

RÍO ATOYAC:

HACIA UNA GESTIÓN INTEGRAL DE UNA
PROBLEMÁTICA MULTIFACTORIAL

COORDINADORES:

Carlos Alberto Ávila Orta

María de Lourdes Hernández-Rodríguez

S. Alejandro Lozano Morales

CUADERNO DE DIVULGACIÓN





RÍO ATOYAC: HACIA UNA GESTIÓN INTEGRAL DE UNA PROBLEMÁTICA MULTIFACTORIAL

Carlos Alberto Ávila Orta
María de Lourdes Hernández-Rodríguez
S. Alejandro Lozano Morales

Coordinadores

El Colegio de Tlaxcala, A. C.

Dr. Serafín Ríos Elorza

Presidente

Dr. Gerardo Suárez González

Secretario Técnico

Dr. Alfonso Pérez Sánchez

Director Académico

Dra. Ivonne Virginia Campos Rico

Secretaria de Investigación

C.P. Santiago Ortega Vega

Director Administrativo

Lic. Karen Janeth Tirado Portilla

Coordinadora de Comunicación Social

Mtro. Arturo Juárez Martínez

Coordinador Editorial

Primera edición: 2021

®El Colegio de Tlaxcala, A. C.

El Colegio de Tlaxcala, A. C.

Melchor Ocampo No. 28

C.P. 90600, San Pablo Apetatitlán, Tlaxcala

Tel: (01 246) 46 4 58 74, 46 4 77 25, 46 4 77 26 Ext. 202

Correo electrónico: elcolegiodetlaxcala@coltlax.edu.mx

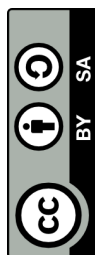
Diseño de forros: Alejandro Ángel López Abriz

Diseño de interiores: Rafael Cruz Sánchez

Publicado bajo la licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual (CC BY-SA),
versión 4.0.

Hecho en México

Made in Mexico



¡Copia este libro!

Este libro se publica bajo una licencia CC BY-SA, lo cual significa que usted puede copiarlo, redistribuirlo, remezclarlo, transformarlo y construir sobre su contenido para cualquier propósito, incluso comercial, mientras dé el crédito apropiado, provea un enlace a la licencia, e indique si se realizaron cambios. Si remezcla, transforma, o construye sobre el material, debe distribuir sus contribuciones bajo el mismo licenciamiento que el material original. Detalles de licenciamiento:

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Compartir no es delito.

Instituciones participantes

CIQA. Centro de Investigación en Química Aplicada. Gregorio Cadenas Pliego, Herminia Soledad Cerda y Meneses, Raúl Herrera Mendoza

COLSAN. El Colegio de San Luis, A.C. Germán Santacruz de León

COLTLAX. El Colegio de Tlaxcala, A.C. Andrés María Ramírez, Ángel David Flores Domínguez, María de Lourdes Hernández-Rodríguez

CIDETEQ. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C. Fernando Baquero Herrera, Víctor Hugo Rodríguez Obregón.

CIGA-UNAM. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental-Universidad Nacional Autónoma de México. Ángel G. Priego Santander

Investigador(a) CONACYT-CIDETEQ. Fernando Felipe Rivera, Yolanda Reyes Vidal

Investigador(a) CONACYT-CIQA. S. Alejandro Lozano Morales

Investigador(a) CONACYT-CIQA-CITLAX. Christian Javier Cabello Alvarado

Investigador(a) CONACYT-UNAM. Janete Morán Ramírez

IPICYT. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. José Alfredo Ramos Leal

ITAT-TNM. Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala-Tecnológico Nacional de México. Juan José Castellón Gómez

UPTx. Universidad Politécnica de Tlaxcala. Wilfrido Gutiérrez Ortíz

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo y financiamiento de las siguientes instituciones y proyectos para llevar a cabo esta obra:

Gobierno del Estado de Tlaxcala

Secretaría de Educación Pública del Estado de Tlaxcala (SEPE)

El Colegio de Tlaxcala, A. C. (COLTLAX)

Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)

Centro de Investigación y de Innovación del Estado de Tlaxcala (CITLAX)

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Presidencia Auxiliar Municipal de San Mateo Ayecac, Tlaxcala

Autoridades e Integrantes del Ejido San Mateo Ayecac, Tlaxcala

Proyecto 296356

Consolidación del Consorcio de Investigación y de Innovación del Estado de Tlaxcala (CITLAX). Financiado por el Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECYT) del CONACYT

Proyecto TLAX-2018-01-01-43129

Diseño, construcción, equipamiento y puesta en marcha del Consorcio de Investigación Científica, Tecnológica y de Innovación del Estado de Tlaxcala. Financiado por el Fondo Mixto CONACYT - Gobierno del Estado de Tlaxcala

Índice

Prólogo	9
Oliverio Santiago Rodríguez Fernández, Serafín Ríos Elorza	
Grupo GATTACA	11
Presentación	13
Carlos Alberto Ávila Orta	
SECCIÓN I. MARCO CONCEPTUAL	
Capítulo 1. La contaminación del río Atoyac y sus efectos socio-ambientales en San Mateo Ayecac, Tlaxcala	17
María de Lourdes Hernández-Rodríguez	
Capítulo 2. Caracterización físico-geográfica del paisaje en la microcuenca Atoyac-Xochiac, subcuenca Alto Balsas	20
Ángel David Flores Domínguez, Ángel G. Priego Santander	
SECCIÓN II. CALIDAD DEL AGUA, CONTAMINANTES Y FERTILIDAD DEL SUELO	
Capítulo 3. Calidad del agua del acuífero Alto Atoyac, en el estado de Tlaxcala, para uso doméstico y agrícola	25
Germán Santacruz de León, Janete Morán Ramírez, José Alfredo Ramos Leal	
Capítulo 4. Calidad del agua y contaminantes de la cuenca Alto Atoyac	27
S. Alejandro Lozano Morales	

Capítulo 5. Diagnóstico de la fertilidad del suelo y aporte nutrimental de las aguas del río Atoyac en el ejido San Mateo Ayecac, Tlaxcala	29
Juan José Castellón Gómez	

SECCIÓN III. DIMENSIONAMIENTO POLÍTICO, ECONÓMICO Y TECNOLÓGICO

Capítulo 6. Percepción y prácticas de agentes sociales en torno a la contaminación del río Atoyac en Tepetitla de Lardizábal	33
Wilfrido Gutiérrez Ortiz	

Capítulo 7. Propuesta de un “Modelo integral de restauración sanitaria y ecológica”	35
José Fernando Baquero Herrera, Víctor Hugo Rodríguez Obregón, Herminia Soledad Cerda y Meneses	

Capítulo 8. Alternativas tecnológicas potenciales para la regeneración de la cuenca Alto Atoyac	37
S. Alejandro Lozano Morales, Raúl Herrera Mendoza, Gregorio Cadenas Pliego, Yolanda Reyes Vidal, Fernando Felipe Rivera, Christian Javier Cabello Alvarado	

SECCIÓN IV. LA PROPUESTA DE ABORDAJE

Capítulo 9. La contaminación del río Atoyac como problema perverso (<i>wicked problem</i>)	41
Andrés María Ramírez	

PRÓLOGO

La investigación colaborativa puede definirse como aquella que involucra la coordinación entre los investigadores, instituciones, organizaciones y/o comunidades. Esta cooperación puede aportar una experiencia distinta a un proyecto, como en este caso. Este libro representa el resultado del trabajo conjunto interinstitucional que aborda una problemática enraizada en la comunidad de San Mateo Ayecac, municipio de Tepetitla de Lardizábal, en el cual se analiza, desde una perspectiva multidisciplinaria, el manejo inadecuado del río Atoyac, y propone, desde la visión de cada uno de los grupos de investigación, un modelo alternativo de trabajo para solucionar los problemas generados a lo largo de los años.

En este enriquecedor ejercicio que finaliza con una propuesta basada en un enfoque transdisciplinario, hemos colaborado instituciones de distinta índole e involucrado a grupos de la sociedad, para atender demandas pertinentes y válidas para la comunidad, donde ésta juega un papel clave al ser el centro desde donde emanan las problemáticas, pero también desde donde la comunidad propone soluciones. Formas de trabajo en donde todos aprendemos, si bien, en muchas ocasiones las colaboraciones pueden ser una fuente frecuente de problemas, en este caso ha sido un proceso de aprendizaje y generación de valor que al paso del tiempo se irá perfeccionando.

Para el CIQA, participar en este tipo de dinámica es sumamente gratificante, de manera especial en este año en que el Centro cumple 45 años, mismos que le dan la madurez para migrar a estas nuevas formas de trabajo, compromiso que además ha asumido al plasmarlo en su visión, la cual incluye la promoción y fomento de la investigación colaborativa y transdisciplinaria. Si bien el libro está encaminado a la atención de una problemática específica, creemos que las lecciones que se pueden aprender van más allá del problema en sí, lo que permitirá que los colaboradores generen procesos y dinámicas que puedan ser replicados en un futuro para abordar y atender otras problemáticas de la sociedad, bien sea del estado de Tlaxcala o de otras regiones del país.

En ese sentido, El COLTLAX y CIQA, como instituciones responsables de este ejercicio, creemos que las diferencias que se generan en un proceso de colaboración como son las culturales, de objetivos, hipótesis y de cualquier otra índole, pueden ser convertidas, como hasta ahora, en una fuente de oportunidades que permiten generar mayor diversidad de propuestas de solución, y la suma de las comunidades en la pertinencia de la investigación, a fin de que la ciencia y tecnología sirvan a la sociedad.

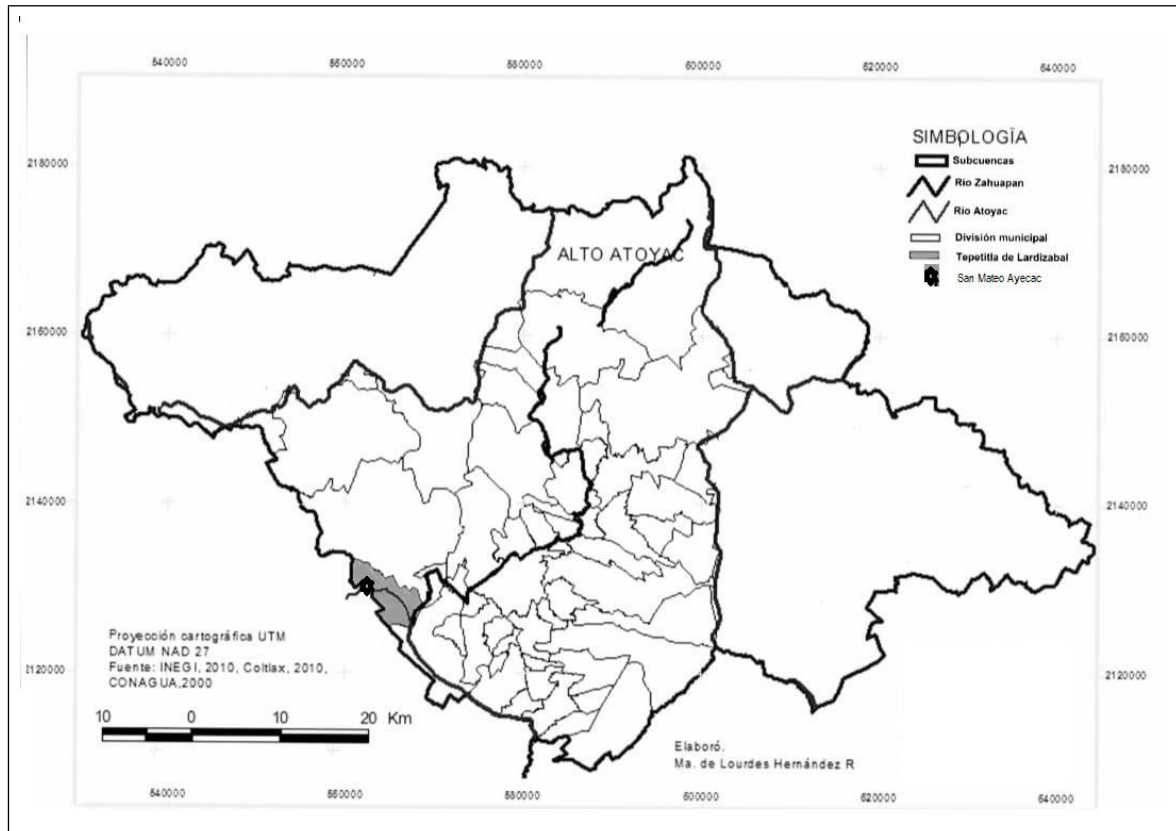
Dr. Oliverio Santiago Rodríguez Fernández
Director General
Centro de Investigación en Química Aplicada

Dr. Serafín Ríos Elorza
Presidente
El Colegio de Tlaxcala, A.C.

Grupo GATTACA

En noviembre de 2019, a sugerencia de la Dirección Regional 4 Sur Oriente del CONACYT dirigida por el Dr. Javier Hirose López, por intermediación de la Dra. María Gabriela Garrett Ríos, se reunieron en la Cd. de Tlaxcala los Centros Públicos de Investigación que conforman al CITLAX: CIQA, CIDETEQ, CIATEC, COMIMSA e INAOE con El Colegio de Tlaxcala (COLTLAX) para comenzar a colaborar académicamente en para atender la contaminación del río Atoyac. Derivado de este entendimiento, se formó el *Grupo de Apoyo Técnico* Transdisciplinario para la Restauración Integral de la Cuenca del Atoyac (*GATTACA*) en 2021 debido a que se habían venido desarrollando, desde junio de 2020, actividades de reconocimiento de la problemática socio-ambiental con autoridades e integrantes del ejido de San Mateo Ayecac municipio de Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, así como otras instituciones de investigación y educación superior. Lo anterior para cumplir el objetivo principal de la colaboración académica de coadyuvar a la solución de las problemáticas regionales que afectan a la nación, en temas como la contaminación de agua y el uso de aguas residuales para su aprovechamiento en la producción de hortalizas, los cuales son temas Prioritarios Nacionales para la Agricultura, el Medio Ambiente, y la Salud Pública, según el planteamiento actual de los PRONACES de CONACYT.

Ubicación de San Mateo Ayecac, Tlaxcala



Fuente: elaboración propia con base en COLTLAX-CESET (2008).

PRESENTACIÓN

Carlos Alberto Ávila Orta (CIQA)

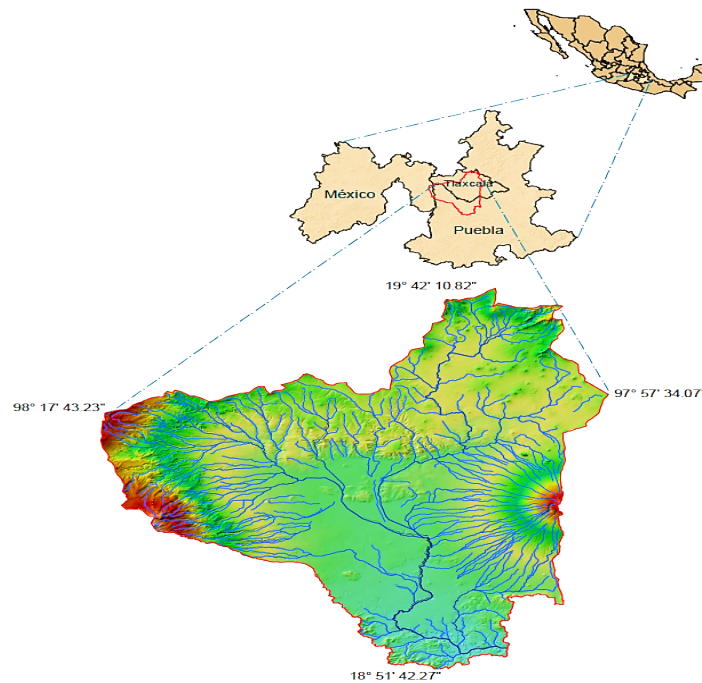
El Atoyac, es una corriente superficial de agua que fluye al interior de la región hidrológica norte de la cuenca Balsas-Mezcala (que pertenece a la Cuenca Alto Atoyac, de la Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas). El río Atoyac es la principal fuente de abastecimiento para las comunidades y municipios hortícolas al sur del estado de Tlaxcala, como es el caso de San Mateo Ayecac, en el municipio de Tepetitla de Lardizábal, y sus alrededores. Sin embargo, este río se encuentra contaminado, lo cual es un problema grave que afecta a la población que habita en sus alrededores, así como a las diferentes actividades que ella realiza. La solución a este grave problema no es sencilla ya que requiere de un esfuerzo integral de todos los agentes sociales involucrados y se deberá de dar de manera gradual a través de su mitigación. En este libro intentamos abordar esta problemática en la región sur de Tlaxcala, particularmente en San Mateo Ayecac, desde un punto de vista holístico, ya que entendemos que solo haciendo esfuerzos integrales entre los agentes sociales involucrados y con el apoyo de especialistas se podrá dar la mitigación gradual de la contaminación y sus efectos.

Mapa de la división de las Regiones Hidrológicas de la República Mexicana



Fuente: Cotler, H. (2007). Delimitación de las Cuencas Hidrográficas de México a escala 1:250 000. *Inegi, Ine, Conagua*, 1-34.

Cuenca hidrológica Alto Atoyac. Forma parte de la cuenca hidrográfica del Balsas, en la región hidrológica RH18 y IV administrativa



Fuente: Landsat, N. (2019). *Cuenca hidrológica Alto Atoyac Húmedales Informe técnico USGS/NASA Landsat*. www.inegi.org.mx.

Sección I. Marco conceptual

Capítulo 1. La contaminación del río Atoyac y sus efectos socio-ambientales en San Mateo Ayecac, Tlaxcala

María de Lourdes Hernández-Rodríguez (COLTLAX)

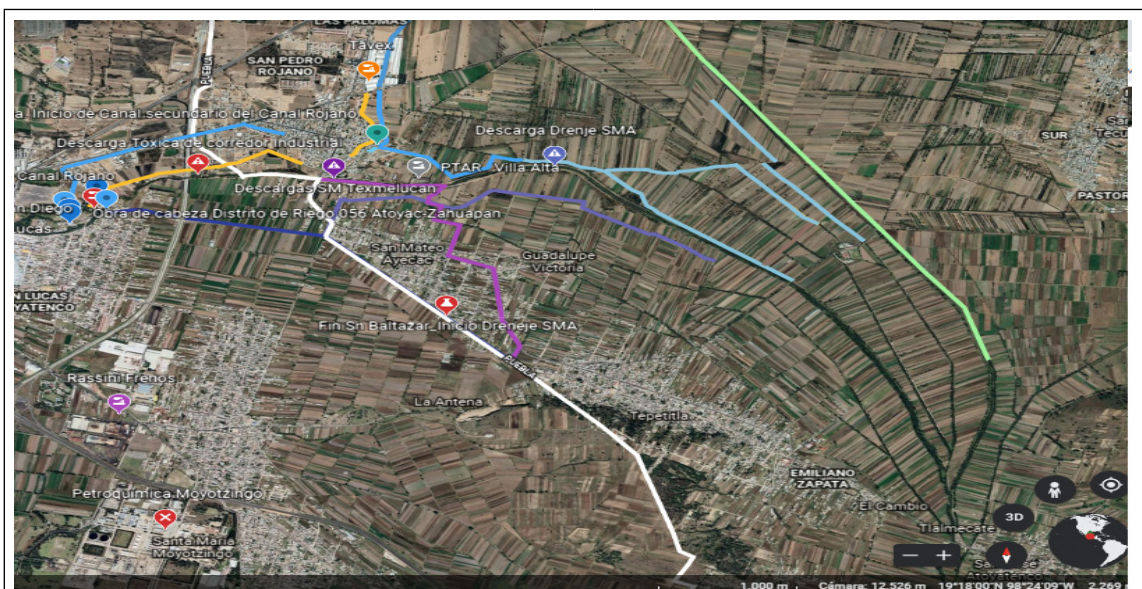
En el Capítulo 1 se aborda la contaminación del río Atoyac desde un punto de vista histórico y sus efectos sociales en la región de San Mateo Ayecac, que en el último año ha recibido el nombre de “nuevo Rey de la Mezclilla” por su rápido crecimiento en el número de industrias maquiladoras-textil, teñido y lavado de mezclilla. Aunado a lo anterior, Ayecac, pertenece al conjunto de comunidades asentadas en la frontera Tlaxcala-Puebla, cuya población está viendo afectada su salud y capacidad agro-productiva por la contaminación de origen industrial y público-urbano de las aguas residuales vertidas al Atoyac derivado de una política pública instituida desde el siglo XVI que persiguió la industrialización de la región a costa del medio ambiente.

En tal virtud, en este Capítulo se documentan los efectos que dicha contaminación ha causado en los habitantes de la región en sus dos principales manifestaciones: las enfermedades físico-emocionales de la población, ya reportadas en otros estudios tales como cáncer o leucemia y la reducción del 50% de los cultivos regados hace 30 años, tanto en el ejido como en la pequeña propiedad, derivados principalmente de la implementación de las NOM 001-002. Esto no solo ha afectado negativamente en diversidad hortícola, sino también en la posibilidad de comercializar sus productos en los principales centros de distribución de alimentos como lo son las Centrales de Abastos de Puebla y Ciudad de México, por el hecho de regar sus cultivos con aguas residuales, cuya calidad ponen en duda los mismos agricultores y habitantes de la región al manifestar que las plantas de tratamiento ubicadas en San Martín Texmelucan, Puebla y Villa Alta, Tlaxcala, regularmente no funcionan de forma adecuada.

Esto les obliga a utilizar en sus campos aguas residuales vertidas al río Atoyac sin tratamiento alguno, las cuales también han escaseado, derivado del azolve de los









canales de riego y las decisiones de autoridades locales que han impedido el flujo del agua a través de los canales de riego. Esto en su conjunto ha generado conflictos sociales por el acceso al agua al interior de dicho territorio, convirtiendo a la contaminación del Atoyac un asunto de política pública posiblemente analizable desde la perspectiva de los *problemas perversos* o *wicked problems*, en inglés. Dicha perspectiva se profundiza en el Capítulo 9.





San Mateo Ayecac, Tlaxcala y principales fuentes de contaminación del Atoyac percibidas por sus habitantes



Proyección cartográfica INEGI Landsat/Copernicus en Google Earth (septiembre 2021)

SIMBOLOGÍA

-  Complejo Petroquímico Independencia PEMEX/ Moyotzingo
-  Rassini Frenos
-  Tavex [Tarrant en los años 80]
-  PTAR Filtros Rociadores de San Marín Texmelucan
-  PTAR Villa Alta
-  Descarga de aguas residuales a cielo abierto en Texmelucan
-  Descargas de aguas residuales a cielo abierto en Villa Alta
-  Descarga de aguas residuales en San Mateo Ayecac

-  Conducción drenaje de San Baltazar conectado con San Mateo Ayecac
-  Límites de San Mateo Ayecac
-  Limite estatal Tlaxcala/Puebla
-  Inicio Canales de riego
-  Canal primario Rojano
-  Canal secundario La Rápida
-  Canal secundario Ajejela
-  Canal primario San Diego
-  Canal primario San Lucas
-  Ubicación del área de lavado de hortalizas (Junto a CIBA-IPN)

Fuente: Basado en Trabajo de campo abril-septiembre 2021.

Capítulo 2. Caracterización físico-geográfica del paisaje en la microcuenca Atoyac-Xochiac, subcuenca Alto Balsas

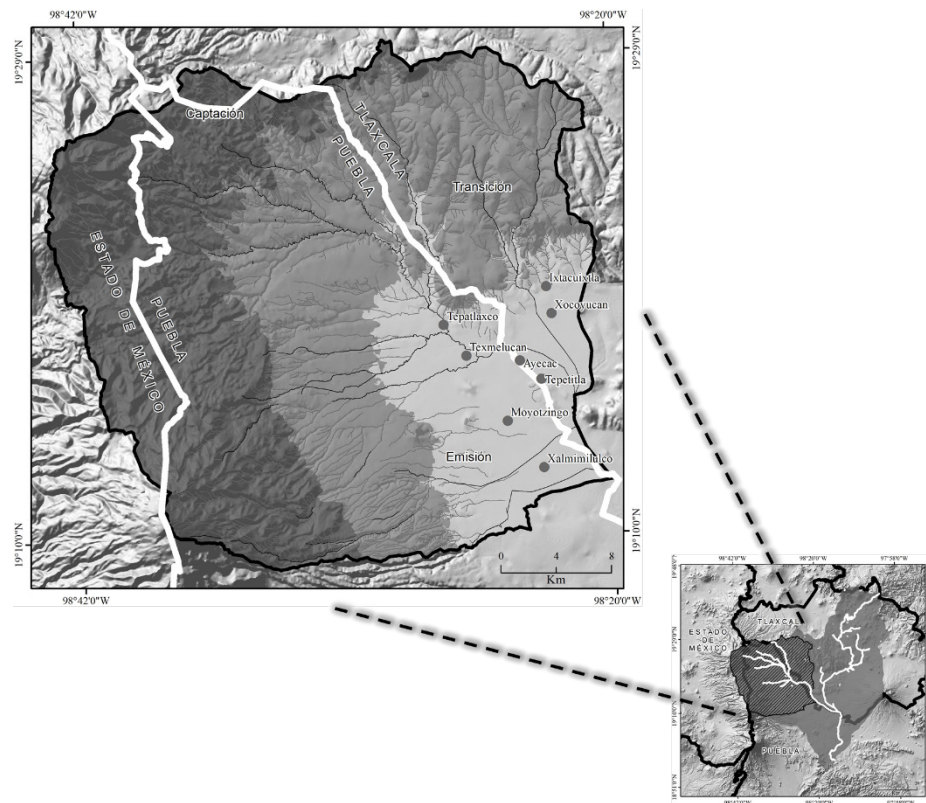
Ángel David Flores Domínguez (COLTLAX)

Ángel G. Priego Santander (CIGA-UNAM)

Una vez que se ha abordado el tema de historia de la contaminación del río Atoyac-Zahuapan, continuaremos con la caracterización físico-geográfica del paisaje en la microcuenca Atoyac-Xochiac. Por lo que, en el Capítulo 2 se presenta una breve descripción de los fundamentos teórico-conceptuales sobre las cuencas hidrográficas como unidades naturales de apoyo a la gestión pública de los recursos, así como de los postulados de la Geografía Física Compleja o Ciencia del Paisaje y sus posibilidades de aplicación en la planificación y ordenamiento territorial a escala regional-local. En un segundo momento, se muestra el proceso metodológico empleado para 1) la delimitación de la microcuenca Atoyac-Xochiac, perteneciente al Alto Atoyac y sus zonas funcionales y 2) la construcción y análisis de las unidades de paisaje y sus componentes físico-geográficos.

La descripción de resultados se desarrolla en correspondencia con el planteamiento metodológico, para lo cual se hace uso de diferentes materiales cartográficos generados en la escala 1:50,000, pero adaptados al área de impresión del documento. Finalmente, se concluye que la estructura y composición físico geográfica de la microcuenca Atoyac-Xochiac, mostrada a partir de unidades de paisaje, permite tener una base cartográfica para la planificación territorial y sirve como marco de análisis para evaluaciones ambientales con miras a lograr la sustentabilidad del sistema.

Mapa de ubicación de la microcuenca Atoyac-Xochiac (recuadro principal) al interior de la subcuenca Alto Atoyac (área sombreada en el recuadro inferior)



Fuente: elaboración propia.

**Sección II. Calidad del agua, contaminantes y
fertilidad del suelo**

Capítulo 3. Calidad del agua del acuífero Alto Atoyac, en el estado de Tlaxcala, para uso doméstico y agrícola

Germán Santacruz de León (COLSAN)

Janete Morán Ramírez (Investigadora por México CONACYT/UNAM)

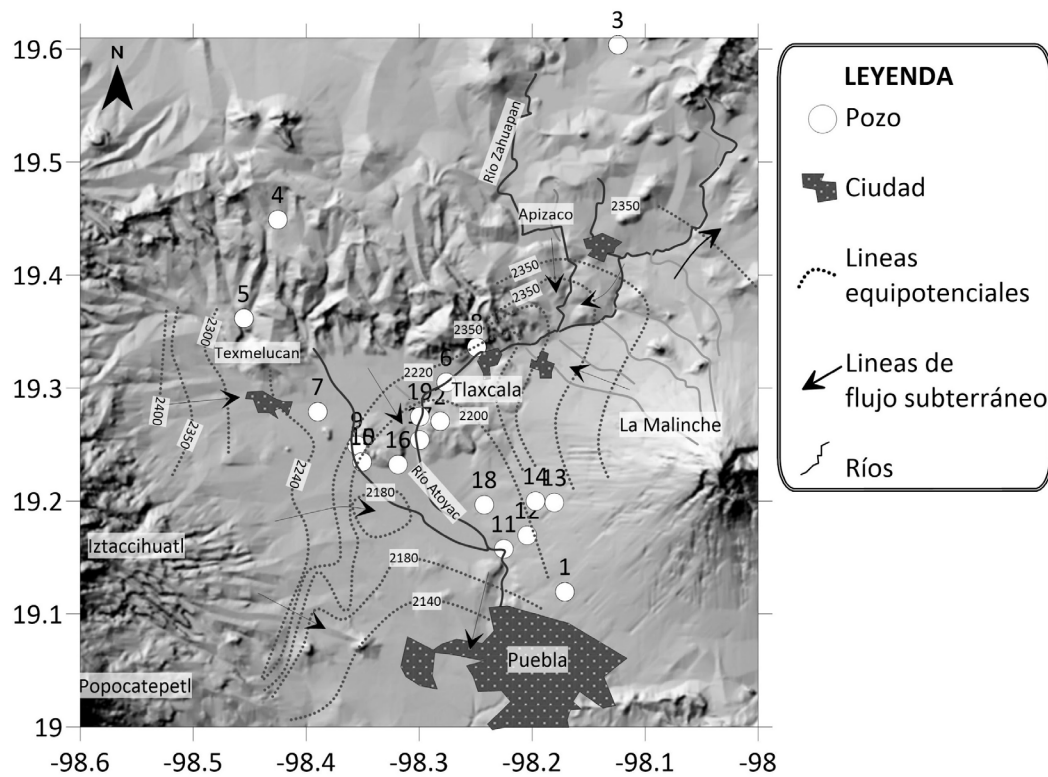
José Alfredo Ramos Leal (IPICYT)

En los siguientes dos Capítulos se tratará sobre la calidad y contaminación del agua. Por un lado, en el Capítulo 3 se presenta la calidad del agua de la Cuenca Alto Atoyac. Esto es importante, ya que el aproximadamente 50% del suministro del agua potable en el planeta depende del agua contenida en los acuíferos. En las zonas áridas y semiáridas de América Latina, los acuíferos son la fuente de un tercio del total de agua utilizada y en México el agua subterránea es la principal fuente de abasto para diversos usos. El conocimiento de la disponibilidad del agua, no solo en términos de su cantidad, si no cada vez más de su calidad, en el tiempo y el espacio, es muy importante. De acuerdo con lo anterior se consideró relevante determinar y analizar la calidad de agua subterránea de la Cuenca Alto Atoyac para uso doméstico y agrícola a partir de la aplicación de diversos índices. Para ello se obtuvo la información generada y compilada por la CONAGUA (<https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>) en la Red Nacional de medición de la Calidad del Agua y se seleccionó de manera específica la generada para la Cuenca Alto Atoyac y se determinaron los Índices de Calidad del Agua.

Los resultados dan cuenta de un acuífero libre con condiciones de contaminación bacteriológica, pero también con presencia de niveles superiores a los establecidos en la normatividad oficial mexicana de fierro y flúor, este último puede tener implicaciones graves en la salud humana de quienes consumen esa agua. Con respecto a la calidad del agua para riego agrícola, los resultados muestran que la Cuenca presenta adecuados niveles de sodicidad, pero no así en las condiciones de salinidad. Finalmente, se recomienda establecer y/o mejorar las condiciones de monitoreo de la calidad del agua,

incrementar los puntos de observación, sobre todo en las zonas en las que se observa la presencia de flúor, así como, en los casos en los que se da el consumo directo del agua de la Cuenca Alto Atoyac, someterla a procesos de tratamiento para la remoción de la contaminación bacteriológica, pero también para la remoción del fierro y, sobre todo, de los altos niveles de flúor.

Localización de la red de monitoreo de la CONAGUA en el acuífero Alto Atoyac



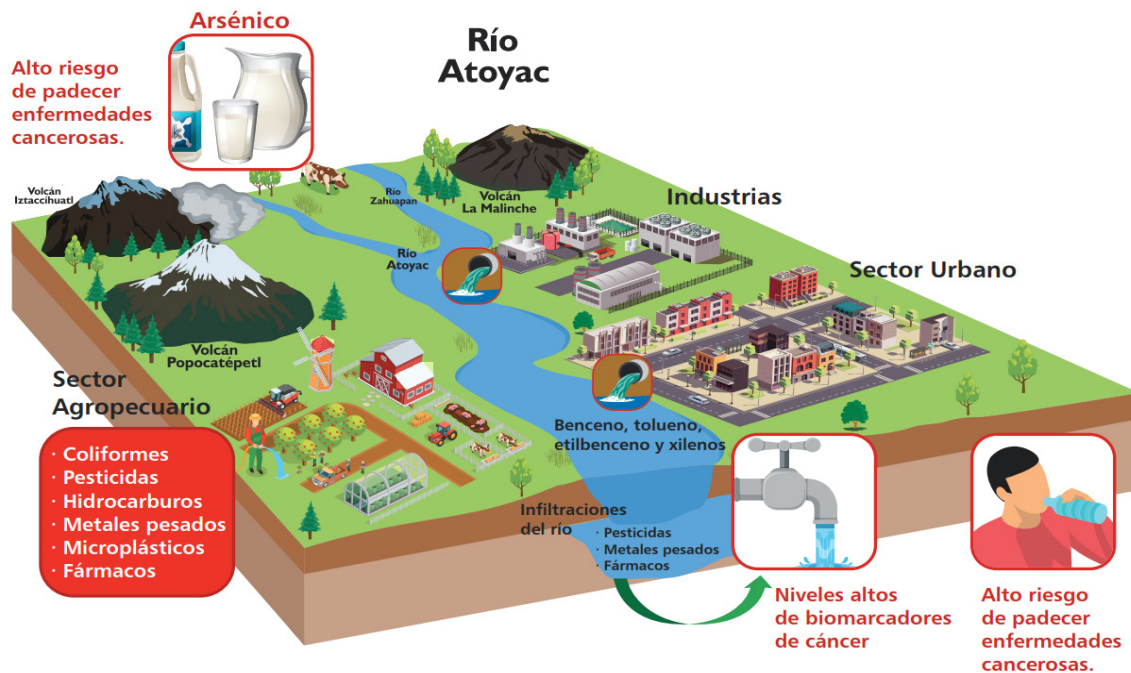
Fuente: elaboración propia.

Capítulo 4. Calidad del agua y contaminantes de la cuenca Alto Atoyac

S. Alejandro Lozano Morales (Investigador por México CONACYT/CIQA)

Por otro lado, en el Capítulo 4 se analiza la calidad del agua y los contaminantes de la Cuenca Alto Atoyac. Este capítulo es referente a la calidad del agua y su relación con la información cualitativa y cuantitativa de diferentes contaminantes orgánicos, inorgánicos y microbiológicos (colorantes, agroquímicos, compuestos farmacéuticos, derivados de la industria petroquímica y automotriz, compuestos orgánicos, entre otros). Por ende, se realizó una agrupación de los principales contaminantes encontrados a partir de su naturaleza y características químicas, con el propósito de establecer un primer acercamiento y ofrecer, desde una perspectiva holística, propuestas integrales de saneamiento de la cuenca a través de tecnologías actuales que podrían atender la variedad de contaminantes detectados a la fecha en aguas superficiales de la Cuenca Alto Atoyac, y en sus principales afluentes de origen antropogénico. Esto a fin de establecer, en un futuro, las bases para la creación de un modelo científico-comunitario integral y transdisciplinario para el mejoramiento de la calidad del agua de dicha cuenca en las comunidades de estudio.

Principales fuentes de contaminación de la Cuenca Alto Atoyac e impactos en la salud



Fuente: Después de Mora, A., García-Gamboa, M., Sánchez-Luna, M. S., Gloria-García, L., Cervantes-Avilés, P. & Mahlknecht, J. (2021). A review of the current environmental status and human health implications of one of the most polluted rivers of Mexico: The Atoyac River, Puebla. *Science of the Total Environment*, 782, 146,788. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146788>.

Capítulo 5. Diagnóstico de la fertilidad del suelo y aporte nutrimental de las aguas del río Atoyac en el ejido San Mateo Ayecac, Tlaxcala

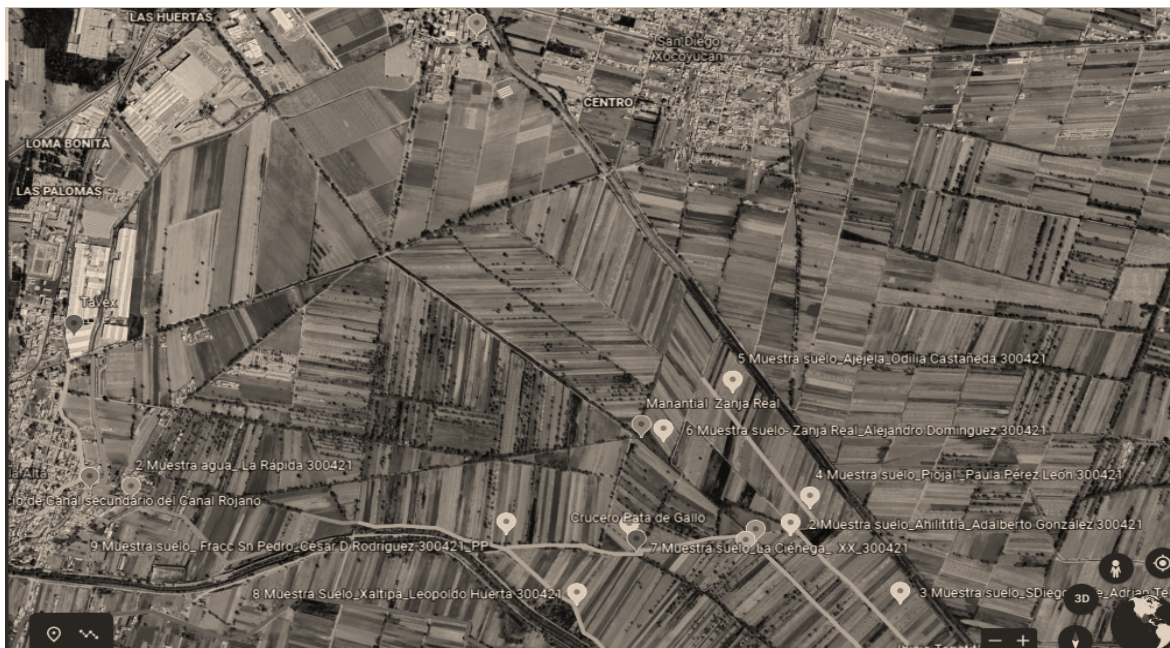
Juan José Castellón Gómez (ITAT-TNM)

A continuación, en el Capítulo 5, se presenta el efecto del agua en la fertilidad del suelo en la región. En este caso, se realizó un diagnóstico de la fertilidad del suelo y aporte nutrimental de las aguas del río Atoyac en el ejido San Mateo Ayecac, debido a que como se ya se ha mencionado, el uso de aguas residuales para riego se ha convertido en una alternativa para la producción de cultivos siempre y cuando no existan afectaciones a la salud pública, al suelo y al ambiente. Esto supone poner especial atención en la calidad del agua desde un punto de vista sanitario, agronómico y ambiental. El objetivo del presente estudio fue evaluar el aporte nutrimental de las aguas residuales del río Atoyac y su efecto sobre la fertilidad del suelo para la generación de recomendaciones de fertilización en cultivos de interés local.

Los resultados encontrados mostraron en el agua residual, que el contenido de iones útiles para la agricultura es bajo, de igual manera los parámetros para evaluar la conveniencia del uso de agua para la agricultura como son salinidad efectiva (SE), salinidad potencial (SP), relación de adsorción de sodio (RAS), carbonato de sodio residual (CSR) y conductividad eléctrica (CE) no mostraron restricción alguna. Sin embargo, los resultados del análisis de la fertilidad del suelo mostraron un pH alcalino (8.43) lo que puede limitar la disponibilidad de micronutrientes (Fe, Zn, Cu y Mn) para los cultivos. De igual manera, el contenido de sodio implica que se deba aplicar CaSO_4 (1.62 t. ha^{-1}) para evitar problemas asociados a la presencia de ese elemento en el suelo. Con relación a los metales pesados evaluados solo se identificó que plomo y silicio rebasan los límites críticos. Las dosis de fertilización generadas con base en el análisis de agua y suelo para los cultivos de maíz (10 t. ha^{-1}) y brócoli (25 t. ha^{-1}) fueron

de N-P₂O₅-K₂O-Ca-Mg-S(SO₄), 00-75-00-00-00-00 y 00-105-56-00-00-15, para los mismos nutrientes, respectivamente.

Croquis de los sitios de muestreo de suelos y aguas del ejido San Mateo Ayecac



Fuente. Proyección cartográfica INEGI Landsat/Copernicus en Google Earth (septiembre 2021)

Recomendaciones de fertilización para cultivos en el Ejido de San Mateo Ayecac, Tlaxcala; con base en el análisis de suelo y agua residual del río Atoyac.

Cultivo	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn	Cu	B
		kg.ha ⁻¹										
Maíz	10	218	100	0	0	0	0	0	1.5	0.5	0	0.2
Brócoli	20	298	120	52	0	0	19	0	3.0	1.0	0	0.4
Lechuga	20	52	50	0	0	0	0	0	1.0	0.2	0	0
Tomate de cáscara	15	32	80	0	0	0	0	0	1.0	0.2	0	0

Elaboró: Juan José Castellón Gómez

Sección III. Dimensionamiento político, económico y tecnológico

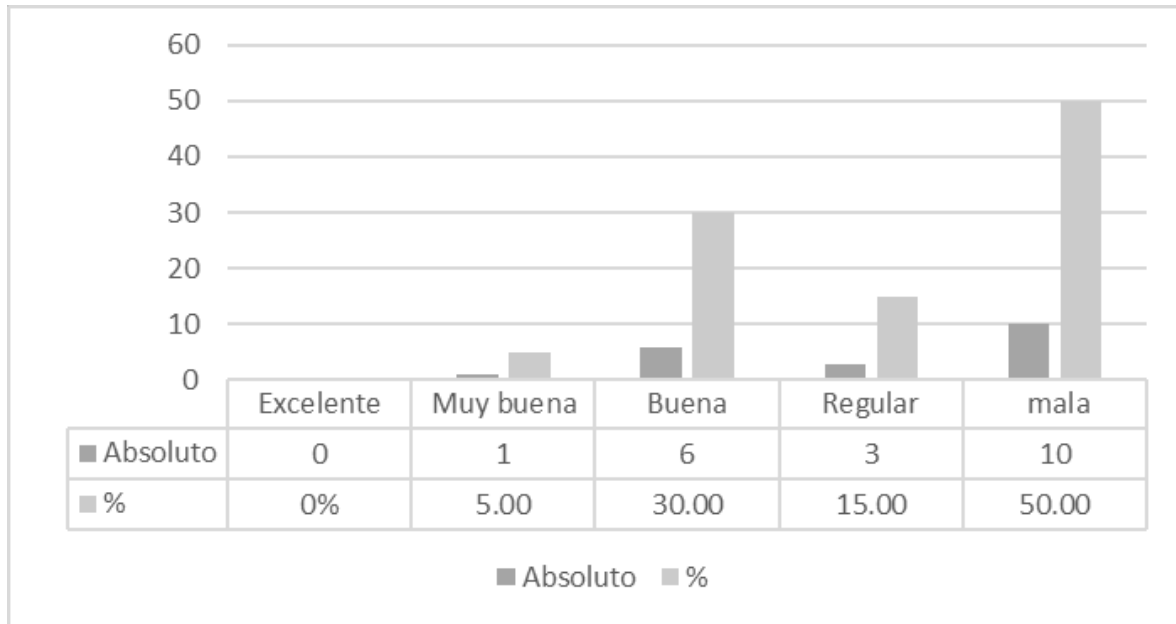
Capítulo 6. Percepción y prácticas de agentes sociales en torno a la contaminación del Río Atoyac en Tepetitla de Lardizábal

Wilfrido Gutiérrez Ortiz (UPTx)

En el Capítulo 6 se dimensiona políticamente la contaminación del río Atoyac en el municipio de Tepetitla de Lardizábal y tiene como objetivo caracterizar las prácticas sociales de los agentes que en el contexto de una estructura tanto formal como informal, y disponiendo de recursos de autoridad y económicos, han coadyuvado de manera voluntaria o involuntaria a la producción y reproducción de la problemática de la contaminación del agua del río Atoyac en Tepetitla de Lardizábal, apoyándose en conceptos de la teoría de la estructuración de Antony Giddens como estructura y acción, entre otros. Para lo anterior se entrevistaron a personas que por ocupar o haber ocupado un cargo en sector gubernamental, social o económico y haber contado con la capacidad de hacer una diferencia al respecto, se consideran agentes sociales.

De esta manera, se obtuvieron y se muestran la percepción y postura de ellos sobre los orígenes, la gravedad y las principales fuentes de contaminación del río, así como los elementos normativos y códigos de significación que prevalecieron en el ejercicio de sus funciones y su interacción, y que tuvieron una marcada influencia en el grado de coordinación interinstitucional logrado, la disponibilidad de recursos económicos y la vinculación y concertación con los sectores económico y social en la búsqueda de una solución a este problema, agregando así desde la dimensión política, nuevos factores a ser considerados en un análisis más integral sobre el tema de estudio.

Coordinación interinstitucional entre los diferentes órdenes de gobierno



Nota. Elaboración propia con resultados de entrevista aplicada a ex-servidores públicos de los 3 órdenes de gobierno en el período enero-julio de 2021.

Capítulo 7. Propuesta de un “Modelo integral de restauración sanitaria y ecológica”

Fernando Baquero Herrera (CIDETEQ)

Víctor Hugo Rodríguez Obregón (CIDETEQ)

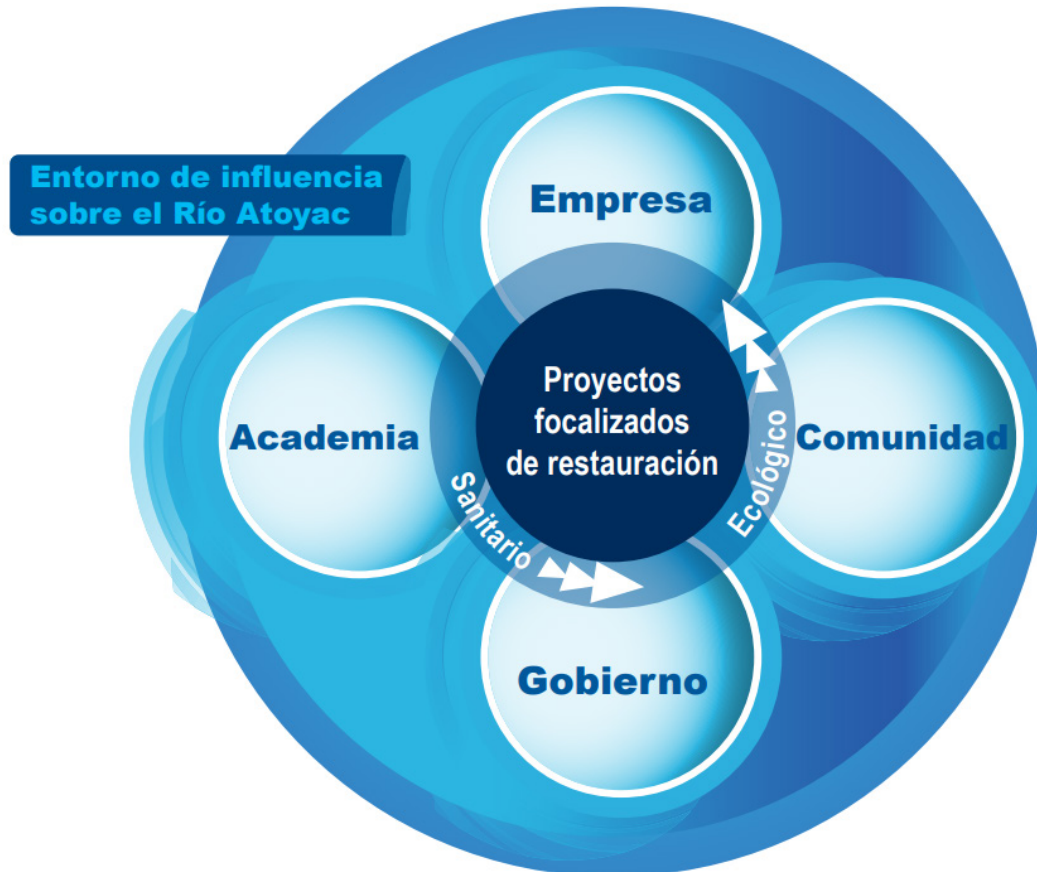
Herminia Soledad Cerda y Meneses (CIQA)

Debido a que la acción política está íntimamente relacionada a la acción económica y la comunidad, en el Capítulo 7 se aborda este tema. En este caso, se realizó la propuesta de un modelo integral de restauración sanitaria y ecológica de la comunidad de San Mateo Ayecac, haciendo un diagnóstico de la situación actual, en relación con su quehacer que deteriora en alguna medida al río Atoyac y, a su vez, los efectos indeseados generados para la comunidad. Se integraron diferentes elementos teóricos conceptuales, en donde se incluyó una revisión del marco jurídico, que determinó su evolución para fortalecer la articulación entre la producción y la generación de riqueza comunitaria y la protección al ambiente como contraparte. Dichos elementos dieron certeza y transparencia a la construcción del modelo integral de restauración sanitaria y ecológica propuesto.

El “Modelo de restauración sanitaria y ecológica” derivado para las zonas afectadas, está fundamentado en la participación y gestión de la comunidad, al establecer en la reflexión sus propias prioridades. El desarrollo centrado en los individuos, se transforma en el motor para la gestión de los nuevos procesos, que también integran a la empresa, la académica y las diferentes instancias de gobierno, a través de la generación de proyectos de carácter sanitario y ecológico, que focalicen los esfuerzos e inversiones privada y pública. Finalmente se despliega el modelo operativo de restauración sanitaria y ecológica, situado dentro de un ciclo de mejora continua, que pudiera adaptarse según las particularidades de la zona intervenida. Para ello, la identificación clara y sencilla de la problemática particular de cada comunidad ribereña, la no dispersión de metas, recursos para los proyectos de restauración priorizados y consensuados entre

los diferentes actores, con el apoyo un comité de transparencia y vigilancia ciudadana, permitirá alcanzar metas graduales que contribuirán al saneamiento del río, sin dejar de lado los aspectos ambientales, sustentables y de desarrollo económico.

Componentes fundamentales del “Modelo integral de restauración sanitaria y ecológica”



Fuente: elaboración propia.

Capítulo 8. Alternativas tecnológicas potenciales para la regeneración de la cuenca Alto Atoyac

S. Alejandro Lozano Morales (Investigador por México CONACYT/CIQA)

Raúl Herrera Mendoza (CIQA)

Gregorio Cadenas Pliego (CIQA)

Yolanda Reyes Vidal (Investigadora por México CONACYT/CIDETEQ)

Fernando Felipe Rivera (Investigador por México CONACYT/CIDETEQ)

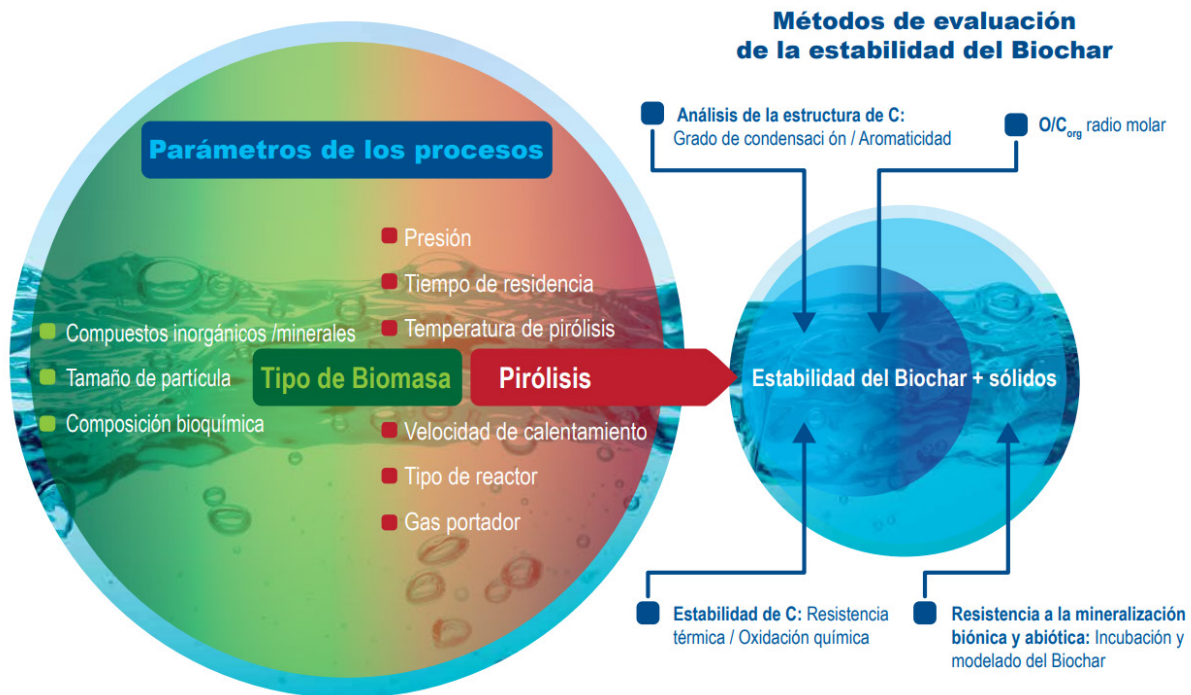
Christian Javier Cabello Alvarado (Investigador por México
CONACYT/CIQA/CITLAX)

En el Capítulo 8 se hace un aporte de los posibles medios técnicos para remediar el agua del río Atoyac. Uno de los sistemas más sofocados y que resulta de vital importancia para mantener el equilibrio ecológico-ambiental es lo concerniente al sistema hídrico global, el cual, ha sido devastado hasta alcanzar índices de contaminación preocupantes. Como respuesta a esta situación, recientemente, se han propuesto alternativas tecnológicas bastante prometedoras mediante la implementación de sistemas inorgánicos a base de procesos electroquímicos, adsorción, oxidación y foto-oxidación; en donde la nanotecnología propone un enfoque desde el diseño, preparación y caracterización de nanomateriales combinados con sistemas híbridos en procesos de adsorción físico/química y óxido-reducción química, principalmente. Sin embargo, existe el riesgo latente del uso inapropiado de nanomateriales. En consecuencia, uno de los grandes retos a vencer para poder hacer uso del potencial de los nanomateriales, en procesos que coadyuven contribuir a la regeneración del agua, es crear medios, sistemas y/o arreglos que funcionen como soporte de las nanopartículas; es decir, obtener matrices en las cuales se logren retener parcial o permanentemente a las nanoestructuras.

En este sentido, una de las propuestas más convincentes es el uso de nanomateriales combinados con sistemas híbridos en procesos sinérgicos de adsorción físico-química y

óxido-reducción química; esto es, la aplicación de nanopartículas cerámicas, metálicas, magnéticas, carbonosas, etc., con materiales empleados como soportes hechos a base de compuestos carbonosos (biochar) y/o fibras poliméricas, y/o arcillas modificadas, entre otros materiales de soporte, acoplados a sistemas de remoción. Por ende, se describen solo algunas de las tecnologías más prometedoras a nivel global para la regeneración de agua, mediante compuestos a base de materiales de soporte con nanopartículas de diversas composiciones químicas. Las actividades que proponen este tipo de soluciones tecnológicas resultan alentadoras; que, si bien son complejas, esto no debería minimizar su aplicación potencial.

Parámetros a considerar para la preparación de *biochars*



Fuente: Después de Chen, B., Chen, Z. & Lv, S. (2011). A novel magnetic biochar efficiently sorbs organic pollutants and phosphate. *Bioresource Technology*, 102(2), 716-723. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.067>.

Sección IV. La propuesta de abordaje

Capítulo 9. La contaminación del río Atoyac como problema perverso (*wicked problem*)

Andrés María Ramírez (COLTLAX)

Finalmente, en el Capítulo 9 debido a la complejidad para atender la problemática del río Atoyac se hace una propuesta de cómo abordarla. Usualmente, el procedimiento ordenado para realizar una investigación que considera un problema a resolver con el método científico, tiene etapas claramente identificadas, ya sea en revistas científicas o tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Las investigaciones científicas realizadas respecto al problema de la contaminación del río Atoyac en Tlaxcala-Puebla siguen un patrón metodológico similar a lo mencionado para artículos o tesis de grado. Por otro lado, hace alrededor de 50 años, Rittel y Webber (1973), en su artículo ya clásico, y cuya relevancia sigue vigente “Dilemma’s in a General Theory of Planning”, introdujeron el concepto de “*wicked problems*” como problemas que podrían llamarse “perversos”, en el sentido de que estaban mal definidos y nunca podrían resolverse, dado que la ciencia se ha desarrollado, de manera general, para tratar problemas “domesticados” o predecibles. Más aún, se afirma que *wicked problems* es un concepto, un proceso y un marco que puede utilizarse para identificar las razones de las tensiones, contradicciones y las paradojas en la teoría, la investigación y la práctica.

El objetivo de este ensayo fue documentar que el problema de contaminación del río Atoyac en su frontera Tlaxcala-Puebla es un problema perverso (*wicked problem*). Para ello, por un lado, se eligieron 29 publicaciones que se relacionaran con la contaminación del río Atoyac, para corroborar el uso del método científico en su metodología. Por otro lado, se consideraron los resultados obtenidos por una investigación reciente del árbol de problemas desarrollado por un grupo de científicos y académicos sin la participación de otros actores involucrados (Comunidad). Se revisaron fuentes secundarias que definen y describen a los problemas perversos y se hizo la relación con lo encontrado por los autores

mencionados. Se encontraron dos características del problema de contaminación del río Atoyac que coinciden con las de los “problemas perversos” reportados en la literatura (no se considera como requisito que un *wicked problem* tenga las 10 características mencionadas por Rittel y Webber). Se concluyó que en tanto no se aborde holísticamente esa problemática y no se supere el paradigma de la investigación científica lineal de la ciencia normal (para la resolución de problemas, se recopilan datos, se analizan, se formulan soluciones y se implementan) y se le reconozca como un *problema perverso*, ella tenderá a agravarse cada vez más.

Rittel, H.W.J., & Webber, M.M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, 4 (2), 155–169

Palabras clave: río Atoyac, contaminación, romper paradigma, epistemología lineal, sustentabilidad.

Problemas a resolver en las dimensiones de cuatro poderes

PODER DEL GOBIERNO

PODER DE LAS INDUSTRIAS



PODER DE LA COMUNIDAD

PODER DEL MEDIO AMBIENTE

Fuente: Cattán, E. (Coord.) (2012). *Regeneración de la cuenca del Río Atoyac Puebla. Reporte inicial*. Taller13 Arquitectura Regenerativa y Regenesis Group. https://issuu.com/taller13/docs/libro_atoyac__baja

Dimensiones de los problemas a resolver



Fuente: Con resultados de María, R. A., Ávila, O. C. A., Luna, G. R., Hernández-Rodríguez, M. L., Lozano, M. S. A., Baquero, H. F. & Gutiérrez, O.W. (2021). Una visión holística de la problemática del río Atoyac en la frontera Puebla-Tlaxcala. En María, R. A., Ramírez, V. B. & Zagoya, M. J. (Coords.) Ideas y experiencias sobre medio ambiente y sustentabilidad en el México neoliberal. El Colegio de Tlaxcala, A.C. En prensa.

Atoyac somos Todos
Todos somos Atoyac

La edición de esta obra estuvo a cargo de Arturo Juárez Martínez,
Mary Carmen Paredes Díaz y Rafael Cruz Sánchez.

Se terminó de imprimir en diciembre 2021, en los talleres de:
TRES DISEÑO, 13 Poniente 502 - B. Col. Centro Histórico
C.P. 72000 Puebla, Puebla, México.
Tel.: 01 (222) 242 0267

Impreso en papel bond ahuesado de 75 grs. Impresión offset.
Se emplearon tipos Times New Roman 11, 12, 13 15 y 25 puntos.

Tiraje de 250 ejemplares.

Diciembre
2021