

El costo de la contaminación en la Cuenca del Alto Atoyac: una revisión sistemática de literatura

The cost of pollution in the Cuenca del Alto Atoyac: a systematic review of the literature

María Eugenia Ibararán Viniegra

Romeo Alberto Saldaña Vázquez

Tamara Pérez García

Correspondencia: mariaeugenia.ibarraran@iberopuebla.mx
Investigadora. Universidad Iberoamericana Puebla. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6099-7242>

Correspondencia: romeoalberto.saldana@iberopuebla.mx
Académico de Tiempo Completo. Universidad Iberoamericana Puebla

Correspondencia: tamperezg@gmail.com
Asistente de Investigación. Universidad Iberoamericana Puebla

Fecha de recepción:

17-diciembre-2021

Fecha de aceptación:

06-junio-2022

Resumen

El Atoyac se encuentra dentro de los dos ríos más contaminados en México. La calidad del agua en la Cuenca del Alto Atoyac (CAA) ha sido deteriorada por las descargas industriales y municipales, así como por los efluentes de los habitantes locales, ya que todas estas cuentan con poco o nulo tratamiento, causando afectaciones a la salud, a la producción, a los ecosistemas y al valor de los inmuebles cercanos. En este artículo se realiza una revisión sistemática de literatura, así como un mapeo geográfico de los estudios que han evaluado los costos que causa la contaminación en diferentes sectores y localidades de la CAA. Inicialmente se encontraron 358 estudios, de los cuales 17 fueron de particular interés. A partir de ellos se tomaron en consideración los que estimaron el costo de la contaminación a través de diferentes métodos de valoración como los costos evitados, precios hedónicos y valoración contingente. De todos los estudios revisados, solo 10 contenían esta información. Los costos varían de menos de un millón a más de \$16 millones de dólares por año, dependiendo el sector. La agricultura, la industria y el turismo tuvieron los costos más altos. Este análisis es el primero de su tipo en la CAA y pone en evidencia la necesidad de investigar más a fondo los costos de la contaminación en toda la cuenca. Los resultados pueden ayudar a encontrar nuevas líneas de investigación en la región.

Palabras clave: sbiodiversidad, valoración económica, salud humana, servicios ecosistémicos, contaminación de agua, Puebla, México.

Abstract

The Atoyac is located within the two most polluted rivers in Mexico. The quality of water in the Upper Atoyac Basin (UAB) has been deteriorated by industrial and municipal discharges, as well as by the effluents of the local inhabitants, since all these have little or no treatment, causing effects on health, production, ecosystems and the value of nearby properties. This article makes a systematic literature review as well as a geographic mapping of the costs caused by pollution in different sectors and localities of the UAB. Initially 358 studies were found, of which 17 were of particular interest. From them several studies were taken into consideration, particularly those that estimated the cost of pollution through different valuation methods such as avoided costs, hedonic prices, and contingent valuation. Of all the studies reviewed, only 10 contained this information. Costs range from less than one million to more than \$16 million dollars per year, depending on the sector. Agriculture, industry, and tourism had the highest costs. This analysis is the first of its kind in the UAB and highlights the need to further investigate the costs of pollution across the basin. The results can help to find new lines of research in the region.

Key words: biodiversity, economic valuation, human health, ecosystem services, water pollution, Puebla, Mexico.

Introducción

La Cuenca del Ato Atoyac (CAA) se localiza en los estados de Puebla y Tlaxcala en México. Está considerada una de las dos cuencas más contaminadas del país (Comisión Nacional del Agua, 2016; Diario Oficial de la Federación, 2011; Montero et al., 2006; Sandoval et al., 2009). Las principales causas de su contaminación son las aguas residuales municipales e industriales que generalmente acaban en el río Atoyac y sus tributarios, Zahuapan y Alseseca, sin haber pasado por algún tratamiento (Diario Oficial de la Federación, 2011; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Comisión Nacional del Agua, 2005). Esto ha causado preocupación entre los más de dos millones de habitantes de la cuenca, ya que es una amenaza a su seguridad, a su salud y a sus medios de vida (Comisión Nacional de los Derechos Humanos [CNDH], 2017).

La contaminación, y especialmente la contaminación del agua, amenaza la calidad del ambiente y por lo tanto los ecosistemas y la salud humana. Esto afecta la productividad, tanto de los ecosistemas como de la economía y reduce las fuentes locales de bienestar. El deterioro de los hábitats debido a la contaminación afecta de manera negativa el crecimiento económico sustentable y, por lo tanto, el desarrollo social. En las comunidades, la contaminación desencadena problemas de salud severos como cáncer, leucemia y problemas de riñón, entre otros. Finalmente, la contaminación también afecta el valor de los inmuebles que se encuentran dentro o cerca del área contaminada.

Adicional al deterioro del agua, el consumo de este líquido en la cuenca ha incrementado considerablemente debido al uso doméstico, agrario e industrial, llevando a una sobreexplotación de los mantos acuíferos (Bravo-Cadena et al., 2021; Pérez et al., 2018). El crecimiento urbano ha provocado una mayor demanda de agua y por consiguiente una mayor salida de aguas residuales (Rodríguez-Tapia, Morales-Novelo y Zavala-Vargas, 2012). Además, la diseminación de poblaciones rurales, causada por el mismo crecimiento urbano, ha dificultado cada vez más el suministro y saneamiento del agua, por lo que el agua para riego está muy contaminada (Pérez Castresana et al., 2019).

En la literatura hay una gran cantidad de estudios sobre cuencas hídricas. La mayoría caracteriza el tipo de contaminantes, sus orígenes y sus efectos. Solo unos pocos analizan el costo que la contaminación causa, y son estos precisamente los considerados en esta investigación. El objetivo de este artículo es hacer una revisión sistemática de literatura y

un mapeo geográfico del costo económico del deterioro hídrico en la CAA. Se buscaron costos asociados a enfermedades y pérdidas en las actividades económicas, así como en el valor de las propiedades y los costos de saneamiento. Este es solo un subconjunto de los valores totales que se pueden calcular para la región; sin embargo, da un panorama general de la magnitud de las pérdidas económicas y los costos resultantes de la contaminación. Al hacerlo, se destacan los valores monetarios asociados a la contaminación, para que la sociedad en general y los encargados de las políticas públicas en concreto puedan entender la magnitud de los impactos de tal deterioro.

Se encontraron pocos estudios que estiman el valor monetario de la contaminación en diferentes partes de la cuenca, particularmente en lugares cercanos al río. Se revisaron los estudios que ya se han realizado para compararlos entre ellos. De este análisis se obtuvo un rango de valores por los costos producidos por el deterioro de la cuenca. El artículo está dividido en cuatro secciones: en la primera se describe el área de estudio; en la segunda se establece el marco teórico del análisis y se describe la información encontrada para la cuenca, la metodología utilizada y su relación con la literatura de valoración ambiental; en la tercera se presenta el marco para la revisión sistemática y sus resultados; y la última sección aborda algunas conclusiones y sugerencias para investigaciones posteriores.

1. Área de estudio

La Cuenca del Alto Atoyac se localiza en la parte central de México, como se muestra en la Figura 1. Abarca 69 municipios en total, 47 pertenecientes a Tlaxcala y 22 a Puebla. Los afluentes más relevantes de la cuenca son los ríos Zahuapan, el Atoyac y el Alseseca, los cuales terminan en la Presa de Valsequillo, ubicada al sur de la ciudad de Puebla.

Figura 1. Cuenca del Alto Atoyac

Fuente: elaboración propia.

Con cerca de 3 millones de habitantes, el Área Metropolitana Puebla-Tlaxcala es la cuarta más grande a nivel nacional en términos de población, causando gran presión sobre los recursos hídricos (Comisión Nacional del Agua, 2015, 2016; Diario Oficial de la Federación, 2010; Rodríguez y Beristaín, 2014). Adicionalmente, existe una alta persistencia de la toxicidad del agua, afectando a las comunidades (Martínez-Tavera et al., 2017; Pérez et al., 2018). El agua de esta cuenca desemboca en la Presa Manuel Ávila Camacho, la cual es después utilizada para irrigar el distrito de riego Valsequillo, antes de que siga su curso hacia otros estados de la República. Esto representa un riesgo para la calidad alimentaria por contaminantes orgánicos y metales pesados que lleva (Rodríguez-Espinosa et al., 2018). Las concentraciones de contaminantes varían dependiendo de la temporada, así durante el periodo de sequía la contaminación es mayor que durante el periodo de lluvias (CNDH, 2017; Martínez-Tavera et al., 2017; Pérez et al., 2019).

A pesar de que existe una gran cantidad de estudios, tanto locales como nacionales, para diagnosticar la situación de la contaminación hídrica, así como muchos programas del gobierno y dinero invertido para sanear la cuenca, la contaminación no se ha reducido y sigue siendo un problema urgente a resolver. Existen soluciones técnicas, pero el mayor problema parece ser la gobernanza del agua. Incluso a pesar de que se han hecho reformas regulatorias para esta problemática desde el 2000, los reportes indican que no ha habido cambios significativos tanto a nivel regional como nacional (Bressers y Flores, 2015; Casiano,

Bresser y Gleason, 2017; Ocampo-Fletes, Parra-Inzunza y Ruiz-Barbosa, 2018; Rodríguez y Beristáin, 2014).

2. Marco de análisis

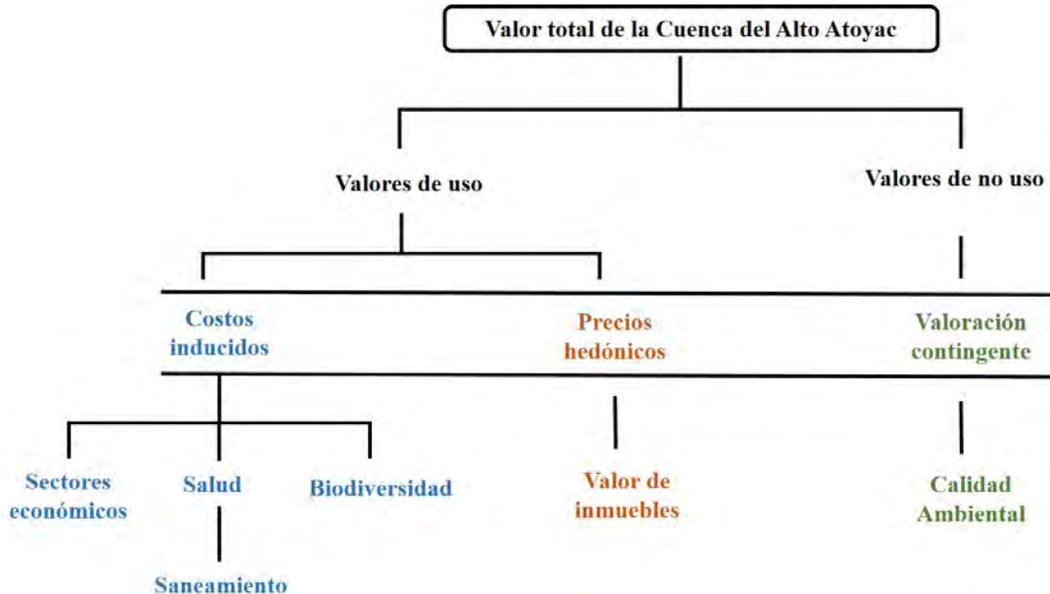
A continuación, se describe el marco de análisis que se utilizó para este estudio, la literatura encontrada y los criterios de selección basados en dicho marco. Posteriormente, usando esta literatura, se muestra el análisis de valoración.

El valor económico del ambiente se obtiene a partir de conceptos y herramientas de la economía ambiental. Existen varios métodos para darle valor al medio ambiente o a los daños que lo afectan. Sin embargo, los valores son difíciles de cuantificar porque usualmente no hay mercados donde se intercambien bienes ambientales y, por lo tanto, tampoco hay precios. Por esta razón, en este estudio se cuantificó el valor económico causado por la contaminación, clasificando los estudios revisados a partir de valores ambientales de uso y no uso. Los valores de uso pueden ser identificados por un beneficio a través de consumo directo o indirecto del bien o de su uso en procesos de producción. Los valores de no uso se derivan del simple hecho de que existe cierto bien o servicio ambiental, debido a que pueden ser valiosos para otras generaciones o simplemente porque saber que están ahí proporciona alegría. El valor de la existencia, por ejemplo, es un valor de no uso. Juntos, tanto los valores de uso como los de no uso, dan el valor total de un bien o servicio ambiental (Bastien-Olvera y Moore, 2021; Field y Field, 2003; Hearne, 1996; Knowler, 2005; Lara-Pulido, Guevara-Sanginés y Martelo, 2018; Pearce, Moran y Krug, 1999). Los valores de uso pueden ser determinados directamente preguntando a la gente cuánto estaría dispuesta a pagar por un cierto bien o servicio ambiental.

Este método de valoración directa se conoce como valoración contingente (Mitchell y Carson, 2013). Sin embargo, a veces el valor de los bienes y servicios ambientales se debe determinar indirectamente, viendo el gasto en bienes privados que pueden ser sustituidos o complementados con los bienes ambientales. Tales gastos pueden funcionar como aproximaciones al valor de los bienes ambientales. Se han desarrollado métodos de valoración para determinar estos valores. Cuando los bienes privados y ambientales son sustitutos se puede utilizar el método de costos evitados o de costos inducidos, según sea el caso. Cuando son complementarios, el método del costo de viaje puede ayudar a inferir el

valor del bien ambiental. Finalmente, cuando el valor de un bien ambiental es componente de un bien privado se puede utilizar el método de precios hedónicos (Azqueta, 2002; Dixon et al., 2013; Field y Field, 2003; Popa y Guillermin, 2017). Por otro lado, los valores de uso también pueden obtenerse utilizando el método de valoración contingente descrito anteriormente. La Figura 2 presenta el marco de análisis para el área de estudio. La literatura revisada para la CAA utiliza mayormente valores de uso. Se encontraron estudios sobre el efecto de la contaminación sobre la salud, en diferentes sectores económicos, sobre el precio de los inmuebles y en los ecosistemas. Dicha figura muestra los métodos de valoración utilizados en cada caso.

Figura 2. Marco de valoración para la Cuenca del Alto Atoyac



Fuente: elaboración propia.

Tener una buena calidad del agua en las cuencas hidrográficas como la del Alto Atoyac es bastante complejo, ya que depende de diversos factores que van desde el estado de conservación de los ecosistemas como los bosques y el cuidado ambiental que ofrecen las grandes áreas industriales y urbanas, hasta la protección de los ecosistemas por parte de las autoridades a través de la regulación y aplicación de los programas de cuidado del ambiente. La gobernanza de la cuenca es crucial, ya que la interacción constructiva de todas las partes puede conducir a un cierto nivel de seguridad hídrica, definido por las Naciones Unidas como

la capacidad de una población de salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua con una calidad aceptable para poder sustentar los medios de vida, el desarrollo humano y socioeconómico, para garantizar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y contra desastres hidrometeorológicos, y para preservar ecosistemas en un ambiente de paz y estabilidad política. (UN Water, 2013)

El concepto de seguridad hídrica, por lo tanto, sintetiza la calidad de la interacción de todas las partes dentro de la cuenca.

En general, la calidad ambiental de las cuencas hidrológicas es un bien público, donde no hay rivalidad en el consumo, ni tampoco exclusión. Su deterioro, en cambio, es un mal público, dado que tampoco hay rivalidad en el consumo y es muy costoso excluirse de los daños que esta contaminación causa. Precisamente estas dos características de *mal público* son las que hacen que la contaminación de la cuenca sea tan perjudicial para las comunidades que viven ahí: la contaminación puede afectar a todos, independientemente de que otros se vean afectados, y es muy costoso o prácticamente imposible protegerse de ella (Atkinson y Stiglitz, 2015; Stiglitz y Rosengard, 2015). A pesar de que estos efectos negativos han sido documentados e incluso utilizados para juicios legales en contra de los causantes de la contaminación y funcionarios gubernamentales que lo solapan, tales juicios solamente han sido basados en el efecto que la contaminación produce generalmente en la salud humana (CNDH, 2017). Han habido algunos esfuerzos para cuantificar, en términos monetarios, los efectos del deterioro en la productividad especialmente de la agricultura, la ganadería, la pesca y en el turismo, o de los costos inducidos para las comunidades que deben encontrar otras fuentes de agua o cuyo valor de la propiedad se colapsa (Rodríguez-Tapia, Morales-Novelo y Zavala-Vargas, 2012).

Por otro lado, estos estudios han cubierto únicamente segmentos de la cuenca, usualmente en transectos a lo largo del río. Hay partes de la cuenca para las que abundan los estudios como las subcuencas del Atoyac y el Zahuapan (de Oca y Ramirez-Fuentes, 2019; Jiménez y Hernández, 2011; (Rodríguez-Tapia, Morales-Novelo y Zavala-Vargas, 2012), pero existen otras regiones, como la subcuenca del Alseseca, que han sido prácticamente ignoradas. Se requiere una integración completa y sistemática de la información existente para abordar los costos totales de toda el área e identificar dónde habría que hacer más estudios.

3. Protocolo de búsqueda de literatura y resultados

La revisión de la literatura se realizó a través de Google Scholar, debido a que este buscador incluye tanto estudios publicados en revistas y tesis, así como reportes de proyectos (“literatura gris”) haciendo la búsqueda más amplia (Haddaway et al., 2015). Las palabras clave utilizadas fueron “valoración económica AND río Atoyac” (fecha de búsqueda: 7 mayo, 2020), “daños por contaminación AND río Atoyac” (fecha de búsqueda: 11 mayo, 2020), “economic value AND Atoyac river” (fecha de búsqueda: 11 mayo, 2020) y “pollution damage AND Atoyac river” (fecha de búsqueda: 12 mayo, 2020). Estas palabras fueron buscadas en el título y en el cuerpo de los documentos. No hubo ninguna restricción en cuanto al año de publicación. Adicionalmente, hubo una búsqueda manual en el repositorio documental del Instituto de Investigaciones en Medio Ambiente Xabier Gorostiaga (IIMA) de la Universidad Iberoamericana Puebla. Este repositorio fue creado incluyendo estudios encontrados a lo largo de los últimos cinco años en revistas, informes, tesis y estudios gubernamentales (fecha de búsqueda: 19 mayo, 2020). Muchos de los documentos del repositorio fueron proporcionados por la organización no gubernamental Dale la Cara al Atoyac. También fueron incluidas algunas tesis dirigidas por investigadores del IIMA.

De la revisión mencionada, se encontraron 358 estudios, y clasificando los temas de los estudios revisados se creó una nube de palabras (ver Figura 3). La mayoría de ellas abordan temas sobre calidad el agua, salud, contaminación, diagnósticos de la región, así como tecnologías disponibles para tratamiento de agua, pero como se muestra en la nube, la palabra “valoración” es poco visible, debido a que hay pocos estudios de ese tema.

Figura 3. Temas encontrados con mayor frecuencia en los estudios revisados



Fuente: elaboración propia.

Criterio de selección de estudios

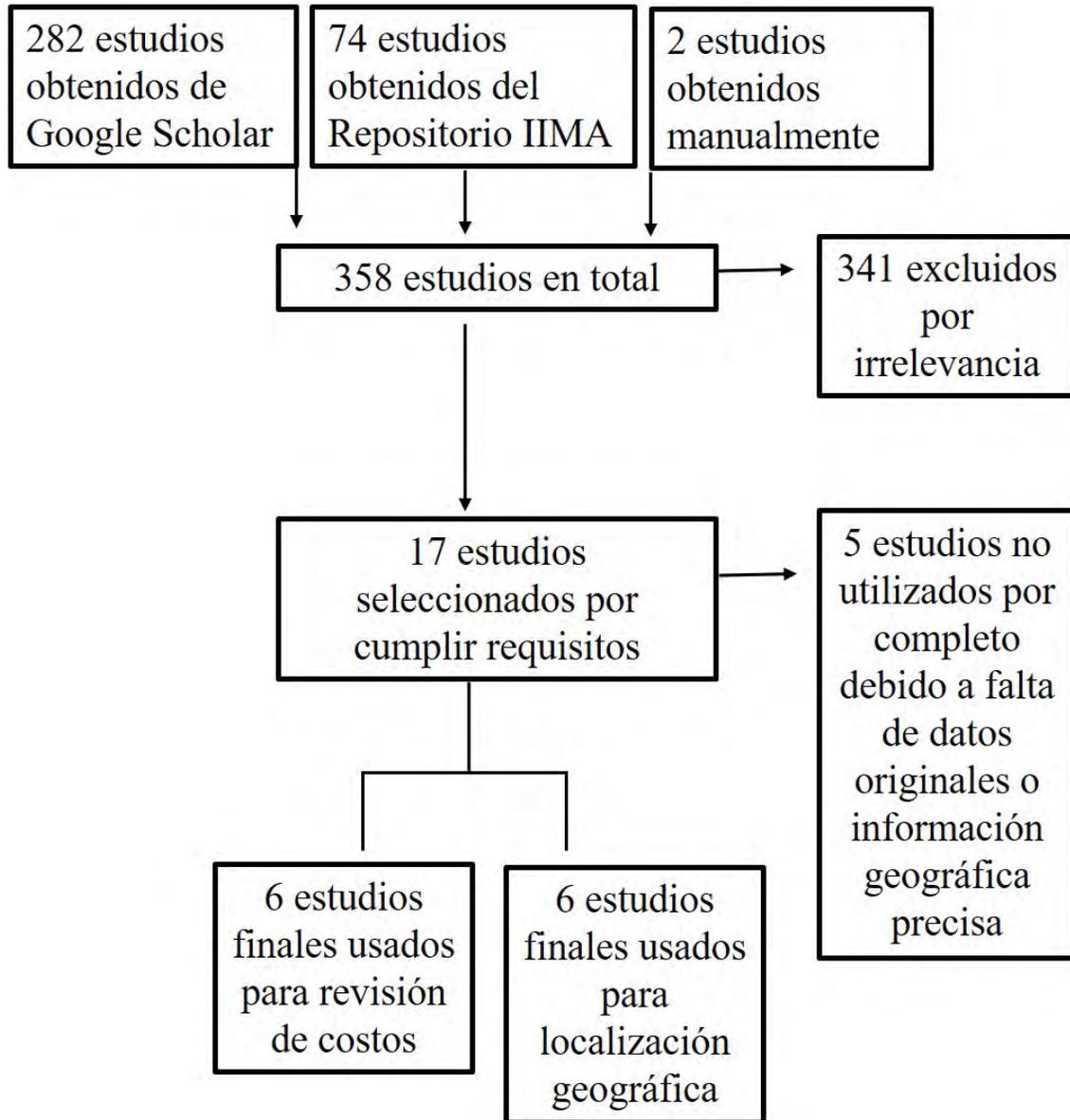
Una vez que los documentos fueron obtenidos, se revisó tanto el título como el resumen para asegurar que siguieran los requerimientos, es decir, que tuvieran información puntual sobre valoración económica asociada a la contaminación de la CAA. El criterio de inclusión para seleccionar estos documentos fue: 1) que los estudios se llevaran a cabo en la CAA; 2) que contuvieran una valoración monetaria de los efectos de la contaminación de la CAA; y 3) que tuvieran fuentes de datos originales, es decir que no estuvieran basados en los mismos datos usados en otros estudios, esto para evitar duplicidad de fuentes de información.

Proceso de búsqueda y estudios utilizados

Los estudios de valoración económica sobre los efectos de la contaminación del río Atoyac son escasos. La Figura 4 muestra el diagrama de flujo del proceso de búsqueda de acuerdo a la convención PRISMA para la revisión sistemática de literatura y meta-análisis (Urrútia y Bonfill, 2010). De los 17 estudios identificados, solo 6 contenían los costos de la contaminación. Los datos que utilizan fueron recolectados en 2005, 2007 y 2009 principalmente (ver Tabla 1). Los estudios identificados con los números del 1 a 6, en la

Tabla 1, contenían cálculos transparentes del costo de la contaminación; mientras que los estudios identificados con los números del 5 a 10 tenían la ubicación geográfica de los costos. Finalmente, los estudios identificados con los números 5 y 6 tienen costos y ubicaciones.

Figura 4. Proceso de búsqueda y resultados



Fuente: elaboración propia.

La Tabla 1 enlista los detalles de cada uno de los estudios seleccionados. Indica también si se obtienen valores de uso o de no uso, así como los métodos de valoración empleados descritos en la Figura 2.

Tabla 1. Estudios seleccionados

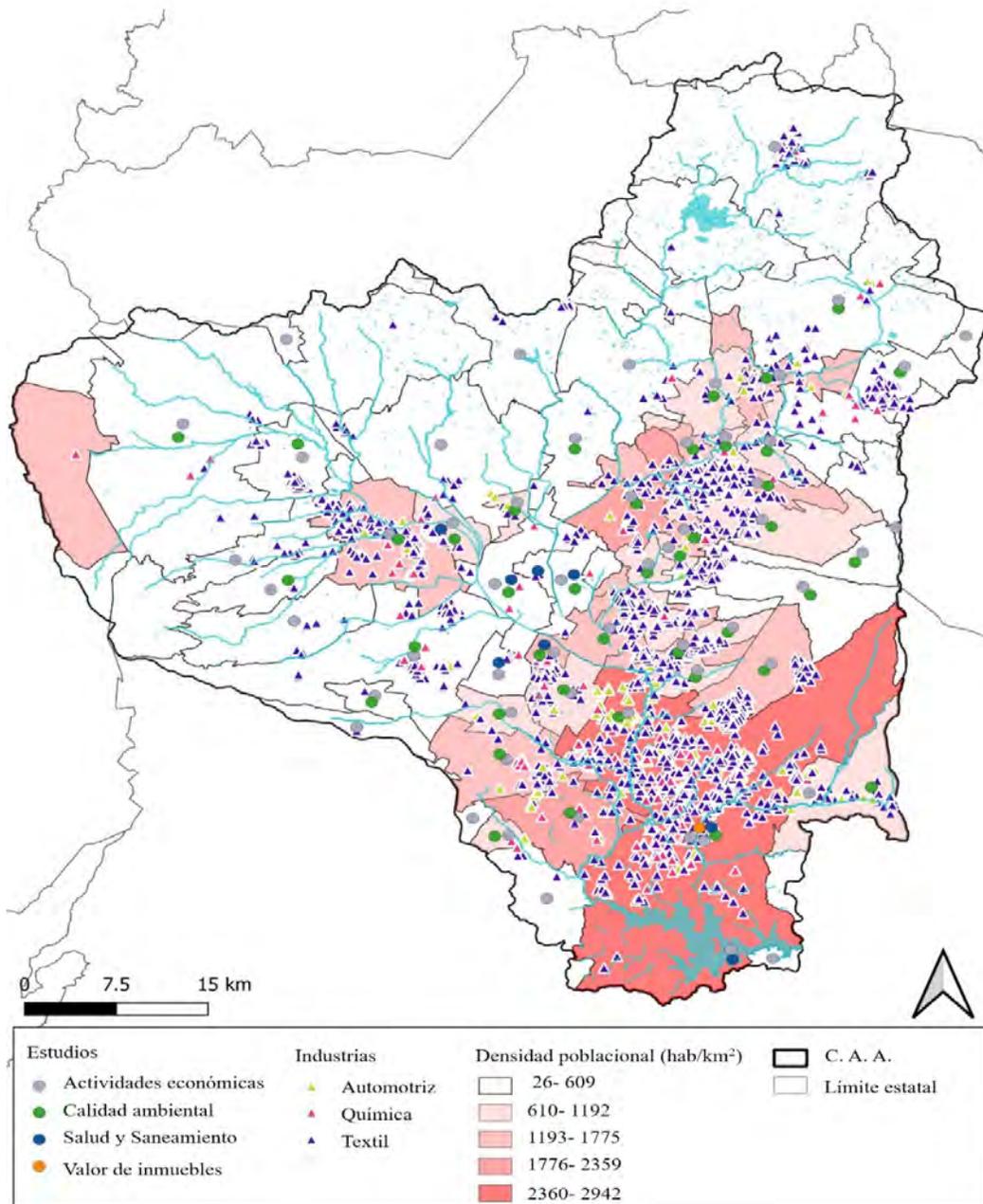
ID	Autor, año de publicación	Tipo de publicación	Año de colecta de datos	Valor estimado		Método
				Uso	No uso	
1	Saldívar, 2007	Reporte	2007	Sectores económicos Salud Biodiversidad		Costos inducidos
2	Saldívar y Olivera, 2011	Capítulo de libro	2007	Salud Biodiversidad		Costos inducido
3	Rodríguez-Tapia et al., 2012b	Artículo de revista	2005	Salud Sectores económicos		Costos inducidos
4	Soto, 2013	Tesis de maestría	2009		Calidad ambiental	Valoración contingente
5	Aquino-Moreno et al., 2015	Reporte	2013	Salud		Costos inducidos
6	Soto, 2009	Reporte de Negocios	2009		Calidad ambiental	Valoración contingente
7	Gobierno del Estado de Puebla, 2010	Reporte de gobierno estatal	2009	Sectores económicos		Costos inducidos
					Calidad ambiental	Valoración contingente
8	Gómez et al., 2002	Reporte	2002	Sectores económicos		Costos inducidos
9	Sánchez et al., 2017	Reporte de gobierno municipal	2005	Valor de inmuebles		Precios hedónicos
			2009	Salud		Costos inducidos
			2013	Sectores económicos		
			2016		Calidad ambiental	Valoración contingente
10	Headley y Salas, 2019	Tesis de licenciatura	2016	Sectores económicos		Costos inducidos

Fuente: elaboración propia.

Localización

En un mapa se localizaron los estudios que tenían coordenadas geográficas. Estos están marcados con círculos de colores dependiendo el sector al que pertenecen, y ubicados en toda la región. Muchos estudios se hicieron simultáneamente en diversos sitios, es por esto que el número de estudios revisados y el número de localización en el mapa no coinciden. Los estudios identificados con los números 5, 8 y 9 en la Tabla 1, evalúan los costos de la contaminación en la salud y saneamiento; 7, 8, 9 y 10 los costos en actividades económicas; 9 el valor de inmuebles; 3, 6 y 7 analizan los costos del cambio de la calidad ambiental. Como se muestra en la Figura 5, la mayoría no cubren áreas densamente pobladas. Aquellos que se encuentran en áreas con baja densidad poblacional son los del sector primario y calidad ambiental. El mapa también muestra la distribución de las industrias, particularmente textiles, químicas y automotrices, que son las que más contaminan.

Figura 5. Áreas de muestreo, densidad poblacional y localización de industrias

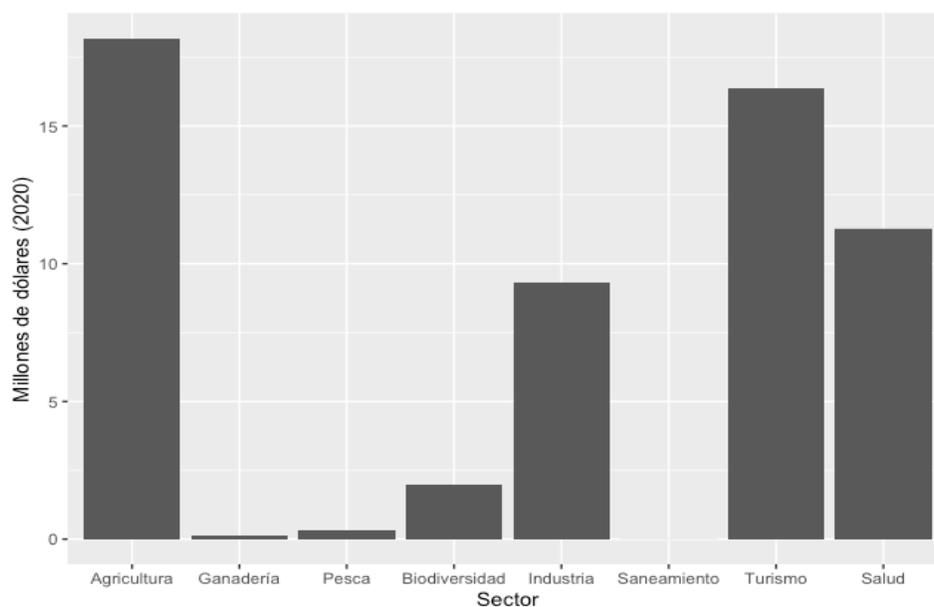


Fuente: elaboración propia, con base en el INEGI (2016; 2019) y el Sistema Estatal de Información del estado de Puebla (2015).

Se reportan dos tipos de costos por separado: primero, los costos inducidos, es decir, costos que se imponen por los gastos adicionales en que se debe incurrir. El valor más alto reportado pertenece al sector salud por \$10.1 millones de dólares por año, mientras que otros estudios

del mismo sector reportan valores de entre \$10 mil y \$10 millones de dólares por año. Otro de los costos más elevados fue el de la industria, que reporta un valor de \$9.3 millones, derivados de los costos por el tratamiento de aguas residuales. La agricultura y el turismo presentan costos de entre \$2 a \$16.1 millones de dólares por año. El daño a la biodiversidad tiene un costo de aproximadamente \$1.9 millones de dólares por año. Finalmente, la pesca, la ganadería y el saneamiento del río son los sectores que reportan costos menores. Es importante señalar que estas cifras son para un año en una ubicación y un sector concreto, y no representan el costo total para el sector en la cuenca o por un periodo mayor.

**Figura 6. Costos inducidos máximos reportados por sector
(en dólares constantes de 2020)**



Fuente: elaboración propia, con base en los costos deflactados presentados en el Anexo 1.

Los costos varían significativamente dependiendo el sector económico al que correspondan y otros incluso lo hacen dentro del mismo sector, por ejemplo, dentro del sector primario la ganadería y la pesca muestran un costo mucho menor en cuanto a la contaminación, comparados con la agricultura. Estos resultados podrían responder a las diferentes magnitudes relativas que tiene cada actividad en la cuenca y a la intensidad relativa del uso del agua. La producción de cultivos es la actividad que usa la mayor cantidad de agua en la CAA (Bravo-Cadena et al., 2021; Comisión Nacional del Agua, 2020; Comisión Nacional

para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2011). Por lo tanto, es posible inferir que el costo de la contaminación a esta actividad sea mayor que el causado a otros sectores.

Por otra parte, de manera sorpresiva, los costos de la contaminación sobre la salud humana son menores que los de otros sectores como el turismo y la agricultura. Esto se puede deber a tres posibles factores: 1) el escaso número de estudios realizados donde hay mayor contaminación del agua (norte de la cuenca); 2) que los estudios se realizaron en un pequeño número de comunidades con poca población; y 3) los efectos de la contaminación del agua no son inmediatos sino acumulativos, y por lo tanto la gente aún no percibía estos efectos.

Finalmente, los costos de contaminación sobre la calidad ambiental son estimados usualmente a través de métodos de valoración contingente y muestran la disposición individual a pagar para incrementar la calidad ambiental. Dado que en los estudios originales no se agregan para una comunidad o para un periodo de tiempo, no son directamente comparables a los de la Figura 6. Estos valores, obtenidos a través de una valoración contingente en los estudios 4, 6, 7 y 9 de la Tabla 1, están reportados en la Tabla 2. Todos muestran valores similares en la disposición a pagar de aproximadamente \$13.50 dólares por persona al bimestre.

Comentarios finales y e investigaciones futuras

Existen muchos estudios sobre la CAA, esto ha llevado a pensar en general que se ha sobre diagnosticado la zona y que ahora es el momento de actuar. En algunos campos esto puede ser verdad, pero no necesariamente para el caso de la valoración económica. Aunque algunos estudios estiman los costos que tiene la contaminación para diferentes sectores y en distintos puntos de la cuenca; esto no se ha hecho ni sistemática ni exhaustivamente.

Esta investigación ha hecho evidente lo que está disponible, es decir, estudios para sectores específicos y ubicaciones concretas por periodos cortos, de máximo un año de duración. En el caso de la agricultura y el turismo, los daños causados por la contaminación son del orden de \$16 millones de dólares en cada sector; sin embargo, los estudios determinan los costos en ciertas localidades, pero no permiten inferir el costo sectorial en la totalidad

de la cuenca. El diseño de estudios sectoriales para cubrir toda la cuenca durante varias décadas es fundamental.

En cuanto a los costos de la contaminación para el sector industrial, que rondan poco más de \$9 millones de dólares, solo se encontró un estudio y hace referencia al costo de instalar equipos para tratar sus propias aguas residuales; no queda claro que esta sea la mejor manera de medir los costos para este sector. Se podrían hacer otros estudios para los principales giros industriales de la región, reportando los costos de tratamiento de sus aguas residuales para la industria textil, la automotriz y algunas otras catalogadas dentro de las más contaminantes. Estos costos serían los verdaderos costos para el sector de contribuir a la limpieza de la cuenca.

La valoración económica de los costos de salud es particularmente importante, ya que debe centrarse en enfermedades crónicas, más que en enfermedades como la diarrea. Por eso el amplio rango entre menos de \$1 millón a más de \$10 millones de dólares. Centrarse en enfermedades crónicas seguramente incrementará el valor de estos costos, alcanzando el valor extremo observado en otro estudio. Eventualmente, al construir un análisis de costo-beneficio de distintas alternativas para reducir la contaminación en la cuenca, será importante integrar valores como los aquí presentados, pero tomando en cuenta las consideraciones indicadas. Los beneficios de reducir la contaminación pueden medirse a partir de los costos evitados a la salud que se derivarían de la reducción de las enfermedades crónicas en la cuenca, pero también de los aumentos en productividad de los diversos sectores económicos, por ejemplo.

Los costos que impone la contaminación a través de afectaciones a la biodiversidad y a la calidad ambiental se han estimado de dos maneras: a través de costos inducidos y de la valoración contingente, respectivamente. La forma en la que estos valores están reportados no es comparable, ya que una es un costo agregado y la otra es por individuo y por un periodo corto de tiempo. Haciendo algunos cálculos, este costo se ha determinado cerca a los \$2 millones de dólares. Los próximos estudios para determinar el costo de la contaminación para el medio ambiente, ya sea la biodiversidad o los ecosistemas, deben diseñarse cuidadosamente para producir resultados adecuados que luego se puedan sumar a los costos de otros sectores y, por lo tanto, obtener el valor presente neto de la reducción de la contaminación de la cuenca. Esto se podría lograr usando el marco teórico presentado del valor de los servicios ecosistémicos o las contribuciones que hace la naturaleza a las

personas (Díaz et al., 2018). Finalmente, la mayoría de los estudios solo cubren un año. Se deben realizar esfuerzos para estimar el costo de la contaminación en un mayor periodo de tiempo, para asegurarse de incluir los efectos acumulativos de la contaminación.

Como conclusión, pero también como una línea de investigación a seguir, es necesario diseñar un estudio para la cuenca, donde se obtengan los costos para los sectores más afectados, en las distintas regiones de la cuenca y que se puedan sumar dada la congruencia en la metodología para su obtención. Esto puede dar mucha luz sobre las necesidades particulares de las distintas regiones de la cuenca en función de sus características ambientales, de la localización de los diversos sectores y del tipo de contaminantes y daños que estos generan. Para ello, se necesitará contar con recursos financieros para hacer encuestas aplicando metodologías estandarizadas para toda la región.

Algo que ha quedado como evidencia de este estudio, es que en las zonas más complicadas en cuanto a contaminación faltan estudios, que hay muy pocos por sector y que muchas veces no son comparables. Por ello, se tendría que diseñar un estudio integral de la cuenca, cubriendo todas las zonas, dónde hay y dónde no hay emisores, y con metodologías a partir de las cuales sea posible integrar los costos. Posteriormente se podría hacer un análisis costo-beneficio de distintos escenarios de políticas para sanear la cuenca a mediano y largo plazo.

Así pues, el tipo de resultados necesarios, en lugar de solo utilizarse para caracterizar el daño de la contaminación en una ubicación y un sector preciso a corto plazo, debe centrarse en proporcionar los componentes básicos para llevar a cabo un análisis costo-beneficio amplio que podría conducir a la discusión y contrastación de distintas formas de sanear la cuenca. La valoración económica del medio ambiente puede ser, por lo tanto, muy útil al hacer evidente los beneficios de reducir las externalidades provocadas por la degradación ambiental.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Iberoamericana Puebla que proporcionó los recursos necesarios para financiar esta investigación, “Beneficios Ambientales Directos en la Cuenca del Río Atoyac: Del Deterioro a la Resiliencia”, Proyecto Número 15922-2019, financiado

por la Dirección de Investigación y Posgrados. Agradecemos también a los tres revisores el tiempo dedicado a la minuciosa lectura y dictamen de nuestro artículo.

Referencias

- Aquino-Moreno, E., Rodríguez Tapia, L. y Morales Novelo, J. (2015). *Valoración económica de los impactos ambientales en la salud por la contaminación del río Atoyac*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Atkinson, A. B. y Stiglitz, J. E. (2015). *Lectures on public economics: Updated edition*. Princeton University Press.
- Azqueta, D. (2002). *Introducción a la economía ambiental*. McGraw-Hill.
- Bastien-Olvera, B. A. y Moore, F. C. (2021). Use and non-use value of nature and the social cost of carbon. *Nature Sustainability*, 4(2), 101-108.
- Bravo-Cadena, J., Pavón, N. P., Balvanera, P., Sánchez-Rojas, G. y Razo-Zarate, R. (2021). Water Availability–Demand Balance under Climate Change Scenarios in an Overpopulated Region of Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1,846.
- Bressers, J. T. A. y Flores, C. A. C. (2015). Changes without changes: the Puebla’s Alto Atoyac sub-basin case in Mexico. *Water Governance*, 2015(1/2), 12-16.
- Casiano, C., Bressers, H. y Gleason, A. (2017). Evaluación de la gobernanza de la política de las plantas de tratamiento residual (2013-2016), en la zona centro de México: los casos de Tlaxcala-Zahuapan, Puebla-Atoyac y Presa Guadalupe en el Estado de México. *1er Foro Internacional” Políticas Públicas Para El Desarrollo Sustentable: Horizontes En El Siglo XXI*, Puebla, México.
- Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH) (2017). *Recomendación No. 10 /2017*. CNDH.
- Comisión Nacional del Agua (2015). *Monitoreo de la Calidad del Agua en México*. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/monitoreo-de-la-calidad-del-agua-en-mexico>
- _____ (2016). *Atlas del Agua en México*. www.gob.mx/conagua
- _____ (2020). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Alto Atoyac (2901), Estado de Tlaxcala*. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/tlaxcala/DR_2901.pdf

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2011). *La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado*. CONABIO.
- de Oca, G. S.-M. y Ramirez-Fuentes, A. (2019). Valor del rescate de ríos cuando se vive cerca y lejos. La Cuenca de Atoyac en Puebla, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(1), 1-31.
- Diario Oficial de la Federación (2010). *ACUERDO por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la Región Hidrológica número 18 Balsas*. http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5175730
- _____ (2011). *DECLARATORIA de clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes*. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5199672&fecha=06/07/2011#gsc.tab=0
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K. M. A., Baste, I. A. y Brauman, K. A. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6,373), 270-272.
- Dixon, J., Scura, L., Carpenter, R. y Sherman, P. (2013). *Economic analysis of environmental impacts*. Routledge.
- Field, B. C. y Field, M. K. (2003). *Economía Ambiental*. McGraw-Hill/S. A. Interamericana de España.
- Gobierno del Estado de Puebla (2010). *Evaluación socioeconómica del rescate ecológica de los ríos Atoyac, Alseseca y Presa de Valsequillo*.
- Gómez, B., Saldaña, F. P., Martínez, G. A., Gaitan, N. J., Athala, M. J., Tejada, B. A., Gutiérrez, L. E., Sandoval, V. A., Ruíz, L. A. y Salcedo, S. E. (2002). Valuación económica del impacto ambiental de las descargas de aguas residuales municipales. *Memorias de Congreso*. FEMISCA.
- Haddaway, N. R., Collins, A. M., Coughlin, D. y Kirk, S. (2015). The role of Google Scholar in evidence reviews and its applicability to grey literature searching. *PloS One*, 10(9), e0138237.
- Headley Olivo, J. y Salas Manzur, K. (2019). *Estudio de caso: contaminación y escasez de agua en el Río Atoyac como parte de un análisis comparativo a nivel nacional con base en la variación en la producción del sector primario, en el año 2016*. Universidad Iberoamericana Puebla.

- Hearne, R. R. (1996). Economic valuation of use and non-use values of environmental goods and services in developing countries. *Project Appraisal*, 11(4), 255-260.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Comisión Nacional del Agua (2005). *Estudio de Clasificación del Río Atoyac, Puebla-Tlaxcala*.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2016). *Agenda estadística 2016. Densidad de Población por municipio 2010 y 2015*. http://evaluacion.tlaxcala.gob.mx/images/stories/documentos/planea/estadistica/agenda/agenda16/poblacion/3_2.htm
- _____ (2019). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/>
- Jiménez Guillén, R. y Hernández Rodríguez, M. de L. (2011). *Zahuapan: río, región, contaminación*. El Colegio de Tlaxcala, A. C.
- Knowler, D. (2005). 'Short cut' techniques to incorporate environmental considerations into project appraisal: an exploration using case studies. *Journal of Environmental Planning and Management*, 48(5), 747-770.
- Lara-Pulido, J. A., Guevara-Sanginés, A. y Martelo, C. A. (2018). A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico. *Ecosystem Services*, 31, 126-141.
- Martinez-Tavera, E., Rodriguez-Espinosa, P. F., Shruti, V. C., Sujitha, S. B., Morales-Garcia, S. S. y Muñoz-Sevilla, N. P. (2017). Monitoring the seasonal dynamics of physicochemical parameters from Atoyac River basin (Puebla), Central Mexico: multivariate approach. *Environmental Earth Sciences*, 76(2), 1-15.
- Mitchell, R. C. y Carson, R. T. (2013). *Using surveys to value public goods: the contingent valuation method*. Rff Press.
- Montero, R., Serrano, L., Araujo, A., Dávila, V., Ponce, J., Camacho, R., Morales, E. y Méndez, A. (2006). Increased cytogenetic damage in a zone in transition from agricultural to industrial use: comprehensive analysis of the micronucleus test in peripheral blood lymphocytes. *Mutagenesis*, 21(5), 335-342.
- Ocampo-Fletes, I., Parra-Inzunza, F. y Ruiz-Barbosa, Á. E. (2018). Derechos al uso de agua y estrategias de apropiación en la región semiárida de Puebla, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(1), 63-83.

- Pearce, D. W., Moran, D. y Krug, W. (1999). *The global value of biological diversity: a report to UNEP*. Center for Social and Economic Research on the Global Environment- CSERGE, University College, Londres.
- Pérez Castresana, G., Castañeda Roldán, E., García Suastegui, W. A., Morán Perales, J. L., Cruz Montalvo, A. y Handal Silva, A. (2019). Evaluation of health risks due to heavy metals in a rural population exposed to Atoyac River pollution in Puebla, Mexico. *Water*, 11(2), 277.
- Pérez Castresana, G., Tamariz Flores, V., López Reyes, L., Hernández Aldana, F., Castelán Vega, R., Morán Perales, J. L., García Suastegui, W. A., Díaz Fonseca, A. y Handal Silva, A. (2018). Atoyac river pollution in the metropolitan area of Puebla, México. *Water*, 10(3), 267.
- Popa, F. y Guillermin, M. (2017). Reflexive methodological pluralism: the case of environmental valuation. *Journal of Mixed Methods Research*, 11(1), 19-35.
- Rodríguez-Espinosa, P. F., Shruti, V. C., Jonathan, M. P. y Martínez-Tavera, E. (2018). Metal concentrations and their potential ecological risks in fluvial sediments of Atoyac River basin, Central Mexico: Volcanic and anthropogenic influences. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 1,020-1,033.
- Rodríguez-Tapia, L., Morales-Novelo, J. A. y Zavala-Vargas, P. (2012). Evaluación socioeconómica de daños ambientales por contaminación del río Atoyac en México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, III, 143-151.
- Rodríguez, J. C. A. y Beristáin, B. T. (2014). *Las Áreas Naturales Protegidas: entre la depredación y el uso sustentable. Área Natural Protegida Reserva Ecológica Natural de la Cuenca Alta del Río Atoyac*. Mimeo.
- Saldívar Valdez, A. (2007). *Estimación de beneficios del saneamiento de los ríos Atoyac, Xochiac y sus afluentes*.
- Saldívar Valdez, A. y Olivera Villaroel, M. (2011). Lo que se pierde por la contaminación del río Zahuapan. Estrategias de evaluación. En Jiménez Guillén, R. y Hernández Rodríguez, M. de L. (Eds.). *Zahuapan. Río- Región- Contaminación*. El Colegio de Tlaxcala, A. C.
- Sánchez Castañeda, L. F., Negrete Cardoso, M., Aguilar Medina, R., Mejía Ponce de León, A. y Hernández Manzano, K. (2017). *Costos sociales y económicos de no sanear: río Atoyac, municipio de Puebla*.

- Sandoval Villasana, A. M., Pulido-Flores, G., Monks, S., Gordillo Martínez, A. J. y Villegas Villareal, E. C. (2009). Evaluación fisicoquímica, microbiológica y toxicológica de la degradación ambiental del río Atoyac, México. *Interciencia*, 34(12), 880-887.
- Sistema Estatal de Información del estado de Puebla (2015). *Información estadística general de Municipios del estado de Puebla*. <http://datos.puebla.gob.mx/dataset/informacion-estadistica-general-municipios-estado-puebla>
- Soto Montes de Oca, G. (2009). *Los beneficios ecológicos del proyecto integral para el sanemianeto del Alto Atoyac en el estado de Puebla*.
- _____ (2013). *La valoración económica del medio ambiente a través del método de valoración contingente: el caso de la Cuenca del Alto Atoyac en Puebla, México*. Universidad Iberoamericana, Departamento de Economía.
- Stiglitz, J. E. y Rosengard, J. K. (2015). *Economics of the public sector: Fourth international student edition*. WW Norton & Company.
- UN Water (2013). *Water security & the global water agenda: a UN-Water analytical brief*. United Nations University (UNU).
- Urrútia, G. y Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507-511.

Anexo 1. Lista de costos calculados de los estudios revisados por sector

Sector	Costo en dólares, al año 2020
Agricultura	2054046.37
Agricultura	16137800.9
Biodiversidad	1979199.51
Pesca	21023.12
Pesca	278409.08
Salud	10166261.6
Salud	134870.82
Salud	942215.25
Salud	10056.5
Industria	9328955.02
Ganadería	139534.04
Saneamiento	4859.47
Turismo	3082053.93
Turismo	13296178.1