

COORDINACIÓN DE TRATAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA

SUBCOORDINACIÓN DE HIDROBIOLOGÍA Y EVALUACIÓN AMBIENTAL

ESTRATEGIA DE RESTAURACIÓN DE LA CUENCA DEL ALTO ATOYAC Y SUS AFLUENTES CON ESPECIAL ATENCIÓN A LOS RÍOS ATOYAC Y ALSESECA.

Responsable del Proyecto

Dra María del Pilar Saldaña Fabela

SECRETARÍA DE SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL, SUSTENTABILIDAD Y
ORDENAMIENTO TERRITORIAL (SDRSOT)-IMTA

Convenio de Colaboración C.C.01.04.3.0.2016.-000099

INFORME FINAL

Enero 2017

Contenido

1.	Introducción.	1
1.1.	Antecedentes.	5
1.1.1.	Recopilación bibliográfica y resumen de literatura científica y de divulgación publicada	5
1.2.	Descripción de la Cuenca del Alto Atoyac, (hidrológico- ecológico).	12
1.2.1.	Hidrología superficial	12
1.2.2.	Hidrología Subterránea	19
1.2.3.	Ecología	28
1.3.	Descripción de casos de éxito de restauración de ríos a nivel mundial.	31
2.	Situación Actual	43
2.1.-	Principales actividades productivas e industrias dentro de la Cuenca.	51
2.1.1.	Parques industriales.	51
2.2.-	Descripción de la problemática actual.	56
2.2.1.	Aguas subterráneas.	65
2.3.-	Descripción de la Biodiversidad actual.	67
2.4.-	Descripción de la normatividad vigente.	70
2.5.-	Descripción de contaminantes emergentes y/o que no contempla la normatividad vigente.	73
3.	Acciones	76
3.1-	Acciones en ríos y su cauce.	76
3.1.1.	Saneamiento y Plantas de Tratamiento	77
3.2	Acciones en aguas subterráneas	78
3.3-	Acciones de investigación.	78
4.	Estrategias	80
5.	Sesión de trabajo para el Saneamiento del río Atoyac	87
6.	Literatura	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estación de monitoreo móvil (foto izquierda) y fija (foto derecha) para la medición de parámetros de calidad del agua en río Atoyac, Puebla. Fuente: SDRSOT.....	3
Figura 2. Ubicación de estaciones de monitoreo (imagen izquierda), sitios con mayor contaminación detectadas por la red de monitoreo en tiempo real (imagen derecha). Fuente SDRSOT.....	3
Figura 3. Sitios de monitoreo cercanos a la Red de monitoreo en donde se realizaron análisis de 62 parámetros fisicoquímicos y compuestos orgánicos. (Fuente: CIEMAD-IPN, 2016)	4
Figura 4. Fotografías de muestras de los efluentes de la lavandería textil, después de aplicado el proceso de sedimentación por 24 h. Fuente: M. Solís, 2013	9
Figura 5. Localización de la región hidrológica número 18 y estados que lo conforman, así como la delimitación del Alto Balsas. Fuente: DO, 2011 y CONAGUA, 2009.	12
Figura 6. Subregiones y cuencas de la Región Hidrológica número 18 Balsas. Fuente: DO, 2011. ..	13
Figura 7. Clasificación de las corrientes que confluyen en la cuenca Alta del río Atoyac (Puebla-Tlaxcala). Elaboración propia.	15
Figura 8. Subcuenca del río Atoyac, Puebla con arroyos y barrancas que la integran	16
Figura 9. Subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala	16
Figura 10. Subcuenca del río Alseseca, Puebla	17
Figura 11. Subcuenca de la Presa Valsequillo (Miguel Ávila Camacho).	17
Figura 12. Clasificación de ríos Strahler (1964) en Chapman, 1996.....	18
Figura 13. Cuenca del Alto Atoyac, Puebla-Tlaxcala. Elaboración propia	19
Figura 14. Sistema de Topoformas del Estado de Puebla. Marcado en línea roja la cuenca Alta del río Atoyac Puebla Taxcala.	23
Figura 15. Sistemas de Topoformas de Tlaxcala, línea roja señalando la subcuenca del río Zahuapan.....	26
Figura 16. Ecoregiones de sistemas de agua dulce a nivel mundial. Fuente http://www.feow.org/downloads/	28
Figura 17. Mapa de ecorregiones en México.	29
Figura 18. Estudios de calidad del agua y de indicadores biológicos de los ríos que atraviesan la población de Pereira.	38
Figura 19. Esquema y etapas de aprobación	39
Figura 20. Calidad del agua (DBO) del río Atoyac en los sitios de monitoreo de 2007. Fuente CONAGUA-SINA.....	45
Figura 21. Calidad del agua (DQO) del río Atoyac en los sitios de monitoreo de 2007. Fuente CONAGUA-SINA.....	45
Figura 22. Calidad del agua (SST) del río Atoyac en los sitios de monitoreo de 2007. Fuente CONAGUA-SINA.....	45
Figura 23. Calidad del agua medida como DBO de la Red de Monitoreo Nacional en 2015	46
Figura 24. Clasificación de calidad del agua para Demanda Química de Oxígeno en 2015.....	46

Figura 25. Clasificación de calidad del agua para Sólidos Suspendidos Totales en 2015	46
Figura 26. Buffer de población asentada en las cercanías del cauce principal del río Atoyac.....	48
Figura 27. Buffer de población asentada en las cercanías del cauce principal del río Zahuapan.	49
Figura 28. Buffer de población asentada en las cercanías del cauce principal del río Alseseca.	50
Figura 29. Buffer de población asentada en las cercanías de la presa Valsequillo.	51
Figura 30. Parques industriales existentes en México por Estado.....	53
Figura 31. Ubicación de los Parques y zonas Industriales en la cuenca Alta del Río Atoyac. Fuente SDRSOT	54
Figura 32. Porcentajes de Población y Municipios en la Cuenca Alta del río Atoyac (Tomando en cuenta la subcuenca del río Zahuapan).	56
Figura 33. Descargas de aguas residuales municipales sin tratamiento aportadas a un cuerpo receptor (INEGI, 2015).	57
Figura 34. Caudales medidos en las descargas de aguas residuales municipales e industriales. Fuente: CONAGUA 2006.	58
Figura 35. Caudales medidos en las descargas de aguas residuales municipales, industriales y efluentes de plantas de tratamiento. Fuente: CONAGUA 2006.	59
Figura 36. Tratamiento convencional de agua residual. Fuente CONAGUA, 2006.....	60
Figura 37. Regiones Hidrológicas Prioritarias. Fuente: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Hmapa.html	68
Figura 38. Visión general de los Principios de la Gobernanza del Agua de la OCDE.....	80
Figura 39. Ciclo de Gobernanza del Agua. Fuente OCDE, 2015	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Carga contaminante y principales compuestos orgánicos identificados por zonas.....	1
Tabla 2. Resumen de los resultados obtenidos. Las flechas indican que los parámetros estuvieron por arriba de la norma o los criterios ecológicos para protección de vida acuática.	6
Tabla 3. Región Hidrológica 18 Río Balsas y sus cuencas y subcuencas.....	14
Tabla 4. Población asentada en el acuífero del Valle de Puebla	21
Tabla 5. Municipios y número de habitantes cercanos al cauce principal del río Atoyac	47
Tabla 6. Municipios y número de habitantes cercanos al cauce principal del río Zahuapan	48
Tabla 7. Municipios y número de habitantes cercanos al cauce principal del río Alseseca.....	49
Tabla 8. Municipios y número de habitantes cercanos a la presa Valsequillo.	50
Tabla 9. Zonas industriales en el Estado de Puebla y empresas registradas	55
Tabla 10. Industrias registradas por subsector de manufactura.	55
Tabla 11. Evolución de plantas de tratamiento municipales por Estado. Fuente Conagua-SIAG, 2015	63
Tabla 12. Evolución de plantas de tratamiento industriales por Estado. Fuente Conagua-SIAG, 2015	63
Tabla 13. Puebla Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) 2010.....	64
Tabla 14. Disponibilidad de aguas superficiales en la cuenca del río Atoyac	64

1. INTRODUCCIÓN.

El deterioro de los recursos hídricos es una constante en países en desarrollo; ríos contaminados; procesos de eutrofización en lagos y reservorios; ecosistemas de agua dulce severamente afectados por actividades antrópicas, son factores que tienen en común los países de América Latina, incluido México y que deben revertirse (Global Water Partnership, s/f). Tal es el caso de la cuenca Alta del río Atoyac de Puebla-Tlaxcala.

El presente informe surge como una respuesta a la problemática de contaminación del agua del río Atoyac y al estudio que realizó la Conagua para la Declaratoria del río Atoyac, en la tabla 1 se resume la problemática de contaminación de la cuenca. El estudio delimitó a la cuenca Alta del río Atoyac en 6 zonas. En la zona 4 confluye el río Zahuapan-Tlaxcala, el principal afluentes del río Atoyac, por lo que las acciones y estrategias que se propongan deben de ser aplicadas también en el río Zahuapan, y los Gobiernos de Puebla y Tlaxcala deben de coadyuvar a la mejora en la cuenca del río, ya que las cuencas hidrográficas tiene delimitación propia y es independiente de la delimitación estatal.

Tabla 1. Carga contaminante y principales compuestos orgánicos identificados por zonas.

Zona	Longitud de la zona (Km)	DBO (ton/día)	DQO (ton/día)	N-NH3 (ton/día)	Compuestos orgánicos identificados	Caudal (L/s)	Municipios	Descargas
1	12.90 km.	0.63	1.379	0.024	Cloroformo, Tolueno, Etilbenceno, Xileno, Bis 2 (etil hexil) ftalato, Dietil ftalato, Nitrobenceno	273	San Matías Tlalancaleca	
2	17.75 km.	12.91	27.033	1.604	Cloruro de metilo, Cloroformo, Cloruro de vinilo, Diclorobenceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno, Bis 2 (etil hexil) ftalato, Dietil ftalato, Nitrobenceno	704	San Martín Texmelucan	Municipal de San Martín y Colector Industrial Quetzalcoatl
3	16.73 km.	12.81	22.944	0.296	Cloroformo, Cloruro de vinilo, Diclorobenceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno, Bis 2 (etil hexil) ftalato, Dietil ftalato, Nitrobenceno	1872	Nativitas	Colector Industrial El carmen
4	5.51 km	3.74	7.896	0.058	Cloruro de metilo, Cloroformo, Cloruro de vinilo, Diclorobenceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno, Bis 2 (etil hexil) ftalato, Dietil ftalato, Nitrobenceno	2208	San Jacinto	Colector Panzacola (Recibe río Zahuapan)
5	8.21 km	7.95	19.662	1.125	Cloruro de metilo, Cloroformo, Cloruro de vinilo, Diclorobenceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno, Bis 2 (etil hexil) ftalato, Dietil ftalato, Nitrobenceno	2985	Cuatlanlancingo	PTAR Barranca El Conde, Colectores 5 de Mayo, Parque Industrial Camino San Lorenzo
6	23.87 km	28.36	53.889	4.934	Cloruro de metilo, Cloroformo, Cloruro de vinilo, Diclorobenceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno, Bis 2 (etil hexil) ftalato, Dietil ftalato, Nitrobenceno	3883	Puebla	PTAR San Francisco, Atoyac Sur. Parque Industrial Cuatlanlancingo

El informe tiene como objetivo, de la información sobre la problemática de contaminación de calidad del agua de la cuenca Alta del río Atoyac, Puebla, proponer acciones y/o estrategias para mejorar no solo la calidad del agua en la cuenca, sino que también el ecosistema acuático en general. Las acciones y estrategias deberán incluir a todos los actores de la cuenca, gobierno, industriales, sociedad civil, que directa o indirectamente coadyuven a la implementación, monitoreo, seguimiento y mejoras en la recuperación de la cuenca.

Establecimiento de una Red de Monitoreo de calidad del agua en tiempo real en Puebla

El Gobierno de Puebla a través de la Secretaría de Desarrollo Rural, Sustentabilidad y Ordenamiento Territorial (SDRSOT), desde el año de 2013 inicio con la implementación de una Red de Estaciones de Monitoreo de calidad del agua en tiempo real, llevando a cabo el proyecto denominado *“Estudios para la Red de Estaciones de Monitoreo para la Preservación, Conservación y Mejoramiento de la Calidad del Agua en la Cuenca del Alto Atoyac”* con el objetivo principal de coadyuvar al saneamiento de las aguas del Río Atoyac ubicadas en el Estado de Puebla y conocer la variabilidad de algunos parámetros medidos *in situ* y asociados a la calidad del agua; dando inicio a la primera red de monitoreo de calidad del agua en tiempo real en México y posiblemente en América Latina (E. Martinez-Tavera et al., 2017). El proyecto antes mencionado comprendió la operación continua de una serie de 9 estaciones fijas, 2 dobles y 2 móviles a lo largo de la Cuenca Alta del Río Atoyac (Figura 1).

Para el proyecto la Secretaría (SDRSOT) conto con la participación del Instituto Politécnico Nacional a través del Centro Interdisciplinario de Investigación y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD) quien desde 2012 hasta 2015 llevo el proyecto realizando los estudios y análisis de las estaciones de monitoreo en tiempo real y de muestreos puntuales con el análisis de 62 parámetros fisicoquímicos y orgánicos en tres Etapas.

- Etapa I. Caracterizar la calidad del agua del Alto Atoyac mediante el análisis de 62 parámetros de campo, fisicoquímicos y compuestos orgánicos.
- Etapa II. Interpretación de los datos obtenidos de cada estación de monitoreo automático orientados a la identificar de la posible procedencia de contaminantes.
- Etapa III. Consolidar un indicador de la calidad del agua que permita dar seguimiento al saneamiento de la Cuenca del Alto Atoyac.

La ubicación de los sitios de monitoreo en tiempo real se presenta en la figura 2, los parámetros medidos en la Red de monitoreo incluyen, temperatura, potencial de hidrógeno, potencial redox, oxígeno disuelto, conductividad, materia orgánico a través del Coeficiente de Absorción Espectral (SAC), turbidez, con una periodicidad de cada 15 minutos.



Figura 1. Estación de monitoreo móvil (foto izquierda) y fija (foto derecha) para la medición de parámetros de calidad del agua en río Atoyac, Puebla. Fuente: SDRSOT

Los principales resultados y el análisis de los estudios se presentan a continuación.

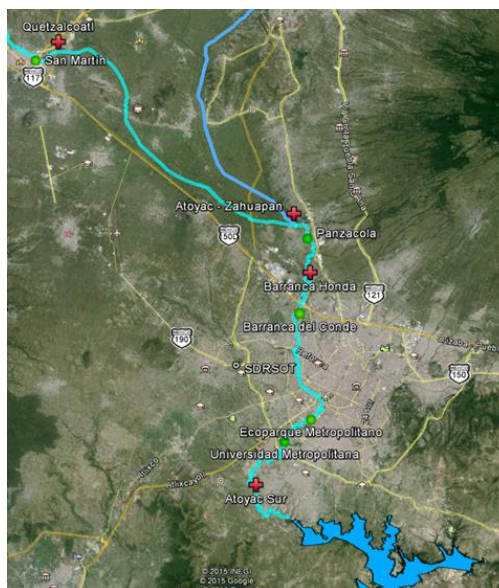


Figura 2. Ubicación de estaciones de monitoreo (imagen izquierda), sitios con mayor contaminación detectadas por la red de monitoreo en tiempo real (imagen derecha). Fuente: SDRSOT

Los análisis realizados en laboratorio, fueron de muestras de agua tomadas en sitios cercanos a los ubicados en la red de monitoreo del proyecto realizado por el CIEMAD del Instituto Politécnico Nacional en la Etapa I. Se identificaron compuestos orgánicos en los sitios de: San Martín Atoyac; Atoyac Sur; Zahuapan; Panzacola y Ecoparque; Atoyac y Barranca Honda Río Secundario,

destacando **bifenilos policlorados** (San Martín Atoyac, Atoyac, Ecoparque y Atoyac Sur); **DDT** (San Martín Atoyac, Quetzalcóatl, Atoyac, Panzacola; Barranca Honda Atoyac y Atoyac Sur); **endrin** (San Martín Atoyac, Atoyac, Panzacola, Barranca Honda Atoyac y Atoyac Sur).

Es importante destacar que los 3 compuestos orgánicos persistentes y prohibidos por el Convenio de Estocolmo y que están presentes en San Martín Atoyac y Atoyac Sur, correspondiendo la primera a la zona 2 y la segunda a la zona 6 del estudio de la Declaratoria de Clasificación (Figura 3).

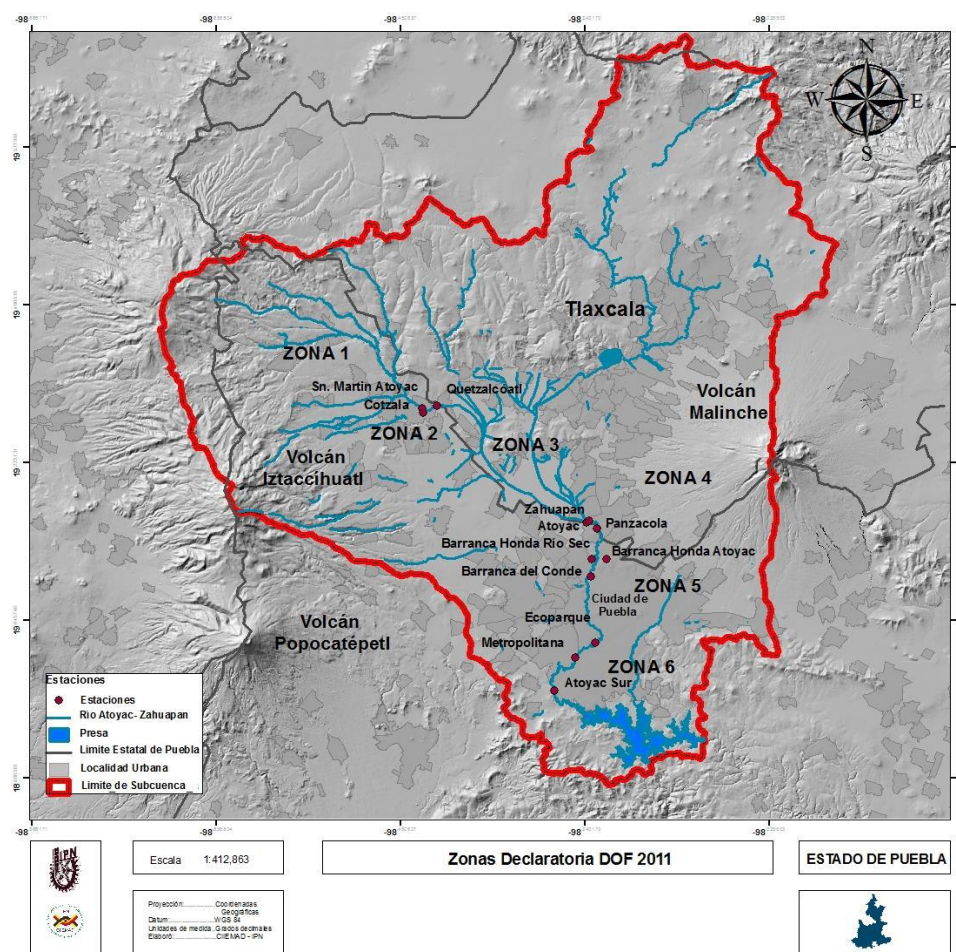


Figura 3. Sitios de monitoreo cercanos a la Red de monitoreo en donde se realizaron análisis de 62 parámetros fisicoquímicos y compuestos orgánicos. (Fuente: CIEMAD-IPN, 2016)

Altas concentraciones de nitrobenzeno, xilenos, tolueno, cloruro de vinilo, cloruro de metilo, antraceno, fluoreno, naftaleno, fenantreno, benzo (A) antraceno, benzo (A) pireno, pireno, bifenilos policlorados, malatión, endrin, DDT total, lindano y Anilina. Los compuestos enlistados

superaron los límites establecidos por La Ley Federal de Derechos del 2016; además en particular es grave la presencia de los bifenilos policlorados, Endrin y DDT denominados como compuestos orgánicos persistentes y cuyo uso está prohibido de acuerdo a lo establecido al Convenio de Estocolmo del cual México forma parte (CIEMAD, 2016).

En la Etapa III, se propuso un Índice de Calidad del Agua el cual debe de verificarse para poder ser validado únicamente con los parámetros obtenidos en las estaciones de la red de monitoreo en tiempo real.

La Red de Monitoreo de Calidad del Agua en tiempo real manejada por la secretaría (SDRSOT), es fundamental para el seguimiento de posibles acciones de saneamiento que se realicen en el río Atoyac, su funcionamiento y análisis de resultados principalmente para el parámetro Oxígeno Disuelto es un indicador que debe seguirse midiendo para poder detectar posibles mejoras en la calidad del agua cuando se incremente la concentración en el río.

1.1. Antecedentes.

1.1.1. Recopilación bibliográfica y resumen de literatura científica y de divulgación publicada

Villalobos-Pietrini et al., 1994, realizó un estudio de efectos citogenéticos y alteraciones cromosómicas en las raíces de *Vica foba*, provocadas por muestras de sedimentos y de agua del río Atoyac, encontrando que el agua residual induce disminución en el índice mitótico y produce anomalías como el rompimiento de cromosomas y por consiguiente inhibición en el crecimiento de las raíces.

La cuenca del río Atoyac, según Alvarado Cardona, M. et al. (2008); en 30 años ha perdido más de las $\frac{3}{4}$ partes de su cobertura vegetal, en ese mismo periodo las deformaciones del suelo tipo laminar ocupan $\frac{3}{4}$ partes de la cuenca. Es preocupante la erosión actual, ya que casi todos los suelos erosionados han perdido sus horizontes, la velocidad de remoción del suelo es alarmante del orden de 600 ton/ha/año. Por lo que respecta al agua y de acuerdo a la Declaratoria del río Atoyac la contaminación puntual de descargas de aguas residuales municipales e industriales deterioran la calidad del agua del río.

Rosas Salas, S. F., 2013, describe que la Manufactura Textil surgió en Puebla en el Siglo XVI, iniciando su mecanización con la fundación de La Constanza Mexicana, la primera fábrica textil del centro del país, que arrancó con 2,500 husos (Ventura 2011, 29). El asentamiento de las textileras, fue principalmente para aprovechar las instalaciones de energía hidroeléctrica brindada por el río. De tal manera, que el corredor industrial de Atoyac se formó en dos periodos, el primero entre 1835 y 1843, y el segundo, entre 1883 y 1897.

Solís Ángeles, Soledad. 2013 realizó un estudio de Alteraciones en el desarrollo embrionario del pez cebra por exposición a muestras del río Atoyac y descargas industriales, obteniéndose los resultados presentados en la tabla 2.

Tabla 2. Resumen de los resultados obtenidos. Las flechas indican que los parámetros estuvieron por arriba de la norma o los criterios ecológicos para protección de vida acuática.

Estacion	Clave	Nombre	Coord N	Coord O	OD	SDT	DQO	NO3	NO2	PT	Ni	Zn	EFECTOS
1	DPMO	Descarga Pemex Moyotzingo	19°13'49"	98°23'51"	↓ 0			↑	↑	↑			Malformaciones y retraso en el desarrollo embrionario de los peces
2	Villa Alta	Villa Alta	19°17'25"	98°24'15"	0 ↓			↑	↑	↑	↑	↑	
3	DPCQ	Descarga Corredor Quetzalcoatl	19°17'26"	98°24'48"	↓ 0.85	↑	↑	↑	↑	↑			
4	DPVA	Descarga Pemex Villa Alta	19°17'14"	98°23'58"	↓ 0	↑		↑	↑	↑			
5	Tepetitla	Tepetitla de Lizardizabal	19°17'57"	98°21'03"	0 ↓			↑	↑	↑	↑	↑	
6	San Rafael	San Rafael Tenanyecac	19°14'13"	98°22'47"	↓ 0			↑	↑	↑	↑	↑	
7	Confluencia Atoyac-Xochiac	Confluencia Atoyac-Xochiac	19°14'13"	98°21'37"	0.1 ↓			↑	↑	↑	↑	↑	
8	Xochiac	Río Xochiac	19°14'13"	98°21'37"	↓ 0.68	↑		↑	↑	↑	↑	↑	

Velasco Santos, Paola. 2014, realizó el estudio de Antropología socioambiental. Ecología política, sujetos rurales y transformación del río Atoyac en el municipio de Nativitas, Tlaxcala; menciona que, el deterioro de estas corrientes es causado principalmente por los desechos vertidos por las industrias y los centros urbanos; aunque la contaminación propiamente dicha comienza con la instalación de obreros textiles y en la época novohispana, se intensificó y se hizo más perceptible durante la década de 1970. Para el caso del río Zahuapan, se relaciona con crecimiento de la zona urbana de Tlaxcala y posteriormente con el de otras pequeñas concentraciones urbanas e industriales. La contaminación del Atoyac se intensificó a partir del crecimiento de la ciudad de San Martín Texmelucan, Puebla, y de la instalación de esta ciudad del Complejo Petroquímico (CPQ) Independencia (PEMEX) y de otras industrias.

El problema para el valle se agudizó hacia los años 90's con la consolidación y crecimiento de varios corredores industriales. En su gran mayoría, estas grandes industrias, junto con las pequeñas lavanderías clandestinas de mezclilla, descargan sus aguas residuales directamente a las corrientes de agua o a los drenajes municipales sin ningún tratamiento, ocasionando graves problemas, tanto por el número de productos tóxicos vertidos, como por las múltiples reacciones químicas que pueden surgir de la combinación entre las diferentes sustancias. El caso más grave es el río Atoyac.

Según datos de la página oficial del Gobierno del estado de Puebla (s/f), hoy en día el estado concentra un total de 12 parques y corredores industriales, la mitad de ellos están localizados en la región del valle poblano-tlaxcalteca. Las industrias cuyos desechos tóxicos afectan directamente a Nativitas son los ubicados en los municipios de San Martín Texmelucan y Huejotzingo

principalmente, localizadas cerca del río Atoyac o de alguna corriente tributaria (río Cotzalá, Xopanac y Xochiac), que una de las fuentes de contaminación más importante y que por su clandestinidad y dispersión es difícil de documentar son los pequeños talleres de lavado de mezclilla apostados en los dos lados de la frontera entre Tlaxcala y Puebla y que vierten sus desechos tóxicos a los desagües locales que luego desembocan en el río Atoyac.

Rodríguez T., L. y Morales N. J.A. (2011), en su artículo menciona que las lavanderías de mezclilla de San Mateo Ayecac descargan sus aguas residuales al drenaje de la localidad, combinándose con las aguas domésticas de los hogares, que finalmente desembocan en el río Atoyac. Tarrant-México descarga (0.3 l/s) sus aguas residuales al canal Rojano, que pasa por la localidad de Villalta, hasta desembocar, de igual forma, al río Atoyac. Esta empresa Tarrant-México es la principal contribuyente a la contaminación del río Atoyac.

El tratamiento de las aguas residuales es mínimo. En la localidad de Villalta se ubica una laguna de oxidación que no recibe mantenimiento, así como en Tepetitla existe una fosa séptica. Estos sistemas de tratamiento funcionan de manera deficiente. Las aguas domésticas provenientes de la localidad de Tepetitla se descargan sin tratamiento al canal de riego y a la fosa séptica.

La contaminación que producen los talleres de lavado se descarga al final del tubo sin que reciban tratamiento, por su parte –o bien, su tratamiento es ineficiente-, y se descargan al drenaje municipal y raras veces directamente al río Atoyac. Este comportamiento es la regla, no obstante estén obligados a que sus descargas cumplan un tratamiento de acuerdo con las NOM-001-ECOL-1996 y NOM-002-ECOL-1996- actualmente NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-002 SEMARNAT-1996.

Gloria Soto Montes de Oca, 2009, en su estudio para estimar los beneficios del proyecto integral para el saneamiento del Alto Atoyac en el estado de Puebla, cuyo objetivo fue: estimar los beneficios sociales ecológicos del saneamiento de la cuenca del Alto Atoyac, en el área ubicada en el estado de Puebla, a través del método de valoración contingente.

El proyecto de saneamiento del río Atoyac se basa en dos etapas; la primera el tratamiento de las descargas industriales y en la segunda etapa el tratamiento de las descargas municipales, incluyendo la modernización de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) actuales.

En el estudio se menciona que se contará con un total de 22 PTAR's, con plantas alrededor de la presa Valsequillo. El mismo número de plantas se instalaran o renovaran en Tlaxcala (CONAGUA).

En el mismo estudio se realizaron 1220 entrevistas a pobladores, respecto a la disposición a pagar por mejorar la calidad del agua del río Atoyac con una cantidad de pago bimestral, los encuestadores percibieron que los entrevistados se mostraron con mayor disposición en las cantidades menores (\$30.00, \$70.00 y \$180.00), pero en los dos siguientes montos (\$330.00 y \$500.00) en general les pareció excesivo, aunque hubo quienes manifestaron que sí lo aportarían.

Galicia Hernández, 2015, describe como en la microcuenca del río San Francisco, que actualmente está entubado, en donde se estableció la Puebla Colonial el sistema hídrico subterráneo fue modificado por la masiva perforación de pozos alterando su funcionamiento y en la actualidad el acceso al agua es ya y seguirá siendo en el futuro, un factor altamente limitante para el desarrollo social y la expansión de las actividades económicas productivas en la capital del estado de Puebla.

Muñoz-Nava et al., 2012, en su artículo menciona que en Tlaxcala la mayoría de los centros poblacionales, vierten sus aguas residuales sin tratamiento al cauce de ríos o barrancas y que se debe a que carecen o no operan los sistemas de tratamiento correspondientes, ya sea por motivos políticos, económicos o de otra índole. El río Zahuapan está dividido en dos segmentos por la presa de Atlangatepec. El segmento que descarga a la presa tiene una longitud de 23 km y la que se une al río Atoyac es de 75 km. Establecieron en la subcuenca once sitios de muestreo y un sitio de referencia cerca del nacimiento del río. Del análisis de su información obtuvo que la carga de DBO que recibe el río se debe principalmente a los habitantes que viven a una distancia de 20 km del río. Esto es relevante porque con este resultado se detecta el punto palanca que hay que accionar para el saneamiento del río Zahuapan y que las acciones que se realicen en localidades con poblaciones mayores a 1000 habitantes tendrá un mayor efecto sobre el saneamiento del río Zahuapan y por lo tanto del río Atoyac.

M. Solís, et al., 2013, menciona que la industria textil está catalogada como una de las más contaminantes al medio ambiente, en particular por los procesos de acabado, como el desengomado, descrude, blanqueo, lavado, suavizado, enjuague y teñido. Se utilizan cerca de 150,000 litros de agua por tonelada de ropa procesada. El contenido de sales, colorantes, sólidos suspendidos, DBO, DQO y temperatura es alto y se presentan variaciones en el pH entre 5 y 12 unidades. Los colorantes tienen efectos adversos en el ambiente al impide el paso de luz solar, inhibiendo el proceso de fotosíntesis, reduce el oxígeno disuelto por lo que daña severamente la vida acuática. En la determinación del color, el autor presenta las diversas tonalidades de acuerdo al proceso que se realiza (Figura 4).

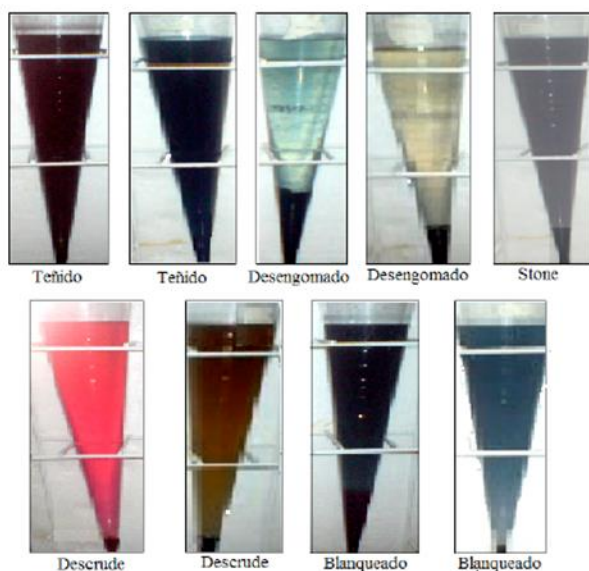


Figura 4. Fotografías de muestras de los efluentes de la lavandería textil, después de aplicado el proceso de sedimentación por 24 h. Fuente: M. Solís, 2013

Dentro de su estudio se recomienda un pre-tratamiento de sedimentación que puede eliminar sólidos suspendidos, colorante y otras sustancias químicas no disueltas que reducen la DQO. En el proceso de desengomado el agua residual después de la sedimentación es casi transparente y la DQO se reduce hasta un 67% y no es fitotóxica, por lo que puede ser reusada. Si se aplica el pre-tratamiento de sedimentación en los diversos procesos se puede disminuir el consumo de agua y las descargas de aguas residuales serían menos agresivas si se aportan al alcantarillado como se hace comúnmente después de la sedimentación de 24 horas.

García-Nieto et al., 2011, realizaron el estudio de la determinación de las concentraciones de arsénico (As) y plomo (Pb) en agua superficial y sedimento 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. Encontrando un intervalo de concentración de arsénico de 0.06 – 0.94 mg/L en agua, nivel máximo de plomo de 1.05 mg/L. Los sedimentos superficiales del cauce del río fueron de 1.3 -127.7 mg/Kg de Arsénico y de 27.3 – 89.5 mg/kg de plomo, en México no existen criterios de calidad en sedimentos.

Rodríguez Tapia y Morales Novelo, 2011, el estudio se centra en el municipio de Tepetitla de Lardizábal de Tlaxcala, el cual se transformó de una comunidad agrícola a una manufacturera debido al corredor industrial Puebla-Tlaxcala (Cuarto corredor industrial en México). Las lavanderías ubicadas en el municipio descargan sus aguas residuales sin tratamiento, si se considera que en promedio una prenda utiliza 0.0099 m³, equivalente a 9.85 litros en promedio de

agua de primer uso, las lavanderías descargan un volumen aproximada 7952 m³ de agua residual aporta al río Atoyac. Lo anterior significa la incorporación de contaminantes al río.

Ruiz-Arias, et al., 2010, en su estudio menciona que cerca del 60 al 70% de los cientos de compuestos colorantes azo son usados en la industria textil, farmacéutica, cosméticos y de la industria alimenticia, y contienen aminas aromáticas potencialmente cancerígenas en su formulación química. Las descargas de los colorantes azo a cuerpos receptores constituyen un serio problema ambiental y de interés a la salud pública. El autor propone la utilización de un consorcio bacterial que mejore la calidad de las descargas de la industria textil, el cual se encuentra en fase piloto.

A. Navarro, et al., 2014, realizaron un estudio de la presencia de contaminantes emergentes en varios ríos de México, incluidos el río Atoyac y Zahuapan, en los cuales detectaron compuestos como cafeína (ingrediente de alimentos y farmacéutico), galaxolide (utilizada en perfumes, cosméticos, shampos, productos de limpieza del hogar), metildihidrojasmonato (fragancia de amplio uso), 2-4-D (uso en plaguicidas), parsol (compuestos de bloqueadores solares, cremas y cosméticos), alquilfenoles y el derivado monoalquilfenol (productos de degradación de detergentes no iónicos). Proponiendo hacer estudios específicamente de contaminantes emergentes en los ríos.

Sánchez, Salcedo E. et al., 2013, los autores describen el deterioro del acuífero por contaminación y explotación, y aplican una herramienta de evaluación para el manejo del agua del acuífero (MODRSP) con simulaciones, concluyendo que, de seguir con la extracción actual del acuífero del Valle de Puebla, se reducirá el nivel entre 10 y 13 metros en 15 años; si se reduce el volumen de extracción en la zona urbano-industrial en los 15 años, el nivel del agua se podría recuperar en 5 metros de acuerdo a las simulaciones realizadas con el modelo.

Gárfias J., et al., 2010, encontraron que las aguas subterráneas tiene dos grupos, las que presentan baja concentración de sulfatos (<61.2 mg/l) y las de concentraciones altas (>498.7 mg/L), relacionándose el acuífero somero y el profundo respectivamente. Los datos geoquímicos e isotópicos indican que la fuente probable de solutos que aumentan es la disolución del agua mineralizada de las evaporitas que es la base del acuífero profundo, y que posteriormente se mueve hacia arriba hasta el acuífero intermedio con altas concentraciones de sulfato.

Morales-García, et al., 2012, realizaron el estudio ambiental de la presa Valsequillo, la cual recibe los escurrimientos de 22 ciudades de Puebla y 48 municipios del valle de Tlaxcala. Analizaron 43 muestras de agua para la determinación de parámetros fisicoquímicos y metales disueltos que incluyeron 11 muestras de río y 26 de la presa. La estrategia ambiental para la presa, se centra en el reuso de las aguas residuales de las comunidades de menos de 1000 habitantes, restauración y conservación de suelos, un programa de residuos sólidos municipales y el saneamiento con plantas de tratamiento.

Gutiérrez-López E.D. 2014, La investigación realizada por el autor en la presa Valsequillo, la cual se encuentra sometida a presión por estar funcionando como una trampa de sedimentos que abate su capacidad útil de almacenamiento, ser receptora de desechos industriales y domésticos, lo que ocasiona eutroficación en el cuerpo de agua, así como de sustancias tóxicas que deterioran la calidad del agua, afectan la salud pública y disminuyen los servicios ambientales como turismo, recreación y pesca. Desarrollo una metodología simplificada como herramienta aplicable para la rehabilitación de la calidad del agua. El trabajo consistió de la identificación y selección de contaminantes en los tributarios (Atoyac y Alseseca), en el embalse, en sedimentos, en tejido de plantas acuáticas y peces. La presa Valsequillo es un sistema cálido-tropical y completamente mezclado (polimíctico). Los tributarios presentan condiciones de calidad del agua residual sin tratamiento de acuerdo a la relación DBO/DQO, asociándose a la industria farmacéutica, química y textil. En el embalse la relación corresponde a un efluente tratado biológicamente, pero con tóxicos refractarios. El embalse funciona como gran sistema de tratamiento al disminuir en concentración los contaminantes, debido al tiempo de retención, tasa de decaimiento, profundidad media y a la capacidad de remoción del lirio presente en el embalse.

En los tributarios y el embalse se detectaron contaminantes no convencionales como Bis-2-(Etilhexil)Ftalato, Dietiftalato, Dimetilftalato, Isoforona, Nonilfenol, Fenantreno, Naftaleno, Tetracloroetileno, 2,4,6-Triclorofenol y el 2,4-Diclorofenol. El primero de éstos se presentó en la matriz, agua, sedimento y peces.

El tiempo de residencia hidráulica propicia altas tasas de decaimiento de contaminantes como la DBO, Detergentes y DQO principalmente. La extracción de agua de la capa profunda (hipolimnio) ayuda a la mezcla de la columna de agua en el embalse y a la salida de varios contaminantes.

El autor propone que se publique la Declaratoria de Clasificación de la Presa Valsequillo (Manuel Ávila Camacho) para que la CONAGUA tenga los elementos legales y administrativos para NO autorizar nuevas descargas de aguas residuales al embalse.

Para alcanzar la reducción de contaminantes y para mejorar la calidad del agua en el embalse, construir plantas de tratamiento e investigar estrategias de remoción en el interior de las industrias (mejorar los procesos de producción), cambio de materias primas, y programas de investigación y desarrollo tecnológico para una producción limpia.

Actualizar e incluir otros parámetros en la NOM-002-SEMARNAT-1996 para que se descargue al alcantarillado municipal una mejor calidad de agua residual y asegurar el adecuado funcionamiento de las plantas de tratamiento municipales.

E. Martinez-Tavera, et al., 2017, en su estudio determinó que el sitio 8 ubicado en la zona de confluencia del río Zahuapan y Atoyac (Barranca Honda) en la época de secas presentó las

concentraciones más altas de DBO, DQO (480 y 1055 mg/L respectivamente) y pH de 10.25 en el río correspondiendo a la región III del estudio.

1.2. Descripción de la Cuenca del Alto Atoyac, (hidrológico- ecológico).

1.2.1. Hidrología superficial

La totalidad del estado de Puebla se encuentra comprendido dentro de cuatro grandes regiones hidrológicas, de las 37 en que está dividido el territorio mexicano. Estas regiones son, en orden de extensión dentro de la entidad: RH18 Río Balsas; RH27 Ríos Tuxpan-Nautla; RH28 Río Papaloapan y la RH26 Río Pánuco. De éstas, las tres primeras abarcan casi la totalidad del estado, mientras que la última ocupa tan solo unas pocas decenas de km², solamente la región del Balsas pertenece a la vertiente del Pacífico y las restantes vierten su captación hacia el Golfo de México.

De acuerdo a la descripción de la región hidrológica número 18 Balsas del Diario Oficial del 2011 incluye en su totalidad al Estado de Morelos (100%) y parcialmente a los Estados de Tlaxcala (75%), Puebla (55%), México (36%), Oaxaca (9%), Guerrero (63%), Michoacán (62%) y Jalisco (4%), así como muy pequeñas porciones del Distrito Federal y del Estado de Veracruz; con un total de 422 municipios y una superficie total de 117,305.9 kilómetros cuadrados (Figura 5).

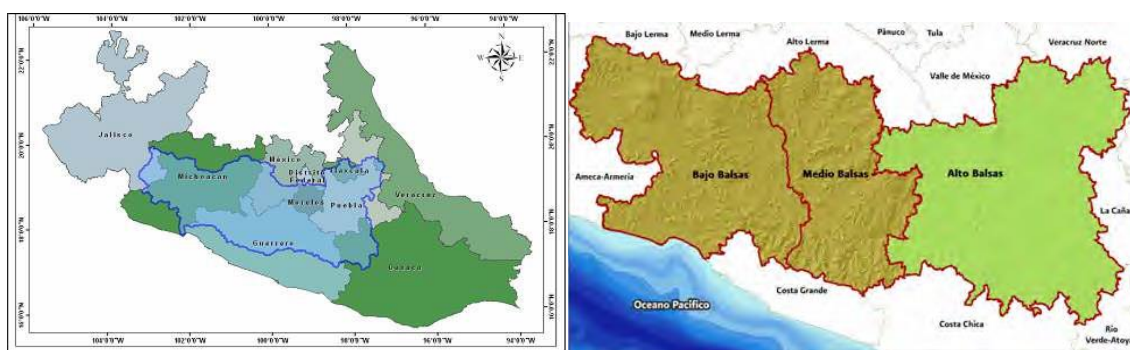


Figura 5. Localización de la región hidrológica número 18 y estados que lo conforman, así como la delimitación del Alto Balsas. Fuente: DO, 2011 y CONAGUA, 2009.

La Región Hidrológica número 18 Balsas, ésta integrada en quince cuencas hidrológicas como se muestra en la figura 6, la división se realizó a partir de las condiciones físicas que las definen y de las estructuras de control existentes, ya sean presas o estaciones hidrométricas. Por otro lado, para fines de planeación y manejo administrativo, la Región Hidrológica número 18 Balsas, se ha dividido en las Subregiones Hidrológicas Alto, Medio y Bajo Balsas. Correspondiendo a la cuenca del Alto Atoyac la subregión Alto Balsas integrada por las cuencas hidrológicas Río Libres Oriental, **Río Alto Atoyac**, Río Nexapa, Río Bajo Atoyac, Río Mixteco, Río Tlapaneco y Río Amacuzac.

Los municipios que integran la Cuenca Alta del río Atoyac incluye a 127 del estado de Puebla y 56 de Tlaxcala, para el año 2009 la población de los municipios de Puebla era de 3,749,313 y de Tlaxcala 1,069,033 (CONAGUA, 2009).



Figura 6. Subregiones y cuencas de la Región Hidrológica número 18 Balsas. Fuente: DO, 2011.

La subregión del Alto Atoyac tiene una superficie de aportación de 4,135.52 kilómetros cuadrados, y se encuentra delimitada por las siguientes regiones y cuencas hidrológicas: al Norte por las Regiones Hidrológicas números 26 Pánuco y 27 Norte de Veracruz; al Sur por las cuencas hidrológicas Río Nexapa y Río Bajo Atoyac; al Oeste por la Región Hidrológica número 26 Pánuco; y al Este por la cuenca hidrológica Libres–Oriental. Comprende desde donde nacen los escurrimientos del Río Atoyac, hasta donde se localiza la presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo), localizada en las coordenadas geográficas 98° 05' 45" de longitud Oeste y 18° 54' 30" de latitud Norte.

La Región Hidrológica (RH-18) Río Balsas es una de las más importantes del país; ocupa las zonas central y suroccidental del estado de Puebla y se extiende hasta el estado de Michoacán; se encuentra dividida por 10 cuencas, de las cuales, cuatro de ellas se encuentran parcialmente incluidas en territorio poblano: (A), Río Atoyac; (B), Río Balsas-Mezcala; (E), Río Tlapaneco y (F), Río Grande de Amacuzac, en conjunto suman el 59.14% de la superficie estatal.

La cuenca 18A correspondiente al Río Atoyac, motivo del presente informe y es la única que se describirá a detalle.

Constituye la porción oriental de la región, incluye a la mayor parte de las zonas centro, oeste y suroeste de la entidad, que representan 57.23% de la superficie del estado.

El río Atoyac es el rasgo hidrológico más sobresaliente de la zona, y la corriente más importante del estado; se forma a partir de la unión de los ríos San Martín o Frío, de Puebla y Zahuapan de Tlaxcala. El primero, baja de la Sierra Nevada, el segundo, de la sierra de Tlaxco. En la ciudad de San Martín Texmelucan, las aguas de dicha corriente y sus afluentes, se aprovechan en las actividades agrícolas, domésticas e industriales. Ésta porción se caracteriza por lo accidentado de su topografía y el grado de pendiente de los cauces de sus corrientes, que sin control, pueden causar pérdidas en la agricultura. A lo largo del río Atoyac, se reciben las aportaciones de las corrientes permanentes de los ríos Nexapa, Mixteco y Tlapaneco. Al ingresar al estado de Guerrero, cambia su nombre al de río Mezcala y posteriormente, al de Balsas. El escurrimiento medio anual de los ríos Atoyac y Nexapa, se estima en 458 Mm³.

Dentro de Puebla, la cuenca del Atoyac, incluye a las subcuencas: A, Río Atoyac-Tehuiztzingo; B, Atoyac-Balcón del Diablo; C, Presa Miguel Ávila Camacho; D, Atoyac-San Martín Texmelucan; E, Río Nexapa; F, Río Mixteco; G, Río Acatlán; H, Laguna de Totolcingo y J, río Alseseca (Tabla 3).

Los valores de temperatura y precipitación media anual en el sur y suroeste de la cuenca son de 20 a 24 °C y 700 a 800 mm, respectivamente. En las partes bajas de la sierra Nevada, en el área de San Martín Texmelucan y la ciudad de Puebla, la precipitación oscila entre 1000 Y 1200 mm; con una temperatura media anual de 16 °C, la cual desciende hasta 0 °C en las cumbres nevadas. Se tienen en general, coeficientes de escurrimiento bajos; en la mayor parte de su superficie, predomina el rango de 10 a 20%; el gasto medio de sus corrientes es de 9.152 m³/s. Este promedio se obtuvo de las 14 estaciones hidrométricas ubicadas en la entidad, de las cuales se tienen registros en un período de 12 años. Dicho gasto corresponde a 55% de los escurrimientos aforados en el estado de Puebla.

También se han construido importantes obras hidráulicas, entre las que destacan las presas: Huachinantla, Peña Colorada, Boqueroncitos (la cual permite irrigar algunas zonas agrícolas del área de Tehuiztzingo) y Manuel Ávila Camacho (Valsequillo). Esta última, es la más importante de la entidad; su función principal es la irrigación de una superficie de 17 000 hectáreas, pertenecientes al distrito de riego Núm. 30 Valsequillo, el cual se extiende hacia la cañada poblana oaxaqueña, en el valle de Tehuacán y del río Salado, ya dentro de la cuenca del Papaloapan. Otras presas menores dentro de la cuenca del Alto Atoyac, son Portezuelos I y II, destinadas a la generación de electricidad; con capacidad instalada de 3.2 y 1.8 Mw, respectivamente.

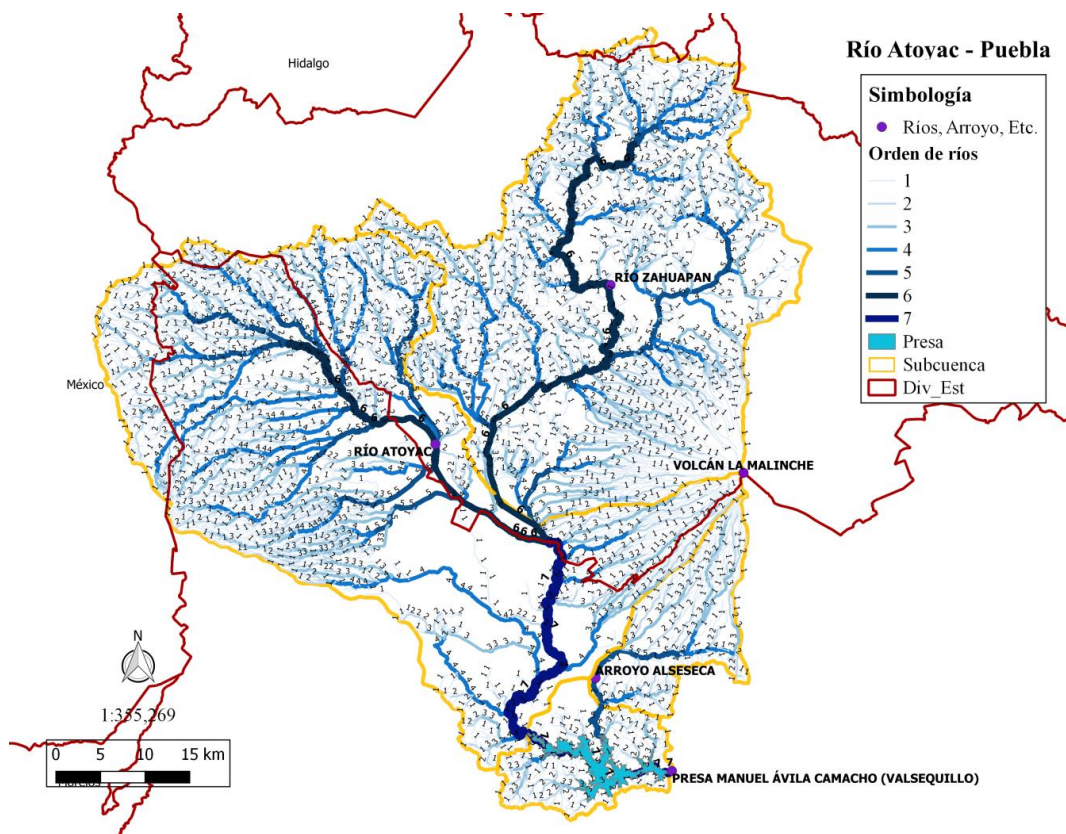
Tabla 3. Región Hidrológica 18 Río Balsas y sus cuencas y subcuencas

Región	Cuenca	Subcuencas
	18A Río Atoyac (57.23%)	A-Río Atoyac-Tehuiztzingo
		B-Río Atoyac-Balcón del Diablo
		C-Presa Miguel Ávila Camacho

RH 18 Río Balsas		D-Río Atoyac-San Martín Texmelucan
		E-Río Nexapa
		F-Río Mixteco
		G-Río Acatlán
		J-Río Alseseca
	18B Río Grande de Amacuzac 1.03%)	A-Bajo Amacuzac
	18C Río Tlapaneco (0.84%)	A-Río Tlapaneco

Fuente: CNA, 1992. Sinopsis Geohidrológica del Estado de Puebla, México.

El tipo de drenaje observado en todas estas regiones es en general, dendrítico, particularmente en la porción suroeste del estado, dentro de la región del Alto Atoyac, en la figura 7 se presenta el orden de los arroyos y ríos que confluyen en la cuenca Alta del río Atoyac.



*Figura 7. Clasificación de las corrientes que confluyen en la cuenca Alta del río Atoyac (Puebla-Tlaxcala).
Elaboración propia.*

En la Cuenca Alta del río Atoyac confluye la subcuenca del río Zahuapan, la de Alseseca llega a la presa Valsequillo y como destino final los escurrimientos de los ríos alimentan a la presa Valsequillo (Figuras 8, 9, 10 y 11).

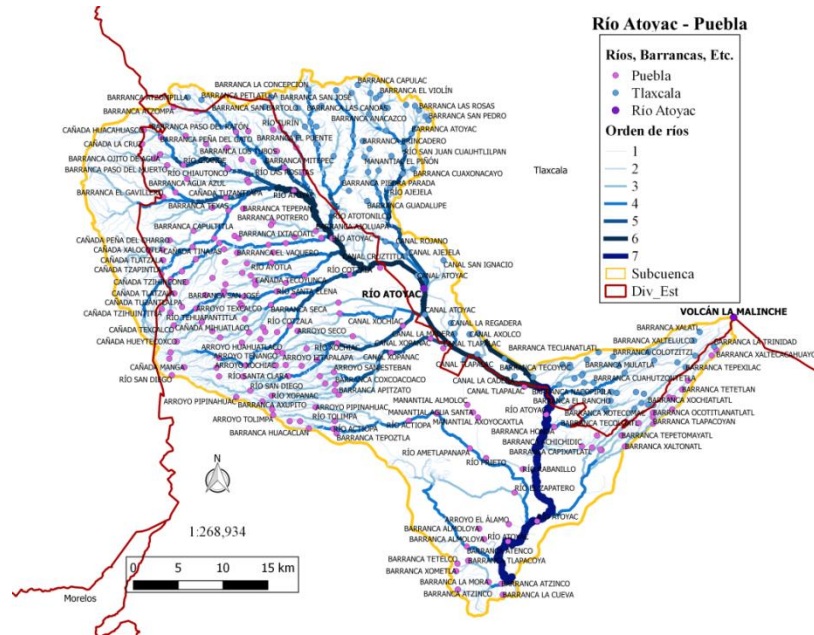


Figura 8. Subcuenca del río Atoyac, Puebla con arroyos y barrancas que la integran. Elaboración propia.



Figura 9. Subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala. Elaboración propia.

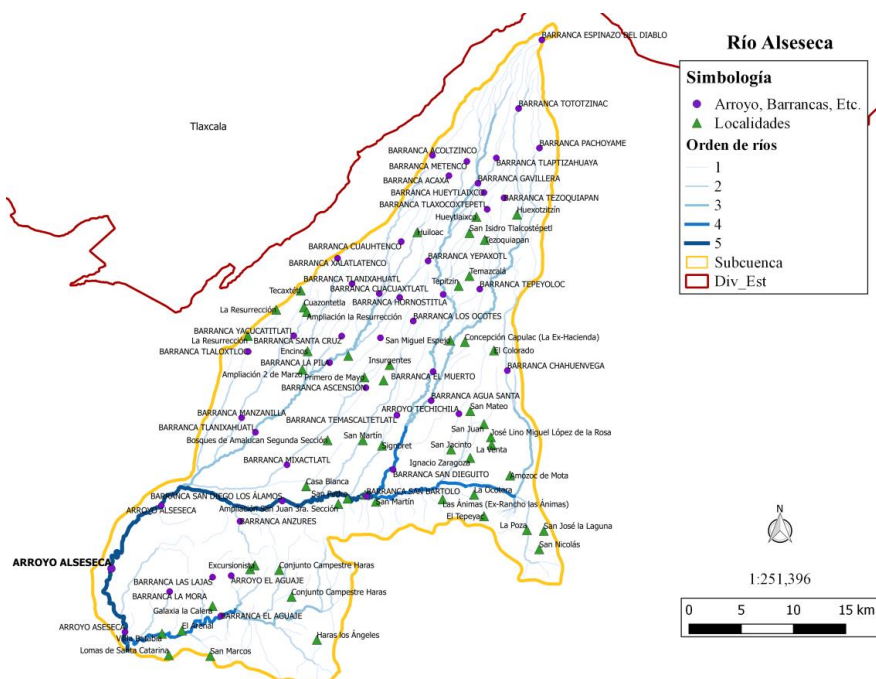


Figura 10. Subcuenca del río Alseseca, Puebla. Elaboración propia.

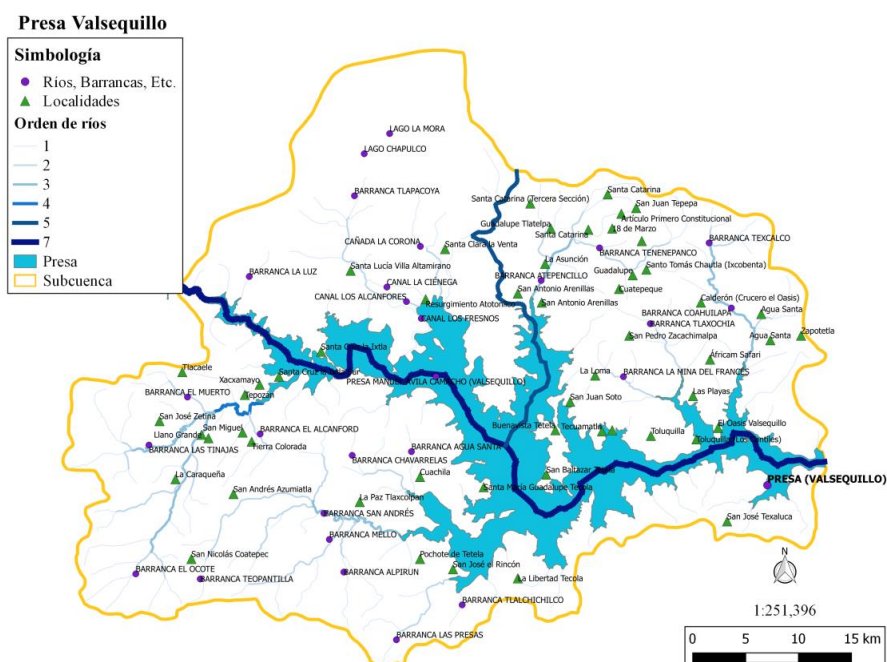


Figura 11. Subcuenca de la Presa Valsequillo (Miguel Ávila Camacho). Elaboración propia.

Los ríos Alto Atoyac y Zahuapan se clasifican como Orden 6 y al confluir ambos ríos, se clasifica al río Atoyac como Orden 7, por presentar un tipo de drenaje dentrítico, los arroyos se van uniendo hacia aguas abajo hasta transformarse en ríos como se presenta en la figura 12. En general los arroyos de cabecera presentan un rango de orden de 1 a 3, los intermedios de 4 al 6 y ríos clasificados mayor de 6.



Figura 12. Clasificación de ríos Strahler (1964) en Chapman, 1996.

El río Atoyac se forma de los escurrimientos que bajan por la vertiente norte del Iztaccihualt, desde una altitud de 4,000 msnm, en los límites de los estados de México y Puebla. Entre las numerosas corrientes que descargan en su cauce en sus primeros kilómetros, se puede mencionar los ríos Tlahuapan, Turín, Otlati, Atotonilco y San Jerónimo; adoptando el nombre de río Atoyac con la unión de los dos primeros tributarios Tlahuapan y Turín. Su recorrido sigue hasta recibir las aportaciones del río Zahuapan por margen izquierda.

El río Zahuapan nace en la serranía de Tlaxco a una altitud de 3,418 msnm, sus primeros escurrimientos son controlados por la presa Atlanga, misma que se utiliza para riego de unas 2,000 hectáreas. El río Atoyac atraviesa la capital de Puebla, mientras que el río Zahuapan la capital de Tlaxcala. Las dos corrientes se unen antes de entrar a la ciudad de Puebla como a 10 kilómetros, para finalmente descarga en la presa Valsequillo (Figura 13).

Río Atoyac - Puebla

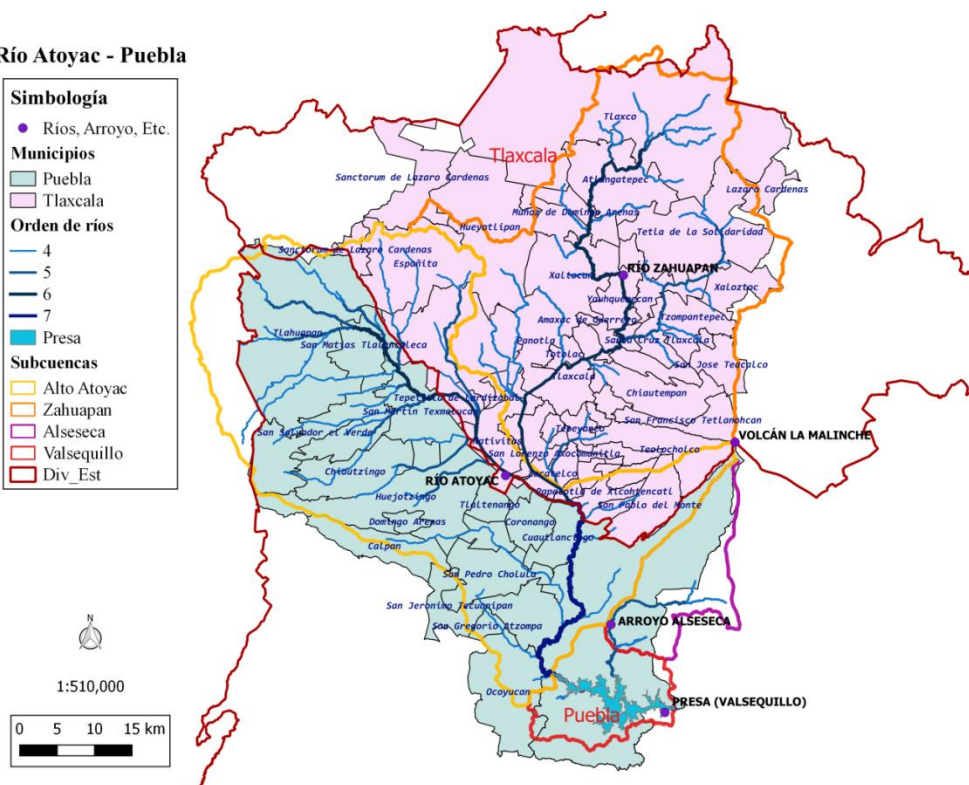
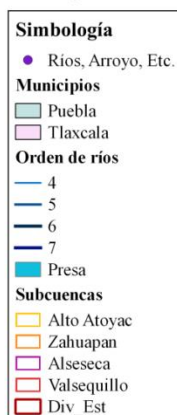


Figura 13. Cuenca del Alto Atoyac, Puebla-Tlaxcala. Elaboración propia

1.2.2. Hidrología Subterránea

El agua subterránea reviste gran importancia dentro del contexto económico del estado de Puebla, ya que aparte de los ríos Nexapa y Atoyac, todas las demás fuentes de agua que sustentan la economía estatal, son de origen subterráneo. Los materiales que conforman los acuíferos son por lo general de origen aluvial, que incluyen sedimentos cuaternarios no consolidados consistentes de gravas, arenas, limos y arcillas; aunque no son raras las cenizas volcánicas y lavas basálticas, así como rocas carbonatadas.

El acuífero del Valle de Puebla, definido con la clave 2104 (Conagua, 2015) se ubica en el extremo occidental del estado de Puebla, en los límites con el Estado de México y Tlaxcala, entre los paralelos 18° 54' y 19° 28' de latitud norte y los meridianos 98° 01' y 98° 40' de longitud oeste; abarcando una superficie aproximada de 2,025 km². Se sitúa en la parte centro oriental del estado; se extiende entre las elevaciones del Matlalcueye (Malinche) y el Iztacihuatli; hacia el norte limita con el estado de Tlaxcala, y al sur, abarca aproximadamente hasta los poblados de Santa Isabel Cholula, Coltingo y Totimehuacán. El valle comprende dos zonas de explotación: la primera de ellas, es la zona 21-Atoyac-San Martín Texmelucan, que ocupa casi la totalidad del valle, e incluso se extiende hasta las ciudades de Tlaxcala y Apizaco. La segunda zona de explotación, es la 21-

Atoyac, que incluye el área conurbada de la ciudad de Puebla y se extiende hacia el oriente hasta la localidad de Amozoc, penetrando aquí en la zona geohidrológica adyacente de Tecamachalco.

El acuífero del Valle de Puebla, está constituido en su parte superior, por materiales aluviales no consolidados, constituidos por grava, arena y arcilla, que en conjunto, presentan una permeabilidad general de media-alta a alta. El espesor promedio es de 60 a 100 m; hacia sus bordes alcanza desde escasos metros hasta unos 200 m en el área de la ciudad de Puebla. Existen también horizontes de travertino de algunas decenas de metros de espesor. El nivel estático varía de cinco a 90 m. La parte inferior del acuífero está formada por basalto, toba y andesita fracturada, de varios cientos de metros de espesor, las cuales están limitadas en la parte inferior por rocas calcáreas, consideradas como el basamento geohidrológico de la cuenca. Ambas partes se encuentran separadas por un horizonte arcilloso muy poco permeable, que tan sólo permite una mínima conexión hidráulica entre ellas, y confina prácticamente a los mantos de agua inferiores. La parte inferior del acuífero contiene agua sulfurosa en algunos sectores del sur y suroeste de la ciudad de Puebla. Estas fuentes pueden ser susceptibles de aprovechamiento mediante tratamiento.

Dentro del estado de Puebla, esta zona geohidrológica tiene una superficie aproximada a 4.32% de la superficie estatal y alberga 1100 aprovechamientos, de los cuales 731 son pozos y 369 norias. Para este valle, se estima una recarga global de 314 Mm³ y una extracción de 287 Mm³ anuales. Sin embargo, los mayores volúmenes de extracción se localizan en zonas relativamente reducidas, como en el área urbana de la ciudad de Puebla, lo que ocasiona abatimientos locales del nivel freático. La recarga procede principalmente de la precipitación pluvial captada dentro del valle y de las corrientes derivadas de la sierra Fría y de La Malinche, así como también de los volúmenes infiltrados en las vertientes o laderas de estas elevaciones.

El balance global expuesto anteriormente, arroja una disponibilidad de 27 millones de metros cúbicos por año, por lo que en conjunto, la condición del valle es de subexplotada. Sin embargo, la zona de Atoyac presenta sobreexplotación; existen áreas cercanas a la ciudad de Puebla, con fuertes abatimientos del orden de un metro o más por año. Se estima que en el período de 1974 a 1988, se experimentaron descensos del nivel freático de hasta 30 m. La mayor disposición de agua se tiene en la zona de Atoyac-San Martín Texmelucan, especialmente hacia la parte occidental del valle.

El agua subterránea es, en general, de buena calidad en la parte noroccidental del valle, mientras que en algunos sectores de la zona urbano-industrial de Puebla, existen concentraciones de hasta 2000 miligramos de sólidos por litro, debido a factores tales como la presencia de horizontes de travertino en el subsuelo, así como de mantos confinados de aguas sulfurosas a mayor profundidad (por debajo de 150 m) que localmente, logran abrirse paso a la superficie a través de fracturas en el terreno, formando pequeños manantiales de olor desagradable. Estas aguas son ricas en calcio, sulfato, potasio y nitratos; su origen se atribuye a reminiscencias de actividad

magmática poco profunda. Deben mencionarse también las fuentes de contaminación por infiltración a través del cauce del río Atoyac y de las fugas en instalaciones y depósitos industriales. Situaciones similares, aunque de menor magnitud, se presentan en otros sitios urbanos de la entidad, como San Martín Texmelucan, Tehuacán y el parque industrial del Valle de Puebla (INEGI, 2000).

La actualización del acuífero del Valle de Puebla con clave 2104, se presentó en el Diario Oficial del 9 de febrero del 2016, con el “Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudio Técnicos de Aguas Nacionales Subterráneas del Acuífero Valle de Puebla, clave 2104, en el Estado de Puebla, Región Administrativa Balsas”. La información de los estudios es la siguiente:

Ubicación y extensión territorial

Comprende totalmente a los municipios de Calpan, Cuautlancingo, Huejotzingo, San Andrés Cholula, San Felipe Teotlancingo, San Gregorio Atzompa, San Jerónimo Tecuanipan, San Matías Tlalancaleca, San Miguel Xoxtla, San Pedro Cholula, San Salvador el Verde, Tlaltenango, Nealtican, Coronango, Domingo Arenas, Juan C. Bonilla, San Martín Texmelucan y Chiautzingo, y en forma parcial a los municipios de Tlahuapan, San Nicolás de los Ranchos, Puebla, Amozoc, Tianguismanalco, Santa Isabel Cholula, Cuautinchán y Ocoyucan, todos ellos pertenecientes al Estado de Puebla, administrativamente, corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Balsas.

La población total asentada en el área que corresponde al acuífero se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Población asentada en el acuífero del Valle de Puebla

Población (habitantes)	2000	2005	2010
Acuífero Valle de Puebla	1'933,013	2'144,413	2'301,261

Las principales localidades ubicadas en la superficie del acuífero son Heroica Puebla de Zaragoza, Cholula de Rivadavia, San Martín Texmelucan de Labastida, San Bernardino Tlaxcalancingo, San Andrés Cholula, Sanctorum, Santa María Moyotzingo, Huejotzingo, San Juan Cuautlancingo, Santiago Momoxpan, Santa Ana Xalmimilulco, San Rafael Tlanalapan, San Miguel Canoa, Santa María Coronango, Santa María Xonacatepec, San Lorenzo Almecatla, Santa María Zacatepec, San Francisco Ocotlán, San Buenaventura Nealtican, San Miguel Xoxtla y San Matías Tlalancaleca, siendo la localidad de Heroica Puebla de Zaragoza, Ciudad Capital del Estado, la que engloba al 65.1% de la población total urbana del Estado de Puebla.

Climatología

De acuerdo a la clasificación climática de Wilhem Köppen modificada por Enriqueta García, en la superficie que comprende el acuífero Valle de Puebla, clave 2104, el clima que predomina es el templado subhúmedo con invierno frío y régimen de lluvias en verano. En las partes más altas y en

las estribaciones de La Sierra Nevada y La Malinche, el clima es frío, del tipo semifrío subhúmedo y con lluvias en verano.

De acuerdo con la información climatológica de 24 estaciones localizadas dentro y en las inmediaciones de los límites geográficos del acuífero con un registro histórico de información climatológica que abarca desde el año 1982 y hasta fechas recientes, se generó la configuración de isotermas y de isoyetas, resultando una precipitación media anual para toda la poligonal del acuífero de 864 milímetros por año, una temperatura media anual de 12.9 °C y una lámina de evapotranspiración media anual de 554 milímetros y un escurrimiento generado por cuenca propia de 132 milímetros por año.

Fisiografía y Geomorfología

El acuífero Valle de Puebla, se encuentra ubicado en la Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico, representado en la zona de estudio por la Subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac, la cual abarca el 100% de la superficie del acuífero. Esta subprovincia se caracteriza por presentar volcanes jóvenes de formas cónicas como el Popocatepetl y La Malinche; planicies aluviales y lacustres, algunas de ellas extensas como la Cuenca de Puebla.

Los elementos geográficos más destacados en la zona son los estratovolcanes: Popocatepetl, cuya elevación del cráter alcanza los 5500 metros sobre el nivel del mar, lo cual lo sitúa en el segundo lugar entre las cimas más altas de México, le sigue el Volcán Iztaccíhuatl, cuya máxima elevación alcanza los 5220 metros sobre el nivel del mar, lo cual lo sitúa en el tercer lugar entre las cimas más altas de México y La Malinche o Malintzin cuya elevación del cráter alcanza los 4461 metros sobre el nivel del mar, lo cual lo sitúa en el quinto lugar entre las cimas más altas de México.

El paisaje de relieve dentro del área de estudio se caracteriza por la presencia de los siguientes sistemas de Topoformas: llanura aluvial con lomerío, llanura de piso rocoso o cementado, lomerío de basalto con cañadas, meseta asociada con malpaís, meseta basáltica con cañadas, sierra volcánica con estrato volcanes o volcanes o estrato volcanes y sierra volcánica de laderas tendidas. Los elementos morfológicos como los depósitos planos, más jóvenes, están constituidos por dos planicies aluviales situadas entre el Volcán La Malinche y la Sierra Nevada. También se encuentra el corredor aluvial Amozoc formado por depósitos de poco espesor que cubren los flancos entre el Volcán La Malinche y la Sierra de Amozoc. Las planicies aluviales antiguas están representadas por la meseta baja de depósitos aluviales que se derivan del antiguo Iztaccíhuatl, formado principalmente por el colapso que diera lugar a la caldera de Llano Grande. Existen un gran número de elevaciones volcánicas menores y sus lavas correspondientes, las cuales descansan sobre acumulaciones de tobas y ellas a su vez, sobre depósitos aluvio-fluviales antiguos ubicados en la zona de Valsequillo. También se encuentran una multitud de conitos volcánicos geológicamente modernos, entre ellos los conos y lavas de Río Frío y los que descienden del Popocatepetl hacia el norte de Cholula y de la Ciudad de Puebla (Figura 14).

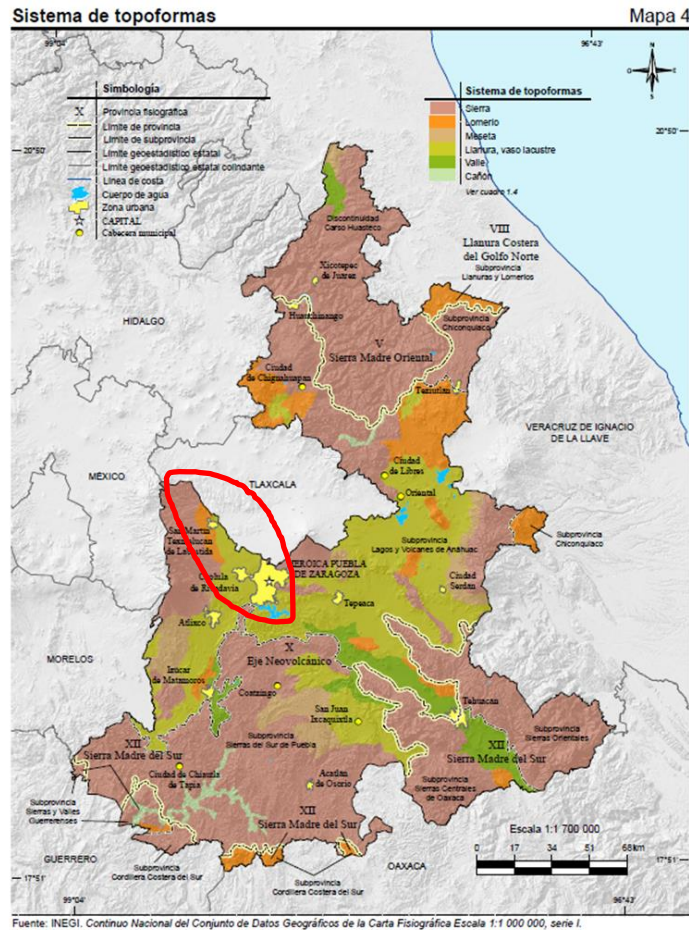


Figura 14. Sistema de Topoformas del Estado de Puebla. Marcado en línea roja la cuenca Alta del río Atoyac Puebla Taxcala.

Geología

La columna geológica de la zona de estudio está constituida por rocas, metamórficas, sedimentarias e ígneas extrusivas, cuyas edades varían del Cretácico Superior al Holoceno o Reciente. Formaciones Marinas del Cretácico Superior. Comprenden principalmente a la Formación Mezcala, compuesta de margas, areniscas y lutitas, así como de calizas delgadas a medianas intercaladas con lutitas, y horizontes bentoníticos. Tales sedimentos, corresponden con ambientes de aguas profundas de mares en regresión, formada poco antes y durante el principio de la Orogenia Laramide. Estas formaciones, presentan en conjunto espesores de más de 2000 metros, pudiendo haber sido erosionadas parcialmente en la mayor parte del Altiplano Mexicano cuando emergieron sus masas del mar.

Formación Balsas. Constituida por areniscas conglomeráticas y lodolitas arenosas continentales que se asignan al Eoceno Superior. Rellenan bolsones y abanicos aluviales; sus depósitos están a menudo dislocados, por fallas normales. En el área de Valsequillo, parecen rellenar a una extensa fosa situada entre la Sierra de Tentzo y la Sierra de Amozoc.

Materiales volcánicos del Oligoceno son el producto efusivo relacionados con la subducción de la Placa Farallón en el Pacífico Oriental, la cual creó en el continente destacados arcos volcánicos caracterizados por lineamientos dirigidos generalmente de sur a norte. Durante la emisión de las vulcanitas, se fueron formando pilares y fosas.

Depósitos lacustres del Plioceno. En el Plioceno Medio se desarrollaron numerosas cuencas endorreicas someras, las cuales dieron lugar a la formación de potentes depósitos lacustres; destacan en el norte los depósitos lacustres de Tlaxcala, con espesores máximos de 200 metros que contienen escasas lavas y algunos horizontes de ceniza. Los depósitos lacustres del Plioceno, constituyen por su importante superficie, una formación que presenta frecuentes variaciones de espesor.

Toba Tlaxcala. Sobreyaciendo a los depósitos lacustres de Tlaxcala, se encuentra un conjunto potente de tobas estratificadas, derivadas probablemente de las erupciones piroclásticas de los inicios de la actividad del volcán La Malinche; éstas forman una secuencia de estratos que alcanzan un espesor de más de 100 metros. Están constituidas en su mayor parte por cenizas de caída libre y en menor parte por flujos piroclásticos, algunos de estos de naturaleza tipo corriente de lodo.

Materiales volcánicos del Cuaternario Inferior. Caracterizada por aparatos volcánicos que acusan rasgos morfológicos relativamente jóvenes. En la Cuenca de Puebla se incluyen cuerpos fenobasálticos situados al pie suroeste del Volcán La Malinche del Cuaternario Inferior.

Materiales volcánicos del Cuaternario Superior. Ejemplos de estos materiales son los domos dacíticos y riolíticos de las vulcanitas de Chignahuapan al norte de la Cuenca de Puebla, las vulcanitas del importante Grupo Chichinautzin con sus conos y domos; tiene extensiones al oriente, por Puebla, y al poniente por Toluca, incluyéndose en este grupo los conos al oeste de Cholula en la Cuenca de Puebla (DOF, 2016).

Acuífero Alto Atoyac Clave 2901, Estado de Tlaxcala

El acuífero Alto Atoyac se describe también debido a que la interrelación que se presenta entre el agua superficial y subterránea está ligada a los procesos de conectividad con el río Atoyac.

Se publicó en el diario oficial en 2014 (DOF: 10/06/2014) el ACUERDO por el que se dan a conocer los estudios técnicos de las aguas nacionales subterráneas del Acuífero Alto Atoyac, clave 2901, en el Estado de Tlaxcala, Región Hidrológico Administrativa Balsas.

En el estudio Técnico (CONAGUA) el acuífero Alto Atoyac, clave 2901, se localiza en la porción central del Estado de Tlaxcala, abarca una superficie de 2032 kilómetros cuadrados y cubre totalmente a los municipios Apizaco, Xaltocan, Yauhquemecan, Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, Panotla, Tzompantepec, Santa Cruz Tlaxcala, Amamax de Guerrero, Apetatitlán de Antonio Carvajal, Tlaxcala, Amamax de Guerrero, Cuaxomulco, Totolac, San José Teacalco, Contla de Juan Cuamatzi, Chiautempan, San Damian Texoloc, Tepetitla de Lardizábal, Santa Ana Nopalucan, La Magdalena Tlaltelulco, San Francisco Tetlanohcan, Nativitas, Santa Isabel Xiloxotla, Tetlatlahuca, Tepeyanco, Santa Apolonia Teacalco, San Jerónimo Zacualpan, Teolocholco, San Juan Huactzinco, Zacatelco, Acuamanala de Miguel Hidalgo, San Lorenzo Axocomanitla, Santa Cruz Quilehtla, San Pablo del Monte, Santa Catarina Ayometla, Papalotla de Xicohténcatl, Mazatecochco de José María Morelos, Xicohtzinco, Tenancingo; y parcialmente a los municipios Tlaxco, Sanctorum de Lázaro Cárdenas, Atlangatepec, Hueyotlipan, Tetla de la Solidaridad, Lázaro Cárdenas, Terrenate, Muñoz de Domingo Arenas, San Lucas Tecopilco, Españita, Huamantla, Xaloztoc, Tocatlán, todos ellos en el Estado de Tlaxcala. Administrativamente, el acuífero pertenece a la Región Hidrológico-Administrativa Balsas.

Las principales ciudades ubicadas sobre la superficie del acuífero son: Villa Vicente Guerrero con 60,001 habitantes, Ciudad de Apizaco, con 49,506 habitantes, Santa Ana Chiautempan con 48,030 habitantes y Zacatelco con 38,466 habitantes. La Ciudad de Tlaxcala, capital del Estado, tiene 14,692 habitantes.

Actualmente la infraestructura industrial en el acuífero Alto Atoyac, se divide en: Área Industria Atlangatepec, Ciudad Industrial Xicohténcatl I, Corredor Industrial Apizaco-Xaloztoc-Huamantla, Corredor Industrial Malinche, Corredor Industrial Panzacola, Parque Industrial Ixtacuixtla, Parque Industrial Xiloxotla, Zona Industrial Tlaxcala-Chiautempan y Ciudad Industrial Xicohténcatl III.

Siendo importante no solo para el acuífero, sino también para el río Atoyac la infraestructura de las Ciudades Industriales que se encuentran asentadas y que pueden deteriorar la calidad del agua por fugas o descargas clandestinas.

Climatología

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García el clima en la zona del Valle del Acuífero Alto Atoyac, clave 2901, es semifrío subhúmedo con menos del 5% de precipitación invernal, las lluvias ocurren de junio a septiembre. La temperatura promedio varía entre los 12 y 18 °C, con una temperatura media anual de 16.2°C y sólo en la cumbre del Volcán de la Malinche se tienen climas fríos y muy fríos. La precipitación media anual es de 878.3 milímetros y la evaporación potencial promedio de 1150 milímetros anuales.

Fisiografía y Geomorfología

El acuífero Alto Atoyac, clave 2901, se ubica al este de la Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico y al centro de la Subprovincia Fisiográfica Lagos y Volcanes de Anáhuac. El Eje Neovolcánico se

caracteriza por una serie de cadenas montañosas de origen volcánico producto de emisiones de lava y materiales piroclásticos de composición basáltica a riolítica.

Los grandes llanos emplazados en el acuífero, son cortados por cañadas y barrancas hacia el noroeste del mismo. El Volcán La Malinche, situado en la parte sureste del acuífero, se eleva hasta alcanzar 4640 metros sobre el nivel del mar. La geomorfología en el acuífero se conforma por relieves de montañas, barrancas y pequeñas llanuras, que generan microcuencas (Figura 15).

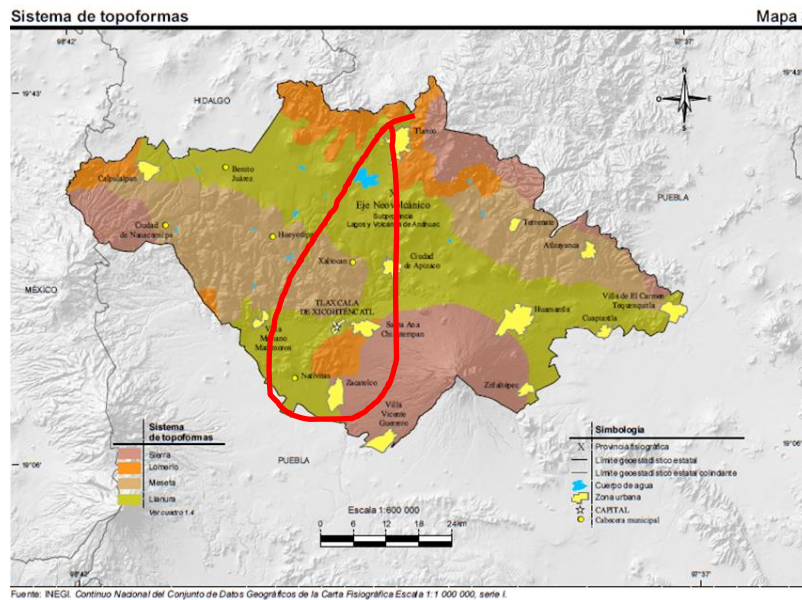


Figura 15. Sistemas de Topoformas de Tlaxcala, línea roja señalando la subcuenca del río Zahuapan.

Geología

La geología en el acuífero Alto Atoyac, clave 2901, ha sido moldeada por una actividad volcánica que ha generado afloramientos de rocas volcánicas como las andesitas, las riolitas, los basaltos, las tobas y las brechas volcánicas, así como por la erosión y depósito de sedimentos, producto de la desintegración de dichas rocas, en ambientes lacustres, fluviales y fluvio-glaciares. Las unidades estratigráficas más antiguas son las rocas sedimentarias conformadas por intercalaciones de areniscas, limolitas y calizas del Cretácico.

A principios del Neógeno se inicia la Orogenia Laramide caracterizada por esfuerzos compresivos, ocasionando que las rocas se plegaran y emergieran, posteriormente se erosionaran dando lugar al depósito de conglomerados. Durante el Neógeno se produjeron emisiones de lava de composición andesítica, tobas intermedias del Mioceno, así como riolitas y tobas ácidas del Plioceno que cubren las rocas más antiguas.

El vulcanismo ocasionó condiciones endorréicas en la cuenca, permitiendo el depósito de materiales producto de la denudación en un medio lacustre. Posteriormente durante el Plioceno-Pleistoceno se presentó el doble fallamiento de Tlaxcala y Tetlatlauca, lo que provocó el fracturamiento que dio lugar a nuevas emisiones de lava y cenizas de composición basáltica que formaron conos más recientes, así como tobas arenosas.

En el Plioceno Superior y el Cuaternario las emisiones volcánicas disminuyeron y se depositaron tobas y sedimentos fluvioglaciares, fluviales, aluviales y lacustres.

El acuífero Alto Atoyac, clave 2901, está ubicado dentro de la Región Hidrológica 18 Balsas, emplazado en la Cuenca del Río Atoyac. El Estado de Tlaxcala es el inicio de la Cuenca del Río Atoyac, que corresponde al Alto Balsas.

El Río Balsas, conocido también como Atoyac, Mezcala o Zacatula, nace unos 40 kilómetros al norte de la Ciudad de Tlaxcala, en los límites con el Estado de Puebla; en sus orígenes, se llama Río Zahuapan, que tiene una cuenca de 1494 kilómetros cuadrados, desde su origen hasta su confluencia con el Río Atoyac; unos 10 kilómetros al norte de Puebla, toma el nombre de Río Atoyac; un río perenne que recibe la descarga natural a través del flujo base del acuífero Alto Atoyac. Ingresa en Izúcar de Matamoros y después de unir sus aguas con las del Río Mixteco, se llama Río Poblano. En este acuífero, se concentra aproximadamente más del 55% de la infraestructura hidráulica del total del Estado y se ubica el Distrito de Riego Número 056 Atoyac-Zahuapan y la Presa Atlangatepec.

El acuífero Alto Atoyac, es de tipo libre, constituido en su porción superior principalmente por depósitos granulares aluviales y fluviales, conformados por gravas, arenas, limos y arcillas, cuyo espesor puede alcanzar cientos de metros. La porción inferior del acuífero está conformada por un medio fracturado constituido por una secuencia de rocas volcánicas, principalmente basaltos, tobas y andesitas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

Las fronteras que representan barreras al flujo subterráneo, así como el basamento hidrogeológico del acuífero, están representadas por las mismas rocas volcánicas al desaparecer el fracturamiento a profundidad.

La recarga del acuífero está integrada por la infiltración del agua de lluvia, la entrada por flujo subterráneo, la recarga inducida procedente del retorno por riego agrícola y de las fugas en la red de distribución de las zonas urbanas. Las salidas del acuífero ocurren a través de la extracción por bombeo, manantiales, flujo base hacia el río, evapotranspiración y salida por flujo subterráneo.

El comportamiento del flujo subterráneo lo controla el trazo del Río Zahuapan y su continuación como Río Atoyac, ya que las cañadas interceptan parte del flujo subterráneo generando el flujo base, los manantiales y escurrimientos naturales en las proximidades del cauce del río, a partir de un sistema de flujo local proveniente del Volcán La Malinche y de la Sierra de Tlaxco.

Adicionalmente existe un sistema de flujo regional proveniente del norte del acuífero, particularmente de la Sierra de Apan y de Tlaxco, así como de la Sierra Nevada al este. En la porción sur del acuífero convergen los flujos subterráneos del oeste, norte y este del valle; originando niveles someros y salidas por evapotranspiración (DO, 2014).

1.2.3. Ecología

A nivel mundial un proyecto de ecoregiones de agua dulce es la primera regionalización biogeográfica global sobre la biodiversidad de aguas dulces, mostrando datos sintetizados de especies acuáticas y datos de probables amenazas. Los datos de biodiversidad están disponibles para cada ecoregión que incluye riqueza y número de endemismos de peces, anfibios, tortugas y cocodrilos de agua dulce. La regionalización comprende grandes áreas de uno o más sistemas acuáticos que contienen un distintivo ensamblaje de comunidades y especies en aguas dulces naturales (Figura 16).

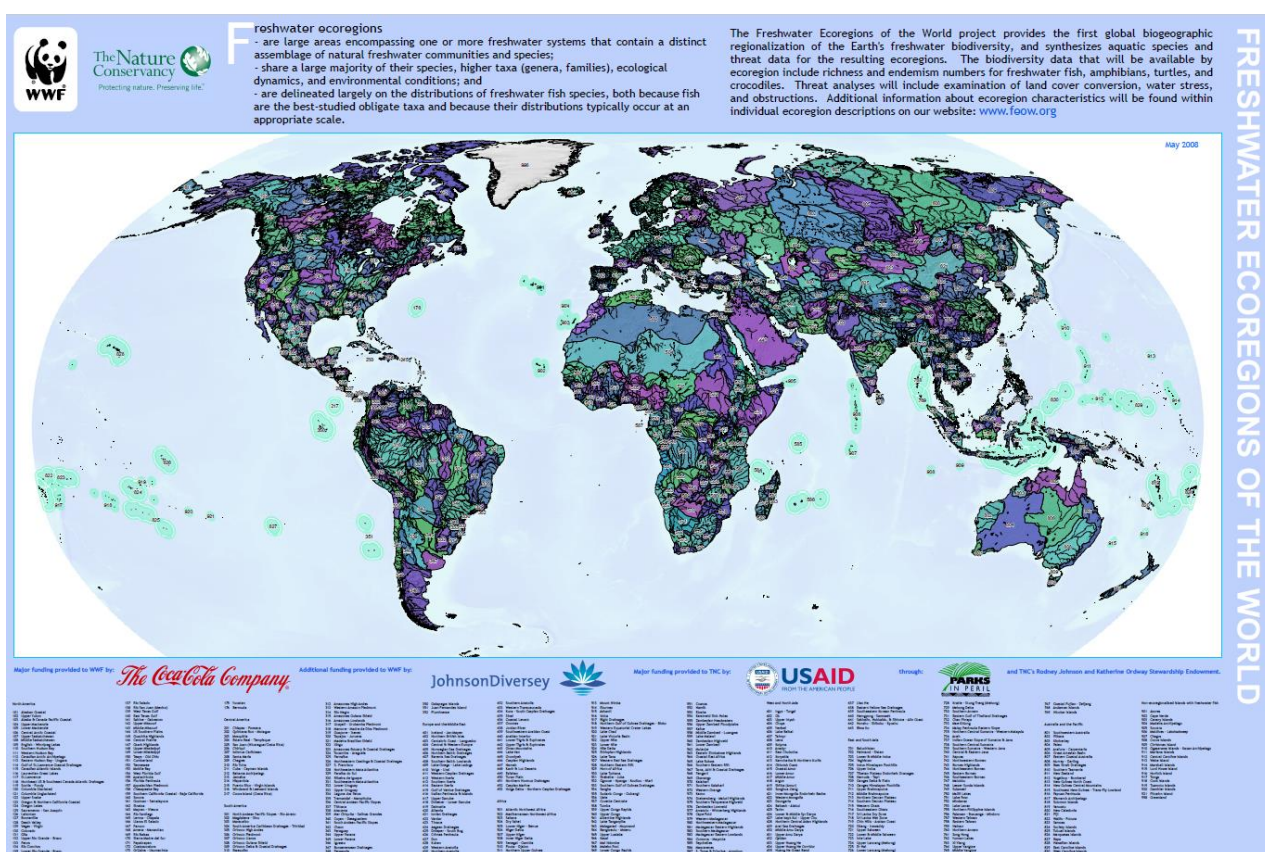


Figura 16. Ecoregiones de sistemas de agua dulce a nivel mundial. Fuente <http://www.feow.org/downloads/>

CONABIO define a las ecoregiones como, unidades geográficas con flora, fauna y ecosistemas característicos. Son una división de las grandes “ecozonas” o regiones biogeográficas (Figura 16).

Las divisiones políticas de municipios, estados y países, no respetan los procesos ecológicos, por lo que es importante el desarrollo de políticas públicas que incluyan escalas espaciales adecuadas y que consideren la dinámica ambiental. El enfoque ecorregional es importante desde varios puntos de vista. La mayoría de las comunidades humanas soportan sus actividades económicas y sociales dentro de un marco ambiental regional. Un ambiente saludable proporciona bienes y servicios de alta calidad a las poblaciones y a los procesos en los ecosistemas, como el ciclo del agua y de nutrientes, a veces suceden a grandes escalas espaciales y temporales que favorecen la sustentabilidad del ecosistema.

A nivel mundial México se encuentra en el límite entre dos regiones biogeográfica, la neártica y la neotropical, lo que contribuye a su gran riqueza natural; y el río Balsas está identificado con el número 169, por lo que la cuenca del río Atoyac está inmersa en la ecoregión dulceacuícola 169 (Figura 17).



Figura 17. Mapa de ecorregiones en México.

Fuente CONABIO <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/ecorregiones2.html> (Consultada 26/09/2016).

Los sistemas acuáticos desempeñan un papel fundamental desde el punto de vista ecológico y es necesario atender los muchos problemas relativos a su integridad, al sostenimiento de sus ecosistemas y a la supervivencia de sus especies. La reducción del volumen de aguas superficiales y subterráneas disponibles y el deterioro de su calidad demuestran claramente que las aguas interiores no son recursos inagotables (Aguilar V, 2003), además de ser uno de los ecosistemas más amenazados en la actualidad.

Los sistemas fluviales (ríos, arroyos), son ecosistemas acuáticos epicontinentales que albergan una gran diversidad de peces, crustáceos, moluscos e insectos, recursos clave en las redes alimentarias; muchos de ellos sustentan ictiofaunas (peces) exclusivas. Mantener la integridad de estas comunidades requiere un manejo especial, y en algunos casos es urgente protegerlas contra desecación, canalización, contaminación, deforestación, construcción de caminos, uso recreacional intensivo y otros tipos de explotación. La escasa protección ha provocado que estén muy degradados los ambientes dulceacuícola por su uso (Aguilar op. cit.).

Un conocimiento más profundo de los ecosistemas acuáticos, acerca de su diversidad, su estado de conservación y posibilidades de conservación-restauración, es una herramienta fundamental para que el gobierno federal, estatales y municipal, junto con las organizaciones de la sociedad civil, universidades y otras instancias deben interaccionar para proteger el ecosistema acuático (Sánchez, 2000 en Arriaga *et al.*).

CONABIO, 2013, divide al Estado de Puebla en 5 regiones ecológicas, que son unidades de superficie terrestre que presentan conjuntos de vegetación con afinidades climáticas e históricas o linajes biogeográficos comunes, correspondiendo a la cuenca alta de río Atoyac la región templado húmedo, y la ecoregión 3 (E.3) con selvas cálido secas: valles y depresiones con matorral xerófilo y bosque tropical caducifolio, y la provincia biogeográfica de la depresión del Balsas.

En la cuenca hidrográfica del río Balsas Aguilar, 2003 tiene registradas un total de 20 especies de peces de los cuales el 35% son endémicas de la región; en cuanto al fitoplancton del total de 1025 especies, la mayoría son de distribución cosmopolita (Oliva-Martínez, 2014). CONABIO, 2013, por su parte registra 47 especies pertenecientes a diez familias, 13 de las cuales son endémicas. Asimismo, diversos estudios han demostrado que existen 14 especies nativas y 20 introducidas en la región.

Para los anfibios y reptiles la CONABIO, 2013, registra cerca de 247 especies (82 anfibios y 165 reptiles) distribuidas en la región.

Los problemas de contaminación del río Atoyac es una de las principales causas de pérdida de la biodiversidad del sistema acuático. Las especies endémicas o nativas de la región, pueden ser utilizadas como indicadores de recuperación de la cuenca Alta del río Atoyac.

1.3. Descripción de casos de éxito de restauración de ríos a nivel mundial.

Para diseñar y ejecutar una restauración, es conveniente considerar lo siguiente (Magdaleno, s/f):

1. La restauración fluvial es un proceso complejo que debe iniciarse con el reconocimiento de los factores de alteración naturales o de origen humano. La utilización de indicadores de alteración es, en este sentido, una herramienta necesaria para estimar las causas y el grado de alteración del sistema fluvial, como etapa previa al propio proceso de restauración. La restauración debe incluir un amplio conjunto de medidas que tengan como fin la recuperación natural del equilibrio dinámico y las funciones de los ecosistemas ribereños.
2. Es posible establecer tres niveles de intervención en una restauración: la no intervención, la intervención parcial y el manejo total del sistema. Cada uno de estos niveles de intervención debe ser aplicado específicamente en función de las características del medio, su potencial de auto-recuperación y las condiciones de contorno, a nivel social, económico y ambiental.
3. Toda restauración debería comenzar por el restablecimiento de un régimen hidrológico más cercano al régimen natural, especialmente en lo que concierne a la magnitud, frecuencia, duración y época de las avenidas. El caudal es el factor básico para la creación de hábitats en el medio fluvial, de una estructura y composición adecuadas en el bosque de ribera, de la conectividad longitudinal y transversal de materia y energía en el espacio fluvial, y de la apuesta en valor del tramo restaurado, desde un punto de vista paisajístico, recreativo y cultural.
4. El proceso de restauración fluvial debe representar el marco en el que analizar las cuestiones críticas, problemas y necesidades que afectan al tramo objeto de la restauración, y en el que desarrollar los escenarios de trabajo con las partes implicadas. En muchas ocasiones, el proceso de restauración debe incluir evaluaciones geomorfológicas, a distintos niveles, y evaluaciones de la integridad ecológica del medio fluvial.
5. La restauración fluvial debe partir, en primer lugar, de una planificación a escala de cuenca, de la que emanen medidas más específicas que tengan en cuenta las condiciones concretas del tramo que es objeto de la actuación. Existe un amplio abanico de técnicas, algunas de las cuales han sido utilizadas con cierta profusión en España, pero no se ha realizado, en general, un seguimiento de su éxito, ni de las medidas que serían necesarias para mejorar su aplicación en nuestro país. La difusión de los resultados de las actuaciones realizadas en las últimas décadas, el aumento de la participación pública y el mantenimiento y seguimiento de las actuaciones realizadas son medidas básicas para asegurar, en los próximos años, el buen funcionamiento de los trabajos realizados.

El crecimiento urbano desenfrenado de las ciudades -y a veces desordenado- sumado a la falta de inversión por parte del Estado y a la falta de campañas de sensibilización de la población -o más bien, debido a la ausencia de educación pública sobre el tema- son factores considerables del

porqué los ríos no reciben el tratamiento que se merecen. La falta de sistemas de saneamiento y de eliminación de residuos industriales agregan un problema más a este panorama.

En la actualidad, los 500 ríos más grandes del mundo se enfrentan a problemas de contaminación, de acuerdo a la Comisión Mundial del Agua. Sin embargo, muchas ciudades han logrado transformar sus ríos, como París y Londres, integrándolos a su vida económica, social y urbana.

Los principales ríos de Europa han sido restaurados y han demostrado que con la coordinación, planes y recursos económicos bien aplicados en el saneamiento, control de la contaminación y acciones de rehabilitación es posible recuperar el ecosistema acuático.

A continuación se presenta un resumen de ocho ríos que controlaron y disminuyeron su contaminación en Europa.

Río Sena, París (Francia)



El río Sena, en París, se ha degradado debido a la contaminación industrial, una situación común a otros ríos europeos. En este caso, sin embargo, un factor agravante era la recepción de las aguas residuales domésticas.

Esto lo dejó en un lamentable estado, por lo que durante la década de 1920 el Sena buscó solucionar sus problemas ambientales. Pero fue sólo en 1960 que los franceses comenzaron a invertir en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales. Hoy en día hay cerca de 30 especies de peces en el río, pero el proceso para lograrlo fue lento.

Al principio, sólo hubo 11 estaciones en operación. En 2008, ya eran dos mil y el objetivo es que en 2015 el río esté descontaminado en un 100%. Como parte del proceso de tratamiento de aguas residuales, el gobierno creó leyes que multan a las fábricas y a las empresas que vierten sustancias en el agua. Además, fijó un incentivo de entre 100 y 150 euros por hectárea que se les entrega a los agricultores que viven en el río y no lo contaminan.

Río Támesis, Londres (Reino Unido).



El Támesis tiene casi 350 km de largo y una larga historia de contaminación. En 1610, las aguas ya no se consideraban potables debido a la falta de saneamiento en Inglaterra, lo que provocó muertes por cólera. Incluso, en 1858, las reuniones parlamentarias tuvieron que ser suspendidas por el mal olor del agua, lo que llevó al gobierno a buscar cómo rescatar la vida en el río.

En ese momento se puso en práctica una alternativa sin éxito, ya que el sistema que se implementó recogía las aguas residuales y vertía los residuos a cierta distancia de la ciudad, pero por debajo de ésta. Sólo entre 1964 y 1984 nuevas acciones de revitalización comenzaron a regir. Se creó una planta de tratamiento de aguas residuales con dos estaciones que requirieron una inversión de 200 millones de libras. Quince años más tarde, un incinerador pasó a ser el destino de los sedimentos procedentes de los sistemas de tratamiento de agua, generando energía para las dos estaciones. Hoy el río ya luce distinto y gracias a dos barcos que lo recorren de lunes a viernes, se logra eliminar 30 toneladas de basura por día.

Río Tajo, Lisboa (Portugal).



Para descontaminar el río más famoso de Lisboa y el más largo de Europa occidental se invirtieron 800 millones de euros. Su revitalización se inició en el año 2000 con la creación de la Reserva Natural del Estuario del Tajo, la que se vio complementada con la construcción en 2012 de obras de saneamiento y la renovación de la red de distribución de agua y alcantarillado.

Río Cheonggyecheon, Seúl (Corea del Sur).



Puede parecer mentira, pero los 5,8 kilómetros de río que corre a través de la gran metrópoli de Seúl fueron totalmente revitalizados en sólo cuatro años. Hoy en día se cuenta con cascadas, fuentes, peces y se ha transformado en un lugar de encuentro para ciudadanos de todas las edades.

Su renacimiento comenzó en julio de 2003, cuando el gobierno de la ciudad demolió un enorme viaducto (cerca de 620 mil toneladas de concreto) que se alzaba sobre el río y comenzó un proyecto paralelo de una nueva política de transporte público, además de la construcción de varios parques lineales y de zonas verdes en las calles.

Con los avances ambientales, la temperatura en Seúl cayó 3,6°C y hubo mejoras económicas en la ciudad. Hoy en día, las aguas que fluyen allí se bombean desde el río Han, otro que pasó por el proceso de descontaminación.

5. Río Han, Seúl (Corea del Sur).



El río Han está formado por la confluencia de los ríos Namhan y Bukhan, y en su paso por Seúl se une al río Imjin, el que a su vez desemboca en el Mar Amarillo. 514 kilómetros de longitud, de los cuales 320 son navegables, han sido siempre fundamentales para el desarrollo de la región, ya que provee de terrenos para la agricultura, comercio, transporte, ayuda en la actividad industrial y generación de electricidad.

Sin embargo, durante la Segunda Guerra Mundial y la Guerra de Corea, el río Han sufrió degradaciones, ya que es cuando comenzó a recibir la descarga de aguas residuales.

Por esto, en 1998, el Plan de Desarrollo y Gestión de Implantación de la Calidad del Agua, logró cambiar su destino. Con la revitalización del río Cheonggyecheon, el río Han también ha sufrido cambios y ahora se considera limpio, incluso recupero algunas especies de peces.

Río Rin, varias ciudades de Europa

El río Rin, con aproximadamente 1300 km de longitud, se origina en los Alpes suizos y atraviesa seis países europeos antes de desembocar en el Mar del Norte, en Holanda. Durante muchos años recibió los residuos procedentes de las zonas industriales, lo que lo llevó a ser conocido en 1970 como “la cloaca a cielo abierto de Europa”.



Uno de los principales incidentes de contaminación ocurrió en 1986, cuando 20 toneladas de sustancias altamente tóxicas fueron arrojadas al río por una empresa suiza. Por este motivo, los gobiernos de las ciudades afectadas se reunieron en 1987 y crearon el Programa de Acción del Rin, en el que invirtieron más de 15 mil millones de dólares para la construcción de sistemas de tratamiento de agua. El resultado es que actualmente el 95% de las aguas residuales de las empresas son tratadas y se recuperaron cerca de 63 especies de peces.

Río Cuyahoga, Cleveland (EE.UU.)



Ubicado en el estado de Ohio, el río Cuyahoga tiene 160 km de longitud, pasa por el Parque Nacional Valle Cuyahoga y desemboca en el lago Eyre. Hoy en día es una parte fundamental del ecosistema de la región, siendo el hogar y la fuente de sustento para muchos animales. Sin embargo, la historia fue muy diferente en un pasado no muy lejano.

Debido a la actividad industrial masiva y el desagüe de las aguas residuales domésticas de Cleveland y Akron que terminaban en el río, éste estaba muy contaminado. Para empeorar las

cosas, en junio de 1969, una mancha de aceite y otros productos químicos llegaron al río. Por estos factores, en 1970 se firmó la Ley Nacional de Protección del Medio Ambiente que permitió la creación de la Ley de Agua Limpia en 1972, la que estipula que todos los ríos del país deben ser aptos para la vida acuática y para la recreación humana.

Desde entonces, Cleveland ha invertido más de US\$3.5 mil millones en la purificación del agua de Cuyahoga y en sus sistemas de drenaje. En los próximos 30 años, la idea es invertir otros US\$5 mil millones para mantener el buen estado de sus aguas.

Canales de Copenhague (Dinamarca).



Probablemente, la gran mayoría conoce a la capital danesa por ser un referente medioambiental, de hecho, hoy tiene una meta muy clara: ser en el año 2025 la primera capital del mundo en compensar sus emisiones de carbono.

Pero esto no siempre fue así, porque antes las tuberías llevaban el agua de lluvia hacia los ríos y canales, lo que lamentablemente se mezclaba con la red de saneamiento, una especie de transporte directo de los residuos al cuerpo de agua. Por otra parte, la era industrial en torno al río significó que gran parte de la basura terminara en sus aguas. En 1991, se pudo concretar un plan de saneamiento de aguas y de eliminación de las zonas industriales alrededor del río. Gracias a esto, los drenajes pluviales fueron reconstruidos y los depósitos de agua se establecieron en puntos estratégicos de la ciudad. La basura, a su vez, pasó a ser reciclada e incinerada. Hoy en día los ciudadanos y turistas se pueden bañar en piscinas públicas y artificiales creadas por el gobierno.

En la población de Pereira, Colombia, se realizaron acciones para recuperar los ríos y arroyos que atraviesan la población. El Organismo Operador de Agua hizo estudios de calidad del agua y de indicadores biológicos de calidad del agua (Figura 18).

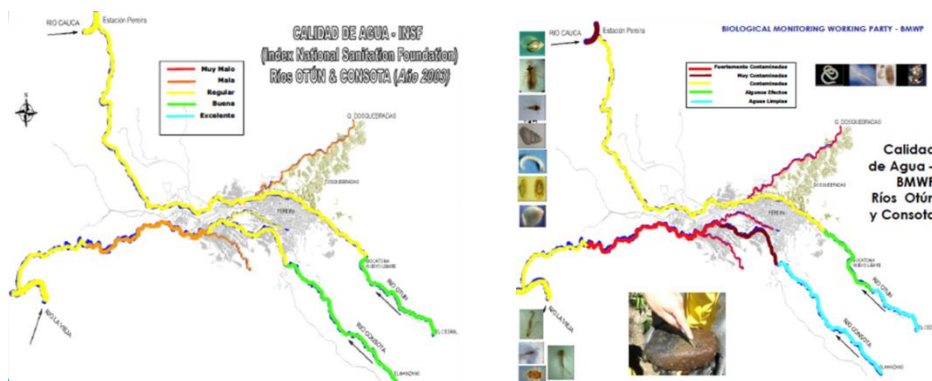


Figura 18. Estudios de calidad del agua y de indicadores biológicos de los ríos que atraviesan la población de Pereira.

Desarrollo un Plan de Saneamiento Hídrico de Pereira con la construcción de colectores e interceptores de aguas residuales que llegarán a un Sistema de Tratamiento de agua residual; aunado a este Plan de Saneamiento de inversión en infraestructura, el sistema de aguas resaltó la importancia de la educación ambiental, y fortaleció los procesos de participación y gestión comunitaria para la conservación y recuperación ambiental de las microcuencas urbanas, con las acciones como las siguientes:

- Conformación de los grupos de gestión ambiental comunitaria (comuneros, presidentes, vocales, líderes, institución educativa, representantes institucionales).

Dinamizar la gestión ambiental de su sector.

Convocar a las comunidades.

Control y seguimiento a las actividades.

- Jornadas de formación.
- Jornadas de recuperación ambiental
- Jornadas de limpieza
- Jornadas de siembra de material vegetal
- Habilitación de senderos ambientales

- Apoyo y acompañamiento a las instituciones educativas.

Con esto, logro que se comprometiera a la comunidad y a las instituciones con el cuidado de las fuentes de agua.

Un ejemplo de la rehabilitación de arroyos y las etapas de un proyecto en Dinamarca (Hans Ole, 1997).

La realización de un proyecto de rehabilitación de un arroyo danés fue una tarea que requirió mucha paciencia y comprendió las siguientes etapas:

- Idea inicial
- Estudios piloto
- Contacto con los propietarios ribereños y una aceptación provisional
- Unificación de los intereses de los propietarios ribereños, el público y las Autoridades; elaboración de la descripción del proyecto
- Permisos y trámites por parte de las Autoridades
- Aclaración de la financiación
- La obra – el trabajo físico
- Evaluación y seguimiento

En la figura 19, se presenta la descripción esquemática de las etapas de aprobación de los casos de regulación y restauración de arroyos tramitados por las Autoridades Danesas.

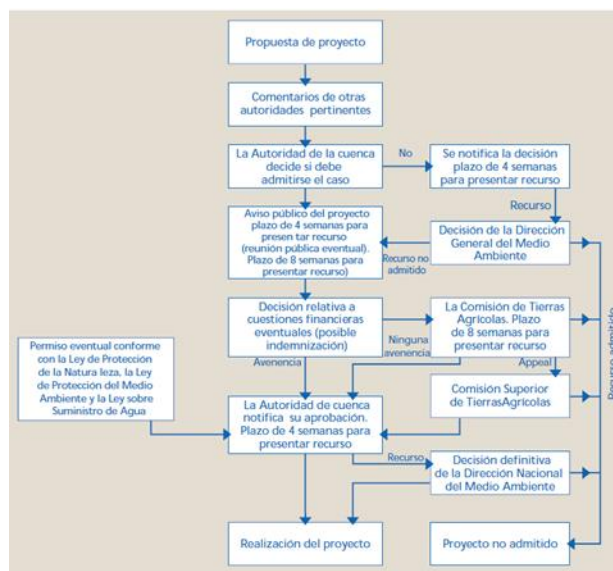


Figura 19. Esquema y etapas de aprobación

Ejemplo de restauración en México

En México existen pocos ejemplos de rehabilitación y/ restauración de ríos o arroyos y por lo general corresponden a tramos de un sistema fluvial.

Para el río Magdalena de la Ciudad de México, se construyó una estrategia para diagnosticar, elaborar una imagen compartida de futuro deseable y diseñar las líneas de acción estratégicas de manera consensuada. Para ello, plantearon un modelo de planeación participativa y comunicativa

para integrar el conocimiento, aspiraciones, demandas y propuestas de: a) científicos de diversas disciplinas; b) la pluralidad de actores sociales; y c) funcionarios públicos de distintas dependencias que deben coordinarse para tomar decisiones conjuntas.

La UNAM y UAM a través de sus Programas Universitario de Estudios Metropolitanos (PUEM) coordinaron a diversas facultades como la de Biología, Geografía, Ingeniería y Arquitectura para generar el Plan Maestro para el recate del río Magdalena con una visión interdisciplinaria y una orientación multiobjetivo.

Qué significado tiene Rescatar, Sanear, Rehabilitar o Restaurar.

El rescate enuncia la intención y urgencia de actuar por algo que está en riesgo, en peligro.

El saneamiento es limpiar el agua contaminada, frenando los efectos negativos que acontecen en el cauce: contaminación por agua residual y desechos sólidos; requiriendo de actividades ingenieriles para reducir esta situación y mejorar la calidad del agua.

La restauración es realizar acciones adecuadas para que el ecosistema regrese lo más posible a sus condiciones naturales, a la situación original del río antes de que el hombre actuara sobre él y su entorno ambiental. Para el caso de los ríos urbanos, hacen casi imposible considerar un programa de restauración, por su contaminación y las numerosas intervenciones hidráulicas en su tramo urbanizado, de tal forma que el término rehabilitación, puede ser utilizado con la intención de recuperar ciertos elementos biofísicos de gran importancia para el ecosistema, tanto en el área urbana como en la natural, así como incorporar armónicamente el río al paisaje de la ciudad (Findlay y Taylor, 2006).

El principio de manejo ecosistémico es considerado para interrelacionar los elementos bióticos, abióticos y humanos de la cuenca para la preservación de los bienes y servicios ambientales, así como para el aprovechamiento sustentable de los mismos en beneficio de toda la ciudad. **El Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del Río Magdalena** impulsa un nuevo paradigma en el manejo de los ríos urbanos. Una de sus conclusiones fue la gran importancia de la vinculación entre la investigación científica y la participación social (González, et. al, 2010).

En tres Etapas realizaron los estudios correspondientes de río Magdalena (2007 – 2012) (Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, 2012), en una de ellas el programa de Rescate tuvo tres vertientes que fueron:

1. Acciones de conservación de la parte alta de las microcuencas
2. Acciones de saneamiento hidráulico
3. Recuperación de espacios públicos.

Para cada Etapa se realizaron diversos estudios, proyectos y acciones en el río, el costo por año de los trabajos realizados por las Universidades fue: **2007** \$40,330,549.50, **2008** \$11,623,808.65, **2009-2010** \$49,987,552.27, **2011-2012** \$3,562,750.80

Algunos de los obstáculos que enfrentaron las Universidades durante la ejecución de los Programas y Proyectos fueron:

Oposición protagonizada por agentes políticos locales.

Rechazo de la construcción de la PTAR en el predio seleccionado (al momento no se ha construido) por el Comité ciudadano vecinal.

Los comuneros de la zona al principio rechazaron la construcción de colectores.

Las acciones que tienen planeadas para continuar recuperando el río Magdalena son:

Continuidad a: acciones de conservación y restauración de suelos, de control de erosión, y de ordenamiento ganadero y restauración forestal en suelo de conservación; acciones para el saneamiento hidráulico con la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales; construcción de plantas potabilizadoras aguas abajo una vez saneado el río, para aprovechar mejor el caudal en época de lluvias; acciones de rescate del espacio público de las márgenes; acciones para monitorear calidad del agua, y acciones para prevenir y vigilar la relación de los habitantes y de las empresas que están ubicadas en las inmediaciones del río.

Evaluar continuamente las políticas públicas y las acciones ejecutadas en el río Magdalena, ya que constituye ejemplo piloto en el que se pondrán a prueba la eficacia de éstas con el objeto de replicar la experiencia en otros ríos de la ciudad.

Continuar estudiando el río Magdalena para entender mejor su comportamiento en las actuales condiciones, considerando las diferencias estacionales; hacer un seguimiento continuo y monitorear de forma continua la calidad del agua con el apoyo de un sistema que permita llevar un registro sistematizado y hacer accesible toda la información que se produzca.

Elaborar un programa de manejo del río Magdalena con un enfoque que considere el desarrollo social, el desarrollo económico y el desarrollo tecnológico y que integre a entidades públicas, privadas y sociales en sus respectivas esferas de responsabilidad.

Río El Pueblito, Querétaro

Otro ejemplo de restauración es un tramo del río Pueblito Querétaro, México, el cual inicio con la creación del **Patronato de Rescate, Conservación y Preservación del Cauce y Entorno del río Pueblito** en 2004. El municipio de Corregidora firmo un convenio con la SEMARNAT y Conagua, para tener bajo su custodia 13.5 kilómetros del río.

El patronato coadyuvo para que se integraran ciudadanos comprometidos a participar como Consejeros Honorarios, así como al presidente de la Asociación de Industriales del Parque Industrial Balvanera; además del Alcalde, el delegado de SEMARNAT, el Director Local de Conagua, el vocal Ejecutivo de la Comisión Estatal de Aguas (CEA), el Director del Instituto de Planeación del municipio, el secretario de Desarrollo Sustentable y el regidor presidente de la Comisión de Desarrollo Urbano y Ecología.

En 2008 realizaron el Diagnóstico hidráulico, hidrológico, ambiental y legal del río El Pueblito. La información de base de flora y fauna fue tomada de una tesis de Maestría realizada por la Universidad Autónoma de Querétaro (Facultad de Ciencias Naturales). Se realizó un Plan de Remediación y un Programa de saneamiento del río. En el seguimiento de los programas, en 2011 se identificó la presencia de tortugas, del cangrejo de la barranca y el acocil que la SEMARNAT había reportado como extintos. Desde mayo de 2011 realizan el monitoreo de calidad del agua con análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, obteniéndose resultados de disminución en la concentración de DBO, DQO, SST, Nitrógeno total, fosfatos y coliformes fecales.

Se tienen diversos programas para continuar con el 100% del saneamiento y restauración del río El Pueblito (2013 – 2015), como construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la depuración del agua municipal y del rastro.

La inversión fue de 93 millones de pesos, las fuentes de financiamiento fueron: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y Comisión Nacional del Agua (Conagua) a través del Programa de Empleo Temporal; Gobierno del Estado de Querétaro y Gobierno Municipal de Corregidora.

Con el Programa de Empleo Temporal se contrató a 130 habitantes de El Pueblito, La Negreta, Santa Bárbara, Charco Blanco, Las Flores y Zapata, quienes fueron debidamente capacitados como **'técnicos en saneamiento'**.

Para verificar lo ya realizado, cada tres meses realizan el monitoreo del grado de contaminación del agua, se realiza una caracterización de las aguas del río, se dosifican enzimas para clarificarlas, se siembran biofiltros donde se requieren –esto es, plantas del propio río (berros, lotos, tules, entre otras)–, así como lirios acuáticos que filtran el agua y retienen metales pesados, además de aportar oxígeno. “Con esa combinación de enzimas y biofiltros crearon una laguna de oxidación, y a lo largo de 70 metros se tiene una digestión total de la materia orgánica que descargan las haciendas de El Batán, principalmente aguas residuales domésticas. Esta purificación dio pie a la recuperación de especies en extinción, del ecosistema y del microclima, en un área de tres kilómetros”.

Con los resultados del proyecto, el Patronato tramita la Certificación como **“Municipio Verde”**.

La Directora del Patronato ésta convencida de que los grandes logros de saneamiento obtenidos hasta ese momento, son resultado de haber **conjuntado las voluntades de los tres órdenes de gobierno, de la ciudadanía, de la academia** y del propio personal del Patronato de Rescate, Conservación y Preservación del Cauce y del Entorno del río El Pueblito. “Con este ejemplo de trabajo se comprueba que cuando se unen la voluntad política, la voluntad ciudadana, y la experiencia de los magníficos profesionistas y científicos mexicanos, el resultado sólo puede ser **un caso de éxito**”.

Los ejemplos aquí presentados son casos de estudio que pueden ser replicados en la cuenca Alta del río Atoyac-Zahuapan, con programas y planes de acción específicos para cada tramo de río o arroyo.

La problemática que presenta la Cuenca Alta del río Atoyac, no es tarea fácil y las posibles soluciones que se analicen, discutan, aprueben y validen, deben de ser aceptadas y apropiadas por la sociedad, dirigidas por los académicos, apoyados por las instancias estatales, federales e industriales involucrados para poder controlar la contaminación del agua, sanear la cuenca, restaurar el ecosistema fluvial y preservarlo para las generaciones futuras.

2. SITUACIÓN ACTUAL

Puebla

De acuerdo al Diagnóstico Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014 (FCCyT, 2014); Puebla es el quinto estado más poblado del país con 5 millones 779 mil 829 habitantes (después del Estado de México, Distrito Federal, Veracruz y Jalisco) según los datos del Censo de Población y Vivienda 2010. La superficie de la entidad es de 34 mil 289 km².

Según los indicadores económicos de la entidad, Puebla tiene el décimo Producto Interno Bruto (PIB) más alto de la República Mexicana con la suma de 32 mil 060 millones de dólares (mdd), lo que representa 3.21% del PIB nacional.

Los índices de especialización económica que destacan en el caso de Puebla son el sector primario e industrial. El sector primario de Puebla contribuye con 4.2% al PIB total estatal y cuenta con un Índice de Especialización de 1.10 (indica especialización >1). Los principales cultivos son el maíz, zanahoria, cebolla, cebada, sorgo, frijol, alfalfa, manzana, caña de azúcar y café. También se produce huevo, carne porcina, carne de caprino y productos pesqueros como carpa y trucha. Por su parte, el sector industrial participa con 34.9% en el PIB total estatal y cuenta con índice de especialización de 1.21, lo que ubica al estado en el lugar 8 a nivel nacional. Las ramas que destacan por su mayor dinamismo son autopartes y automotriz, maquinaria y equipo y textil. Por último el sector servicios participa mayoritariamente en el PIB total estatal con 60.9% y tiene un índice de especialización de 0.90, es decir, menor que la unidad, por lo que la entidad no tiene especialización en el sector servicios. Los principales servicios del estado son el comercio, restaurantes, servicios financieros e inmobiliarios y turismo.

Tlaxcala

Tlaxcala es la segunda entidad más pequeña del país (después del Distrito Federal), cuenta con una superficie de 3 mil 991 km² y una población de 1 millón 169 mil 936 habitantes, por lo que también constituye la quinta entidad menos poblada del país.

De acuerdo a los indicadores económicos de la entidad, el Producto Interno Bruto (PIB) de Tlaxcala asciende a 5 mil 613 millones de dólares (mdd).

Tlaxcala cuenta con una posición geográfica central en el país, lo que le asegura buenas posibilidades de conexión carretera con el Estado de México, el DF y Puebla. Además la entidad también se encuentra bien conectada con el Puerto de Veracruz.

Los sectores más dinámicos de la entidad en términos de su contribución al PIB estatal son servicios e industrial. Dichos sectores cuentan también con índices de especialización mayores que la unidad. El sector de servicios es el que participa mayoritariamente en el PIB estatal con 66.4% y tiene un índice de especialización de 1, lo que posiciona a la entidad en el décimo lugar a nivel nacional.

Por su parte el sector industrial participa con 30.4% del PIB estatal y tiene un índice de especialización de 1.01. Las principales ramas del sector industrial que destacan son: alimentos, bebidas, tabaco y confitería; automotriz, metal-mecánica; química-plásticos; y textil (prendas y accesorios de vestir). La entidad cuenta con tres zonas y parques industriales. Los principales productos de exportación son autopartes, cauchos y plásticos y textiles. El sector primario participa con 3.2% y tiene un índice de especialización menor, aunque cercano a la unidad de 0.93. Tlaxcala destaca por la presencia de ganaderías de toro bravo. Los principales cultivos son cebada, maíz, tomate verde, frijol, papa, trigo, maguey pulquero, espinaca, alfalfa verde y durazno.

Con respecto a la situación actual de calidad del agua, la CONAGUA cuenta con una red de monitoreo con mediciones bimensuales en los sitios de monitoreo que a partir del 2012, incremento, de tres en el río Atoyac a cerca de 21, incluidas las ubicadas en el río Zahuapan.

Los resultados de los indicadores de DBO y DQO en 2007 (Figuras 20 y 21 respectivamente), consideró al río Atoyac principalmente como contaminado y fuertemente contaminado, mientras que para los sólidos suspendidos totales se consideró de excelente a buena calidad en el mismo año (Figuras 22).

En el año 2015 los indicadores de DBO y DQO (Figura 23 y 24 respectivamente) siguen manteniendo la misma clasificación, mientras que los SST cambian de buena calidad en la parte alta a contaminada, aguas abajo de la confluencia con el río Zahuapan (Figuras 25).

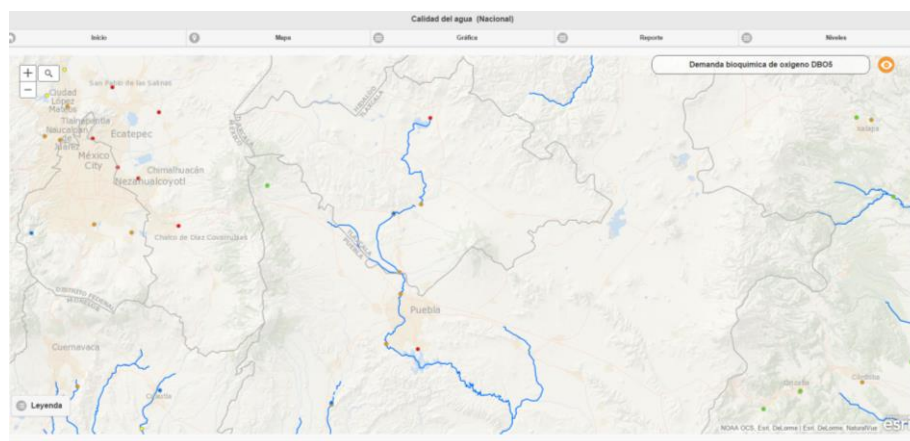


Figura 20. Calidad del agua (DBO) del río Atoyac en los sitios de monitoreo de 2007. Fuente CONAGUA-SINA

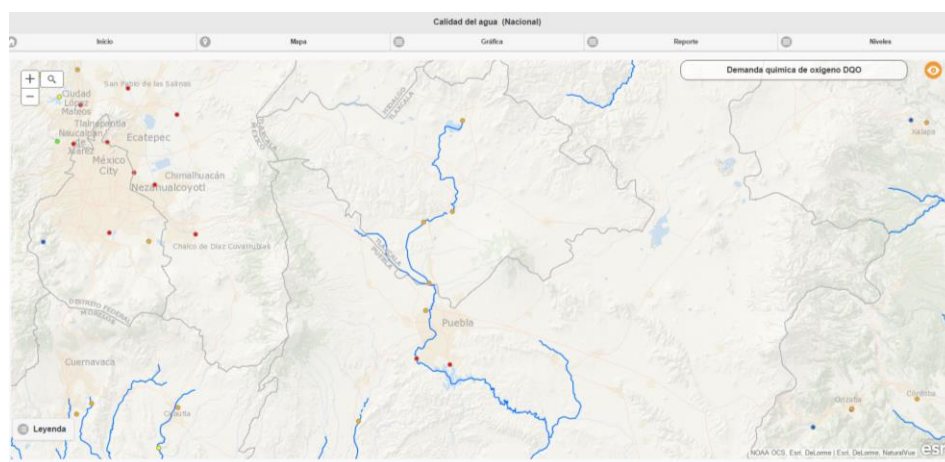


Figura 21. Calidad del agua (DQO) del río Atoyac en los sitios de monitoreo de 2007. Fuente CONAGUA-SINA

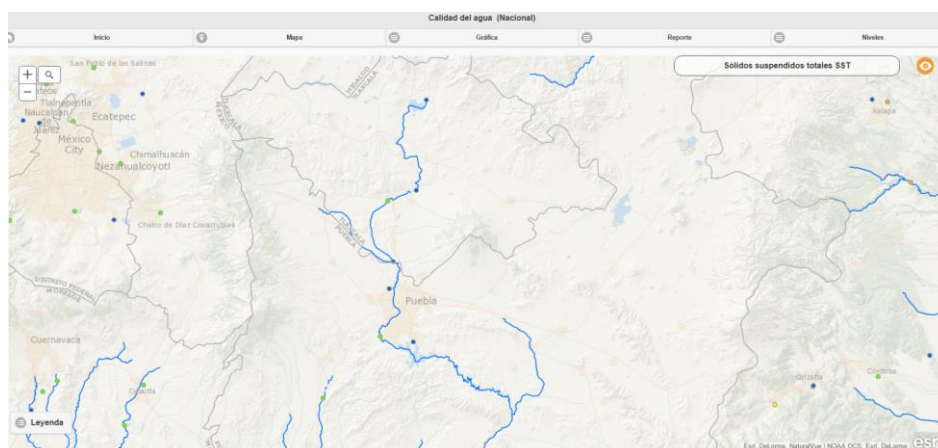


Figura 22. Calidad del agua (SST) del río Atoyac en los sitios de monitoreo de 2007. Fuente CONAGUA-SINA

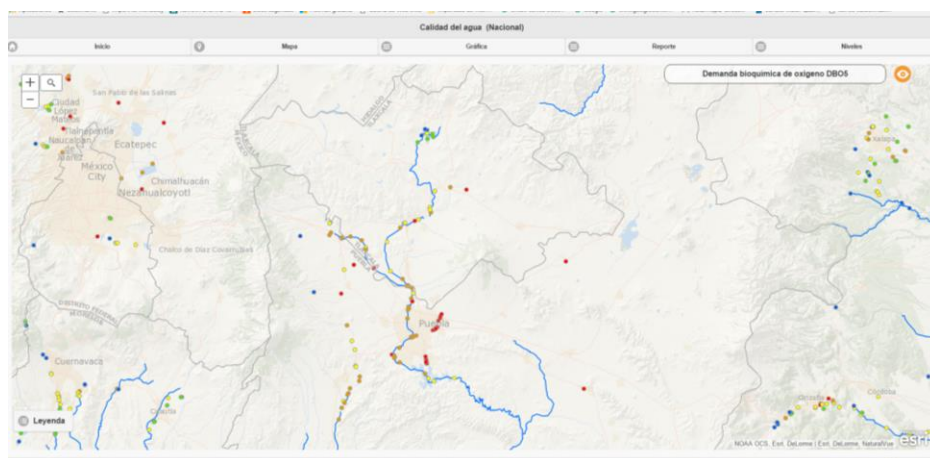


Figura 23. Calidad del agua medida como DBO de la Red de Monitoreo Nacional en 2015

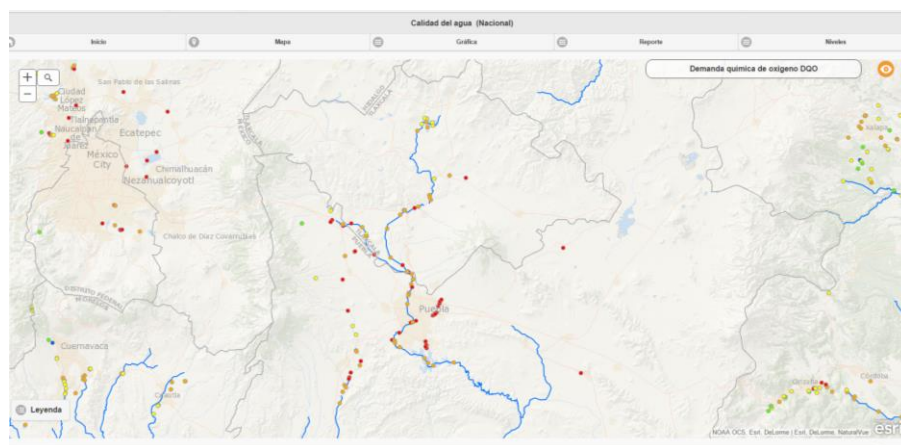


Figura 24. Clasificación de calidad del agua para Demanda Química de Oxígeno en 2015

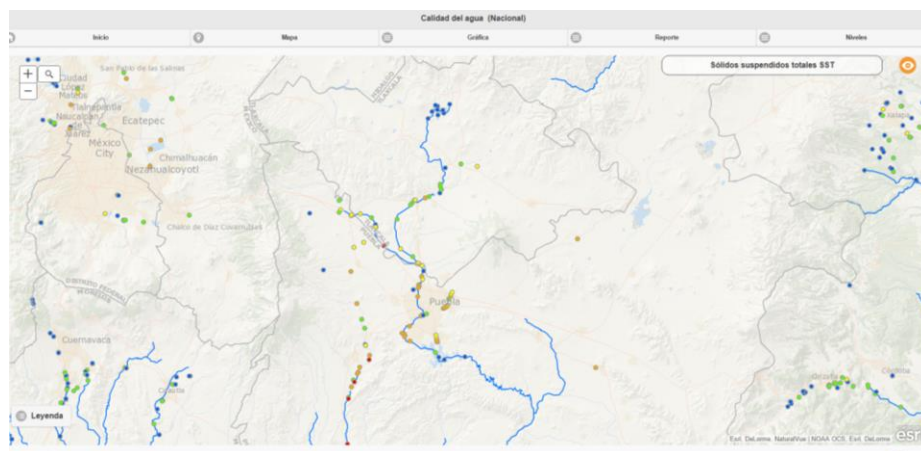


Figura 25. Clasificación de calidad del agua para Sólidos Suspendedos Totales en 2015

La información actual de la red nacional de monitoreo de CONAGUA, denota que la calidad del agua del río Atoyac sigue deteriorada y detectándose compuestos como el Bis-2 (etilhexil) Ftalato, dimetil-ftalato entre otros compuestos orgánicos presentes en el río.

Por lo que respecta al número de habitantes que se encuentran en la cuenca Alta del río Atoyac, se realizó una estimación del número de habitantes por municipios cercanos al río por subcuenca con buffer de 1, 2, 5, 10 y 20 kilómetros de distancia de las subcuencas Atoyac, Zahuapan, Alseseca y Presa Valsequillo que se presentan a continuación.

En la subcuenca del río Atoyac, el municipio de Puebla representa el 73% de la población (1,434,158 habitantes) la cual se concentra en el buffer de 5 kilómetros (Tabla 5 y Figura 26).

Tabla 5. Municipios y número de habitantes cercanos al cauce principal del río Atoyac

NÚMERO DE HABITANTES QUE VIVEN A DIFERENTES DISTANCIAS DEL RÍO ATOYAC.							
	DISTANCIA AL RÍO EN KM.						
Municipios cercano al río Atoyac	1	2	5	10	20	Población por microcuenca.	Porcentaje de población por microcuenca.
Tlahuapan	0	0	6,045	27,240	3,233	36,518	1.8
San Matías Tlalancaleca	2,024	4,744	12,504	38	0	19,310	1.0
San Salvador el Verde	14	39	12,616	11,054	4,696	28,419	1.4
San Martín Texmelucan	76,591	842	59,580	4,099	0	141,112	7.1
Huejotzingo	3	306	16,565	33,444	13,139	63,457	3.2
Tlaltenango	0	0	6,242	27	0	6,269	0.3
San Miguel Xoxtla	215	11,383	0	0	0	11,598	0.6
Coronango	0	391	34,001	204	0	34,596	1.7
Cuautlancingo	17,943	28,466	29,038	3,706	0	79,153	4.0
Puebla	1,270	0	1,434,158	8,894	17,362	1,461,684	73.0
San Andrés Cholula	0	35	54,740	45,664	0	100,439	5.0
Ocoyucan	192	5,840	8,123	4,575	0	18,730	0.9
Población por distancia al río.	98,252	52,046	1,673,612	138,945	38,430	2,001,285	100
Porcentaje de población por distancia al río.	4.9	2.6	83.6	6.9	1.9	100	

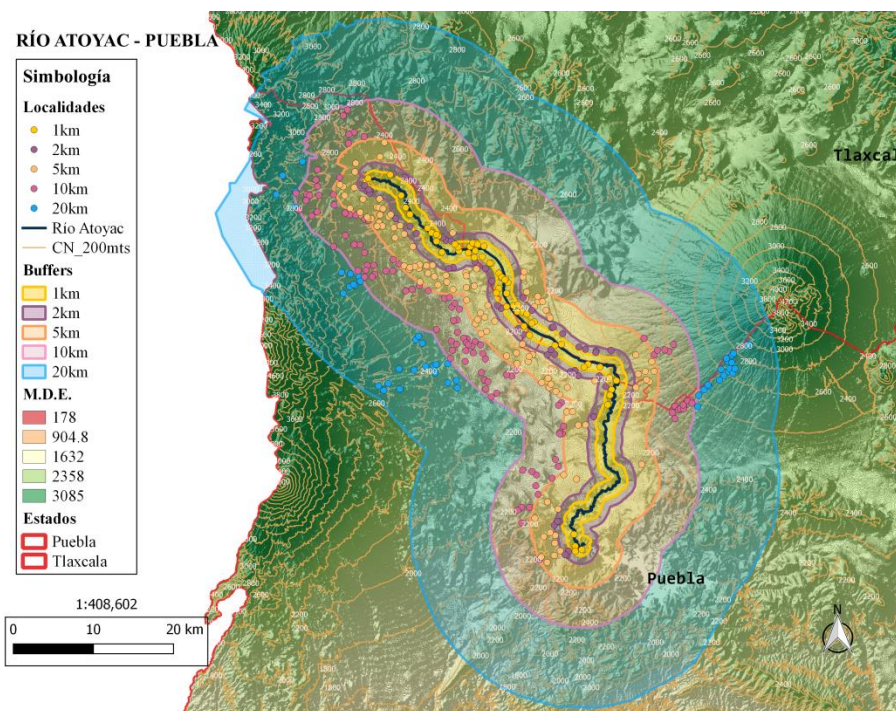


Figura 26. Buffer de población asentada en las cercanías del cauce principal del río Atoyac. Elaboración propia.

Por lo que respecta a la subcuenca del río Zahuapan, el municipio de Tlaxcala representa en 24.8 % de la población (89,795 habitantes) la cual se concentra en el buffer de 2 kilómetros (Tabla 6 y Figura 27).

Tabla 6. Municipios y número de habitantes cercanos al cauce principal del río Zahuapan

NÚMERO DE HABITANTES QUE VIVEN A DIFERENTES DISTANCIAS DEL RÍO ZAHUAPAN.							
Municipios cercanos al río Zahuapan	DISTANCIA AL RÍO EN KM.					Población por microcuenca.	Porcentaje de población por microcuenca.
	1	2	5	10	20		
Tlaxco	6	271	1,868	18,453	4,029	24,627	6.8
Atlangatepec	850	262	4,176	395	0	5,683	1.6
Muñoz de Domingo Arenas	103	2,040	2,133	9	0	4,285	1.2
San Lucas Tecopilco	6	30	2,793	4	0	2,833	0.8
Xaltocan	5,713	21	3,092	951	0	9,777	2.7
Yauhquemehcan	16,246	8,941	7,894	0	0	33,081	9.1
Amazac de Guerrero	9,114	0	761	0	0	9,875	2.7
Apetatitlán de Antonio Carvajal	11,023	2,338	0	0	0	13,361	3.7
Tlaxcala	27,569	40,379	21,847	0	0	89,795	24.8
Totolac	18,274	2,347	4	0	0	20,625	5.7
Panotla	7,356	1,803	11,250	4,719	0	25,128	6.9
San Damián Texóloc	0	5,064	0	0	0	5,064	1.4
Nativitas	197	8,561	6,752	8,111	0	23,621	6.5
Santa Apolonia Teacalco	4,287	62	0	0	0	4,349	1.2
Tetlatlahuca	5,166	1,838	5,406	0	0	12,410	3.4
Zacatelco	62	72	38,520	0	0	38,654	10.7
Xicohtzinco	0	12,255	0	0	0	12,255	3.4
Papalotla de Xicohtencatl	0	0	22,969	4,028	0	26,997	7.4
Población por distancia al río.	105,972	86,284	129,465	36,670	4,029	362,420	100
Porcentaje de población por distancia al río.	29.2	23.8	35.7	10.1	1.1	100	

RÍO ZAHUAPAN - TLAXCALA

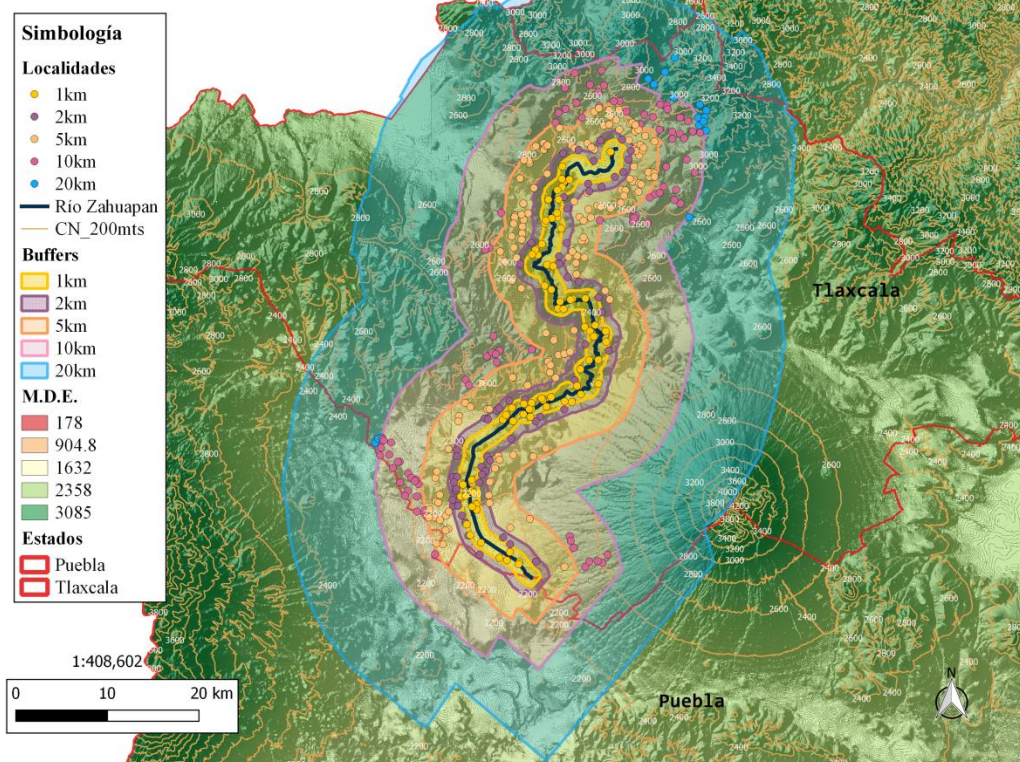


Figura 27. Buffer de población asentada en las cercanías del cauce principal del río Zahuapan. Elaboración propia.

En la subcuenca del río Alseseca el municipio de Amozoc representa el 75.8 % de la población (100,474 habitantes) la cual se concentra en el buffer de 5 kilómetros (Tabla 7 y Figura 28).

Tabla 7. Municipios y número de habitantes cercanos al cauce principal del río Alseseca

NÚMERO DE HABITANTES QUE VIVEN A DIFERENTES DISTANCIAS DEL RÍO ALSESECA.							
Municipios cercanos al río Alseseca	DISTANCIA AL RÍO EN KM.					Población por microcuenca.	Porcentaje de población por microcuenca.
	1	2	5	10	20		
Puebla	507	747	21,302	9,495	17	32,068	24.2
Amozoc	18,869	531	80,919	155	0	100,474	75.8
Cuautinchán	0	0	0	41	0	41	0.03
Población por distancia al río.	19,376	1,278	102,221	9,691	17	132,583	100
Porcentaje de población por distancia al río.	14.6	1.0	77.1	7.3	0.01	100	

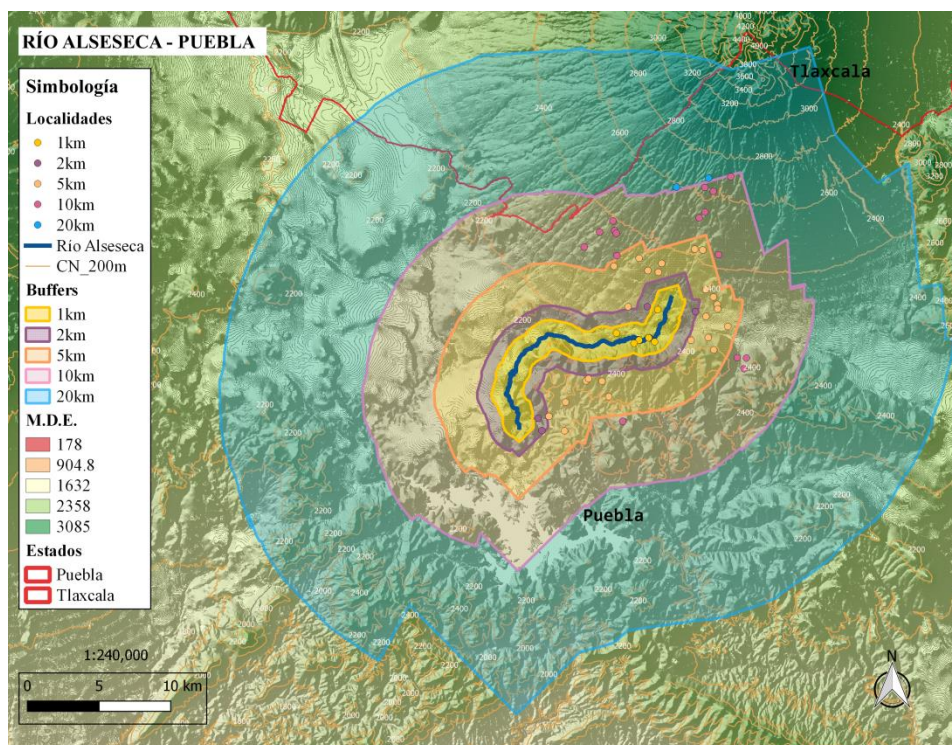


Figura 28. Buffer de población asentada en las cercanías del cauce principal del río Alseseca. Elaboración propia.

En la subcuenca de la presa Valsequillo, el municipio de Puebla representa el 98.1 % de la población (41 540 habitantes) la cual se concentra en el buffer de 5 kilómetros (Tabla 8 y Figura 29).

Tabla 8. Municipios y número de habitantes cercanos a la presa Valsequillo.

NÚMERO DE HABITANTES QUE VIVEN A DIFERENTES DISTANCIAS DEL RÍO ATOYAC.						
Municipios cercanos a la Presa Valsequillo	DISTANCIA A LA PRESA EN KM.				Población por microcuenca.	Porcentaje de población por microcuenca.
	1	2	5	10		
Puebla	8,251	1,625	31,643	21	41,540	98.1
Cuautinchán	0	0	50	0	50	0.1
Tzicatlacoyan	0	776	0	0	776	1.8
Población por distancia al río.	8,251	2,401	31,693	21	42,366	100
Porcentaje de población por distancia al río.	19.5	5.7	74.8	0.0	100	

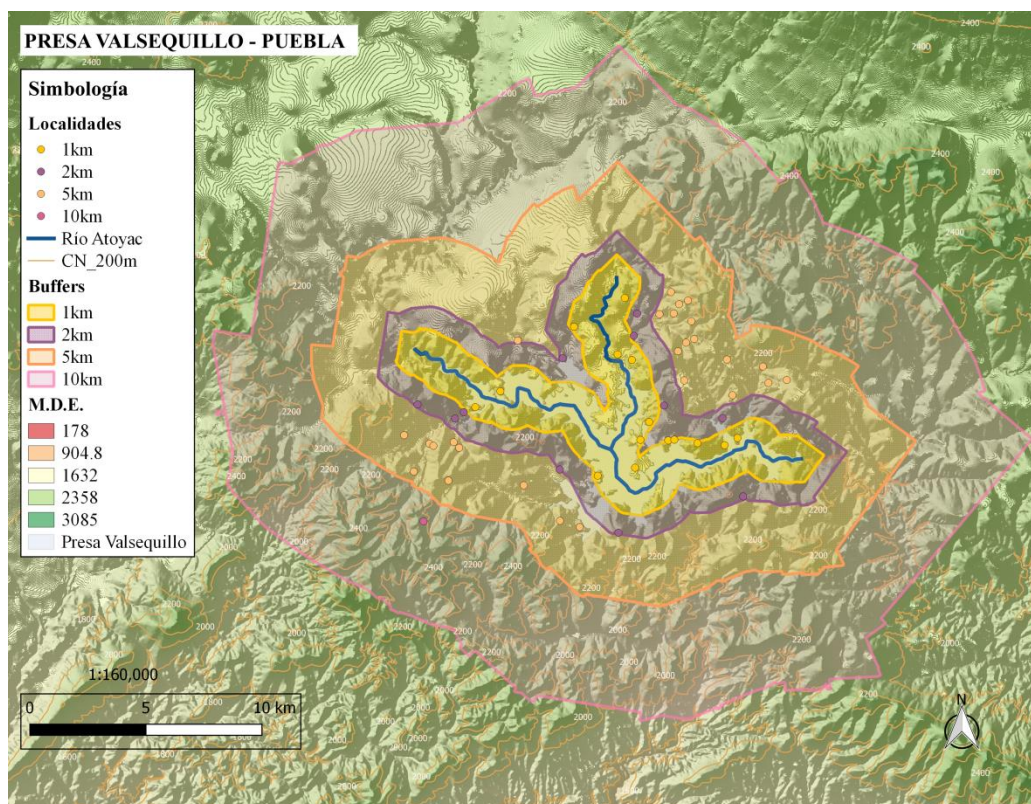


Figura 29. Buffer de población asentada en las cercanías de la presa Valsequillo. Elaboración propia.

De la información anterior para el saneamiento de la cuenca Alta del río Atoyac, es importante establecer acciones de saneamiento en las poblaciones que se ubican entre los 2 y 5 kilómetros de distancia del cauce principal de las subcuencas para controlar, sanear y evitar que las descargas de aguas residuales sin tratamiento lleguen al cuerpo receptor y que sólo se incorpore agua tratada al cauce.

2.1. Principales actividades productivas e industrias dentro de la Cuenca.

2.1.1. Parques industriales

Un parque industrial está referido a una superficie delimitada y diseñada especialmente para el asentamiento de una planta industrial en condiciones adecuadas de ubicación, infraestructura, equipamiento y de servicios, con una administración permanente para su operación.

La misión del Programa a cargo de la Secretaría de Economía consiste en promover el desarrollo de parques industriales de alta calidad como un instrumento eficaz para la atracción de inversiones y el crecimiento sustentable de la industria nacional.

A partir de éste se promueve la instalación de PyMES en parques industriales para el reordenamiento de asentamientos industriales irregulares, así como la desconcentración de las zonas urbanas para un adecuado uso del suelo.

La visión que sustenta está enfocada a que el país cuente con infraestructura competitiva a nivel internacional en el ámbito de parques industriales, incentivando así el desarrollo regional y nuevas fuentes de empleo, buscando la reubicación industrial más redituable y la preservación del medio ambiente. Para lo cual tiene como principales acciones:

- Promueven el desarrollo competitivo de las empresas al dotarlas de infraestructura industrial adecuada.
- Ordenar los asentamientos industriales y favorecer la desconcentración de las zonas urbanas.
- Promover la oferta de infraestructura de localización industrial, a nivel nacional e internacional, a través del Sistema Mexicano de Promoción de Parques Industriales (SIMPPI).
- Atraer inversiones.
- Promover el desarrollo de clusters competitivos.
- Fortalecer, crear y promover los parques industriales, como un mecanismo para impulsar la consolidación de cadenas productivas que funja como elemento detonador del desarrollo económico regional.

Descripción

Un Parque Industrial se caracteriza por cuatros aspectos fundamentales:

- 1) Se ubica cerca de alguna vía importante de comunicación como puertos aéreos o marítimos, carreteras o vías férreas;
- 2) Dispone de la infraestructura necesaria para la instalación de plantas industriales, como son los servicios básicos de agua y descarga, energía eléctrica, telefonía y urbanización interna;
- 3) Tiene todos los permisos necesarios para la operación de las plantas industriales a instalarse dentro del mismo; y
- 4) Cuenta con una administración central que coordina la seguridad interna, el buen funcionamiento de la infraestructura, la promoción de los inmuebles y la gestión general de trámites y permisos ante las autoridades.

Como estrategia para lograr los objetivos previstos, el Programa pretende elevar la calidad de los parques industriales, promoviendo la adopción de la NORMA MEXICANA DE PARQUES INDUSTRIALES NMX-R-046-SCFI-2005, cuyo objetivo es regular el desarrollo de los parques

industriales en México, así como brindar condiciones favorables para la operación de las empresas que se establezcan en los mismos.

La Norma Mexicana de Clasificación de Parques Industriales (NMX-R-046-CSFI-2005) considera que un parque industrial debe tener una extensión mínima de 10 hectáreas de superficie urbanizada, con la recomendación de tener otras 10 hectáreas utilizables para ampliaciones a futuro.

Esta norma mexicana proporciona criterios para determinar si un desarrollo industrial puede ser catalogado como parque industrial cumpliendo con las condiciones de calidad, infraestructura, urbanización y servicios adecuados, así como con las disposiciones legales vigentes.

La norma ofrece parámetros de evaluación para que los desarrolladores y clientes potenciales tengan criterios unificados para determinar la calidad y eficiencia del parque industrial. Además establece los métodos de prueba genéricos para estandarizar las mediciones requeridas dentro de los parámetros de evaluación ya mencionados (<http://www.2006-2012.economia.gob.mx/mexico-emprende/casos-de-exito/21-mexico-emprende/mexico-emprende/empresas/gran-empresa/114-parques-industriales.>)

En la figura 30 se presentan los parques industriales que existen en México. En el estado de Puebla existen 19 parques industriales y en Tlaxcala 9. Asimismo en Puebla existe un parque Tecnológico que corresponde al Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM).

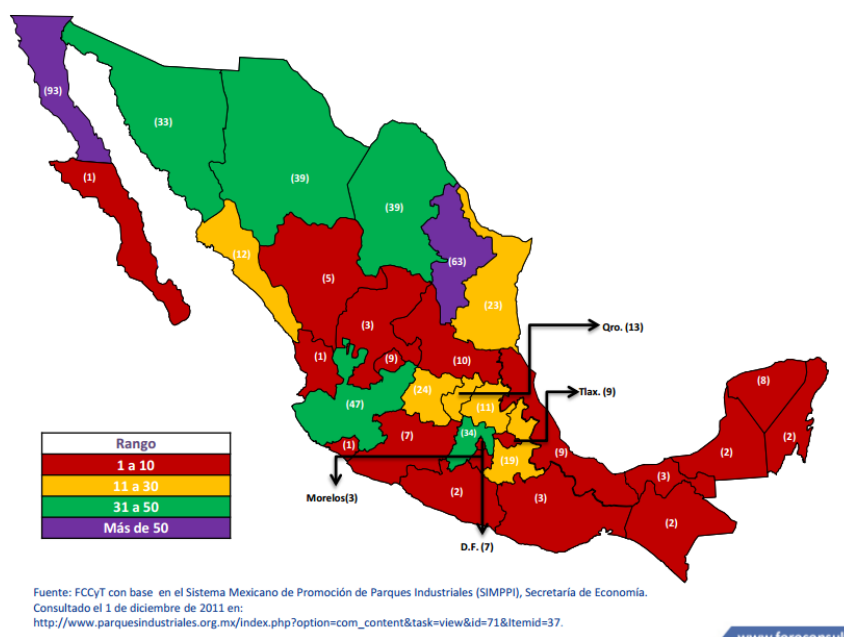


Figura 30. Parques industriales existentes en México por Estado.

La Norma Mexicana de Clasificación de Parques Industriales (NMX-R-046-CSFI-2005) establece como servicios básicos para el tema de agua, lo siguiente: Agua potable y/o de uso industrial: infraestructura necesaria para gasto máximo horario. Descarga de aguas residuales: infraestructura necesaria para el gasto máximo extraordinario. Descarga de agua pluvial. Lo que implica el cumplimiento de la normatividad vigente en materia de descargas, como es lo que especifican en el inciso 6.2.2.12 de la norma.

Red de drenaje con cualquiera de las siguientes soluciones: (1) descarga de aguas residuales a red municipal conforme a NOM-002-SEMARNAT-1996, (2) reuso conforme a NOM-003-SEMARNAT-1997, (3) descarga a un cuerpo receptor, conforme a NOM-001-SEMARNAT-1996 y en su caso permiso del organismo operador.

En el Estado de Puebla se tienen siete Parques Industriales, cinco zonas industriales, un corredor industrial, un Complejo Petroquímico, una ciudad Textil y una armadora de autos (Figura 31).

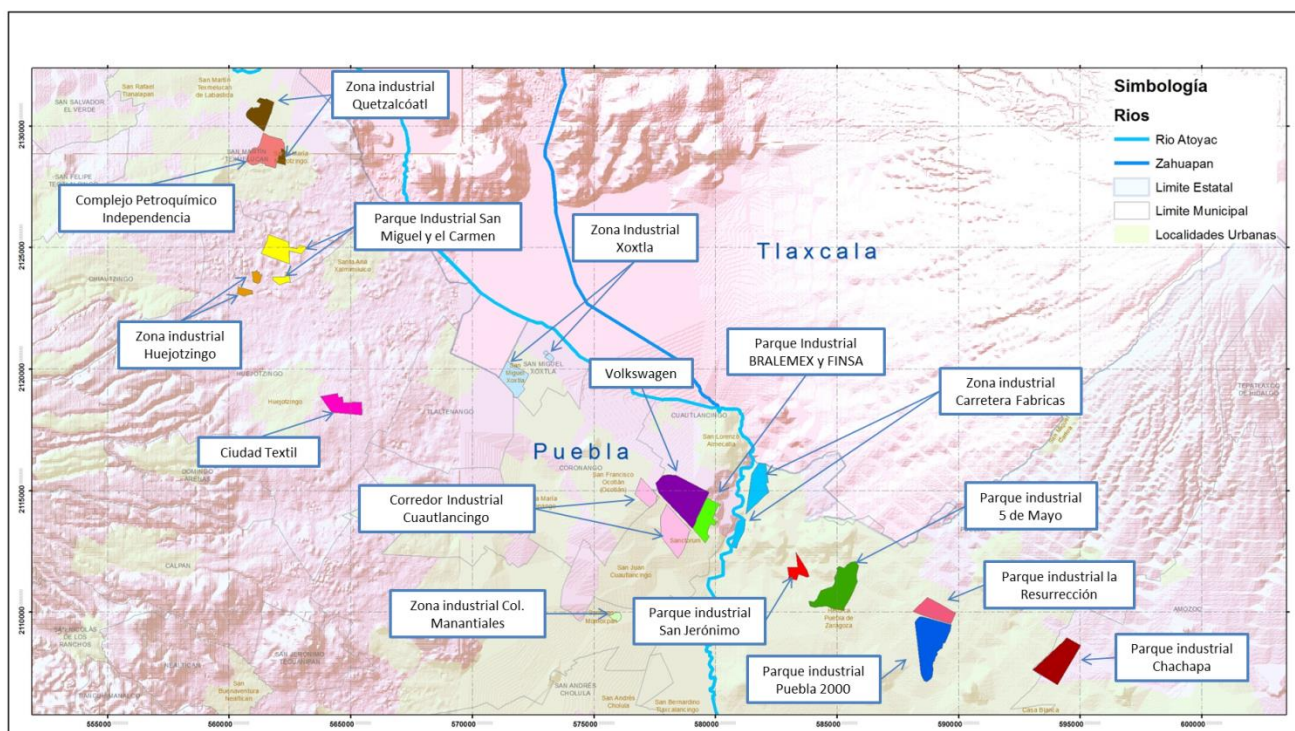


Figura 31. Ubicación de los Parques y zonas Industriales en la cuenca Alta del Río Atoyac. Fuente SDRSOT

En el anuario estadístico de Puebla del 2015, las zonas industriales se concentran en 4 municipios que son: Cuautlancingo, Huejotzingo, Puebla y San Martín Texmelucan que se presentan en la tabla 9 con un número de empresas registradas. Mientras que en el anuario estadístico de Tlaxcala del 2015, no tienen registradas zonas industriales, el registro que presentan es por subsector de actividades manufactureras industriales que se presentan en la tabla 10.

Tabla 9. Zonas industriales en el Estado de Puebla y empresas registradas

Zona Industrial por Municipio	Empresas registradas
Cuautlancingo	94
Corredor Empresarial Cuautlancingo	42
Parque Industrial Finsa	45
Parque Industrial Bralemex	7
Huejotzingo	38
Parque Industrial San Miguel	8
Parque Industrial Ciudad Textil	21
Parque Industrial Área Cuatro	5
Parque Industrial El Carmen	4
Puebla	139
Parque Industrial Puebla 2000	75
Parque Industrial 5 de Mayo	22
Parque Industrial Resurrección	24
Parque Industrial San Jerónimo	18
San Martín Texmelucan	10
Parque Industrial Área Uno	10
Total	281

Fuente: INEGI, 2015 Anuario Estadístico y Geográfico de Puebla

Tabla 10. Industrias registradas por subsector de manufactura.

Tlaxcala	Registro industria
Industria alimentaria	41
Industria de las bebidas y del tabaco	6
Fabricación de insumos textiles	33
Confección de productos textiles	13
Fabricación de prendas de vestir	46
Fabricación de productos de cuero	3
Industria de la madera	5
Industria del papel	7
Industria química	23
Industria del plástico y del hule	25
Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	18
Industrias metálicas básicas	12
Fabricación de productos metálicos	12

Fabricación de equipo de computación y electrónicos	2
Fabricación de equipo de generación eléctrica	4
Fabricación de equipo de transporte	13
Fabricación de muebles	1
Otras industrias manufactureras	18
Total Estado	283

Fuente: INEGI, 2015 Anuario Estadístico y Geográfico de Tlaxcala

En cuanto a la agricultura, los principales cultivos cíclicos sembrados en Puebla son: maíz grano, papa, tomate rojo, frijol, gladiolas cebolla, haba, calabacitas, sorgo elote y los perennes café cereza, caña de azúcar, alfalfa verde, tuna, naranja principalmente. En Tlaxcala los cultivos cíclicos son: maíz grano, cebada grano, trigo grano, maíz forrajero, avena forrajera, tomate verde, papa, amaranto, brócoli, haba grano, mientras que los cultivos perennes son: alfalfa verde, maguey pulquero, durazno, pastos, y manzana principalmente.

2.2. Descripción de la problemática actual.

La problemática actual de la cuenca alta del río Atoyac debe de considerar tanto al Estado de Puebla, como al de Tlaxcala, ya que ambos influyen en la calidad del agua del río, en cuanto a la población (# de habitantes) que se encuentra asentada en la cuenca alta de ambos estados. Por lo anterior Puebla representa el 73.7% y Tlaxcala el 26.3%, con 2,288,269 y 815,500 habitantes respectivamente; mientras que por municipios de un total de 63 en la cuenca alta el 31.7% (20) son de Puebla y 68.3% (43) le corresponde a Tlaxcala (Inegi, 2015) (Figura 32).

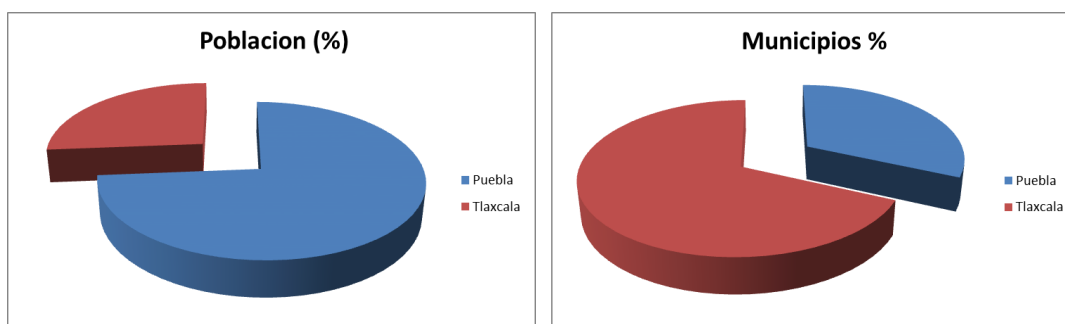


Figura 32. Porcentajes de Población y Municipios en la Cuenca Alta del río Atoyac (Tomando en cuenta la subcuenca del río Zahuapan).

De la revisión de los datos presentados por el Inegi, para 2015 de ambos estados, se reportan por municipio descargas de aguas residuales municipales sin tratamiento que son aportadas, ya sea a río o arroyo, presa, canal o dren, suelo o barranca, gran colector u otro no especificado (Figura 33).

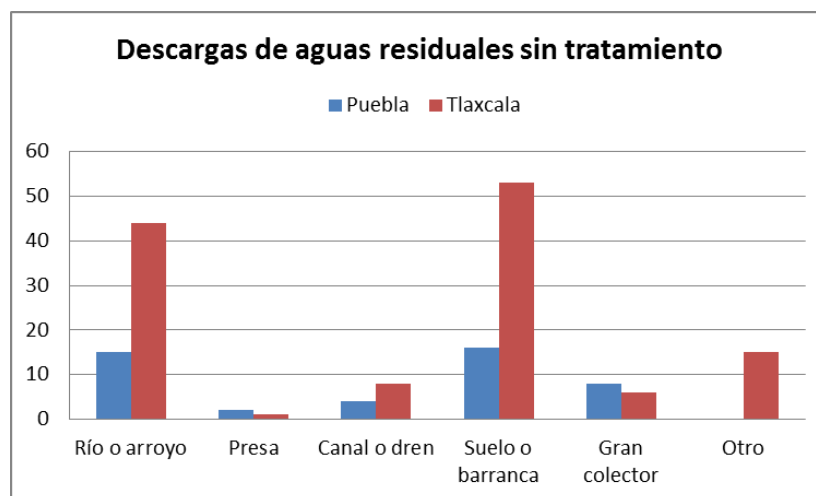


Figura 33. Descargas de aguas residuales municipales sin tratamiento aportadas a un cuerpo receptor (INEGI, 2015).

Los principales cuerpos receptores de las descargas municipales en orden decreciente de acuerdo a INEGI son: suelo o barranca, río o arroyo, gran colector, canal o dren. Si consideramos que en la mayoría de los casos las barrancas, el gran colector y el canal llegan al río, la contaminación por descargas municipales son las principales fuentes puntuales que afectan la calidad de los ríos de la Cuenca Alta del río Atoyac (Atoyac y Zahuapan).

La problemática de contaminación del agua del río Atoyac, como se describe en el apartado de búsqueda de información y que en todos los casos coincide con las aportaciones de aguas residuales municipales e industriales que son vertidas con tratamiento, que en la mayoría de los casos es deficiente o sin tratamiento, son las principales causas de la degradación de la calidad del agua.

Como parte fundamental de la problemática de calidad del agua y deterioro del río Atoyac en Puebla, se tomó como base el estudio de clasificación (CONAGUA, 2006) y en la figura 34 y 35 se presentan las gráficas del acuerdo al caudal medido en el estudio y a las descargas industriales, municipales y efluentes de plantas de tratamiento evaluadas. Los nombres de las descargas pueden que actualmente no tengan el mismo nombre, por lo que es importante identificar la cantidad de descargas que son aportadas al cauce del río Atoyac y que los contaminantes aportados que son la base de la Declaratoria de Clasificación, muy probablemente sigan siendo vertidos al río, ya que actualmente la CONAGUA no ha aplicado las Condiciones Particulares de Descarga a las industrias y municipios establecidas en la Declaratoria, por lo que siguen descargando con los límites y los pocos parámetros establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Figura 4.2.1 Caudal en el cauce principal del río, incluyendo la localización de los afluentes, así como descargas municipales, industriales y colectores aportados a los afluentes

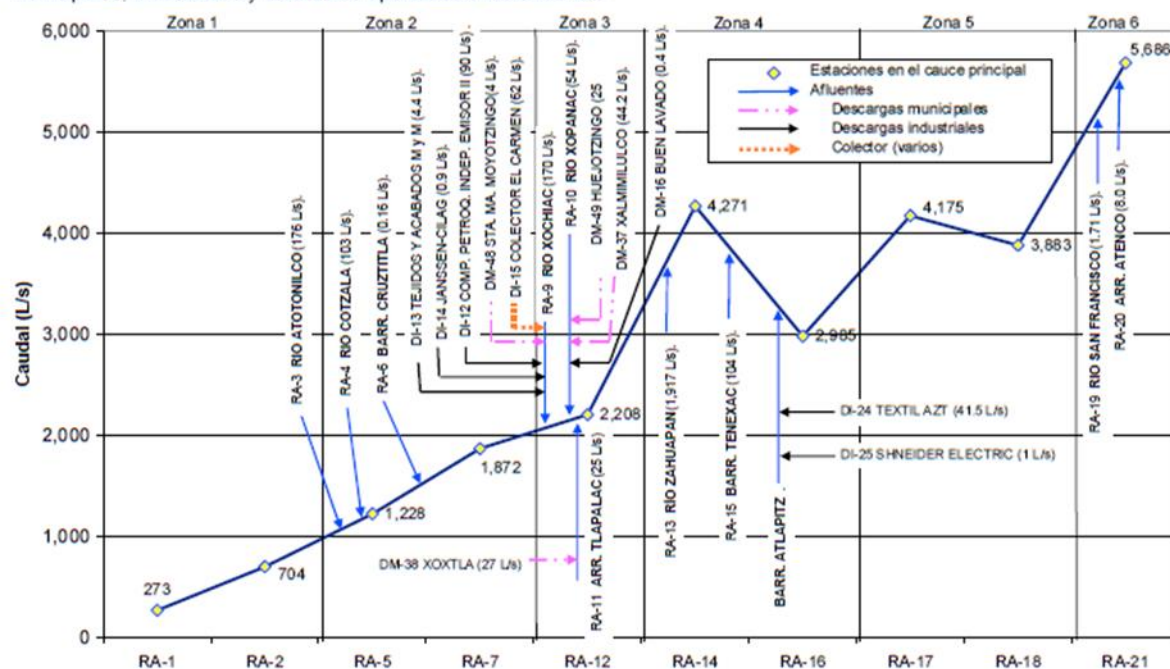


Figura 34. Caudales medidos en las descargas de aguas residuales municipales e industriales. Fuente: CONAGUA 2006.

Figura 4.2.2 Caudal en el cauce principal del río, incluyendo la localización de las descargas directas municipales e industriales, así como los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

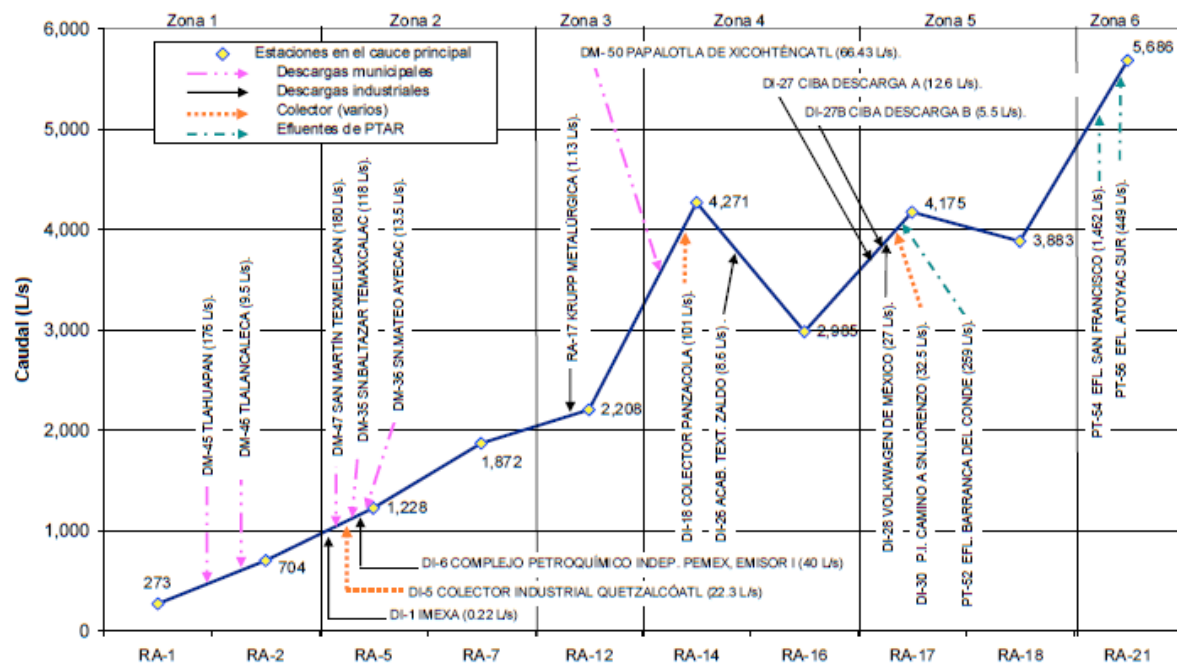


Figura 35. Caudales medidos en las descargas de aguas residuales municipales, industriales y efluentes de plantas de tratamiento. Fuente: CONAGUA 2006.

Tomando en cuenta la cantidad de contaminantes que están presentes en el río y que en varios de los artículos analizados en el apartado de búsqueda de información se presentan y que van desde parámetros inorgánicos y orgánicos como por ejemplo, metales pesados, detergentes, plaguicidas, hidrocarburos, compuestos orgánicos persistente, etc.; la determinación de toxicidad en el agua de río de alguna forma indirectamente detecta la mezcla de contaminantes aportados en el río por las descargas municipales, industriales y efluentes de plantas de tratamiento.

En el estudio de la Declaratoria de Clasificación en todos los sitios de monitoreo del río Atoyac se presentaron niveles de toxicidad de moderada a altamente contaminante el agua del río.

Las concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en todos los casos fueron elevadas, por lo que la proliferación de lirio acuático en la presa Valsequillo es un reflejo de las altas concentraciones aportadas tanto por el río Atoyac como por el río Alseseca a la presa.

En cuanto a las tres plantas de tratamiento que se evaluaron en el estudio, la planta de San Francisco trataba un caudal que representaba el 74.3% del total de las tres PTAR's, Atoyac Sur el 13.5% y Barranca El Conde el 12.2% del agua residual. En esa época la Empresa Degremont era la encargada de operar las plantas de tratamiento.

En el estudio de Clasificación se menciona que por mucho tiempo y en muchas partes del mundo el método aceptado para el tratamiento de aguas residuales es el ilustrado en la figura 36.

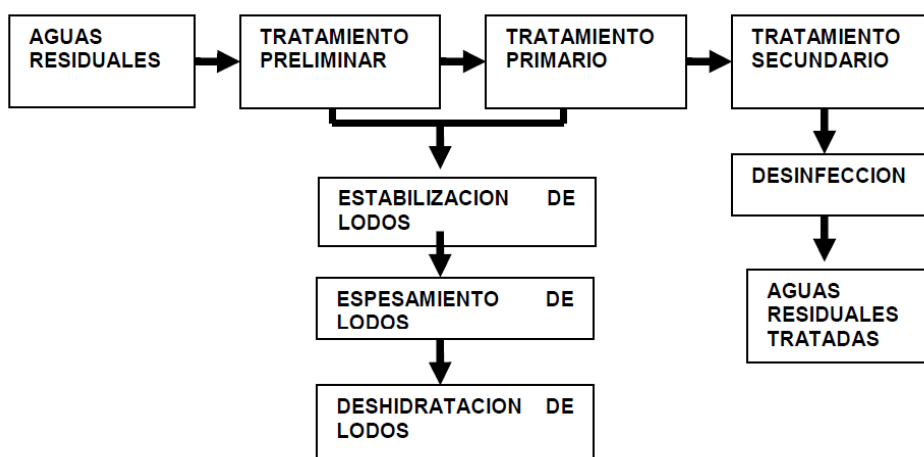


Figura 36. Tratamiento convencional de agua residual. Fuente CONAGUA, 2006.

El sistema se conoce con una gran variedad de títulos como tratamiento convencional, tratamiento biológico y tratamiento primario y secundario, entre otros. Este tren de tratamiento se ha desarrollado especialmente para remover de las aguas residuales: sólidos suspendidos, orgánicos biodegradables y microorganismos. En el pasado; para evitar problemas ambientales, solo era necesario remover de las aguas residuales esas tres clases de contaminantes para descargarlas en ríos y lagos. Actualmente esto ya no es cierto, debido al crecimiento poblacional, a la expansión de la industria y a la mayor demanda de agua para usos recreativos, estéticos y de preservación de ecosistemas acuáticos. A medida que la presencia de contaminantes industriales se incrementa, los diseños convencionales son ineficientes por su efecto inhibitorio o aún tóxico en los procesos de tratamiento biológicos.

En México es usual la mezcla de las aguas residuales de los procesos industriales, de servicios (sanitarios, regaderas, cocinas, etc.) y aún de las pluviales, propiciando que las constantes de degradación de contaminantes sean diferentes a las de las empresas estudiadas de diversos giros industriales, en otros países la separación de aguas propicia diferentes niveles y procesos de tratamiento.

En el mismo estudio de acuerdo a la calidad del agua obtenida en las campañas de monitoreo se identificaron los principales trenes de tratamiento más eficientes para las descargas industriales y municipales evaluadas.

En México la selección de sistemas de tratamiento es de procesos sencillos, considerando que no existen contaminantes en las descargas como metales pesados, orgánicos sintéticos entre otros. Lo cual en la mayoría de los casos, como sucede con el río Atoyac, dichos contaminantes están presentes, por lo que no se han desarrollado tecnologías eficientes como en otros países como por ejemplo la Ozonación, adsorción en carbón activado, ósmosis inversa y despumación entre otros, debido principalmente a los altos costos de operación y mantenimiento. Sin embargo, actualmente, si se quiere mejorar la calidad del agua residual es necesaria la inversión para evitar, controlar o disminuir la contaminación que actualmente presenta el río Atoyac.

En el estudio de Clasificación para determinar los posibles trenes de tratamiento con la composición química del agua residual obtenida se muestra a continuación:

- **FISICOS:** pH, Temperatura
- **MINERALES:** Cloruros
- **SÓLIDOS:** SDT, SST
- **NUTRIENTES:** Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno total, P-total
- **METALES PESADOS TOTALES:** Hierro, Manganeseo, Plomo, Cadmio, Mercurio, Arsénico, Cromo, Cobre, Níquel, Zinc, Aluminio
- **BIOLOGICOS:** Coliformes fecales
- **MATERIA ORGANICA:** Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno.
- **GRASAS Y ACEITES:** Grasas y aceites
- **SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO:** SAAM
- **HIDROCARBUROS ALIFATICOS HALOGENADOS:** Cloroformo, Cloruro de metilo, Tetracloroetileno, Cloruro de vinilo, 1,2 Dicloroetano
- **HIDROCARBUROS AROMATICOS HALOGENADOS:** 1,2 Diclorobenceno, 1,3 Diclorobenceno, 1,4 Diclorobenceno
- **HIDROCARBUROS AROMATICOS:** Benceno, Tolueno, Etilbenceno, o Xileno.
- **NITROCOMPUESTOS AROMATICOS:** Nitrobenceno

- **FENOLES:** Fenol
- **ESTERES DEL ACIDO FTALICO:** Bis 2 (etil hexil) ftalato, Dietilftalato
- **RADICALES:** Sulfuros, Sulfatos, Cianuros

La evaluación para la selección, como ejemplo, de los trenes de tratamiento de los efluentes de las plantas de tratamiento de San Francisco, Atoyac Sur y Barranca El Conde, tomando en cuenta los contaminantes que fueron identificados y el caudal aportado al río, así como, para cumplir con la Declaratoria en las Tres Etapas de cumplimiento (Etapa 1 cumplimiento de NOM-001, Etapa 2 cumplimiento Intermedio, entre NOM-001 y Protección de vida acuática y Etapa 3 cumplimiento para Protección de Vida Acuática).

Para las PTAR's, San Francisco, Atoyac Sur y El Conde, los trenes de tratamiento se enlistan para el cumplimiento de las Etapas de la Declaratoria.

Efluente Planta de tratamiento San Francisco (1461.7 L/s)

PRE + FLOT + LA + SS + CL Etapa 1

PRE + SP + NIT + SS + DENIT + SS + FIL + OZ + ADS + (UV) Etapa 2

PRE + RAFA + NIT + SS + DENIT + SS + (UV) + FIL + OI Etapa 3

PRE + SP + NIT + SS + DENIT + SS + (UV) + FIL + OI Etapas 1, 2 y 3

Efluente Planta de tratamiento Atoyac Sur (449 L/s)

PRE + FLOT + LA + SS + CL Etapa 1

PRE + SP + NIT + SS + DENIT + SS + CL + FIL + ADS Etapa 2

PRE + RAFA + NIT + SS + DENIT + SS + (UV) + FIL + OI Etapa 3

Efluente Planta de tratamiento Barranca El Conde (259 L/s)

PRE + RAFA + NIT + SS + DENIT + SS + (UV) + FIL + ADS Etapa 1 y 2

PRE + RAFA + NIT + SS + DENIT + SS + (UV) + FIL + OI Etapa 3

(RAFA Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente)

Por lo que respecta a los datos de la CONAGUA, 2015 a nivel Estatal, referente al número de plantas de tratamiento municipales en la tabla 11 se presenta la evolución en el número de plantas de tratamiento, la capacidad instalada y el caudal tratado tanto en Puebla como en Tlaxcala. Mientras que en la tabla 12, se presenta la misma información para las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales por Estado.

Tabla 11. Evolución de plantas de tratamiento municipales por Estado. Fuente Conagua-SIAG, 2015

Entidad Federativa	Número de plantas de tratamiento municipales en operación			Capacidad instalada (m ³ /s)			Caudal tratado (m ³ /s)		
	2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005	2010	2015
Puebla	41	74	78	2.97	3.18	3.42	2.275	2.571	3.532
Tlaxcala	33	57	56	0.69	1.31	1.12	0.49	0.9	0.614

Tabla 12. Evolución de plantas de tratamiento industriales por Estado. Fuente Conagua-SIAG, 2015

Entidad Federativa	Número de plantas industriales en operación			Capacidad instalada (m ³ /s)			Caudal tratado (m ³ /s)		
	2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005	2010	2015
Puebla	98	294	216	0.75	0.929	0.936	0.432	0.514	0.759
Tlaxcala	105	113	72	0.327	0.285	0.703	0.363	0.235	0.372

Las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales ha incrementado en los últimos 10 años en ambos Estados y la capacidad en caudal tratado ha incrementado en 1.257 y 0.124 m³/s en Puebla y Tlaxcala respectivamente. Se identifica que en Tlaxcala el caudal tratado disminuyó de 2010 a 2015.

En cuanto a las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales en Puebla en los últimos 10 años, se ha incrementado el número de plantas (118) y el caudal tratado (0.327 m³/s), mientras que en Tlaxcala ha disminuido en número de plantas en 33 y el caudal tratado aumentó sólo en 0.009 m³/s.

Lo anterior denota el problema de saneamiento en ambos Estados, ya que no ha incrementado significativamente el caudal tratado.

De acuerdo a SOAPAP, 2010, en López Zamora, 2014, actualmente el caudal de aguas residuales colectadas y recibido en colectores es de 126.68 millones de metros cúbicos anuales, de los cuales 88.77 Mm³ son tratados en las cinco plantas de tratamiento localizadas en diferentes puntos de la ciudad de Puebla, lo que representa una cobertura de saneamiento del 70 por ciento (Tabla 13).

Tabla 13. Puebla Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) 2010

Plantas	Tipo de proceso	Gasto de diseño (l.p.s.)	Gasto de operación (l.p.s.)
Alseseca Sur	Primario avanzado	1,000	802
Barranca del Conde	Primario avanzado	500	211
Parque Ecológico	Secundario biológico	100	43
San Francisco	Primario avanzado	1,500	1,311
Atoyac Sur	Primario avanzado	600	450
Total		3,700	2,817

Fuente: Gerencia de saneamiento, SOAPAP, 2010.

En el Acuerdo que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas superficiales (DO, 28 de agosto de 2013), la Cuenca Alta del río Atoyac se clasifica con déficit de agua superficial comprendido desde el nacimiento del río Atoyac hasta la entrada a la presa Valsequillo (Tabla 14).

Tabla 14. Disponibilidad de aguas superficiales en la cuenca del río Atoyac

Cuenca hidrológica	Nombre y descripción	Cp	Ar	Uc	R	Im	Ex	Ev	Av	Ab	Rxy	Ab - Rxy	D	CLASIFICACIÓN
I	Río Alto Atoyac: Desde el nacimiento del Río Atoyac hasta la presa Manuel ÁvilaCamacho (Valsequillo)	435.7	0.0	435.3	253.1	0.0	316.9	48.9	0.0	-112.3	0.0	-112.3	0.0	Déficit

Valores en millones de metros cúbicos

ECUACIONES

$$Ab = Cp + Ar + R + Im - (Uc + Ev + Ex + Av)$$

$$D = Ab - Rxy$$

SIMBOLOGÍA

Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural

Ar.- Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba

Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial

R.- Volumen anual de retornos

Im.- Volumen anual de importaciones

Ex.- Volumen anual de exportaciones

Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses

Av.- Volumen anual de variación de almacenamiento en embalses

Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo

Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo

D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica

EH.- Estación hidrométrica

En el análisis que la OECD y CONAGUA del 2012, se menciona que mejorar la calidad de los ríos, lagos y acuíferos constituye un reto importante en México. La calidad de las aguas superficiales y subterráneas se ve amenazada por la contaminación proveniente de fuentes localizadas y difusas, y por la falta de atención a las descargas de aguas residuales. Actualmente, 91.3% de la población tiene acceso a servicios de agua potable, y 89.9%, a servicios de saneamiento. En los próximos 20 años, México deberá proporcionar servicios de agua potable a 36 millones de habitantes más, y servicios de saneamiento a otros 40 millones. Los estados que afrontarán los mayores retos son Baja California, Chiapas, México, Jalisco, **Puebla** y Veracruz

2.2.1. Aguas subterráneas

Valle de Puebla, clave 2104

De acuerdo a los estudios técnicos emitidos en el Diario Oficial el 9 de febrero del 2016, en el acuífero del Valle de Puebla con clave 2104, en 2010 la CONAGUA recolectó y analizó 20 muestras de agua subterránea en pozos de uso público urbano y se analizaron 18 parámetros fisicoquímicos y biológicos, destacando los aniones y cationes.

Al comparar los resultados de los análisis de cada una de las muestras con los límites máximos permisibles, establecidos para consumo humano en la “Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de noviembre de 2000, se encontró que solo en 2 muestras la dureza total rebasaba el límite máximo permisible que es de 500 miligramos por litro. El resto de los parámetros analizados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles que señala la Norma Oficial mencionada. Los resultados indican que el agua es apta en los parámetros analizados para uso y consumo humano, toda vez que en las 20 muestras analizadas las concentraciones de los mismos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.

Las concentraciones de sólidos disueltos totales indican que el agua subterránea en la mayor parte de los pozos es de reciente infiltración, ya que las concentraciones no llegan a los 321 miligramos por litro y solo en tres pozos de agua potable (Chipilo de Francisco Javier Mina, Santa Catarina y Unión Antorchista), los sólidos disueltos totales indican que el agua no es de reciente infiltración.

Por lo que respecta a las familias de aguas, al analizar los resultados con diagramas de Piper se determinó que la mayor parte de las aguas analizadas pertenecen a la familia bicarbonatada magnésica con influencia cálcica y una porción menor pertenece a la familia bicarbonatada sódico-potásica. En lo que se refiere al potencial para uso agrícola, se determinó a partir del Método de Wilcox, obteniendo que toda el agua analizada presenta un bajo riesgo de salinidad con bajo riesgo de alcalinización; lo cual significa que el agua es aceptable para la actividad agrícola.

Riesgo de Sobreexplotación

En el acuífero Valle de Puebla, clave 2104, la extracción total es de 327.7 millones de metros cúbicos anuales y la descarga natural comprometida es de 61.2 millones de metros cúbicos anuales; mientras que la recarga que recibe el acuífero, está cuantificada en 360.7 millones de metros cúbicos anuales.

Actualmente, el acuífero Valle de Puebla ya presenta un abatimiento del nivel del agua subterránea, por lo que existe el riesgo de que el incremento de la demanda de agua subterránea agrave los efectos perjudiciales causados por la sobreexplotación, tales como la profundización de los niveles de extracción, la inutilización de pozos, el incremento de los costos de bombeo, la disminución e incluso desaparición de los manantiales y del caudal base, así como el deterioro de la calidad del agua subterránea, por lo que es necesario prevenir la sobreexplotación, proteger al acuífero de un desequilibrio hídrico y deterioro ambiental que pudiera llegar a afectar las actividades socioeconómicas que dependen del agua subterránea en esta región.

Acuífero Alto Atoyac, clave 2901

Los resultados de los análisis químicos realizados al agua subterránea del acuífero Alto Atoyac, clave 2901, indican que las concentraciones de sólidos totales disueltos, oscilan de 10 a 500 miligramos por litro, por lo que no exceden el límite máximo permisible por la "MODIFICACIÓN a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de noviembre del 2000.

De acuerdo con los diagramas de Piper el agua subterránea del acuífero Alto Atoyac se clasifica como de tipo mixta: magnésica cálcica - bicarbonatada.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio, el agua subterránea se clasifica como tipo S1-C2, clasificación que refiere aguas de salinidad baja; y bajo contenido de sodio intercambiable que corresponde a agua para riego sin restricciones.

Riesgo de Sobreexplotación

En el acuífero Alto Atoyac, clave 2901, la extracción total es de 153.4 millones de metros cúbicos anuales; mientras que la recarga que recibe el acuífero, está cuantificada en 212.4 millones de metros cúbicos anuales.

En el acuífero y principalmente en los municipios de Apizaco y Tlaxco, se concentra gran cantidad de las captaciones de agua subterránea, por lo que existe una tendencia local al abatimiento de los niveles de agua subterránea, por lo que se podría llegar a una explotación intensiva.

En la superficie del acuífero, están establecidos diversos corredores industriales además existen diversas actividades turísticas; todo ello aunado al crecimiento de la población, lo cual genera competencia por el recurso hídrico subterráneo, principalmente en los Municipios de Tlaxcala, Yahquemecan, Apizaco, Tetla de la Solidaridad, Xalostoc y Tzompantepec.

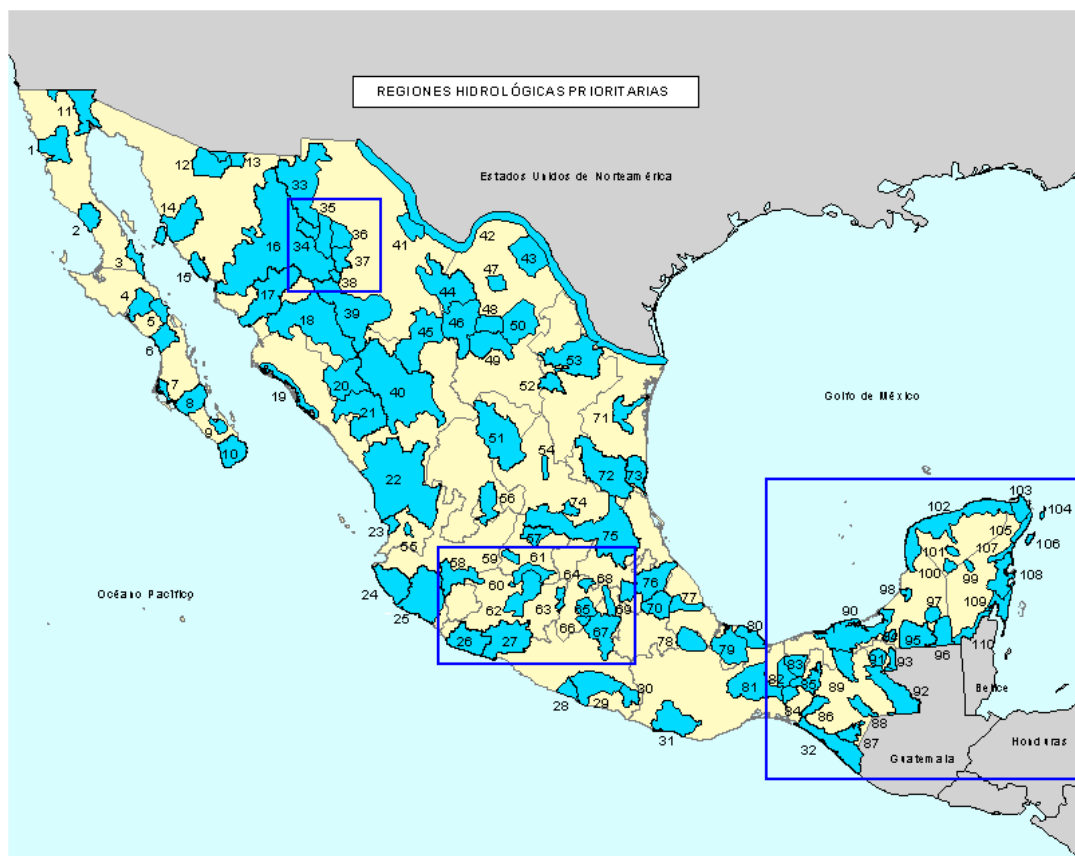
Debido a que el acuífero es la principal fuente de abastecimiento de agua potable para muchas poblaciones incluyendo la ciudad de Tlaxcala, capital del Estado, la demanda del agua subterránea podría incrementarse; por lo que de no establecer a corto plazo un ordenamiento que controle la extracción de agua subterránea en la totalidad de la superficie del acuífero, ésta podría rebasar su capacidad de renovación natural, con el consecuente riesgo de sobreexplotación y sus efectos negativos tales como el abatimiento de los niveles de agua subterránea, incluyendo la disminución e incluso desaparición de los manantiales y del flujo base hacia el Río Atoyac, con la afectación a los ecosistemas asociados, la inutilización de pozos, el incremento de costos de bombeo, deterioro de la calidad del agua subterránea. Esta situación impactará negativamente en el ambiente y podría convertirse en un freno para el desarrollo de las actividades productivas que dependen del agua subterránea.

2.3. Descripción de la Biodiversidad actual.

Las aguas epicontinentales o interiores incluyen una rica variedad de ecosistemas, muchos de los cuales están física y biológicamente conectados o articulados por el flujo del agua y el movimiento de las especies. Estas conexiones son fundamentales para el mantenimiento de la biodiversidad y el bienestar de las comunidades humanas, no sólo a niveles local y regional, sino nacional y global. Conabio tiene una regionalización de zonas hidrológicas prioritarias (Figura 37).

La preocupación creciente sobre el mantenimiento de la biodiversidad de las aguas epicontinentales y los esfuerzos por reducir los riesgos que enfrentan muchas especies están basados en evidencias sobre la pérdida de hábitats (degradación, cambios en la calidad y fragmentación), de especies, así como en la sobreexplotación e introducción de especies exóticas. Las tasas de extinción para estos ecosistemas provienen principalmente de lagos y ríos (WCMC, 1992).

MAPA



Forma de citar el mapa: Arriaga Cabrera, L., V. Aguilar Sierra, J. Alcocer Durand, R. Jiménez Rosenberg, E. Muñoz López, E. Vázquez Domínguez (coords.). 1998. Regiones hidrológicas prioritarias. Escala de trabajo 1:4 000 000. 2ª. edición. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Figura 37. Regiones Hidrológicas Prioritarias. Fuente:

<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Hmapa.html>

Las fichas técnicas de las Regiones Hidrológicas Prioritarias se enlistan a continuación de acuerdo con su estatus de áreas de alta biodiversidad, áreas de uso por los diferentes sectores, áreas que presentan algún tipo de amenaza y áreas de desconocimiento científico. Incluyen el (los) estado(s), extensión del área y el polígono (latitud, longitud) donde se ubican, además de información básica sobre las características fisiográficas (geología, edafología, clima, temperatura y precipitación), los recursos hídricos (lénticos y lóticos), la flora y fauna característica de cada región haciendo énfasis en las especies endémicas, indicadoras o amenazadas, así como los tipos de vegetación. También se presenta información sobre las principales actividades económicas, especies comerciales, uso de los recursos, problemática relacionada con la contaminación y modificación del entorno, acciones y sugerencias relacionadas con la conservación y finalmente los grupos e instituciones que realizan trabajos de investigación en esas áreas.

CLAVE	REGIONES HIDROLÓGICAS PRIORITARIAS	AAB	AU	AA	AD
1	San Pedro Mártir	X	X		
2	Ríos estacionales de Baja California - Cataviña				X
3	Sierra de la Libertad		X	X	X
4	Sierra de San Francisquito - Oasis San Ignacio	X	X		
5	Mulegé - Santa Rosalía				X
6	La Purísima	X			
7	Bahía Magdalena		X		
8	Oasis San Pedro de la Presa - El Pilar - Las Pocitas	X	X		
9	Sierra del Novillo - La Paz		X		
10	Sierra de la Laguna y oasis aledaños	X	X		
11	Delta del Río Colorado	X	X	X	
12	Subcuenca del Río Asunción				X
13	Subcuencas de los ríos San Pedro y Santa Cruz	X	X	X	
14	Isla Tiburón - Río Bacoachi			X	X
15	Cajón del Diablo	X		X	
16	Río Yaqui - Cascada Bassaseachic	X	X	X	
17	Río Mayo	X	X	X	
18	Cuenca alta del Río Fuerte	X	X	X	
19	Bahía de Ohuira - Ensenada del Pabellón	X	X	X	
20	Cuenca alta de los Ríos Culiacán y Humaya	X	X	X	
21	Cuenca alta del Río San Lorenzo - Minas de Piaxtla	X	X		X
22	Río Baluarte - Marismas Nacionales	X	X	X	
23	San Blas - La Tovar	X	X	X	
24	Cajón de Peñas - Chamela	X	X	X	
25	Ríos Purificación y Armería	X	X	X	
26	Ríos Coahuila y Nexpa	X	X		
27	Cuenca baja del Río Balsas	X	X	X	
28	Río Atoyac - Laguna de Coyuca	X	X	X	
29	Río Papagayo - Acapulco	X	X	X	
30	Cuenca alta del Río Ometepe				X
31	Río Verde - Laguna de Chacahua			X	
32	Soconusco	X	X	X	
33	Samalayuca	X	X	X	
34	Lago Babicora	X	X	X	
35	Cuenca alta del Río Sta. María	X	X	X	
36	Cuenca alta del Río del Carmen	X	X	X	
37	Lago Bustillos	X	X	X	
38	Lago Los Mexicanos	X	X	X	

Fuente: Conabio. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Hlistado.html>

*CLASIFICACIÓN

AAB= Regiones de alta biodiversidad

AU= Regiones de uso por sectores

AA= Regiones amenazadas

AD= Regiones de desconocimiento científico

Para éste caso en particular, la cuenca Alta del río Atoyac, no cuenta con ficha descriptiva, lo que indica que es necesario investigar, monitorear la fauna acuática y contar con información sobre el la salud del ecosistema acuático.

Lo anterior denota la necesidad de contar con información de la biodiversidad acuática en cuanto a fauna y flora de las subcuencas del río Atoyac, Zahuapan, Alseseca y presa Valsequillo, para poder establecer una línea base, así como indicadores que reflejen las acciones de saneamiento que se lleguen a establecer en el corto, mediano y largo plazo, para así poder identificar la posible recuperación del ecosistema acuático

2.4. Descripción de la normatividad vigente.

Dentro del marco jurídico vigente hay varios ordenamientos con disposiciones en materia de agua. En primer lugar está la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), que en el artículo 27, párrafos primero y quinto, establece la propiedad originaria de la nación sobre las aguas. Este derecho de propiedad es inalienable e imprescriptible, según el párrafo sexto, y el derecho de beneficiarse de las aguas sólo será aquel que derive de una concesión otorgada por el Poder Ejecutivo Federal.

El servicio de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales está regulado en el artículo 115 de la CPEUM, en el que se establece que es de competencia municipal. Finalmente en el artículo 4, párrafo quinto, cuando se habla de que: “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar...”, se incluye al agua, ya que ésta es un recurso natural que forma parte de nuestro medio ambiente, por lo que ahí, indirectamente, se estatuye el derecho al agua.

En lo relativo a las leyes, la que se ocupa propiamente de la materia es la Ley de Aguas Nacionales y su reglamento. En ésta se mantienen los principios constitucionales para que el uso o aprovechamiento de las aguas se haga sólo mediante concesiones. También establece el Registro Público de Derechos de Agua, en el que se deben registrar los títulos y permisos de concesión y asignación, así como las operaciones de transferencia, y se expiden certificados, lo que en esencia tiende a establecer una mayor certeza jurídica en este campo (www.agua.org.mx, 2006) .

En el análisis realizado por la Red Interamericana de Academias de Ciencias, en el Foro Consultivo de Ciencia y Tecnología, 2012, sobre el diagnóstico del agua en las Américas, las leyes principales en materia ambiental son:

Ley de Aguas Nacionales (LAN) Es la ley más importante en México en materia de aguas continentales que sirve para regular la explotación, el uso o aprovechamiento de las aguas, así como su distribución y control. Tiene sus antecedentes principales en las siguientes leyes: Ley Federal de Irrigación de 1926, Ley de Aguas Propiedad de la Nación de 1929, Ley de Aguas de Propiedad Nacional de 1934, Ley de Riegos de 1946, Ley Reglamentaria del párrafo quinto del artículo 27 Constitucional en materia de aguas del subsuelo de 1956 y Ley Federal de Aguas de 1972. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 1º de diciembre de 1992, y en 2004 fue objeto de una amplia reforma que modificó 114 de sus artículos y adicionó 66, a la vez que

transformó varios de sus títulos y capítulos. Esta ley abrió el proceso para integrar la participación privada al sector.

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

Establece en su artículo 119 bis que “En materia de prevención y control de la contaminación del agua, corresponde a los gobiernos de los Estados y de los Municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua...”, vigilar el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en la materia, “así como requerir a quienes generen descargas a dichos sistemas y no cumplan con éstas, la instalación de sistemas de tratamiento”. También está dentro de sus facultades el “determinar el monto de los derechos correspondientes para que el municipio o autoridad estatal respectiva, pueda llevar a cabo el tratamiento necesario, y en su caso, proceder a la imposición de las sanciones a que haya lugar”.

Leyes estatales

A pesar de que la gestión del agua en México se rige bajo un esquema fuertemente centralizado, cada uno de los estados de la República tiene la responsabilidad de regular el aprovechamiento, uso y vigilancia de aquellas aguas de jurisdicción estatal, que son aquellas localizadas en sus territorios y que no son consideradas propiedad de la Nación de acuerdo con el párrafo quinto del artículo 27 Constitucional. Además, en tanto el artículo 115 Constitucional ha facultado a los municipios para que presten el servicio público de suministro de agua potable y saneamiento, los poderes legislativos de los estados también tienen la obligación de desarrollar las normas correspondientes a estas responsabilidades. Asimismo, las autoridades estatales deben desempeñar aquellas otras funciones que, de acuerdo con la LAN, les confiera la CONAGUA. En los últimos años se les han ido transfiriendo programas de tipo operativo, como son los de “Uso eficiente del agua y la energía eléctrica”, “Uso pleno de la infraestructura hidroagrícola”, “Rehabilitación y modelización de distritos de riego”, “Agua potable y saneamiento en zonas rurales” y “Agua potable, alcantarillado y saneamiento en zonas urbanas”, entre otros. Por ello, la mayoría de los estados han creado sus respectivas Comisiones Estatales del Agua para poder cumplir con las responsabilidades que se les ha ido confiando.

Ley de Aguas de Puebla publicada el 31 de diciembre del 2012 por Decreto del Honorable Congreso del Estado de Puebla.

Establece que: La política hidráulica nacional considera al agua como un bien de dominio público federal, vital, vulnerable y finito, con valor social, económico y ambiental, cuya preservación en cantidad, calidad y sustentabilidad es tarea fundamental del Estado y la Sociedad. La tarea de las entidades federativas debe dirigirse a la conservación, preservación, protección y restauración del agua en cantidad y calidad, evitando el aprovechamiento no sustentable y los efectos ecológicos adversos; a fomentar el uso racional del agua, así como a alentar el empleo de procedimientos y tecnologías orientadas al uso eficiente y conservación del agua. Estos temas deben fijarse como

objetivos de todas las autoridades relacionadas con gestión de los recursos hídricos y la prestación integral de los servicios públicos relacionados con el agua potable.

Se definen a las autoridades en materia de gestión de agua conservando a la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de Puebla como ente regulador de la política hídrica del Estado, ajustando su estructuración administrativa a la legislación contemporánea que regula a los Organismos Públicos descentralizados del Estado de Puebla.

La Ley del Agua para el Estado de Puebla propuesta define y regula de manera clara los servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado, saneamiento, reúso y suministro de agua en vehículos cisterna; determinando los criterios y requisitos para poder gozar de estos servicios y así acceder al derecho fundamental previsto en el artículo 4o. de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

En el Artículo 32 se establece que los Servicios Públicos serán prestados en condiciones que aseguren su continuidad, calidad y cobertura, de manera que se logre la satisfacción de las necesidades de los Usuarios y la protección del ambiente, así como el uso sustentable de los recursos hídricos. Los Prestadores de Servicios serán responsables del control y eficiencia en el aprovechamiento del agua mediante los instrumentos previstos por esta Ley, así como del Saneamiento de las Aguas Residuales en cumplimiento con las Normas Oficiales Mexicanas.

En el Artículo 80 los Usuarios del servicio de Agua Potable y aquéllos que cuenten con autorización para extracción de agua, están obligados al Saneamiento de sus Aguas Residuales, antes de su descarga a la red de Drenaje, en términos de las Normas Oficiales Mexicanas, lo cual podrán realizar a través de los procesos de tratamiento que resulten necesarios, en cuyo caso deberán acreditar ante el Prestador de Servicios Públicos el cumplimiento de normas técnicas, ecológicas y condiciones particulares de descarga fijadas por las autoridades competentes.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de agua vigentes para el cumplimiento de las descargas de aguas residuales tanto por la industria como por los municipios son principalmente tres:

NOM-001-SEMARNAT-1996, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Publicada en el DOF del 6 de enero de 1997. La vigilancia del cumplimiento de esta NOM corresponde a la SEMARNAT, por conducto de la CONAGUA, y a la Secretaría de Marina en el ámbito de sus respectivas atribuciones. Esta norma establece, a su vez, que las violaciones a la misma serán sancionadas en los términos de la LAN y su Reglamento, así como por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEGEEPA), y por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN) y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

NOM-002-SEMARNAT-1996, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Publicada en el DOF del 3 de junio de 1998. La vigilancia del cumplimiento de esta NOM corresponde a “los Gobiernos Estatales, Municipales y del Distrito Federal (Ahora Ciudad de México) en el ámbito de sus respectivas competencias, cuyo personal realizará los trabajos de verificación, inspección y vigilancia que sean necesarios”. Las violaciones a la misma serán sancionadas en los términos de la LGEEPA y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

NOM-003-SEMARNAT-1997, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Publicada en el DOF del 21 de septiembre de 1998. El objeto de esta norma es proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables del tratamiento y reúso del agua, ya sean los gobiernos de los estados, del Distrito Federal (Ahora Ciudad de México) o de los municipios “por sí o a través de sus organismos públicos” o en los casos en los cuales el servicio al público sea realizado por terceros. La vigilancia del cumplimiento de esta norma corresponde a la SEMARNAT, a través de la CONAGUA, y a la Secretaría de Salud, en el ámbito de sus respectivas atribuciones. Las violaciones a esta norma serán sancionadas en los términos de la LGEEPA, la Ley General de Salud y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

Para la recarga de acuíferos la NOM-014-CONAGUA-2003 Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada. Publicada en el DO el 18 de agosto de 2009. Así como la NOM-015-CONAGUA-2007 Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua. Ambas normas tienen como objetivo principal la protección de los acuíferos y el incremento de la disponibilidad del agua subterránea de buena calidad.

2.5. Descripción de contaminantes emergentes y/o que no contempla la normatividad vigente.

El término de contaminantes emergentes (CE's) generalmente se utiliza para referirse a compuestos de distinto origen y naturaleza química, cuya presencia en el medio ambiente no se considera significativa en términos de distribución y/o concentración, por lo que pasan inadvertidos; no obstante, ahora están siendo ampliamente detectados y tienen el potencial de acarrear un impacto ecológico, así como efectos adversos sobre la salud. Se ha establecido que estos compuestos entran en el ambiente a través de algunas fuentes y vías, tales como aguas residuales de tipo doméstico e industrial, de los residuos de las plantas de tratamiento, de los efluentes hospitalarios, de las actividades agrícolas y ganaderas y de los tanques sépticos, los cuales contienen un gran número de componentes orgánicos específicos y los CE's que se producen a diferentes concentraciones en las aguas superficiales, cuyos criterios de calidad ambiental aún no se han podido especificar y las plantas de tratamiento convencionales de aguas

residuales no están diseñadas para eliminarlos; motivo de preocupación científica y para las entidades ambientales reguladoras (Gil, et al., 2012).

Entre los contaminantes emergentes presentes en el agua cabe destacar fármacos, compuestos perfluorados, hormonas, drogas de abuso, y productos de cuidado y de higiene personal. En los últimos 5-7 años se ha tomado también conciencia de una nueva clase de contaminantes emergentes: los nanomateriales. La industria asociada a la producción de nanomateriales tanto basados en carbono (fullerenos y nanotubos) como basados en metales (nanopartículas de plata y oro y óxidos metálicos) ha experimentado un gran crecimiento en los últimos años, y este tipo de compuestos se han detectado en agua residual de origen doméstico. Un nuevo problema, asociado al anteriormente descrito, lo constituyen los microplásticos. El impacto de los microplásticos era ya conocido en el medio marino, pero recientemente se ha publicado su potencial impacto en el sistema endocrino de peces de río.

Aunque miles de sustancias pueden ahora detectarse en el medio ambiente, un pequeño porcentaje de los productos químicos conocidos - aproximadamente 200 - están actualmente regulados y / o monitoreados rutinariamente en cuerpos de aguas receptoras de Estados Unidos, mientras que en México no existe regulación y monitoreo rutinario, únicamente se monitorean los que están regulados en la Normas Oficiales Mexicana (NOM).

Un grupo mucho más extenso de productos químicos que permanecen en gran parte no regulados y/o no vigilados en el medio acuático, son conocidos como sustancias químicas o Contaminantes Emergentes (CE's) que proceden de una amplia gama de fuentes puntuales, descargas de aguas residuales tratadas y no tratadas; y no puntuales de la agricultura y ganadería. La mayor preocupación de los CE's, es que la exposición en agua, sedimento y tejido de peces pueden afectar a la fauna acuática y a los seres humanos.

Las plantas de tratamiento actuales no están diseñadas para tratar este tipo de sustancias, por lo que una alta proporción de estos compuestos y sus metabolitos no sufren ningún cambio y entran con una gran toxicidad al medio acuático, así como a acuíferos y sistemas marinos entre otros. Las propiedades físico-químicas (alta solubilidad en agua y poco biodegradables) son capaces de llegar a cualquier medio natural y representar un grave riesgo para el consumo de agua potable (Dougherty et al., 2010 en García-Gómez C, et al., 2011). Una mayor preocupación con respecto a los fármacos ha sido el hallazgo de algunos de ellos (como el ibuprofeno, el diclofenaco, la carbamacepina o el ácido clofíbrico) en aguas potables (Gil M. op. cit).

Tipos de contaminantes emergentes (CE's).

Existen numerosas clasificaciones de los contaminantes emergentes. Estos son algunos de los grupos de sustancias más reconocidas y algunos ejemplos de cada grupo:

- Pesticidas o plaguicidas, son productos químicos utilizados para atacar a determinados organismos considerados perjudiciales, dañándolos y/o produciéndoles la muerte. Algunos plaguicidas de uso común son los insecticidas, las acaricidas, los fungicidas, los nematocidas y los herbicidas.

- Fármacos, incluidos los de uso humano y veterinario empleados para tratar el ganado, como antibióticos, analgésicos y antiinflamatorios, psiquiátricos, antiepilépticos, reguladores lipídicos, B-bloqueantes, medios de contraste, esteroides y hormonas.

Posiblemente los fármacos sean los contaminantes emergentes más importantes. No son persistentes, pero son compuestos relativamente poco biodegradables que se vierten continuamente y los sistemas convencionales de tratamiento y depuración no son capaces de eliminarlos, lo que exige el desarrollo de nuevos sistemas de eliminación.

- Surfactantes, también denominados tensoactivos son y/o agentes de superficie, son compuestos químicos que se utilizan en la industria en múltiples sectores. Su uso es variado. Algunos de los ejemplos de surfactantes son principalmente los alquilfenol etoxilados (APEs) y los sulfonatos bencénicos, utilizados tanto a nivel industrial como doméstico, en detergentes domésticos, en aplicaciones técnicas e industriales, en limpieza industrial y en productos de higiene corporal.

- Productos de higiene personal (PPCP) como perfumes, protectores solares y repelentes de insectos

- Antisépticos como triclosan o el clorofenol

- Retardantes de llama como el difenil éteres policromados (PBDEs), tetrabromo, bisfenol A, tris (2-cloroetil)fosfato

- Drogas ilegales como la cocaína, cannabinoides o las anfetaminas

- Subproductos de desinfección como bromoácidos, bromhaldeídos o los bromatos

- Aditivos de gasolina como el dialquil éteres, metil-t-butil éter (MTBE)

Los principales focos de contaminación de los cuerpos receptores son:

1. Contaminación urbana: descargas urbanas y domésticas de hogares privados, entidades públicas como escuelas y hospitales, con detergentes, fármacos y productos químicos de uso doméstico

2. Contaminación industrial: Procesos de producción y de limpieza industrial

3. Contaminación agrícola: Fertilizantes, pesticidas

La gran cantidad de sustancias tóxicas convencionales, así como los contaminantes emergentes entran al ecosistema acuático, sin que las plantas de tratamiento degraden los compuestos. Lo anterior representa que en México, no se esté monitoreando en los cuerpos de agua receptores las concentraciones de dichos contaminantes. En el río Atoyac por lo tanto, además de los compuestos orgánicos detectados en el estudio de clasificación, muy probablemente se presenten Compuestos Emergentes (CE's) en el cuerpo de agua, siendo necesario llevar a cabo un estudio correspondiente y mejorar las tecnologías de las plantas de tratamiento para disminuir las aportaciones al río y por consiguiente el riesgo al ambiente y a la salud humana.

3. ACCIONES

Las siguientes acciones descritas a continuación son una lista de posibles estudios, proyectos e investigaciones para recuperar la cuenca del río Atoyac y no son limitativas, por lo que pueden incrementarse.

3.1. Acciones en ríos y su cauce.

Aplicar las Condiciones Particulares de Descarga (CPD's) a las industrias y municipios que fueron determinadas por la Declaratoria de Clasificación. La CONAGUA deberá implementarlas en el corto plazo para cada uno de los tramos o zonas del río Atoyac.

Realizar el estudio de Clasificación del río Zahuapan y publicar la Declaratoria en el Diario Oficial. El Estado de Tlaxcala deberá en el corto plazo buscar los recursos para iniciar el estudio.

Realizar el estudio de Clasificación del río Alseseca y publicar la Declaratoria en el Diario Oficial. El Estado de Puebla deberá en el corto plazo buscar los recursos para iniciar el estudio.

Realizar el estudio de Clasificación de la presa Vlasequillo (Miguel Ávila Camacho) y publicar la Declaratoria en el Diario Oficial. El Estado de Puebla deberá en el corto plazo buscar los recursos para iniciar el estudio.

La CONAGUA (Puebla-Tlaxcala), CEA (Puebla-Tlaxcala), Organismos Operadores (Puebla-Tlaxcala) y Juntas Auxiliares (Puebla-Tlaxcala), entre otros, conjuntamente deberán contar con la relación de descargas a cuerpo receptor actualizadas y validadas en su ámbito de competencia, en el corto plazo para generar una Base de Datos sólida y real.

Actualizar la información de los Parques Industriales de Puebla y Tlaxcala verificando cada municipio que las industrias cumplan con la norma vigente que corresponda. En el corto plazo crear una Base de Datos.

En cuanto a los colectores que reciben las descargas de aguas residuales, tanto industriales como municipales identificar en cada uno, el número de industrias conectadas y su destino final, el cual deberá ser una planta de tratamiento.

Solicitar a las industrias un listado de los productos y sustancias que utilizan en sus procesos de producción para conocer los probables compuestos que pueden ser descargados al alcantarillado, colector, planta de tratamiento o cuerpo receptor.

Vigilar que el agua residual tratada (municipal e industrial) cumpla con la norma correspondiente para ser reusada y en su caso aprovechar el agua tratada para poder cambiarla por agua de primer uso y así disminuir el consumo en donde sea posible.

Creación de un sistema de indicadores de seguimiento en los avances del saneamiento del río e identificar los procesos relevantes del proceso.

Para la reforestación de áreas degradadas, crear viveros con especies endémicas de cada tipo de vegetación.

Continuar con las mediciones de calidad del agua de las estaciones de monitoreo en tiempo real en el río Atoyac. En el río Alseseca colocar una estación móvil e implementar una red de monitoreo en tiempo real en el río Zahuapan.

Establecer sitios de medición de caudal en los ríos para la determinación del caudal base.

Establecer brigadas de limpieza periódica del río, colecta de desechos sólidos de las márgenes del río.

Establecer obras de protección sustentables contra inundaciones.

Realizar el análisis de acumulación de sedimentos en el humedal de Valsequillo.

Determinar el comportamiento, dinámica y reproducción del lirio acuático en el humedal para su manejo y posible utilización como biofiltro en la presa Valsequillo.

3.1.1. Saneamiento y Plantas de Tratamiento

Implementar cursos para la preparación de técnicos encargados de las actividades de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento con nuevas tecnologías. La escasa o nula capacidad técnica del personal tiene un efecto adverso en la mayoría de las plantas construidas, a nivel nacional.

Capacitación en el manejo de programas especializados (ejemplo CapdetWorks) para el diseño de sistemas de tratamiento y así dar a los planificadores de sistemas de tratamiento, privados y de las

áreas gubernamentales, la posibilidad de evaluar mejores alternativas, costos y mantenimiento de sistemas de tratamiento.

3.2. Acciones en aguas subterráneas

De acuerdo a los estudios técnicos de los acuíferos (DOF, 2016); para Valle de Puebla se identificó que el acuífero se recarga a partir de la infiltración del agua de lluvia, tanto sobre los materiales ubicados en las sierras volcánicas que bordean al valle por el poniente (Sierra Nevada) y noreste (Volcán La Malinche), como en el valle mismo.

Por lo que es necesario la protección de los bosques de las partes alta y la reforestación con plantas nativas de la zona para disminuir las áreas deforestadas.

La recarga del acuífero también procede de los retornos de riego en las zonas agrícolas y de las fugas de agua en los sistemas de conducción y distribución de agua potable.

Por lo anterior es necesario que el agua de retorno agrícola se encuentre libre de contaminantes como plaguicidas y fertilizantes que deterioran la calidad del agua de los acuíferos

Que los sistemas de conducción y distribución de agua potable no sean contaminados por los sistemas de alcantarillado y colectores.

El flujo del agua subterránea en el acuífero, adopta una dirección preferencial que va de las zonas de recarga hacia la parte central del valle, para posteriormente tomar un rumbo en sentido sur y paralelo al Río Atoyac, presentando 3 zonas con alta explotación que han generado áreas de abatimientos, como en la parte sur de la localidad de Cholula, al sur de la localidad de San Bernardino y al suroeste del centro de la Ciudad de Puebla, siendo necesario la protección de las zonas de recarga.

3.3. Acciones de investigación.

El mundo enfrenta diversos retos ambientales. Algunos se limitan a regiones locales y podrían ser el resultado de un número reducido de contaminantes (por ejemplo, las emisiones de mercurio en el aire o las descargas de drenaje en los cursos de agua), mientras que otros ocurren a nivel global e intervienen millones de actores distintos (como las emisiones de los gases de efecto invernadero) (OCDE, 2012).

El tema del medio ambiente y la innovación es importante para los gobiernos debido a que las fuerzas del mercado no pueden hacerse cargo totalmente de este problema. Contaminar no tiene un precio y, por lo tanto, las empresas y los consumidores contaminan demasiado.

Por el contrario, los mercados no pueden proporcionar suficiente innovación. Cuando los innovadores no pueden cosechar todos los beneficios de sus propias innovaciones, suele haber

escasez de innovación. Así, en el caso de la innovación relacionada con el medio ambiente, el problema se vuelve doblemente agudo: se presenta una escasez general en cuanto a la innovación, pero aún más en relación con el medio ambiente, ya que sin un precio aplicado a la contaminación existen pocos alicientes para utilizar dichas innovaciones. Estas características sugieren que el gobierno tiene que abordar dichas externalidades (OECD, op.cit.).

El objetivo principal de la conservación es mantener los entornos naturales en un estado óptimo de composición de especies nativas, de estructuración de éstas y de funcionalidad homeostática autónoma, considerando las actividades humanas como componentes de sus procesos ecológicos (Sánchez, 2000). Por lo anterior la investigación de la salud del ecosistema acuático con la caracterización de la biodiversidad (peces, algas, bentos, etc.) en las subcuencas es indispensable para contar con una línea base de información.

Es recomendable realizar investigación sobre la fauna y flora acuática de los ríos (Atoyac, Zahuapan y Alseseca) en la parte alta (manantiales, arroyos), para conocer su ciclo de vida y saber si es posible que puedan migrar hacia aguas abajo cuando la calidad del agua de los ríos se recupere (Indicadores biológicos).

Crear viveros de plantas de la región para ser utilizadas en la reforestación de áreas degradadas en la cuenca Alta del río Atoyac.

Es necesario investigar tecnologías limpias para el saneamiento del agua residual industrial y municipal.

La tecnología más actualizada del mercado para la remoción de contaminantes emergentes es necesario conocer y adaptar a las condiciones de cada región y con las características propias del agua residual. Un ejemplo es lo obtenido en el estudio de clasificación para el tratamiento y cumplimiento de las descargas evaluadas.

Desarrollar estrategias de automatización para el control de los procesos en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Desarrollar tecnologías de tratamiento y/o adaptar las existentes con la reingeniería de los procesos.

4. ESTRATEGIAS

Como lo expuesto por la OCDE, 2015, no existe una solución única para los desafíos del agua a nivel mundial y para el caso del río Atoyac a nivel Estatal, las respuestas deben adaptarse a las especificaciones territoriales.

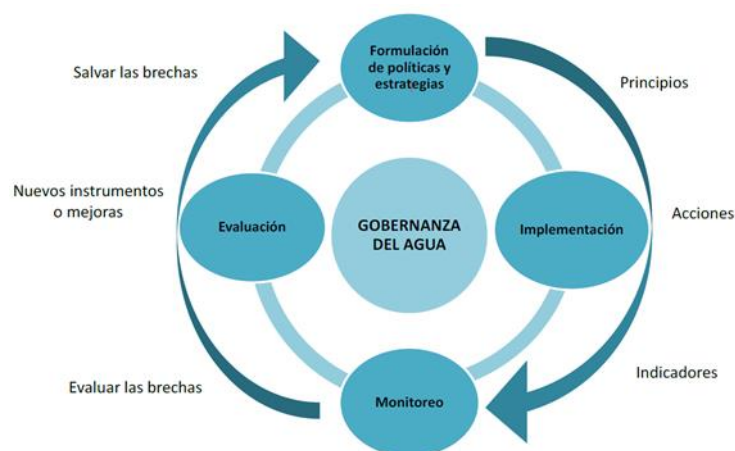
Los Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE tienen la intención de contribuir a la creación de políticas públicas tangibles y orientadas a la obtención de resultados, en base a tres dimensiones de la gobernanza del agua que mutuamente se refuerzan y complementan (Figura 38) como:

- La efectividad que se refiere a la contribución de la gobernanza para definir las metas y objetivos sostenibles y claros de las políticas del agua en todos los órdenes de gobierno, en la implementación de dichos objetivos de política, y en la consecución de las metas esperadas.
- La eficiencia que está relacionada con la contribución de la gobernanza en maximizar los beneficios de la gestión sostenible del agua y el bienestar, al menor costo para la sociedad.
- La confianza y participación que están relacionadas a la contribución de la gobernanza en la creación de confianza entre la población, y en garantizar la inclusión de los actores a través de legitimidad democrática y equidad para la sociedad en general.



Figura 38. Visión general de los Principios de la Gobernanza del Agua de la OCDE.

Los Principios de la Gobernanza contribuirán a la mejora de lo que la OCDE denomina Ciclo de Gobernanza del Agua (Figura 39).



Fuente: Forthcoming, OECD Working Paper, 2015, Water Governance Indicators

Figura 39. Ciclo de Gobernanza del Agua. Fuente OCDE, 2015

Para enfrentar en el futuro, las instituciones deben adaptarse a las circunstancias cambiantes, asimismo la voluntad política y la continuidad de las políticas son clave en la transición hacia prácticas más incluyentes y sostenibles.

La participación de los diversos actores de la sociedad, académicos, industriales, instituciones federales, estatales, municipales y locales, así como Institutos de Investigación conjuntamente y en sincronía con las estrategias formuladas para llegar al fin común del saneamiento y recuperación de río Atoyac a nivel de cuenca, será uno de los principales logros en la recuperación de uno de los ríos más contaminados de México.

El camino para llegar al objetivo principal e iniciar con la puesta en marcha de las líneas de acción priorizando proyectos es de importancia para el éxito del control de la contaminación del agua y la recuperación de la cuenca.

4.1 Estrategias, objetivos y líneas de acción propuestas en la Cuenca Alta del Río Atoyac.

ESTRATEGIAS	OBJETIVOS	LINEAS DE ACCIÓN
I Reducir la contaminación industrial y municipal	1.1 Base de datos actualizada de las industrias por municipios	1.1.1 Elaborar un mapa de las industrias y giros correspondientes
		1.1.2 Listado de compuestos y productos utilizados por giro industrial
		1.1.3 Actualizar los sitios de descargas de aguas residuales
		1.1.4 Actualizar la información de las plantas de tratamiento industriales y estado de operación
		1.1.5 Implementar y aplicar las Condiciones Particulares de Descarga de la Declaratoria de Clasificación del río Atoyac
		1.1.5 Esquema de saneamiento sustentable y sostenible
		1.1.6 Incentivos fiscales a la industria para que mejoren la calidad de sus descargas
	1.2 Diagnóstico actualizado de las plantas de tratamiento municipales	1.2.1 Zonificación de las aportaciones de colectores, alcantarillado y población que llega a cada planta de tratamiento municipal
		1.2.2 Que los colectores viertan sus agua a plantas de tratamiento y a su vez descarguen al río
		1.2.3 Investigar mejores tecnologías de tratamiento y posible reuso del agua tratada
	1.3 Solicitud de recursos económicos para el control de la contaminación	1.3.1 Priorizar los recursos económicos de acuerdo a las zonas de contaminación de la Declaratoria de Clasificación
		1.3.2 Promover fuentes alternativas de financiamiento para proyectos de investigación y estudios
		1.3.3 Asegurar la transparencia y rendición de cuentas en la aplicación de los recursos económicos

ESTRATEGIAS	OBJETIVOS	LINEAS DE ACCIÓN
II Control de la contaminación a nivel de manejo y gestión de la Cuenca Alta del río Atoyac	2.1 Realizar los estudio de clasificación de los ríos Zahuapan y Alseseca	2.1.1 Participación del estado y la federación para llevar a cabo los estudios en el corto plazo
		2.1.2 Generar las Condiciones Particulares de Descarga para ambas subcuencas
		2.1.3 Aplicar las CPD's obtenidas en los estudios anteriores
	2.2 Realizar los estudio de clasificación del Humedal presa Valsequillo	2.2.1 Participación del estado y la federación para llevar a cabo el estudio en el corto plazo
		2.2.2 Generar las Condiciones Particulares de Descarga para el humedal
		2.2.3 Aplicar las CPD's obtenidas en el estudio anterior para el humedal
III Generar indicadores de saneamiento de línea base para cada río de la cuenca alta del río Atoyac	3.1 Seleccionar sitios de monitoreo y frecuencia	3.1.1 Establecer de acuerdo a zonas de contaminación en las subcuencas el número de sitios para el seguimiento en el saneamiento
	3.2 Seleccionar indicadores cuantitativos	3.2.1 Mediciones de oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno en los ríos
		3.2.2 Mediciones de perfiles de oxígeno, temperatura, clorofila en el Humedal
IV Convenio de Coordinación entre los Estados	4.1 Actualizar el Convenio existente	4.1.1 Revisar y actualizar el convenio firmado el 26 de abril de 2011
		4.1.2 Reprogramar las acciones para el corto plazo y recursos para el saneamiento del río Atoyac-Zahuapan
V Convenio de coordinación entre los Organismo Operadores del Agua	5.1 Actualizar información de todos los Organismos Operadores, Juntas Auxiliares, etc.	5.1.1 Conjuntar los planos de las redes de distribución y alcantarillado por responsable del servicio de agua y saneamiento
		5.1.2 Generar una Base de datos Confiable por Estado
		5.1.3 Establecer responsables de la información que resguarden y transparenten la información
		5.1.4 Fortalecer las instituciones para el manejo de la información, armonizándola en todos los municipios de la cuenca alta

ESTRATEGIAS	OBJETIVOS	LINEAS DE ACCIÓN
VI Participación Ciudadana	6.1 Fortalecer la participación ciudadana	6.1.1 Crear comités de alianzas ciudadanas por municipio
		6.1.2 Fomentar la cultura de rendición de cuentas para el manejo del agua
		6.1.3 Capacitar a los comités para el seguimiento de las acciones
		6.1.4 Realizar talleres de seguimiento y avances
VII Manejo ecosistémico y desarrollo local sustentable	7.1 Conservar el área natural en buen estado	7.1.1 Reducción de los procesos geomorfológicos principalmente la disminución de los procesos de degradación (erosión de suelos)
		7.1.2 Manejo del riesgo por procesos gravitacionales (flujo de derrumbios)
		7.1.3 Restauración por tipo de ecosistema
		7.1.4 Manejo forestal sustentable
		7.1.5 Protección de flora y fauna
		7.1.6 Educación, capacitación y comunicación para promover los servicios ecosistémicos y nueva relación con el ambiente
	7.2 Generar una oferta ecoturística y de desarrollo local sustentable	7.2.1 Evaluación económica del pago por servicios ambientales
		7.2.2 Regulación de actividades económicas en el humedal
		7.2.3 Control de actividades económicas en la presa
		7.2.4 Proyectos conceptuales de uso en la rivera de la presa
VIII Manejo integral del río y su cuenca hidrológica	8.1 Proteger los manantiales y favorecer la recarga del acuífero	8.1.1 Protección de zonas de recarga
		8.1.2 Recarga del acuífero con agua tratada
	8.2 Preservar la limpieza del río	8.2.1 Saneamiento y recuperación del cauce mediante la reforestación de la zona de ribera del río
	8.3 Sanear el río por tramos	8.3.1 Saneamiento con mejoras en los sistemas de tratamiento actuales
		8.3.2 Selección de nuevos sistemas de tratamiento y localización por tramo
		8.3.3 Verificación de los colectores y conducción a sistemas de tratamiento
		8.3.4 Propuestas de tecnologías idóneas para las diversas industrias
		8.3.5 Base de datos de los productos y compuestos usados en las industrias
	8.4 Mantener y modernizar las obras de protección que regulan al río	8.4.1 Prevención y protección de inundaciones
		8.4.2 Mantenimiento y manejo de presas de gaviones
		8.4.3 Utilización de materias sustentables para protección
	8.5 Determinar el flujo base	8.5.1 Conocer el flujo base desde los

	del río Atoyac, Zahuapan y Alseseca	escurrimientos de arroyos y manantiales
--	--	---

ESTRATEGIAS	OBJETIVOS	LINEAS DE ACCIÓN
IX Revaloración urbano-paisajista del río	9.1 Crear más Paseos sobre el río Atoyac e iniciar con el río Zahuapan (Corredores paisajísticos)	9.1.1 Caracterizar secciones de un parque lineal urbano en las márgenes de los ríos para recreación
		9.1.2 Descripción de la flora y vegetación endémica de los Paseos ribereños
		9.1.3 Creación del Día del río Atoyac y del río Zahuapan
	9.2 Convertir al río en un elemento de valor ambiental urbano	9.2.1 Implementación de servicios de recolección de basura en los corredores o paseos
		9.2.2 Mejorar los accesos al río utilizando su propia configuración
X Ordenamiento Territorial y Ecológico de la Cuenca Alta	10.1 Armonizar los ordenamientos territoriales (Normas)	10.1.1 Zonificación y políticas generales de manejo
		10.1.2 Crear el mapa base identificando, zonas de interés ecológico, zonas deterioradas, zonas de amortiguamiento y protección, etc.
		10.1.3 Delimitación y creación de Unidades de Manejo Ambiental corresponsables entre municipios
		10.1.4 Delimitar la Zona Federal
		10.1.5 Evitar asentamientos irregulares y posible reubicación de los ya existentes
		10.1.6 Proteger la vegetación y flora mejor conservada identificada por zonas
XI Generar indicadores de seguimiento generales	11.1 Seleccionar indicadores cuantitativos para cada objetivo de restauración	11.1.1 Indicadores seleccionados con información de línea base para su seguimiento en el corto, mediano y largo plazo
		11.1.2 Continuidad y seguimiento a la Red de Monitoreo estatal
		11.1.3 Implementación de la Red de monitoreo en tiempo real en el río Zahuapan y Alseseca
		11.1.4 Difusión y comunicación del seguimiento a la sociedad

5. SESIÓN DE TRABAJO PARA EL SANEAMIENTO DEL RÍO ATOYAC

Actualmente se tiene el profundo interés de mejorar la condición del Río Atoyac, dado lo anterior y por iniciativa del Gobierno de Estado de Puebla, se decidió llevar a cabo un análisis exhaustivo que diera un diagnóstico de la situación actual con base en eso, identificar acciones de impacto que permitan generar una agenda de trabajo, con planes y acciones para su recuperación.

La Secretaría de Desarrollo Rural, Sustentabilidad y Ordenamiento Territorial (SDRSOT) del Gobierno de Puebla junto a diversos actores de la cuenca Alta del río Atoyac para llevar a cabo una reunión que diera un diagnóstico de la situación actual. Participaron 33 personas de instituciones como: CONAGUA (Dirección Local Puebla y Tlaxcala) CONAGUA Central (Subdirección General de Administración del Agua), PROFEPA (Tlaxcala), Organismos Operadores Puebla, Agua de Puebla, Secretaría de Desarrollo Urbano (Puebla), SOAPAP, Dale la Cara al Atoyac A.C., CEAS Puebla, SEMARNAT Estatal Puebla, Juntas Auxiliares, SOSAPATEX; CIEMAD-IPN, GTZ, e IMTA (Se presentan las listas de asistencia de la reunión).

La reunión estuvo coordinada por el Tecnológico de Monterrey en las instalaciones del Tecnológico de Monterrey en Puebla el 12 de diciembre de 2016.

Hoja: "Plan de Acción Saneamiento del Río Atoyac"

Lista de Asistencia
12 de diciembre de 2016

No.	Nombre	Cargo	Dependencia/Institución	Teléfono	Correo Electrónico
1	Jose Luis Herrera	Dir. Planeación Proyectos	SDUS Atoyac	2224267061	dirplaneacion@aguarda.com
2	Carlo Mena	Secretario Jefe de Operación	SDUS Atoyac		secreplaneacion@aguarda.com
3	Rodrigo O. Aguilar	CIIMA SDUS	SDUS	222504942	rodrigoaguilar@aguarda.com
4	Alonso Fernandez		SDUS	222192303	alons Fernandez@aguarda.com
5	Jan Eusebio Gomez	Comité Ingenieros Medicion	CONAGUA - SGAA		jan-eusebio@conagua.gob.mx
6	Leticia N. Monjardin	Coord. de Prog. de Verificación	CONAGUA - SGAA G.M.	Ext 2116 5551944000	leticia.monjardin@conagua.gob.mx
7	Daniela Luaces	Coordinadora Man. Ambiental	Agua de Puebla	2221141854	dluaces@agua.puebla.mx
8	JOSE FERNANDO RODRIGUEZ MELO	GERENTE DE PLANEACION	AGUA DE PUEBLA	2221142043	jfrdriguez@agua.puebla.mx
9					
10					


Taller "Plan de Acción Saneamiento del Río Atoyac"

 Lista de Asistencia

 11 de Noviembre de 2015

No.	Nombre	Cargo	Dependencia/Institución	Teléfono	Correo Electrónico
21	Marcia Irma Villalón	Secretaria de Agua	Dirección Agua Potable S. Andrés Cholula	4-02-90-00 947-224	Yolae_2208@ yahoo.com.mx
22	Conrado Montecinos	Secretario de Salud y Consumo	Consumo	2118314	conrado.montecinos@consumo.gob.mx
23	NAN CONTRERAS	ESPECIALISTA TECNICO	CONAGUA	2118357	nan.contreras@conagua.gob.mx
24	Benjamin Ortiz Espinoza	Consejero Técnico	Departamento de Información e Investigación en Medio Ambiente	22216237 09 2225120427	ortizespinoza@gmail.com
25	Violeta Trinidad	Secretaria de	Dirección General de Agua Potable	0129696	violeta.trinidad@gmail.com
26	Eduardo Padilla	Representante	De Maxcalm	84300 Ext 1530	eduardo.padilla@gmail.com
27	José Fco. Luna R.	Secretario de Calidad Técnica en el Servicio de	SOAPA	222153252	josefco@soapa.gob.mx
28					
29					
30					


Taller "Plan de Acción Saneamiento del Río Atoyac"

 Lista de Asistencia

 11 de Noviembre de 2015

No.	Nombre	Cargo	Dependencia/Institución	Teléfono	Correo Electrónico
11	Arias Sanchez Asenjo	Dir. Gen. Agua P.	SAN Andres Cholula	2224958375	arias234@hotmail.com
12	Uriel Bando Monrreal	Director Técnico	CEAS PUE	2280266074	uriel.ceaspue@gmail.com
13	Leon Fernando Sanchez	Coordinador	SPUS	2281770081	leon.fernando@gmail.com
14	Carlos Romero Rueda	Inspector	CONAGUA	2118300	carlos.romero@conagua.gob.mx
15	Rebeca Matamoros	Subdelegada Planeación	SEMARJAT	2464650371	rebeca.matamoros@semarjat.gob.mx
16	Rafael Saldana	Investigador	IMTA	7773293665	rsaldana@elaboc.inta
17	Guadalupe Telloz Botuclos	Depto. Inspección	CONAGUA	2118307 EXT 1220	guadalupe.telloz@conagua.gob.mx
18	Antoneta Pergrina	Directora Ejecutiva	Dirección del Atoyac AC	2221266217	antoneta.pergrina@gmail.com
19					
20					

Tabla: "Plan de Acción Saneamiento del Río Atoyac"

Lugar de Redacción
12 de febrero de 2010

No.	Nombre	Cargo	Dependencia/Institución	Teléfono	Correo Electrónico
1	Juan Jaime Montemayor	Subdirector Técnico	CONAGUA	272 211 7311	juan.jm@conagua.gob.mx
2	Laura López Rob. Calderón	lucalopez@gmail.com	Sub de Proyectos	2225050171	lucalopez@gmail.com
3	José Artur Herrera Lima	Dpto. Jurídico	SOSAMTEX (Tehuacan)	2484646004 2484670501	herreajulio@hotmail.com
4	Francisco Hualde	Secretario	Secapay	20458995	paco.munoz@live.com.mx
5	Eduardo Steffen Verdín	Presidente Auxiliar San Jerónimo Caleres	Junta Aux San Jerónimo Caleres, R.L.	2226921716	eduardosteffen@hotmail.com
6	Pedro F. Rodríguez Espinoza	Profesor CUEMAD-IPN	CUEMAD IPN	5525045446	pedrof44@hotmail.com
7	Estefanía Martínez Tancula	CUEMAD IPN	CUEMAD IPN	2224739505	estefanietz@hotmail.com
8	JURGEN RAU MANR	ASESOR	GAD	5515 00370	jh.baeismann@hotmail.com
9	Norma Ramírez Salinas	Subcoordinadora	IMTA	777 3293665	nramirez@hlsimta.com
10	Julio A. Ramos	Delegado	PROFEPA TLAXCALA	01 246 4620409	jramos@profepa.gob.mx

La sesión inicio con la presentación del IMTA del estudio de Clasificación del río Atoyac que fue la base para la Declaratoria de Clasificación del río Atoyac, seguido por la presentación del CIEMAD-IPN sobre los estudios realizados y los datos de la Estaciones de Monitoreo en tiempo real que la SDRSOT tiene instalada.

En el Anexo 1 se presenta el informe de las Memorias de la Sesión que el Tecnológico de Monterrey obtuvo de la participación de los diversos actores reunidos.

6. LITERATURA

Aguilar Veronica, 2003. Aguas continentales y diversidad biológica de México: Un recuento actual. Biodiversitas AÑO 8 NÚM. 48 MAYO DE 2003. BOLETÍN BIMESTRAL DE LA COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSID.

Alvarado Cardona, M., et al. (2008). Indicadores de degradación ambiental en la cuenca del Río Zahuapan, estado de Tlaxcala. Proyecto de investigación SIP-IPN, clave 20070059. México D.F.

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS SOBRE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO (CIIEMAD), INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL (IPN), 2016, Validación, 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”. Informe Final. pp. 190.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2011. La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado. México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2013. Estrategias para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad del Estado de Puebla. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Puebla. México. Pp. 147. ISBN:978-607-7607-81-6

CONABIO <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/ecorregiones2.html> (Consultada 26/09/2016).

Regiones Hidrológicas Prioritarias CONABIO.

<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Hmapa.html> (Consultada 26/09/2016).

CONAGUA, 2010. Estadísticas del Agua en la cuenca del Río Balsas, 2010. Comisión Nacional del Agua. Diciembre de 2010 www.conagua.gob.mx Organismo de Cuenca Balsas.

DECRETO del Honorable Congreso del Estado, por el que expide la LEY DEL AGUA PARA EL ESTADO DE PUEBLA. 31/diciembre/2012. Pp. 84.

Diario Oficial, 26 de enero del 2011. ACUERDO por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la Región Hidrológica número 18 Balsas. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Pp. 45.

DIARIO OFICIAL, 2014. ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del acuífero Alto Atoyac, clave 2901, en el Estado de Tlaxcala, Región Hidrológico-Administrativa Balsas. 10 de junio de 2014.

DIARIO OFICIAL, 2016. ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del acuífero Valle de Puebla, clave 2104, en el Estado de Puebla, Región Hidrológico-Administrativa Balsas. Martes 9 de febrero de 2016

DOF 28/08/2013. ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Río Alto Atoyac, Río Amacuzac, Río Tlapaneco, Río Nexapa, Río Mixteco, Río Bajo Atoyac, Río Cutzamala, Río Medio Balsas, Río Cupatitzio, Río Tacámbaro, Río Tepalcatepec, Río Bajo Balsas, Río ParachoNahuatzen, Río Zirahuén y Río Libres Oriental, mismas que forman parte de la Región Hidrológica número 18 Balsas.

Ecorregiones a nivel mundial de ecosistemas de agua dulce <http://www.feow.org/downloads/> (Consultada 26/09/2016).

E. Martinez-Tavera, P. F. Rodriguez-Espinosa, V. C. Shruti, S. B. Sujitha, S. S. Morales-Garcia, N. P. Muñoz-Sevilla. 2017. Monitoring the seasonal dynamics of physicochemical parameters from Atoyac River basin (Puebla), Central Mexico: multivariate approach. *Environ Earth Sci* (2017) 76:95. DOI 10.1007/s12665-017-6406-2

Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C., 2014. Diagnóstico Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014 Puebla. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla. 65 pp. http://www.foroconsultivo.org.mx/libros_editados/diagnosticos_estatales_CTI_2014/puebla.pdf

Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C., 2014. Diagnóstico Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014 Tlaxcala. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla. 61 pp. http://www.foroconsultivo.org.mx/libros_editados/diagnosticos_estatales_CTI_2014/tlaxcala.pdf

Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C., 2012, Diagnóstico del Agua en las Américas. Coordinadores Blanca Jiménez Cisneros y José Galizia Tundisi. ISBN: 978-607-9217-04-4. Pp. 445.

Galicia Hernández Esther, 2015, Un acercamiento histórico a las condiciones “originales” de funcionamiento del sistema hídrico subterráneo y su respuesta superficial en la microcuenca de la ciudad de Puebla. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN 0188-4611, núm. 86, 2015, pp. 38-52, dx.doi.org/10.14350/rig.41358.

García-Nieto, E., Carrizales-Yañez L., Juárez-Santacruz L., García-Ghallegos E., Hernández-Acosta E., Briones-Corona E., Vazquez-Cuecuecha O. (2011). Plomo y arsénico en la subcuenca del alto Atoyac en Tlaxcala, México. Rev. Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente (RCHSCFA) 17 (1): 7-17.

Gil Miriam Janet, Adriana María Soto, Jorge Iván Usma y Omar Darío Gutiérrez. 2012. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. Producción + Limpia - Julio - Diciembre de 2012. Vol.7, No.2 – 52-73.

García-Gómez C., Gortáres-Moroyoqui P. y Drogui P. 2011. Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción. Revista Química Viva - Número 2, año 10, agosto 2011

García-Nieto Edelmira; Leticia Carrizales-Yañez; Libertad Juárez-Santacruz; Elizabeth García-Gallegos; Elizabeth Hernández-Acosta; Elia Briones-Corona; Oscar G. Vázquez-Cuecuecha, 2011, PLOMO Y ARSÉNICO EN LA SUBCUENCA DEL ALTO ATOYAC EN TLAXCALA, MÉXICO. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17(1): 7-17, 2011.

Gárfias Jaime, N. Arroyo, R. Aravena. 2010. Hydrochemistry and origins of mineralized waters in the Puebla aquifer system, Mexico. Environ Earth Sci (2010) 59:1789–1805 DOI 10.1007/s12665-009-0161-y.

González Reynoso, A.E., L. Hernández M. Plan Maestro de Manejo integral y aprovechamiento sustentable del río Magdalena. En: González Reynoso, A. E. et al. (2010). Rescate de los ríos urbanos. Propuestas conceptuales y metodológicas para la restauración y rehabilitación de ríos. UNAM. Coordinación de Humanidades. Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad. ISBN: 978-607-02-0721-1, pp. 112.

Global Water Partnership. Agua para el Siglo XXI: De la Visión a la Acción. América del Sur. s/f. 81 pp. ISBN 91-630-9203-4.

Gutiérrez López Eric Daniel. 2014, Determinación de la capacidad de asimilación de contaminantes en la Presa Manuel Ávila Camacho, Puebla. Tesis de Doctorado en Ciencias y Tecnología del Agua. Posgrado del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México. Pp. 282.

Hans Ole Hansen, 1997. Restauración de Ríos y Arroyos – Experiencias y ejemplos de Dinamarca. Ministerio del Medio Ambiente y de la Energía Instituto Nacional de Investigación del Medio Ambiente. ISBN: 87-7772-329-5. Pp 19.

Ibáñez González, L.A. 2011. Corredor Industrial del río Atoyac, Puebla. Propuesta de un Plan de Regeneración Urbana. U.N.A.M. Facultad de Arquitectura. Tesis licenciatura en arquitectura. Inédito.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Anuario estadístico y geográfico de Puebla 2015 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México : INEGI, c2015. pp. 827 ISBN 978-607-739-700-7.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Anuario estadístico y geográfico de Tlaxcala 2015 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México : INEGI, c2015. pp. 524 ISBN 978-607-739-710-6.

INEGI, 2000, Síntesis geográfica del Estado de Puebla. Capítulo 6 Hidrología.

López Bravo, R. 2000. Evaluación de Cd, Co, Cr, Ni, Pb en el agua residual del río Atoyac, Edo. de Puebla y su relación con acumulación de estos metales en el sedimento. Tesis licenciatura en biología. FES Zaragoza. U.N.A.M. México. p.p. 159.

López Zamora Rafael de Jesús, 2014. Los servicios de agua potable y saneamiento en la ciudad de Puebla. Sujetos sociales, poder y modelo de gestión 1984-2010. Primera edición: 2014 D.R. © Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. ISBN de la versión electrónica: 978-607-487-802-8 pp. 342.

Morales-García S.S., Rodríguez-Espinosa P.F., M.P. Jonathan. 2012. Environmental Assessment and Sustainable Development of Valsequillo in Puebla, Mexico. 2012 International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE vol.30 (2012) © (2012) IACSIT Press, Singapore

Muñoz-Nava, H., Suárez Sanchez J., Vera-Reyes A., Orozco-Flores S., Batlle-Sales J., Ortiz-Zamora J., y Mendiola-Arguelles J. 2012. Demanda Bioquímica de Oxígeno y población en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. Rev. Int. Contam. Ambie. 28 (1) 27-38.

M. Solís, J.L. Gil, A. Solís, H.I. Pérez, N. Manjarrez y M. Perdomo, 2013, El proceso de sedimentación como una aplicación sencilla para reducir contaminantes en efluentes textiles. Revista Mexicana de Ingeniería Química, Vol. 12, No. 3 (2013) 585 – 594.

Navarro Amado, Jorge Herrera, José Marrugo, Josep Bayona y Lorenzo Morales. 2014. Microcontaminantes orgánicos en los ríos de México: El caso del río Nexapa. En M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

NMX- R-046-SCFI-2011. PARQUES INDUSTRIALES – ESPECIFICACIONES. 53 pp.

OCDE-FCCyT, 2012. El Sistema Tributario, la innovación y el medio ambiente 298 pp. ISBN 978-607-9217-13-6 (PDF)

OCDE 2015. Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE. Pp. 24

OECD, 2012. Hacer posible la reforma de la gestión del agua en México. Diagnóstico y Propuestas. Pp. 16. doi: 10.1787/9789264187894-en

Oliva-Martínez María Guadalupe, José Luis Godínez-Ortega y Catriona Andrea Zuñiga-Ramos, 2014. Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, Supl. 85: S54-S61, 2014. DOI: 10.7550/rmb.32706.

Rodríguez T., L. y Morales N. J.A. (2011). Contaminación e internalización de costos en la industria textil. SOCIOTAM Vol. XXI, No.1 (2011), pp. 143-169.

RODRÍGUEZ TAPIA Lilia y Jorge A. MORALES NOVELO.2011. CONTAMINACIÓN E INTERNALIZACIÓN DE COSTOS EN LA INDUSTRIA TEXTIL. Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades. pag.- 144 – 170

Rosas Salas, S. F. Agua e industria en Puebla. El establecimiento de la fábrica textil La Covadonga, 1889-1897. Relaciones 136, otoño 2013, pp. 223-264, ISSN 0185-3929.

Ruiz-Arias Alfredo & Cleotilde Juárez-Ramírez & Daniel de los Cobos-Vasconcelos & Nora Ruiz-Ordaz & Angélica Salmerón-Alcocer & Deifilia Ahuatzi-Chacón & Juvencio Galíndez-Mayer. 2010. Aerobic Biodegradation of a Sulfonated Phenylazonaphthol Dye by a Bacterial Community Immobilized in a Multistage Packed-Bed BAC Reactor. Appl Biochem Biotechnol (2010) 162:1689–1707 DOI 10.1007/s12010-010-8950-z.

Salcedo-Sánchez Edith R., Ma. Vicenta Esteller, Sofía E. Garrido Hoyos, Manuel Martínez-Morales. 2013. Groundwater optimization model for sustainable management of the Valley of Puebla aquifer, Mexico. Environ Earth Sci (2013) 70:337–351. DOI 10.1007/s12665-012-2131-z.

Sánchez Oscar, 2000 Ecosistemas acuáticos: diversidad, procesos, problemática y conservación En: Arriaga Cabrera, L. V. Aguilar Sierra y J. Alcocer Durand. 2000. Aguas continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pp. 307. ISBN 970-9000-25-2.

Sandoval Villasana, A.M., Pulido-Flores G., Monks S., Gordillo-Martínez A. y Villegas-Villareal E (2009). Evaluación fisicoquímica, microbiológica y toxicológica de la degradación ambiental del río Atoyac, México. INTERCIENCIA. Vol. 34, 12: 880-887.

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2012. PROGRAMA DE RESCATE INTEGRAL DE LOS RÍOS MAGDALENA Y ESLAVA. 2006-2012 Secretaría del Medio Ambiente GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL LIBROS BLANCOS. Pp 79

Solís Ángeles, Soledad. 2013. Alteraciones en el desarrollo embrionario del pez cebrá por exposición a muestras del río Atoyac y descargas industriales. Tesis Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. Biología. UNAM. 97 p.

Soto Montes de Oca Gloria 2009. Estudio para estimar los beneficios del proyecto integral para el saneamiento del Alto Atoyac en el estado de Puebla. 175 pp.

Velasco Santos, Paola. 2014. Antropología socioambiental. Ecología política, sujetos rurales y transformación del río Atoyac en el municipio de Nativitas, Tlaxcala. Tesis Doctorado en Antropología. UNAM. Facultad de filosofía y letras/Instituto de investigaciones antropológicas.

VILLALOBOS PIETRINI Rafael, Ana Rosa FLORES-MÁRQUEZ and Sandra GÓMEZ- ARROYO, 1994, CYTOGENETIC EFFECTS IN VICIA FABA OF THE POLLUTED WATER FROM RIVERS OF THE TLAXCALA HYDROLOGICAL SYSTEM, MEXICO. Rev. Int. Contam. Ambient. 10 (2), 83-88, 1994.

Zamora S., I. Algunos principios en el rescate de ríos urbanos. En: González Reynoso, A. E. et al. (2010). Rescate de los ríos urbanos. Propuestas conceptuales y metodológicas para la restauración y rehabilitación de ríos. UNAM. Coordinación de Humanidades. Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad. ISBN: 978-607-02-0721-1, pp. 112.

www.agua.org.mx, 2006. El agua en México: lo que todas y todos debemos saber.