zona 2), los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Barranca Huehuetitla (zona 4), ríos Totolac (zona 5) y Viejo (zona 6), presentan concentraciones en un rango de 30 a 125 U Pt-Co, por arriba de la meta. La presa Atlangatepec presentó contaminación entre 20 y 30 U Pt-Co, ligeramente por arriba de la meta.
Conductividad eléctrica	El cauce presentó indicios de contaminación en 2012, con valores de conductividad eléctrica por arriba de la meta de 1000 ($\mu\text{S}/\text{cm}$).	El arroyo Atlixnac (zona 2), los ríos Atenco (zona 3), Totolac (zona 5) y Viejo (zona 6), presentaron contaminación en los años 2012, 2014 y 2016. En 2019, el río Totolac (zona 5) presenta concentraciones por arriba de la meta.



Cianuros	Las concentraciones de CN han disminuido ligeramente respecto al estudio. El cauce del río presentó indicios de contaminación en 2014. Actualmente las concentraciones en el cauce se encuentran por debajo de la meta de 0.005 mg/L.	No se encontraron cianuros por arriba de la meta de 0.005 mg/L, en los afluentes ni en la presa.
SAAM	Se observa contaminación por SAAM en todas las zonas del cauce del río. Las concentraciones oscilan entre 0.42 y 2.6 mg/L, las cuales están por arriba de la meta de 0.1 mg/L.	El arroyo Atlixnac (zona 2), los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Barranca Huehuetitla (zona 4), ríos Totolac (zona 5) y Viejo (zona 6), presentan concentraciones en un rango de 1.1 a 4 mg/L, lejos de la meta de 0.1 mg/L.
2,4 Dinitrotolueno	No se encontró por arriba de la meta de 0.001 mg/L.	No se encontró por arriba de la meta de 0.001 mg/L.
N-Nitrosodi-N-Propilamina	No se encontró por arriba de la meta de 0.0585 mg/L.	No se encontró por arriba de la meta de 0.0585 mg/L.
Aluminio	Se encontraron concentraciones por arriba de la meta de 0.02 mg/L en las zonas 2, 3, 4 y 6.	Se encontró por arriba de la meta en los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Totolac (zona 5) y Viejo (zona 6).
Bis (2-Cloroetil) Éter	No se encontró por arriba de la meta de 0.0003 mg/L.	No se encontró por arriba de la meta de 0.0003 mg/L.
Bis (2-Etilhexil) Ftalato	Indicios de contaminación en las zonas 2, 3, 4 y 6 en los años 2014, 2016 y 2017. Actualmente, las concentraciones de Bis (2-Etilhexil) Ftalato se encuentran por debajo de la meta de 0.0094 mg/L.	Se encontró por arriba de la meta en los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Totolac (zona 5) y Viejo (zona 6) en los años 2014-2017. En 2018, el río Los Negros (zona 4) presenta una concentración de 0.072 mg/L, por arriba de la meta.
Cloruros	No se encontró por arriba de la meta de 250 mg/L en el cauce del río.	Se encontró por arriba de la meta, en 2016 y 2018, en el río Atenco (zona 3).
Cobre	Con indicios de contaminación, por arriba de la meta de 0.05 mg/L en las zonas 2 y 6, en 2014 y 2015.	Con indicios de contaminación, se encontró por arriba de la meta en el río Viejo (zona 6) en 2014.
Dietilftalato	Con indicios de contaminación por arriba de la meta de 0.0094 mg/L, en la zona 2 en 2014.	Con indicios de contaminación, se encontró por arriba de la meta, en el río Viejo (zona 6) en 2017.
Fenoles totales	No se encontró por arriba de la meta de 0.3 mg/L.	No se encontró por arriba de la meta de 0.3 mg/L.



Fierro	Con indicios de contaminación, por arriba de la meta de 0.3 mg/L en las zonas 2, 3, 4 y 6, de 2013 a 2017. Actualmente las zonas 4 y 6, presentan concentraciones entre 0.8 y 1 mg/L, por arriba de la meta.	Se encontró por arriba de la meta en los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Totolac (zona 5) y Viejo (zona 6), con concentraciones entre 0.32 y 0.91 mg/L.
Grasas y aceites	Se observan concentraciones de grasas y aceites, por arriba de la meta de 10 mg/L, en las zonas 4 y 6.	Se encontraron concentraciones por arriba de la meta, en los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4) y Viejo (zona 6).
Huevos de helminto	Se encontraron hh por arriba de la meta de 1 hh, en las zonas 3, 4 y 6, en los años 2013, 2014 y 2017.	Se encontraron hh por arriba de la meta, en el río Totolac (zona 5), en 2017 y 2018.
Manganeso	Se encontró por arriba de la meta de 0.05 mg/L en las zonas 2, 3, 4 y 6, en 2018.	Se encontró por arriba de la meta en los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Totolac (zona 5) y Viejo (zona 6).
Materia flotante	Se encontró presente en las zonas 2, 3, 4 y 6.	Se encontró materia flotante en los ríos Atenco (zona 3), Los Negros (zona 4), Totolac (zona 5) y Viejo (zona 6).
Níquel	Se encontró por arriba de la meta de 0.01 mg/L en el cauce del río, en las zonas 4, 5 y 6	Los ríos Atenco (zona 3) y Totolac (zona 5) sobrepasan ligeramente la meta de 0.01 mg/L.
pH	El pH se encuentra dentro del rango de 6.5 a 8.5 unidades.	El pH se encuentra dentro del rango de 6.5 a 8.5 unidades en afluentes.
Solidos sedimentables	Se encontraron por arriba de la meta de 1 mL/L en la zona 6, en 2013 y 2014.	No se encontró por arriba de la meta de 1 mL/L en los afluentes.
Temperatura	No se encontró por arriba de la meta de 35 °C.	No se encontró por arriba de la meta de 35 °C.
Zinc	Se encontró por arriba de la meta de 0.02 mg/L en las zonas 2, 3, 4 y 6, en años anteriores a 2018. Actualmente la zona 6 presenta una concentración de 0.13 mg/L.	Con indicios de contaminación, en 2013, 2015, 2016 y 2017. Actualmente el río Los Negros (zona 4) tiene una concentración de 0.034 mg/L por arriba de la meta.

CONAGUA, 2020



El río Zahuapan y sus afluentes se encuentran actualmente contaminados, principalmente por materia orgánica, nutrientes, bacterias, parásitos, color; y en concentraciones menores por toxicidad y metales.

No se han alcanzado las metas de calidad del agua establecidas en el Estudio de Clasificación. Para ello, es necesario establecer Condiciones Particulares de Descarga, con base en la Declaratoria, a todos los usuarios que descargan en sus aguas residuales al río Zahuapan y a sus afluentes, quienes deberán construir, ampliar o modificar sus plantas de tratamiento para lograr el cumplimiento.

La concentración de materia orgánica del cauce del río Zahuapan con respecto a lo determinado en el Estudio de Clasificación aun es alta, a excepción de la zona 1, el cauce se encuentra contaminado en las zonas 2, 3, 4, 5 y 6 de río. Los afluentes: arroyo atlixnac (zonas 2), ríos Atenco (zona 39), Los Negros (zona 4) Totolac (zona 5) y viejo (Zona 6); y la barranca Huehuetitla también están contaminados por materia orgánica.

El río Zahuapan y sus afluentes aun presentan una fuerte contaminación microbiológica.

EL río Zahuapan en la zonas 2, 3, 4, 5 y 6; y todos sus afluentes, aun presentan contaminación por nutrientes (nitrógeno total y fósforo).

Se observa contaminación por detergentes (SAAM) en todas las zonas del cauce del río Zahuapan y sus afluentes.

El cauce del río Zahuapan continúa contaminado por color en todas sus zonas, así como sus afluentes.

La zona 6 del río Zahuapan y la Barranca Huehuetitla presentan toxicidad, y la zona 2 del río Zahuapan, el arroyo Atlixnac (Zona 2), y los ríos Los Negros (zona 4), y Viejo (zona 6) presentan toxicidad alta.

En el cauce del río Zahuapan y sus afluentes, se encuentran presentes otros contaminantes como: hidrocarburos aromáticos polinucleares (solo afluentes), aluminio, bis (2-etilhexil)ftalato (río Los Negros), hierro, grasas y aceites, huevos del Helminto (río Totlac), mercurio

(zonas 2 y 6 del río Zahuapan), manganeso, materia flotante, níquel, sólidos totales, nitrógeno amoniacal y zinc.

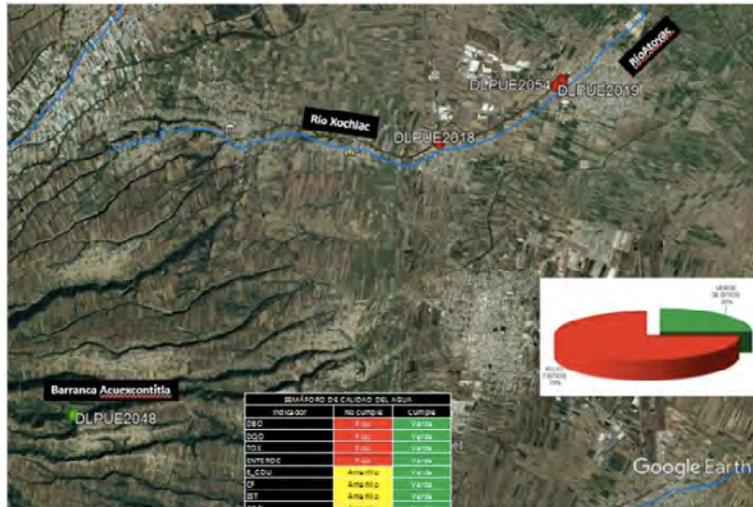
La presa Atlangatepec actualmente presenta ligera contaminación por materia orgánica, nutrientes (fósforo total), nitrógeno amoniacal y coliformes fecales; y presenta contaminación por color.

CONAGUA (2021), presentó el informe sobre la calidad del agua superficial en los municipios de San Martín Texmelucan y Huejotzingo, en el estado de Puebla, y Tepetitla de Lardizábal y Nativitas, en el estado de Tlaxcala.

Indicadores de Calidad del Agua. En el municipio de Huejotzingo, en el estado de Puebla, la Red Nacional de Medición de Calidad del Agua (RENAMECA), monitoreo cuatro sitios superficiales, uno de ellos (río Nexapa 1, DLPUE2048) cumplió con todos los Indicadores de Calidad del Agua Superficial; los otros tres sitios presentaron contaminación por Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Fecales, *Escherichia coli* y Toxicidad (fig. 83).



Figura 83. Calidad de aguas superficiales en Huejotzingo, Puebla 2012-2019



CONAGUA, 2021

En el municipio de San Martín Texmelucan, en el estado de Puebla, la RENAMECA, midió la calidad del agua en seis sitios superficiales; tres de ellos ubicados en el río Atoyac, uno en el río Chiquito, uno en el río Cotzala y el último en el río Xochiac, todos los sitios presentaron contaminación por Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Coliformes Fecales, *Escherichia coli*, bajo porcentaje de Oxígeno Disuelto, Sólidos Suspendedos Totales y Toxicidad (fig. 84).

Figura 84. Calidad del agua superficial en San Martín Texmelucan, Puebla. 2021-2019

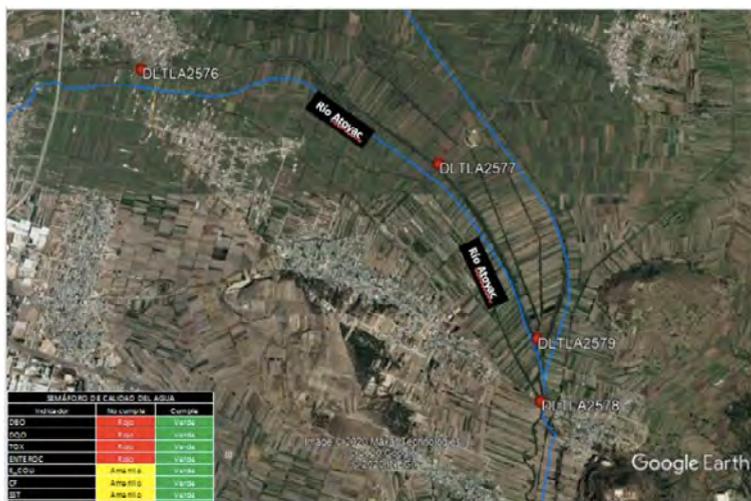


CONAGUA, 2021

En el municipio de Tepetitla de Lárdezabal, en el estado de Tlaxcala, la RENAMECA; midió la calidad del agua en cuatro sitios superficiales, dos de ellos ubicados en el río Atoyac, uno en el arroyo Zanja Real y el último en el Arroyo Capuente (Los Pesos); los sitios ubicados en el río Atoyac y en el arroyo Zanja Real presentaron contaminación por Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Fecales, *Escherichia coli*, bajo porcentaje de Oxígeno Disuelto y Toxicidad, mientras que el sitio ubicado en el arroyo Capuente (Los Pesos) únicamente presentó contaminación por Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Fecales, *Escherichia coli* y bajo porcentaje de Oxígeno Disuelto (fig. 85).

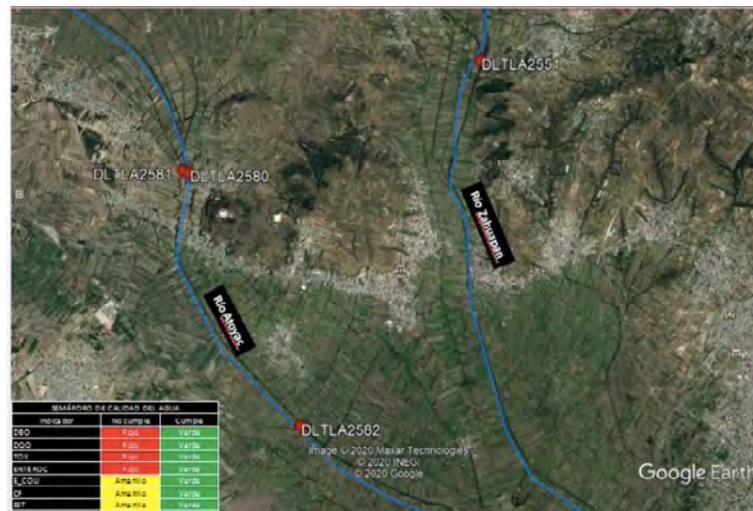


Figura 85. Calidad del agua superficial en Tepetitla, Tlaxcala. 2012-2019



(CONAGUA, 2021).

Figura 86. Calidad del agua superficial en Nativitas, Tlaxcala. 2012-2019



(CONAGUA, 2021).

En el municipio de Nativitas en el estado de Tlaxcala, la RENAMECA midió la calidad del agua en cuatro sitios, el sitio ubicado en el río San Ignacio, presentó contaminación por Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Fecales, *Escherichia coli*, bajo porcentaje de Oxígeno Disuelto y Toxicidad; el sitio sobre el río Atoyac presentó contaminación por Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Fecales, *Escherichia coli*, bajo porcentaje de Oxígeno Disuelto y Toxicidad; el sitio sobre el río Xopanac, presentó contaminación por Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Fecales, *Escherichia coli*, Sólidos Suspendedos Totales, bajo porcentaje de Oxígeno Disuelto y Toxicidad; y el sitio ubicado sobre el río Totolac, antes de la confluencia con el río Zahuapan, presentó contaminación únicamente por Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Fecales, *Escherichia coli* y bajo porcentaje de Oxígeno Disuelto (fig. 86) (tablas 100 a 104).



Tabla 100. Contaminantes presentes en los sitios de monitoreo de la RENAMECA de 2012 a 2019

CLAVE	SITIO	ESTADO	MUNICIPIO	CUERPO DE AGUA	LONGITUD	LATITUD	CONTAMINANTES
DLPUE2015	ANTES DE LA UNION DEL RIO TLANALAPAN P1(12)	PUEBLA	SAN MARTIN TEXMELUCAN	RIO ATOYAC	-98.46105	19.29217	DBO,DQO,CF,E,COLI,OD%,TOX,L
DLPUE2015M1	ARROYO LA PRESA	PUEBLA	SAN MARTIN TEXMELUCAN	RIO ATOYAC	-98.44957	19.29922	DBO,DQO,CF,E,COLI,OD%,TOX,L
DLPUE2017	PUNTE CARRETERA SAN MARTIN-TLAXCALA P1(19)	PUEBLA	SAN MARTIN TEXMELUCAN	RIO ATOYAC	-98.42633	19.28608	DBO,DQO,CF,E,COLI,OD%,TOX,L
DLPUE2014	AF-1 RIO CHIQUITO	PUEBLA	SAN MARTIN TEXMELUCAN	RIO CHIQUITO	-98.45632	19.29021	DBO,DQO,CF,OD%,TOX,L
DLPUE2016	RIO COTZALA	PUEBLA	SAN MARTIN TEXMELUCAN	RIO COTZALA	-98.42564	19.20252	DBO,DQO,CF,E,COLI,OD%,TOX,L
DLPUE2054MI	RIO XOCHIAC ALFUENTE DE RIO ATOYAC	PUEBLA	SAN MARTIN TEXMELUCAN	RIO XOCHIAC	-98.36154	19.23623	DBO,DQO,SST,CF,E,COLI,OD%,TOX,L
DLPUE2048	RIO NEXAPA 1	PUEBLA	HUEJOTZINGO	BARRANCA ACUEXCONTITLA	-98.50392	19.14023	
DLPUE2019	RA-8 RIO XOCHIAC, AGUAS ARRIBA DE LA CONFLUENCIA CON COLECTOR EL CARMEN	PUEBLA	HUEJOTZINGO	RIO ATOYAC	-98.39260	19.21250	DQO,CF,TOX,L
DLPUE2054	RIO XOCHIAC AGUAS ABAJO DEL COLECTOR EL CARMEN CONFLUENCIA CON RIO XOCHIAC	PUEBLA	HUEJOTZINGO	RIO ATOYAC	-98.39150	19.21356	DBO,DQO,CF,E,COLI,OD%,TOX,L
DLPUE2018	RA-9 RIO XOCHIAC, ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOYAC	PUEBLA	HUEJOTZINGO	RIO XOCHIAC	-98.41981	19.19992	DBO,DQO,CF,E,COLI,TOX,L
DLTLA2576	AF-2 PITAR DM VILLATA	TLAXCALA	TEPETITLA DE LARDIZABAL	RIO ATOYAC	-98.40180	19.28801	DBO,DQO,CF,E,COLI,OD%,TOX,L
DLTLA2577	RA-5 RIO ATOYAC, AGUAS ARRIBA DE LA BARRANCA CRUZTITLA	TLAXCALA	TEPETITLA DE LARDIZABAL	RIO ATOYAC	-98.36970	19.27022	DBO,DQO,CF,E,COLI,OD%,TOX,L
DLTLA2578	AF-4 ARROYO ZANJA REAL	TLAXCALA	TEPETITLA DE LARDIZABAL	ARROYO ZANJA REAL	-98.35902	19.25415	DBO,DQO,CF,E,COLI,OD%,TOX,L
DLTLA2579	AF-3 ARROYO CAPUENTE	TLAXCALA	TEPETITLA DE LARDIZABAL	ARROYO CAPUENTE (LOS PESOS)	-98.35933	19.26042	DQO,CF,E,COLI,OD%,L
DLTLA2580	AF-5 RIO SAN IGNACIO	TLAXCALA	NATIVITAS	RIO SAN IGNACIO	-98.35773	19.25299	DQO,CF,E,COLI,OD%,L
DLTLA2581	RA-7 RIO ATOYAC, ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO XOCHIAC	TLAXCALA	NATIVITAS	RIO ATOYAC	-98.35898	19.25342	DBO,DQO,CF,E,COLI,OD%,TOX,L
DLTLA2582	RA-10 RIO XOPANAC, ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ATOYAC	TLAXCALA	NATIVITAS	RIO XOPANAC	-98.33533	19.20443	DBO,DQO,SST,CF,E,COLI,OD%,TOX,L
DLTLA2551	ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ZAHUAPAN	TLAXCALA	NATIVITAS	RIO TOTOLAC ANTES DE LA CONFLUENCIA CON EL RIO ZAHUAPAN	-98.29910	19.27450	DQO,CF,E,COLI,OD%,L

CONAGUA, 2021

Tabla 101. Indicadores de calidad del agua en los sitios de monitoreo de la RENAMECA de 2021 -2019

CLAVE	DBO, mg/L	CALIDAD_DBO	DQO, mg/L	CALIDAD_DQO	SST, mg/L	CALIDAD_SST	COLI_FEC-NMP_100 mL	CALIDAD_COLIFEC
DLPUE2015	57	Contaminada	168.78	Contaminada	54.5	Buena calidad	24000	Fuertemente contaminada
DLPUE2015M1	160	Fuertemente contaminada	518.515	Fuertemente contaminada	97.22	Aceptable	24000	Fuertemente contaminada
DLPUE2017	56.67	Contaminada	149	Contaminada	94	Aceptable	24000	Fuertemente contaminada
DLPUE2014	90	Contaminada	151.5	Contaminada	70	Buena calidad	4600	Contaminada
DLPUE2016	98.335	Contaminada	208.88	Fuertemente contaminada	71.955	Buena calidad	24000	Fuertemente contaminada
DLPUE2054M1	140	Fuertemente contaminada	523.1	Fuertemente contaminada	178.05	Contaminada	24000	Fuertemente contaminada
DLPUE2048	2.2	Excelente	28.15	Aceptable	47	Buena calidad	930	Aceptable
DLPUE2019	26.67	Aceptable	149	Contaminada	67.5	Buena calidad	24000	Fuertemente contaminada
DLPUE2054	126.67	Fuertemente contaminada	339	Fuertemente contaminada	96.667	Aceptable	24000	Fuertemente contaminada
DLPUE2018	35	Contaminada	145.45	Contaminada	82.405	Aceptable	24000	Fuertemente contaminada
DLTLA2576	77.5	Contaminada	201.6	Fuertemente contaminada	142.95	Aceptable	24000	Fuertemente contaminada
DLTLA2577	46.39	Contaminada	158.24	Contaminada	111.77	Aceptable	24000	Fuertemente contaminada
DLTLA2578	32.775	Contaminada	101.395	Contaminada	22.5	Excelente	24000	Fuertemente contaminada
DLTLA2579	5.4	Buena calidad	47.31	Contaminada	16	Excelente	24000	Fuertemente contaminada
DLTLA2580	18	Aceptable	67.33	Contaminada	13.5	Excelente	24000	Fuertemente contaminada
DLTLA2581	47.5	Contaminada	138.08	Contaminada	136.875	Aceptable	24000	Fuertemente contaminada
DLTLA2582	1150	Fuertemente contaminada	1900	Fuertemente contaminada	290	Contaminada	24000	Fuertemente contaminada
DLTLA2551	16.67	Aceptable	84.48	Contaminada	39.24	Buena calidad	24000	Fuertemente contaminada

CONAGUA, 2021

Tabla 102. Continuación de Indicadores de la calidad del agua en los sitios de monitoreo de la RENAMECA de 2012 1 2019

CLAVE	E. COLI, NM P. 100mL	CALIDAD_E. COLI	OD, PO RC	CALIDAD_OD, ORC	TÓX. D. 48 UT	CALIDAD_TOX. D. 48	TOX. V. 15, UT	CALIDAD_TOX. V. 15
DLPUE2015	1950	Fuertemente contaminada	11.95	Contaminada	2.06	Toxicidad moderada	18.21	Toxicidad alta
DLPUE2015M1	24000	Fuertemente contaminada	20.2	Contaminada	5.71	Toxicidad alta	35.71	Toxicidad alta
DLPUE2017	4600	Fuertemente contaminada	21	Contaminada	<-1	No Tóxico	10.549636	Toxicidad alta
DLPUE2014	750	Aceptable	21	Contaminada	3.21	Toxicidad moderada	7.7760115	Toxicidad alta
DLPUE2016	11000	Fuertemente contaminada	15.05	Contaminada	<-1	No Tóxico	10.74	Toxicidad alta
DLPUE2054M1	24000	Fuertemente contaminada	<+10	Fuertemente contaminada	1.65	Toxicidad moderada	63.65	Toxicidad alta
DLPUE2048	280	Buena calidad	59.1	Buena calidad	<-1	No Tóxico	2.24	Toxicidad moderada
DLPUE2019	460	Buena calidad	34	Aceptable	10.45	Toxicidad alta	9.78	Toxicidad alta
DLPUE2054	1200	Fuertemente contaminada	19	Contaminada	7.26744186	Toxicidad alta	20.366598	Toxicidad alta
DLPUE2018	4600	Fuertemente contaminada	33.2	Aceptable	5.19	Toxicidad alta	16.72	Toxicidad alta
DLTLA2576	7800	Fuertemente contaminada	14.8	Contaminada	<-1	No Tóxico	13.61	Toxicidad alta
DLTLA2577	7800	Fuertemente contaminada	<+10	Fuertemente contaminada	<-1	No Tóxico	10.26	Toxicidad alta
DLTLA2578	7800	Fuertemente contaminada	<+10	Fuertemente contaminada	<-1	No Tóxico	24.85	Toxicidad alta
DLTLA2579	1800	Fuertemente contaminada	29.2	Contaminada	<-1	No Tóxico	2.31	Toxicidad moderada
DLTLA2580	4600	Fuertemente contaminada	<+10	Fuertemente contaminada	5.32	Toxicidad alta	3.55	Toxicidad moderada
DLTLA2581	11000	Fuertemente contaminada	12.8	Contaminada	<-1	No Tóxico	17.75	Toxicidad alta
DLTLA2582	11000	Fuertemente contaminada	<+10	Fuertemente contaminada	13.6054422	Toxicidad alta	53.76	Toxicidad alta
DLTLA2551	11000	Fuertemente contaminada	23.8	Contaminada	<-1	No Tóxico	2.77	Toxicidad moderada

CONAGUA, 2021



Tabla 103. Descripción de los campos

CAMPO	DESCRIPCION
CLAVE	Clave del sitio de monitoreo
SITIO	Nombre del sitio de muestreo
ID_ORG_CUENCA	Numero de identificación del Organismo de Cuenca de agua donde se localiza el sitio de monitoreo
ORGANISMO_DE_CUE NCA	Nombre del Organismo de Cuenca de agua donde se localiza el sitio de monitoreo
ID_ESTADO	Numero de identificación del Estado donde se encuentra el sitio de muestreo
ESTADO	Estado donde se encuentra el sitio de muestreo
MUNICIPIO	Municipio donde se encuentra el sitio de muestreo
CUENCA	Nombre de la cuenca donde se localiza el sitio de monitoreo
CUERPO_DE_AGUA	Nombre del cuerpo de agua donde se localiza el sitio de monitoreo
LONGITUD	Coordenada de longitud
LATITUD	Coordenada de latitud
CF_NMP100mL	Valor de los Coliformes Fecales, en número más probable por cien mililitros
DBO_mg/L	Valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, en miligramos por litro
DQO_mg/L	Valor de la Demanda Química de Oxígeno, en miligramos por litro
E_COLI_NMP_100mL	Valor de Escherichia coli, en número más probable por cien mililitros
OD_PORC	Valor de Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, en cuerpos loticos
SST_mg/L	Valor de los Sólidos Suspendedos Totales, en miligramos por litro
TOX_D_48_UT	Valor de Toxicidad, Dafnia magna, 48 horas, Unidades de Toxicidad, en cuerpos loticos
TOX_V_15_UT	Valor de Toxicidad, Vibrio Fisheri, 15 minutos, Unidades de Toxicidad, en cuerpos loticos
CALIDAD_COLI_FEC	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Coliformes Fecales
CALIDAD_DBO	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Demanda Bioquímica de Oxígeno
CALIDAD_DQO	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Demanda Química de Oxígeno
CALIDAD_E_COLI	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Escherichia coli
CALIDAD_OD_PORC	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto
CALIDAD_SST	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Sólidos Suspendedos Totales
CALIDAD_TOX_D_48	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Toxicidad, Dafnia magna, 48 horas
CALIDAD_TOX_V_15	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el indicador Toxicidad, Vibrio Fisheri, 15 minutos
CONTAMINANTES	Contaminantes presentes en incumplimiento (Contaminados)

CONAGUA, 2021

En base a lo anterior, es interesante revisar las observaciones que han realizado Azís y Ortega (2020), en el documento: Mejora regulatoria en materia de aguas. Reportes de visitas a las cuencas Santiago, Atoyac y Magdalena, al respecto que se presentan a continuación:

Los cambios de gobierno son un reto para la gobernanza de los recursos hídricos. Cada vez que hay cambio de gobierno se pierde información y no se le da continuidad a las acciones implementadas, que en ocasiones representan avances parciales (como en el caso de la planta

Tabla 104. Escalas de clasificación de los indicadores de la calidad del agua

CALIDAD DEL AGUA PARA TOXICIDAD	CRITERIO	DESCRIPCION
No tóxico	TOX menor a 1	Agua no contaminada. Toxicidad no detectable.
Toxicidad baja	TOX mayor o igual a 1 y menor o igual a 1.33	Toxicidad baja
Toxicidad moderada	TOX mayor de 1.33 y menor a 5	Toxicidad moderada
Toxicidad alta	TOX mayor o igual a 5	Toxicidad alta
CALIDAD DEL AGUA PARA SST	CRITERIO	DESCRIPCION
Excelente	SST menor o igual a 25	Clase de excepción, muy buena calidad.
Buena calidad	SST mayor de 25 y menor o igual a 75	Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto.
Aceptable	SST mayor de 75 y menor o igual a 150	Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido.
Contaminada	SST mayor de 150 y menor o igual a 400	Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido.
Fuertemente contaminada	SST mayor de 400	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces.
CALIDAD DEL AGUA PARA E COLI	CRITERIO	DESCRIPCION
Excelente	E_COLI menor o igual a 126	Agua no contaminada o condición normal. No hay evidencia de alteración en los valores de la calidad bacteriológica para el cuerpo de agua superficial.
Buena calidad	E_COLI mayor de 126 y menor o igual a 576	Aguas superficiales con calidad satisfactoria para la vida acuática y para uso recreativo con contacto primario, así como para otros usos. Indicios de alteración de la calidad bacteriológica.
Aceptable	E_COLI mayor de 576 y menor o igual a 850	Aguas superficiales con calidad admisible como fuente de abastecimiento de agua potable y para riego agrícola. Muestra bajos niveles de alteración como resultado de la actividad humana.
Contaminada	E_COLI mayor de 850 y menor o igual a 1000	Aguas superficiales con contaminación bacteriológica. Indica alteración substancial con respecto a la condición normal.
Fuertemente contaminada	E_COLI mayor de 1000	Aguas superficiales con fuerte contaminación bacteriológica. Alteración severa.
CALIDAD DEL AGUA PARA DQO	CRITERIO	DESCRIPCION
Excelente	DQO menor o igual a 10	Agua no contaminada.
Buena calidad	DQO mayor de 10 y menor o igual a 20	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable.
Aceptable	DQO mayor de 20 y menor o igual a 40	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Contaminada	DQO mayor de 40 y menor o igual a 200	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Fuertemente contaminada	DQO mayor de 200	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

CONAGUA, 2021

de tratamiento de la central de abastos de la ciudad de Puebla a la cual “se le dejó de dar mantenimiento con el cambio de administración del gobierno de la ciudad de Puebla”. Los municipios han tratado de hacer frente al problema con diversas acciones aisladas; sin embargo, “no hay una cabeza ni un esquema que armonice acciones” (Azís y Ortega, 2020).



La capacidad de las plantas de tratamiento instaladas en los municipios no es suficiente para dar el tratamiento adecuado de la totalidad de las aguas residuales generadas en las distintas localidades que los componen: lo anterior, aunado a la inoperatividad y falta de mantenimiento de algunas de las plantas de tratamiento instaladas, así como la insuficiencia en las medidas de vigilancia. En la recomendación 10/2017 de la Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH), se desprende que solamente 37 de las 175 plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en el estado de Puebla operan (Azíz y Ortega, 2020).

Si se les han otorgado mayores responsabilidades, también deben tener más recursos. Asimismo, se debe construir un marco regulatorio y programático que permita a los municipios hacer frente a sus obligaciones respecto al saneamiento de aguas residuales. Deben de contar con reglamentos en materia de descargas de aguas residuales y tratamiento de las mismas, un control sobre las empresas asentadas en el municipio, así como información acerca de dónde descargan las mismas, ya sea en la red de alcantarillado o en cuerpos de agua conforme a las condiciones establecidas por la CONAGUA (Azíz y Ortega, 2020).

No se cuenta con información y estudios que permitan demostrar la vinculación entre salud y la calidad de agua en la cuenca. Este vínculo no se está estudiando ni monitoreando. Se sabe que existe un gran número de casos de insuficiencia renal y leucemia, sin embargo, no se ha investigado a fondo (Azíz y Ortega, 2020).

Lo anterior, dado el efecto que se ha observado en la salud de las personas que habitan en zonas adyacentes a los cuerpos de agua contaminados. Asimismo, es necesario que las autoridades cuenten con datos confiables que puedan ser públicos, lo cual permitiría realizar estudios que permitan vincular los efectos que tiene la contaminación del agua en la salud de las personas, ya que actualmente no es posible analizar tal correlación por la falta de datos disponibles (Azíz y Ortega, 2020).

A través de la elaboración y aprobación de reglamentos en materia de descargas de aguas residuales los municipios cuentan con un marco normativo y de actuación que establezca derechos y obligaciones para los diversos sujetos involucrados en el proceso, desde la ciudadanía hasta las grandes empresas. Asimismo, el tener un registro de las empresas ubicadas en los municipios podría contribuir a tener un mayor control sobre quiénes y qué descargan a la red de alcantarillado municipal (Azíz y Ortega, 2020).

Y ellas proponen, que sería conveniente crear un consejo de Cuenca del Alto Atoyac. Esta zona tiene muchos puntos y problemáticas comunes por lo que sería un terreno fértil para implementar acciones articuladas y plantear objetivos en común hacia los cuales trabajar teniendo como meta un saneamiento del río. En este Consejo deberían estar representados todos los usos del agua (Azíz y Ortega, 2020).

TRABAJOS EN SEDIMENTOS

Existen excelentes trabajos de investigación de caracterización físico-química de los sedimentos del río Atoyac y sus afluentes, así como también de la Presa Manuel Ávila Camacho que no han sido desarrollados en el presente trabajo por no ser el objeto de estudio pero que proporcionan otra óptica al problema de contaminación del río por lo cual solo se describirán a continuación sus resúmenes:

El equipo de investigación de Rodríguez-Espinosa *et al.* (2015), realizó un investigación en la cual, analizaron el total (Zn, Pb, Ni, Hg, Cr, Cd, Cu, As) y metales parcialmente lixiviables (PLM) en 25 muestras de ceniza y suelo de erupciones recientes (2012-2013) del volcán Popocatepetl en el centro de México. Las muestras más recientes de ceniza y suelo de la actividad volcánica en 2012-2013 tenían concentraciones de metales más altas que las muestras más antiguas de erupciones en 1997, lo que sugiere que los metales naturalmente altamente volátiles y móviles se filtran a fuentes cercanas de agua dulce. Las mayores proporciones de As (74,72%), Zn (44,64%), Cu (42,50%) y Hg (32,86%) reflejan no solo su considerable movilidad, sino también el hecho de que se disuelven y acumulan rápidamente después de una erupción. La comparación de los patrones de concentración con los lineamientos de calidad de sedimentos indica que las concentraciones



de Cu, Cd, Cr, Hg, Ni y Pb son más altas que los límites permisibles; esta situación debe ser monitoreada de cerca ya que estas concentraciones pueden alcanzar niveles letales en el futuro.

El equipo de investigadores de Shurti *et al.* (2017), investigó las características geoquímicas de los sedimentos de las corrientes [n = 31; Tramo aguas arriba: río Zahuapan (1–12) y río Atoyac (13–20); se ha evaluado la sección aguas abajo (21–31)] de la cuenca del río Atoyac en el centro de México. El estudio se centra en la composición textural, petrográfica y química de los sedimentos fluviales con el objetivo de analizar su procedencia, la intemperismo de meteorización química y sus potenciales efectos ambientales. Los sedimentos fluviales están compuestos principalmente por partículas del tamaño de arena y limo dominadas por plagioclasa, piroxenos, anfíboles, feldespato-K, biotita, opacos y cuarzo. Los sedimentos fueron analizados para la determinación de principales (Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, P, Si, Ti), oligoelementos (As, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Pb, Sc, V, Y, Zn, Zr, Ga) y en comparación con la corteza continental superior (UCC), la composición del área de la fuente y los valores de fondo locales. Las concentraciones elementales fueron comparables con la composición promedio de andesita y dacítica del área de la fuente y los valores de fondo locales, excepto por el enriquecimiento de Cu (56.27 ppm), Pb (34 ppm) y Zn (235.64 ppm) en los sedimentos aguas abajo, lo que sugiere una significativa influencia (antropogénica). Los sedimentos fluviales de la cuenca del río Atoyac muestran valores bajos de CIA y PIA, lo que implica condiciones de meteorización predominantemente débiles a moderadas en la región de origen. Con base en los diagramas de discriminación de procedencia y las proporciones elementales, se entiende que los sedimentos recolectados se derivan de rocas volcánicas intermedias a félsicas dominadas en la región de estudio. Los índices de contaminación por metales destacan el enriquecimiento de Cu, Pb, Zn, Mo, Cr y S, lo que indica claramente las influencias de fuentes naturales (meteorización y actividad volcánica) y externas (antropogénicas). Los resultados de la evaluación de riesgos ecológicos indican que el Cr, Ni y Zn causarían efectos biológicos adversos al medio fluvial.

Morales-García *et al.* (2017), presento el análisis de un estudio que se llevó a cabo durante septiembre de 2009 en el que se recolectaron veinte muestras de sedimentos superficiales de la cuenca del río Puebla compuestas por río Alseseca, río Atoyac y la presa de Valsequillo y se analizaron en busca de elementos principales (Al, Fe, Mg, Ba, Ca y K) y oligoelementos (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sr, V y Zn) para identificar las concentraciones de metales y su enriquecimiento. Los sedimentos del río Atoyac presentaron concentraciones más altas de Ba (1193,8 µg/g) y Pb (27,1 µg/g) en comparación con los valores de la muestra de referencia local. Todas las concentraciones de metales excepto Sr para los sedimentos de río Alseseca estaban dentro del rango de los valores de la muestra de referencia local que indica que no hay influencia externa significativa, mientras que los sedimentos de la presa de Valsequillo tenían concentraciones elevadas de todos los metales, lo que sugiere influencias tanto naturales como externas en la región de estudio. La magnitud de la contaminación por metales se evaluó utilizando varios índices como el índice de geoacumulación (Igeo), factor de enriquecimiento (EF), grado de contaminación (Cd), e índice de carga de contaminación (PLI). Los resultados sugieren que As, Pb y Zn se enriquecieron predominantemente en los sedimentos de la cuenca del río Puebla. En comparación con las pautas de calidad de los sedimentos y los valores ecotoxicológicos, se revela que el Cd, Cr, Cu y Ni tienen posibles efectos nocivos en la comunidad biológica. El presente estudio proporciona una perspectiva del enriquecimiento de metales en los sedimentos de la cuenca del río Puebla, destacando la necesidad de conservar este ecosistema fluvial para el futuro cercano.

El equipo de Rodríguez-Espinosa *et al.* (2017), realizaron una investigación en la cual, recolectaron cuarenta y nueve muestras de sedimentos [Tramo río arriba: río Zahuapan (1–12) y río Atoyac (13–20); Zona de confluencia (21–31); Represa de Valsequillo (32–49)] para investigar las fuentes geoquímicas, el enriquecimiento, la contaminación y los riesgos ecológicos de los metales en los sedimentos fluviales de la cuenca del río Atoyac, un área que experimenta un tremendo desarrollo urbano e industrial en el centro de México. Los sedimentos fueron analizados para 23 principales (Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, P, S y Ti) y trazas (Ba, Mn, As, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sc, Sr, V, Zn y Zr) metales lixiviables con ácido (ALM). Los resultados del tamaño de grano



revelaron que la fracción de arena de los sedimentos representa el 53,1% y el limo el 46,9% respectivamente. El patrón de concentración (valores promedio) muestra una distribución espacial de metales en las cuatro zonas que indica que S (0.10; 0.13; 0.34; 0.80 en%), Ca (0.96; 0.73; 4.98; 1.85 en%), P (0.05; 0.05; 0.16; 0.08 en%), Cr (122; 182; 111; 104 en $\mu\text{g/g}$), Mo (5; 9; 6; 10 en $\mu\text{g/g}$), Cu (13; 14; 53; 29 en $\mu\text{g/g}$), Ni (19; 22; 29; 46 en $\mu\text{g/g}$), Pb (9; 12; 21; 14 en $\mu\text{g/g}$), Zn (92; 62; 204; 92 en $\mu\text{g/g}$) y As (2,63; 2; 3,35; 4,49 en $\mu\text{g/g}$) excedieron los valores de fondo locales atribuidos principalmente a las entradas volcánicas naturales. Se utilizaron índices geoquímicos como el factor de enriquecimiento (EF), el índice de geoacumulación (Igeo) y el índice de carga de contaminación (PLI) para evaluar el grado de enriquecimiento del metal y los resultados revelaron influencias externas significativas sobre algunos metales (As, Cu, Pb y Zn). El cálculo del índice de peligros ecológicos potenciales mostró que, entre los 23 metales probados, As, Pb, Cu, Ni y Cr fueron los principales factores de riesgo potenciales que causarían efectos biológicos nocivos en el medio fluvial. Un nuevo enfoque complementario que integra la contaminación por metales, el enriquecimiento y los riesgos ecológicos ayudó a una determinación más precisa de las fuentes de metales y sus impactos ambientales. El análisis estadístico multivariado reveló la agrupación de elementos como litogénicos (Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, P, S, Ti, Ba, Mn, Co, Cr, Ni, Sc, Sr, V y Zr) y externos (Cu, Pb, Zn, Mo y As) sugiriendo que las fuentes de metales provienen de eventos volcánicos, procesos de meteorización natural y las influencias industriales de la ciudad de Puebla.

El equipo de Medina *et al.* (2017), Identificó la comunidad bacteriana en sedimentos del río Atoyac por medio de biblioteca genómica de clones. Se encontró una baja diversidad bacteriana, ya que la familia *Enterobacteriaceae*, específicamente especies de *Shigella*, *Escherichia fergusonii* y *E. coli* dominan la comunidad bacteriana, lo cual es consistente con los valores obtenidos de coliformes totales por número más probable (NMP). No se encontraron los genes que codifican para toxinas Shiga (stx1 y stx2). Alcanos (C11-C16), ésteres, ácidos orgánicos, fenoles y ftalatos clasificados como potenciales disruptores endócrinos también fueron detectados en los sedimentos y la presencia de coprostanol indica contaminación fecal.

Las concentraciones de elementos decrecieron de la siguiente manera: Ca>Fe>K>Ti>Sr>Ba> Mn>Zr>Zn>Cu>Rb, mientras que As, Mo y Pb estuvieron por debajo del límite de detección. Todos los elementos, excepto el Cu, no sobrepasan los límites de la Agencia de Protección Ambiental de los estados Unidos (USEPA, 1977). Este estudio demuestra la dominancia de *Enterobacteriaceae* y la baja diversidad bacteriana con la habilidad de degradar contaminantes orgánicos en los sedimentos del río en un área previa a la presa Ávila Camacho, cuyas aguas son usadas para irrigar cultivos en tierras arriba.

El equipo de Soto-Cruz *et al.* (2011) desarrolló un estudio para evaluar la presencia de metales y metaloides en sedimentos del río Zahuapan como una herramienta para el conocimiento de las causas y los procesos de deterioro de la cuenca y del río, así como para desarrollar acciones de prevención, control y mitigación de los efectos negativos generados por la actividad antrópica sobre la cuenca y sus componentes.

Cabe mencionar que no hay antecedentes de estudios de metales y metaloides en sedimentos del río Zahuapan, sin embargo, en el año 2007 se llevó a cabo un proyecto donde se determinaron las concentraciones de Plomo (Pb) y Arsénico (As) en agua superficial del Sistema Hidrológico Zahuapan-Atoyac.

En el año 2007 se elaboró un Atlas Geoquímico, como parte del proyecto de investigación: “Mapas de Valores Geoquímicos de Fondo de Metales Pesados y su Mutagenicidad en el estado de Tlaxcala: Implicaciones en la Calidad de Agua Superficial y Subterránea” (Carrillo *et al.* 2007). En el cual se elaboraron 12 mapas geoquímicos: As, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Tl, V y Zn en suelos y 7 mapas geoquímicos de distribución de elementos en agua subterránea (As, Cr, Cu, Ni, Pb, V y Zn). Los mapas se generaron con el método de Interpolación Distancia Inversa Ponderada (IDW por sus siglas en inglés), y la determinación de las concentraciones de los elementos se realizó a través de Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS). El área de estudio fue el río Zahuapan, específicamente sus sedimentos, pero debido a que toda la cuenca influye directamente en el río (éste solo es un componente de la cuenca), se describen algunos componentes que la integran.



CONCLUSIONES

Los resultados de los estudios realizados por todos y cada de los diferentes autores anteriormente citados, son claros y concisos y para no ser redundantes basta decir, que después de revisar la información presentada por ellos, concordamos que los parámetros de calidad que caracterizan las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del río Atoyac, Zahuapan y sus afluentes, se encuentran cada vez más contaminadas conforme pasan los años a pesar de la Declaratoria de 2011, que ha quedado sobrepasada.

A este respecto, es sorprendente que a pesar de las 85 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (SEMARNAT, 2018) y las 209 plantas de tratamiento de aguas residuales no municipales (CONAGUA, 2019) que poseen las empresas a lo largo de la cuenca de río Atoyac, la contaminación sigue incrementándose anualmente en toda la cuenca.

Lo anterior lleva a cuestionar el correcto funcionamiento de todas y cada una de las plantas de tratamiento y dejar en evidencia que para verificar su óptimo funcionamiento, se requiere de un extenso y eficaz plan de verificación de cumplimiento ambiental; con inspecciones *“in-situ”* por parte de la Procuraduría Federal de Protección Ambiental (PROFEPA) cruzando los resultados de sus análisis de verificación, con los de la Red de Monitoreo de CONAGUA y con alguna Unidad de Verificación Ambiental en el estado de Puebla.

Finalmente, concluimos que es sumamente urgente, llevar a cabo un plan integral de restauración de la cuenca del alto Atoyac; considerando no solo alternativas de solución puntuales de saneamiento del río, como la implementación de más plantas de tratamiento de aguas residuales tanto municipales como industriales, pero con una supervisión de cumplimiento ambiental eficaz. Sino también, una restauración y conservación del suelo de la cuenca con protección de las zonas de recarga, protección del cauce de río, con reforestación nativa, preservando la vegetación raparúa con un manejo de especie nativas de la zona entre otras acciones; todo esto, con la participación de sociedad como actores principales en las acciones de restauración de su entorno ambiental.

En el estado de Puebla existe el recurso profesional y público en general, dispuesto a colaborar en la restauración del río Atoyac, pero es importante hacer notar que para que esta restauración se lleve a cabo real y eficazmente, es necesario una verdadera voluntad política para realizarlo dispuesta a aportar los recursos financieros necesarios para que en conjunto podamos restaurar el río integralmente.



BIBLIOGRAFÍA

Aziz P. M. y Ortega F. J. (2020). *Mejora Regulatoria en materia de aguas residuales y calidad de agua: Reporte de visitas a las cuencas del río Santiago, Atoyac y Magdalena.*, Comisión Nacional de Mejora Regulatoria. Secretaría de Economía. México.

Bajaj, M. y Winter, J. (2013). Biogas and biohydrogen production potential of high strength automobile industry wastewater during anaerobic degradation. *Journal of Environmental Management* 128, 522–529.

Bravo I. L. A., Sánchez C. J. J., Uzurieta D. J. L. y Tomasini O. A. C. (2015). *Evaluación toxicológica del río Atoyac, Pue. y su relación con los parámetros fisicoquímicos.*, 2do. Congreso Nacional AMICA. AIDIS. Puebla, México.

Bulich, A. A. (1982). A practical and reliable method for monitoring the toxicity of aquatic samples. *Process Biochemistry*, 45–47.

Carrillo, C., A. Calzada A., Morton J., Álvarez O., Delgado E., Ortiz, A., Soto, R. y Navarro de León, E. (2007). *Mapas de Valores Geoquímicos de Fondo de Metales Pesados y su Mutagenicidad en el estado de Tlaxcala: Implicaciones en la Calidad de Agua Superficial y Subterránea.*

Canadian Council of Ministers of the Environment [CCME]. (2001). *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, user's manual.* (p. 5). Canada.

Canadian Council of Ministers of the Environment [CCME]. (1999a). *Canadian water quality guidelines for the protection of agricultural water uses: Arsenic.* (p. 3). Canada. <http://www.ec.gc.ca>.

Canadian Council of Ministers of the Environment [CCME]. (2001). *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Arsenic.* (p.4). Canada. <http://www.ec.gc.ca>.

Chávez O., Leiva T. y Corroto F. (2002). *Aspectos Físicoquímicos, Bioquímicos y microbiológicos de la contaminación de aguas, índices e indicadores ambientales.* Lima.

Chhonkar, P. K., Datta, S. P., Joshi, H. C. y Pathak, H. (2000). Impact of industrial effluents on soil health and agriculture- indian experience: part II-tannery and textile industrial effluents. *Journal of Scientific and Industrial Research* 59, 446–454.

Cieszynska, M., Wesolowski, M., Bartoszewicz, M. y Michalska, M. (2012). Application of physicochemical data for water- quality assessment of watercourses in the Gdansk Municipality (South Baltic coast). *Environ. Monit. Assess.* 184 (4), 2017–2029.

Comisión Nacional de Agua. (2001). *Compendio Básico del Agua en México.* (p. 71). México D. F.

Comisión Nacional del Agua. (1999). *Lineamientos Estratégicos de la Región IV.* México D. F.

Comité Vive Atoyac. (2018). *Diagnóstico para la formulación del Plan Rector para el rescate del río Atoyac.* Ayuntamiento de Puebla.

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2021). *Informe sobre la calidad del agua superficial en los municipios de San Martín Texmelucan y Huejotzingo, en el estado de Puebla, y Tepetitla de Lardizábal y Nativitas, en el estado de Tlaxcala.* Subdirección General Técnica, gerencia de Calidad del agua.

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2019). *Inventario Nacional de Plantas No Municipales de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.* Subdirección general del agua potable, drenaje y saneamiento. México.

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2014). *Estadísticas del Agua en México edición 2014.* Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2015). *Atlas del agua en México.* <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/ATLAS2015>



- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2020). *Diagnóstico de la calidad del agua del río Atoyac y sus afluentes*. Informe Final. Subdirección General Técnica, gerencia de Calidad del agua.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2020). *Diagnóstico de la calidad del agua del río Zahuapan y sus afluentes*. Informe Final. Subdirección General Técnica, gerencia de Calidad del agua.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2008). *Estudio de Clasificación del río Atoyac, Puebla-Tlaxcala*. Convenio No. CNA- IMTA-SGY-GRB-MOR-05-004-RF. Subdirección General Técnica, gerencia de Calidad del agua.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2018). *Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del agua. Resultados de calidad del agua a partir de 2012*. Subdirección General Técnica, gerencia de Calidad del agua.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2009). *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, México*. Última reforma publicada DOF 18-04-2008.
- Crompton, T. R. (1997). *Toxicants in the aqueous ecosystem*. (p. 382). Ed. JohnWiley. Inglaterra.
- Dalai, T. K. y Sarin, M. (2002). Trace determination of strontium and barium in river waters by inductively coupled plasma- atomic emission spectrometry using an ultrasonic nebulizer. *J. Geostand. Geoanal.* 26(3), 301-306.
- Dale la Cara al Atoyac. (2016). *Resultados del monitoreo de la calidad de agua del río Atoyac*.
- Davidson, J. y Summerfelt, S. (2004). Solid flushing, mixing, and water velocity profiles within large (10 and 150 m³) circular 'Cornell type' dual drain tanks. *Aqua Eng* 32, 245-271.
- De Anda Sánchez, J. (2017). Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. *Sociedad y Ambiente* (14), 119-143. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4557/455752575007>
- Di Blasi, J., Pineiro, I., Martínez Torres, J., García Nieto, P. J., Alonso Fernández, J. R., Díaz Muniz, C. y Taboada, J. (2013). Analysis and detection of outliers in water quality parameters from different automated monitoring stations in the Miño river basin (NW Spain). *Ecological Engineering* 60, 60-66.
- Ecofluidos Ingenieros S.A. (2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco*. Lima.
- El Morhit, M. y Mouhir, L. (2014). Study of the physicochemical properties of waters in the Loukkos river estuary (Larache, Morocco). *Environ Syst Res* 3, 17.
- Fu, Q., Lou, J. G., Wang, Y. y Li, J. (2009). Execution anomaly detection in distributed systems Ninth IEEE International Conference on Data Mining Through Unstructured Log Analysis.
- García, N. E., Carrizales, Y. L., Juárez, S. L., García, G. E., Hernández, A. E., Briones, C. E. y Vázquez, C. O. G. (2011). Plomo y Arsénico en la sub-cuenca del alto Atoyac en Tlaxcala, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1), 7- 17.
- Gárfias, J., Arrollo, N. y Aravena, R. (2010). Hydrogeochemistry and origins of mineralized waters in the Puebla aquifer system. México. *Environ Earth Sci.* 59, 1789-1805.
- Geissler, G. (2011). *El agua: como un recurso natural renovable*. (pp. 155 - 179). Trillas.
- Greenpeace. (2014). Ríos tóxicos: Lerma y Atoyac. *La historia de negligencia continúa*. Ciudad de México. <https://www.greenpeace.org>
- Guerra-Hernández, E., Balán-Hernández, L. L., Guerrero, O. R. y Campos, L. L. S. (2008). *Una mirada a los recursos hídricos en la zona alta de la subcuenca del río Atoyac*. Mem. VII Cong. Int., XIII Cong. Nac., III Reg. de Ciencias Ambientales. 4-6 Junio. Cd. Obregón, México.
- Gupta, D. K., Chatterjee, S., Datta, S., Veer, V. y Walther, C. (2014). Role of phosphate fertilizers in heavy metal uptake and detoxification of toxic metals. *Chemosphere* 108, 134-144.



- Gutérrez, L. D. (2014). *Determinación de la capacidad de asimilación de contaminantes en la presa Manuel Ávila Camacho, Puebla*. Tesis. Instituto Mexicano de tecnología del Agua.
- Güven, D., Hanhan, O., Aksoy, E. C., Insel, G. y Çokgör, E. (2017). Impact of paint shop decanter effluents on biological treatability of automotive industry wastewater. *J. Haz. Materials* 330, 61-67.
- Hayakawa, A., Shimizu, M., Woli, K. P., Kuramochi, K. y Hatano, R. (2006). *Evaluating stream water quality through land use analysis in two grassland catchments: impact of wetlands on stream nitrogen concentration*. *J. Environ. Qual.* 35, 617-627.
- Hernández-Ramírez, A. G., Martínez-Tavera, E., Rodríguez-Espinosa, P. F., Mendoza-Pérez, J. A., Tabla-Hernández, J., Escobedo-Urias, D. C., Jonathan, M. P. y Sujitha, S. B. (2019b). Detection provenance and associated environmental risks of water quality pollutants during anomaly events in River Atoyac, Central México: A real-time monitoring approach. *Science of the total Environment* 669, 1019-1032.
- Hodge, V. J. y Austin, J. (2004). A survey of outlier detection methodologies. *Art. Intelligence Rev.* 22, 85-126.
- Horne, A. J. y Goldman, C. R. (1994). *Limnology*. (2ª ed., p. 376). McGraw-Hill Inc. New York.
- Hui, C., Guo, X., Sun, P., Khan, R.A., Zhang, Q., Liang, Y., y Zhao, Y. H. (2018). Removal of nitrite from aqueous solution by *Bacillus amyloliquefaciens* biofilm adsorption. *Bioresour. Technol.* 248(B), 146-152.
- Humway, R. H. y Stoffer, D. S. (2016). Time Series Analysis and Applications, Using the R Statistical Package. (p. 181). *Free Dog Publishing*.
- Iriondo, A. y Mota, J. (2004). *Desarrollo de una red neuronal para estimar el oxígeno disuelto en el agua a partir de instrumentación de EDAR*. XXV Jornadas de Automática. 8-10 de Septiembre. Universidad de Castilla la Mancha. Ciudad Real, España.
- Isçen, F. C., Emiroglu, Ö., İlhan, S., Arslan, N., Yilmaz, V. y Ahiska, S. (2008). Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake. Turkey. *Environ Monit Assess.* 144, 269-276.
- Jamieson, R. A., Baldini, J. U. L., Frappier, A. B. y Müller, W. (2015). Volcanic ash fall events identified using principal component analysis of a high resolution speleothem trace element data. *Earth Planet. Sci. Lett.* 426, 36-45.
- Jiménez, C. B. E. (2002). Cap. 2. *La Contaminación del Agua. La contaminación ambiental en México*. (pp. 33-315). Limusa. México.
- Jindal, R. y Sharma, C. (2011). Studies on water quality of Sutlej River around Ludhiana with reference to physicochemical parameters. *Environmental Monitoring Assessment* 174, 417-425.
- Jonnalagadda, S.B., Mhere, G. (2001). Water quality of the Odzi River in the eastern highlands of Zimbabwe. *Water Res* 35(10), 2371-2376.
- Kamiyaa, K. y Fuse, T. (2015). *Statistical Anomaly Detection for Monitoring of Human Dynamics. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-4/W5. Indices
- Kawano, M. y Thao, V. D. (2012). Spatial and temporal trends of persistent organic chemicals in Vietnam soils. En Loganathan, B. G., Lam, P. K. S (Eds.). *Global Contamination Trends of Persistent Organic Chemicals*. (pp. 278-298). CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Kiran Kumar, A., Ponampalli Nageswara, S., Mohan, V. y Reddy, S. (2016). Incidence of selected endocrine disrupting estrogens in water bodies of Hyderabad and its relation to water quality parameters. *Environ Eng Manage J* 15(2), 315-325.
- Klaasen, C. D. y Watkins, B. J. (2001). Efectos tóxicos de metales. En *Manual de Toxicología*. (pp. 659-722). McGraw-Hill. México.
- Ledoux, F., Kfoury, A., Delmaire, G., Roussel, G., Zein, A.E. y Courrot, D. (2017). Contributions of local and regional anthropogenic sources of metals in PM2.5 at an urban site in Northern France. *Chemosphere* 181, 713-724.



- Li, G., Xinghui, X., Yang, Z., Wang, R., Voulvoulis, N. (2006). Distribution and sources of poly- cyclic aromatic hydrocarbons in the middle and lower reaches of the Yellow River. China. *Environ. Pollut.* 144, 985–993.
- Martínez T. E. (2016). *Variación Espacio-Temporal de la Calidad del agua del río Atoyac (2013- 2014) Puebla, México*. Tesis. Instituto Politécnico Nacional.
- Martínez-Taver, E., Rodríguez-Espinosa, P. F., Shurti, C. V., Sujitha, S. B., Morales-García, S. y Muñoz-Sevilla N. P. (2017). Monitoring the seasonal dynamics of physicochemical parameters from Atoyac river basin (Puebla), Central Mexico: multivariate approach. *Environ. Earth Sci.* 76, 95. doi 10.1007/s12665-017-6406-2.
- Matsché, N. y Stumwöhler, K., 1996. UV absorption as control parameter for biological treatment plants. *Wat. Sci. Tech.* 33(12), 211–218.
- Mayer, B., Shanley, J. B., Bailey, S. W. y Mitchell, M. J. (2010). Identifying sources of stream water sulfate after a summer drought in the Sleepers River watershed (Vermont, USA) using hydrological, chemical and isotopic techniques. *Appl. Geochem.* 25, 747–754.
- McCulligh, C. (2017). *Alcantarilla del progreso: Industria y Estado en la contaminación del río Santiago en Jalisco*. Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS). Guadalajara. México.
- Medina, A. A., Ortíz, I. y Hernández, E. (2017). *Prevalence of Entorobacteriaceae and contaminants survey in sediment of the Atoyac River. Water technology and sciences (in Spanish)* 8(3), 27–37.
- Mena M. I., Bustamante, G. A., Vargas, L. S., Olvera, H. J. I. y Méndez E. J. A. (2017). Evaluación ecológica del río Zahuapan. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33(1), 7–19.
- Méndez, G. T., Rodríguez, D. L. y Mayorga, S. (2000). Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados. Sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. *Terra Latinoamericana* 18(4), 277–288.
- Metcalf y Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización*. (Vol. I., 3ª Ed.). Mc Graw-Hill. ISBN: 84-481-1727-1.
- Microbics Corporation. (1992). *Microtox Manual, volume 1 Getting Started. A Toxicity Testing Handbook*. (p. 85).
- Mitchell, G. B., Kahru, M., Wieland, J. y Stramska, M. (2002). Determination of spectral absorption co-efficient of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: Fargion, G. S. y Mueller, J. L. (Ed.), *Ocean optics protocols for Satellite Ocean color sensor validation, NASA/TM-2002-210004-/Rev.3*. (Vol. 2. pp 231–257). NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt.
- Morales-García, S. S., Rodríguez-Espinosa, P. F., Shruti, V. C., Jonathan, M. P. y Martínez-Tavera, E. (2017). Metal concentration in aquatic environments of Puebla River basin, Mexico: Natural and industrial influences. *Environ. Sci. Polut. Res.* DOI 10.1007/s11356-016-8004-3
- Muñoz-Nava, H., Suárez-Sánchez, J., Vera-Reyes, A. Orozco-Flores, S., Batlles-Sales, J., Ortiz-Zamora, A. J. y Mendiola- Argüelles, J. (2012). Demanda bioquímica de oxígeno y población en la sub-cuenca del río Zahuapan Tlaxcala, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28(1), 27–38.
- Nasrabadi, T., Ruegner, H., Sirdari, Z. Z., Schwientek, M. y Grathwohl, P. (2016). Using total suspended solids (TSS) and turbidity as proxies for evaluation of metal transport in river water. *Appl Geochem* 68, 1–9.
- NMX-AA-003-1980-SCFI. Aguas Residuales-Muestreo
- NMX-AA-007-SCFI- 2000. Análisis de Agua – Determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y tratadas – Método de Prueba.
- NMX-AA-008-SCFI- 2011. Análisis de Agua – Determinación del pH en aguas naturales, residuales y tratadas – Método de Prueba.
- NMX-AA-012-SCFI- 2000. Análisis de Agua – Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y tratadas – Método de Prueba.



NMX-AA-028-SCFI- 2001. Análisis de Agua – Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y tratadas – Método de Prueba.

NMX-AA-030-SCFI- 2001. Análisis de Agua – Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y tratadas – Método de Prueba.

NMX-AA-034-SCFI- 2001. Análisis de Agua – Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y tratadas – Método de Prueba.

NMX-AA-038-SCFI- 2001. Análisis de Agua – Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y tratadas – Método de Prueba.

NMX-AA-087-1995-SCFI. Análisis de Agua. Evaluación de Toxicidad Aguda con *Daphnia magna* Status (Crustacea-Cladocero)- Método de Prueba.

NMX-AA-112-1995-SCFI. Análisis de Agua y Sedimentos. Evaluación de Toxicidad Aguda con *Photobacterium phosphoreum*- Método de Prueba.

NOM-001-ECOL-1996. Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales.

NOM-127-SSA1-1994 Mod. (2000). Modificación a la norma oficial mexicana, salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. (p. 21). *Diario oficial de la federación (DOF)*.

NOM-127-SSAI-1994. Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano- Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua para su Potabilización.

Nordin, N., Amir, S. F. M. y Riyanto Othman, M. R. (2013). Textile industries wastewater treatment by electrochemical oxidation technique using metal plate. *Int. J. Electrochem. Sci.* 8(11403), 11415.

OECD. (1995). Guidelines for testing of chemicals Genetic Toxicology: *Salmonella typhimurium*. *Reverse. Mutat. Assay* 471, 1-9.

Ortiz A. A. I., Borráz, A. M. T., Hernández, C. P. y Neris, S. M. (2015). Presencia de contaminantes en tre cuerpos de agua del Estados de Puebla., Memorias del IV congreso Internacional y XX congreso Nacional de Ciencias Ambientales. ANCA 2015. *En Revista Latinoamericana El Ambiente y las Ciencias*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Paerl, H. W., Pinckney, J. L., Fear, J. M. y Peierls, B. L. (1998). Ecosystem responses to internal and water shed organic matter loading consequences for hypoxia in the eutrophying Neuse River estuary, North Carolina, USA. *Mar Ecol. Prog Ser* 166, 17–25.

Perelman, L., Arad, J., Housh, M. y Ostfeld, A. (2012). *Event detection in water distribution systems from multivariate water quality time series*. *Environ. Sci. Technol.* 46, 8212–8219.

Pérez-Castresana. G. (2019). *Calidad del Agua del río Atoyac en el valle de Puebla y el riego en salud en la población Emilio Portes Gil, municipio de Ocoyucan, Puebla*. Tesis. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Pimentel, D. (2006). Soil erosion: a food and environmental threat. *Environ Dev Sustain* 8, 119–137.

Purdue, M. P., Hoppin, J. A., Blair, A., Dosemeci, M. y Alavanja, M. C. R. (2007). Occupational exposure to organochlorine insecticides and cancer incidence in the agricultural health study. *Int. J. Cancer* 120(3), 642–649.

Qamar, Z., Khan, S., Khan, A., Aamir, M., Nawab, J. y Wagas, M. (2017). Appraisal, source apportionment and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in vehicle-wash wastewater. *Pakistan. Sci. Total Environ.* 15, 106–113.

Randall, M. G. y Petrocelli, R. S. (1997). *Fundamentals of aquatic toxicology*. (pp. 666). Hemisphere Publishing Corporation, Washington. D.C.

Rathore, J. (2011). Assessment of water quality of River Bandi affected by textile dyeing and printing effluents, Pati, Western Rajasthan. *Int. J. Environ. Sci.* 2(2), 572–580.



- Reynolds, D. M. y Ahmad, S. R. (1997). Rapid and direct determination of waste water BOD values using a fluorescence technique. *Water Res* 31(8), 2012–2018.
- Rivera-Vázquez, R., Palacios-Vélez, O. I., Chávez, M. J., Belmont, M. A., Nikolski-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. Ambie.* 23, 69–77.
- Rodríguez-Espinosa, P. F., Jonathan, M. P., Morales-García, S., Campos-Villegas, L. E., Martínez-Tavera, E., Muñoz-Sevilla, N. P. y Alvarado-Cardona, M. (2015). Metal enrichment of soils following the April 2012–2013 eruptive activity of the Popocatepetl volcano, Puebla, México. *Environ. Monit. Assess.*, 187:717.
- Rodríguez-Espinosa, P. F., Martínez-Tavera, E., Muñoz-Sevilla, N. P., Morales-García, S. S., Mendoza-Pérez, J., Hernández-Ramírez, A. G. (2015). *Variación, procesamiento y análisis de muestras relativas al proyecto denominado “Red de estaciones de monitoreo para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua en la cuenca del Alto Atoyac*. CIEMAD-IPN.
- Rodríguez-Espinosa, P. F., Morales-García, S. S., Jonathan, M. P., Navarrete-Lopez, M., Bernal-Campos, A. A., Gonzalez-Cesar, A. y Muñoz-Sevilla, N. P. (2011). *Servicio ambiental de la presa Valsequillo para las cuencas de los Ríos del Atoyac-Sahuapan y Alseseca, Puebla, Tlaxcala, México*. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2020/03/Servicio-Ambiental-de-la-Presa-Valsequillo-para-las-cuencas-de-los-R%C3%ADos-del-Atoyac-Sahuapan-y-Alseseca-Puebla-Tlaxcala-M%C3%A9xico.pdf>
- Rodríguez-Espinosa, P. F., Shruti, V. C., Jonathan, M. P. y Martínez-Tavera, E. (2018). Metal concentrations and their potential ecological risks in fluvial sediments of Atoyac River basin. Central Mexico: volcanic and anthropogenic influences. *Ecotoxicol. Environ. Safety* 148, 1020–1033.
- Saldaña, F. B., Alcocer, Y. V. H., Lerdo de Tejada, B. A. y Gómez, B. M. A. (2002a). *Calidad del agua en colectores de la ciudad de Puebla y la aplicación de análisis de toxicidad*. XXVIII Congreso Internacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS. FEMISCA. Cancún, México.
- Saldaña, F. P. y Gómez, B. M. A. (2006). *Caracterización de fuentes puntuales en el río Atoyac, México*. XXX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS.
- Saldaña, P., Lerdo de Tejada, A., Gómez, M. A. y López, R. (2002b). *La importancia de incluir análisis de toxicidad en descargas industriales y municipales que afectan a los cuerpos de agua receptores*. XXVIII Congreso Internacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS. FEMISCA. Cancún, México.
- Sandoval, V. A. M., Pulido-Flores, G., Monks, S., Gordillo, M. J. G. y Villegas, V. E. C. (2009a). *Evaluación fisicoquímica, microbiológica y toxicológica de la degradación ambiental del río Atoyac, México*. (Vol. 34. no. 12). Interciencia. INCI. Caracas. ISSN 0378-18844.
- Saxena M, Saksena DN (2012) *Water quality and trophic status of Raipur reservoir in Gwalior, Madhya Pradesh*. *J Nat. Sci. Res.* 2(8):82–96
- Schauer, O., 2003. *Titanium in automotive production*. *Adv. Eng. Mat.* 5 (6), 411–418.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados [SARH-CP]. (2016). *Diagnóstico Agropecuario Regional del Centro de Apoyo al Desarrollo Agrícola Regional*. Atlixco, Puebla, México.
- Secretaría de Gobernación. (6 de julio de 2011). *Declaratoria de clasificación de los ríos Atoyac, Xochiac o Hueyapan, y sus Afluentes, Mexico*. *Diario Oficial de la Federación*. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5199672
- SEMARNAT. (2015). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambiental. Indicadores clave y de desempeño ambiental*. Edición 2014. México [en línea]. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap6.html>
- SEMARNAT. (2018). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. Subdirección general del agua potable, drenaje y saneamiento. Comisión Nacional del Agua.



- Sharma, A., Bora, C. R. y Shukla, V. (2013). Evaluation of seasonal changes in physico- chemical and bacteriological characteristics of water from the Narmada river (India) using multivariate analysis. *Nat Resour Res.* doi:10.1007/s11053-013- 9204-x
- Shurti, V. C., Jonathan, M. P., Rodríguez-Espinosa, P. F., Nagarajan, R., Escobedo-Urias, D. C., Morales-García, S. S. y Martínez- Tavera, E. (2017). Geochemical characteristics of stream sediments from an urban-volcanic zone, Central Mexico: Natural and man-made inputs. *Chemie der erde* 77, 3003-3321.
- Silva Gómez, S. E., Muñoz, O. A., Isla, B. M. A. y Infante G. S. (2002). Contaminación ambiental en la región de Atlixco, 1 agua., Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. *Terra Latinoamericana*, 20(3), 243-251.
- Singh, T. A., Meetei, N. S. y Meitei, L. B. (2013). Seasonal variation of some physico- chemical characteristics of three major rivers in Imphal, Manipur: a comparative evaluation. *Curr. World Environ* 8(1), 93-102.
- Skalak, K. J., Benthem, A. J., Schenk, E. R., Hupp, C. R., Galloway, J. M., Nustad, R. A. y Wiche, J. G. (2013). Large dams and alluvial rivers in the Anthropocene: the impacts of the Garrison and Oahe dams on the upper Missouri river. *Anthropocene* 2, 51-64.
- Song, W., Gao, B., Xu, X., Wang, F., Xue, N., Sun, S., Song, W. y Jia, R. (2016). Adsorption of nitrate from aqueous solution by magnetic amine-cross linked biopolymer based corn stalk and its chemical regeneration property. *J. Haz. Mat.* 304, 280-290.
- Soto-Cruz, O., Carrillo-Chávez, J. A., Suárez-Sánchez, J. (2011). Capítulo 1 Análisis de contaminación en Zahuapan: río-región- contaminación. *Concentración de metales y metaloides en sedimentos del río Zahuapan, Tlaxcala, México.* Colegio de Tlaxcala A. C. ISBN:978-607-7673-27-0
- Sperling, M. V. (2001). *Principios Básicos do Tratamento de Esgotos.* (4ª ed. p. 211). Universidade Federal de Minas Gerais.
- SRH. (1970). Boletín Hidrológico de la región hidrológica Núm. 18 parcial.
- Stoker, H.S. y S.L. Seager (1981). *Química Ambiental: Contaminación del Aire y del Agua.* Blume.
- Suárez, P. M. (2002). Tendencia actual del Estreptococo como indicador de contaminación fecal. *Rev Cubana Hig Epidemiol.*
- Sun, C., Zhang, J., Ma, Q., Chen, Y. y Ju, H. (2017). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in water and sediment from a river basin: sediment-water partitioning, source identification and environmental health risk assessment. *Environ. Geochem. Health* 39(1), 63-74.
- Tabla-Hernández, J., Rodríguez-Espinosa, P. F., Mendoza-Pérez, J. A., Sánchez-Ortiz, E., Martínez-Tavera, E., Hernández- Ramirez, A. G. (2019). Assessment of potential toxic metals in a Ramsar wetland, Central Mexico and its self-depuration through *Eichhornia crassipes*. *Water* 11, 1248. doi:10.3390/w11061248
- Takiya, T., Horie, Y., Futo, S., Matsumoto, Y., Kawai, K. y Zuzuki, T. (2003). Rapid selection of nonhotspot mutants among hidD+ revertants of Salmonella typhimurium TA98 in Ames test by peptide nucleic acid (PNA)-mediated PCR clamping. *J. Biosci. Bioeng.* 96, 588-590.
- Telci, T. I., Kijin, N., Jiabao, G. y Mustafa, A. (2009). Optimal water quality monitoring network design for river systems. *Journal of Environmental Management* 90, 2987-2998.
- Torres, E. B., González, L. G., Rustrián, O. E. y Houbron E. (2013). Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad de un río. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29(3), 135-146.
- Tyson, R. V. y Pearson, T. H. (2016). Modern and ancient continental shelf anoxia: an overview. *Geol. Soc. Spec. Publ.* 58, 1-24.
- Umbuzeiro, A., Roubicek, D., Sánchez, P. y Sato M. Z. (2001) The Salmonella mutagenicity assay in a surface water quality monitoring program based on a 20-year survey. *Mut. Res.* 49, 119-126.
- Vargas, C. (2000). *Curso sobre métodos bacteriológicos para el análisis de Agua Potable.* Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Environmental Protection Agency [OPS/CEPIS]. Lima.



Villalobos-Pietrini, R., Flores-Márquez, R. A., Gómez-Arroyo, S. (2011). Capítulo 1 Análisis de contaminación en Zahuapan: río- región-contaminación. *Detección de mezclas complejas de sustancias con efectos genotóxicos en el sistema hidrológico Atoyac- Zahuapan (SH-AZ) Tlaxcala*. Colegio de Tlaxcala, A. C. México. ISBN:978-607-7673-27-0.

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas [WAAP]. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. UNESCO.

Walter, P. y Viguerie, L. (2018). Material science challenges in paintings. *Nat. Mat.* 17, 106–109.

Wang, J., Li, L., Li, F., Kharrazi, A. y Bai, Yu. (2018). Regional footprints and interregional interactions of chemical oxygen demand discharges in China. *Res. Conser. Recycl.* 132, 386–397.

Wright, R. (1982). Seasonal variation in water quality of a West African river (R. Jong in Sierra Leone). *Rev Hydrobiol Trop* 15(3), 193–199.

Yan, Z., Han, W., Penueles, J., Sardans, J., Elser, J. J., Du, E., Reich, P. B. y Fang, J. (2016). Phosphorus accumulates faster than nitrogen globally in freshwater ecosystems under anthropogenic impacts. *Ecol. Lett.* 19, 1237–1246.



