



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Presión hídrica en una cuenca del trópico húmedo y propuestas para su mitigación

Water pressure in a basin of the humid tropics and proposals for its mitigation



Anne M. Hansen*, Abel A. Ruiz Castro

Recibido: 29/09/2021

Aceptado: 06/10/2021

*Autor de correspondencia

Resumen

Actualmente están comprometidos gran parte de los recursos hídricos en el mundo, tanto en cantidad como calidad. Debido a la acumulación de nutrientes, presentan eutroficación o hipereutroficación más de 70 % de los cuerpos de agua monitoreados en México. Ejemplo de esto son los cuerpos de agua en la cuenca del río Atoyac en el estado de Guerrero que, a pesar de localizarse en una región del trópico húmedo, se observa presión hídrica y serio deterioro ambiental. El objetivo de este trabajo es caracterizar las causas de esta presión hídrica y con base en ellas, formular propuestas para su mitigación. A partir de información georreferenciada sobre población, hidrológica y de usos de suelo, así como caudales de agua descargada y concentraciones contaminantes, se desarrolló el inventario de emisiones de sólidos, nutrientes y demanda de oxígeno por fuentes puntuales y difusas. Asimismo, basado en los números de cabezas y cargas contaminantes por tipo de ganado, se determinaron las emisiones por actividad pecuaria. Se evaluó también la extracción de agua para el distrito de riego (DR 095) y cómo influye en el caudal del río. Los resultados indican que las fuentes difusas representan más de 90% de las emisiones contaminantes y la actividad pecuaria es la fuente con mayor emisión, y que la extracción del agua para el DR 095 impacta negativamente el caudal del río. Basado en esta información, se proponen medidas para mitigar la presión hídrica en la cuenca, mismas que deben ser consensuadas entre actores civiles e institucionales.

Palabras clave: Emisiones contaminantes, fuentes puntuales y difusas, caudal del río, actores sociales e institucionales, normatividad, soluciones consensuadas

Abstract

Currently, a large part of the world's water resources are compromised, both in quantity and quality. Due to the accumulation of nutrients, more than 70% of the monitored water bodies in Mexico present eutrophication or hypereutrophication. An example of this are the water bodies in the Atoyac river basin, in the state of Guerrero that, despite being located in a region of the humid tropics, both water pressure and serious environmental deterioration are observed. The objective of this work is to evaluate the causes of this water pressure, and to formulate proposals for their mitigation. Based on georeferenced information on population, land uses and hydrology, as well as discharged water flow rates and pollutant concentrations, emissions inventories for nutrients, oxygen demand and suspended solids from point and diffuse sources were developed. Likewise, based on the number and polluting loads by type of animal, the emissions from livestock production were also determined. The extraction of water for the irrigation district (DR 095) and how it affects the river flow was also evaluated. The results indicate that diffuse source emissions account for more than 90 % of the polluting emissions, representing livestock activities the source with the highest generation, and that water extraction for the DR 095 exerts a negative impact on the river flow. Based on this information, measures are proposed to mitigate the water pressure in the basin, which must be agreed upon amongst civil and institutional actors.

Keywords: Pollutant emissions point and diffuse sources, river flow, social and institutional actors, regulations, consensual solutions

1 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Jiutepec, 62550 Mor., México. Teléfono: +52 (777) 329 3600 ext. 610 y 161. ahansen@tlaloc.imta.mx

1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua promedio anual en el Mundo, es de aproximadamente 1,386 millones km³ y sólo 2.5 % equivale a agua dulce. Se estima que menos de 1 % del agua dulce se encuentra disponible para los ecosistemas y para consumo humano (FCEA 2017). Sigue en aumento el consumo de agua para la creciente población en el Mundo igual que la demanda de agua para el desarrollo de las actividades económicas. A nivel mundial, el consumo de agua es de 3,750 km³/año y se distribuye como sigue: actividad agrícola y pecuaria (69 %), industria (19 %) y abastecimiento a población (12 %) (UNESCO 2021), y las descargas de estos usos impactan tanto en la disponibilidad del agua y su calidad, poniendo bajo presión a los recursos hídricos y los ecosistemas. Se habla de presión hídrica cuando la demanda de agua excede la disponibilidad o cuando el uso se ve restringido por la baja calidad (Zarza 2021). En varias partes de México se presenta presión hídrica. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua, en 7 de las 13 regiones hidrológicas administrativas del país, se ejerce un alto o muy alto grado de presión sobre el agua (CONAGUA 2021a). Asimismo, el análisis de información publicada por la Red

Nacional de Monitoreo del Agua (CONAGUA 2021b) muestra, que al menos 70 % de los cuerpos de agua monitoreados, presenta eutroficación o hipereutroficación, debido a la acumulación de nutrientes provenientes de cargas contaminantes (Hansen et al. 2020). Estas cargas resultan de emisiones desde fuentes tanto puntuales y como difusas. La zona del presente estudio es la cuenca del río Atoyac (Figura 1), que se encuentra en una zona llamada La Costa Grande en el estado de Guerrero y que combina vertientes montañosas y zonas costeras.

Esta cuenca se extiende en una superficie de 900 km² y su colector principal es el río Atoyac, que tiene 68 km de longitud y desemboca en la costa del Océano Pacífico. La parte alta de la cuenca tiene más de 3,500 msnm, con clima sub-cálido y precipitación medio de 2,500 mm/año, mientras que la parte baja tiene clima cálido húmedo, con precipitación medio de 1,200 mm/año (INEGI 2015a). El río Atoyac presenta un caudal medio para época de lluvia de 57 m³/s, y para estiaje, de 9.0 m³/s (CONAGUA 2014). En el 2015, la población total en la cuenca era de 53,040 habitantes con una proporción 67 % urbano y 33 % rural (INEGI, 2015b).

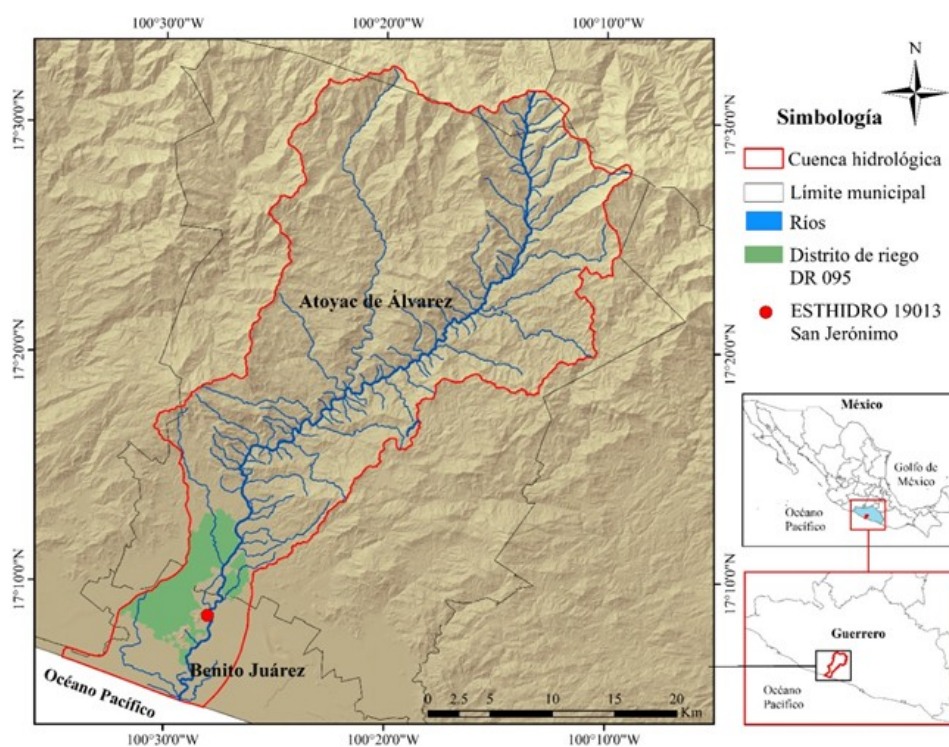


Figura 1 Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Atoyac, Gro. Elaborado con información de INEGI (2010) y CONAGUA (2014)

Los usos de suelo se distribuyen de la siguiente manera: 70 % bosque y selva, 13 % agricultura, 13 % pastizal y 4 % zona urbana y otros usos como cuerpos de agua (INEGI, 2012; PDM, 2015). La agricultura comprende principalmente cultivos de maíz, café, mango y coco (SAGARPA, 2016a) y el distrito de riego DR 095 es uno de los principales usuarios del agua en el río Atoyac. Los pastizales se distribuyen en toda la cuenca, y es donde se desarrollan las actividades pecuarias de ganado bovino.

Estudios previos revelan que el agua del río Atoyac es de mala calidad, presentando concentraciones elevadas de sólidos en suspensión, contaminación fecal, nutrientes y de carga orgánica, que genera elevada demanda de oxígeno (CNDH 2019). Las causas de la mala calidad del agua han sido identificadas como: (1) la sustitución de selva y bosque por usos de suelo agrícola y pecuario, (2) extracción de agua, principalmente para riego agrícola, (3) descargas de agua residual sin tratamiento alguno de localidades rurales y urbanas, así como (4) el manejo inadecuado de residuos sólidos (Jiménez Varela et al. 2000; Fierro Leyva y Alcántara Valverde 2008). Hace dos décadas se elaboró un diagnóstico del estado de los recursos naturales y se propusieron alternativas para el buen uso, manejo y conservación de estos recursos. En este diagnóstico se identificaron las fuentes de contaminación que afectaban la calidad del agua del río Atoyac y la pérdida de recursos naturales debido al desarrollo de actividades económicas locales (Jiménez Varela et al. 2000). Sin embargo, este diagnóstico no contempló la historia socio-natural de la región, ni incorporó estrategias de comunicación social y de fortalecimiento de capacidades. Posteriormente, en el año 2005 fue seleccionada la cuenca del río Atoyac como cuenca piloto para impulsar el Programa Pro-Regiones, de la Universidad Nacional Autónoma de México, buscándose el fomento de la mejora ambiental y consecuente beneficio de la región. Este Programa estuvo enfocado a generar un diagnóstico y plan de acción para mejorar el sistema de manejo de residuos sólidos municipales a corto y mediano plazos, y a promover la educación ambiental con la participación de estudiantes de nivel educativo secundaria y preparatoria (Fierro Leyva y Alcántara Valverde, 2008). Aunque se planteó instrumentar las acciones definidas en el Programa en un plazo de diez años, los resultados fueron poco alentadores; no obstante

quedó sembrada la semilla entre los habitantes de la cuenca (Fernández Gómez y Fierro Leyva 2015).

Derivado de lo anterior y de una queja ciudadana interpuesta por representantes de la sociedad civil ante la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH), por el serio deterioro ambiental del río Atoyac, la CNDH conviene con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) el apoyo en la evaluación de la problemática y propuesta de soluciones para la mejora ambiental y el saneamiento de este río (CNDH 2019).

Posteriormente, la CNDH emite la recomendación CNDH 56/2019 sobre el caso de las violaciones a los derechos humanos a un medio ambiente sano y al saneamiento del agua, por la contaminación del río Atoyac por descargas de aguas residuales municipales no controladas, y por la inadecuada gestión de los residuos sólidos urbanos, en los municipios de Atoyac de Álvarez y Benito Juárez, estado de Guerrero, que solicita a las autoridades correspondientes y municipios destinatarios, analizar las propuestas desarrolladas por el IMTA para dar solución a la problemática descrita, así como buscar acercamiento para obtener asesoría para el desarrollo e implementación de acciones reparatorias de los daños ambientales (CNDH 2019). A continuación, el IMTA desarrolló un estudio en colaboración en conjunto con la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGRO) y la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), que forma parte del Programa Nacional Estratégico en materia de agua (PRONACES Agua) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). En este estudio se mapearon los actores estratégicos en la cuenca, se realizaron seminarios y talleres con estos actores para vinculación y propuesta de estrategias. Para estas estrategias se contempla la confluencia de conocimiento técnico y saberes locales para compatibilizar los métodos epistémicos así como para identificar posibles obstáculos y las acciones necesarias para transformar estos en elementos de oportunidad y aprendizaje. Se conformó un grupo de trabajo interdisciplinario e interinstitucional y con la participación de actores sociales e institucionales. Como resultado de este estudio, se elaboró una propuesta para desarrollar un modelo de ordenamiento territorial de la cuenca del río Atoyac, Gro., basado en la gestión participativa con corresponsabilidad público-social y fortalecimiento de capacidades para la sostenibilidad ambiental y el

ejercicio de los derechos humanos. Esta propuesta, que se plantea desarrollar durante tres años, se sometió al programa PRONACES Agua del Fondo Institucional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECYT) del CONACYT, y se encuentra actualmente en proceso de evaluación. En el presente trabajo se determinan las causas de la presión hídrica en el río Atoyac, Gro., y se formulan las propuestas para su mitigación, mismas que deben ser consensuadas entre los actores civiles e institucionales.

2. METODOLOGÍA

En esta sección se describe el desarrollo de inventarios de emisiones contaminantes por fuentes puntuales y difusas, que integran información georreferenciada sobre hidrología, población, usos de suelo y actividad pecuaria, así como de los volúmenes de agua descargada y respectivas concentraciones de contaminantes. Se analizaron los caudales del río y la extracción de agua al DR 095 para determinar la presión que ejercida. Finalmente, se menciona brevemente las acciones de mapeo de actores involucrados en la propuesta de mitigación de la presión hídrica en la cuenca.

Desarrollo de inventario de emisiones contaminantes

Se determinaron las emisiones contaminantes de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Sólidos Suspendedos Totales (SST) y los nutrientes nitrógeno y fósforo total (NT y PT) de las fuentes puntuales y difusas (Figura 2). Con excepción de las emisiones por actividad pecuaria, se calcularon las emisiones contaminantes, mediante los caudales descargados y las concentraciones contaminantes asociadas. Para la ubicación de las fuentes de emisión puntual se utilizó información georreferenciada sobre municipios, localidades urbanas y rurales y población total (INEGI 2010) y se procesó en un ArcView v.3.0. El caudal de agua residual colectado corresponde al agua residual generada por localidad urbana (población mayor a 2,500 habitantes) (Figura 3). Se determinó este caudal a partir del número de habitantes por localidad urbana, porcentaje de cobertura de agua potable y alcantarillado para los municipios donde pertenecen (INEGI 2015b), dotación media de agua por habitante en el estado (CONAGUA 2012), y considerando que entre 70 y 75% del agua dotada se desecha como agua residual mientras que el restante se consume (CONAGUA 2007).

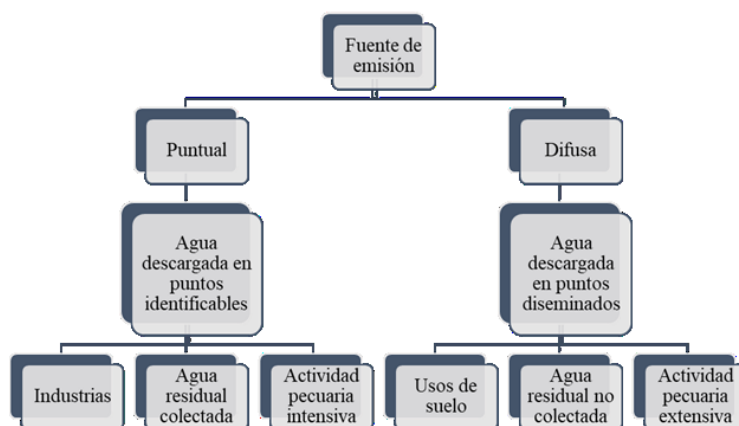


Figura 2 Clasificación de fuentes contaminantes

Las concentraciones promedio de parámetros en agua residual doméstica, son de 200 mg/l para DBO5 y SST, 40 mg/l para NT y 10 mg/l para PT (Metcalf y Eddy 2004). Acerca de las emisiones por fuentes industriales, no se encontró registro alguno para esta cuenca (CONAGUA 2020). Asimismo, no se identificaron emisiones por actividad pecuaria intensiva. Finalmente, en el inventario nacional de Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR)

(CONAGUA 2015), se reporta una PTAR, misma que no se consideró en este inventario ya que se encontraba fuera de operación. Para ubicación de las fuentes de emisión difusa, se utilizó información georreferenciada sobre usos de suelo y vegetación (INEGI 2012) (Figura 4), misma que se procesó con ArcView v. 3.0 para determinar las áreas de cobertura.

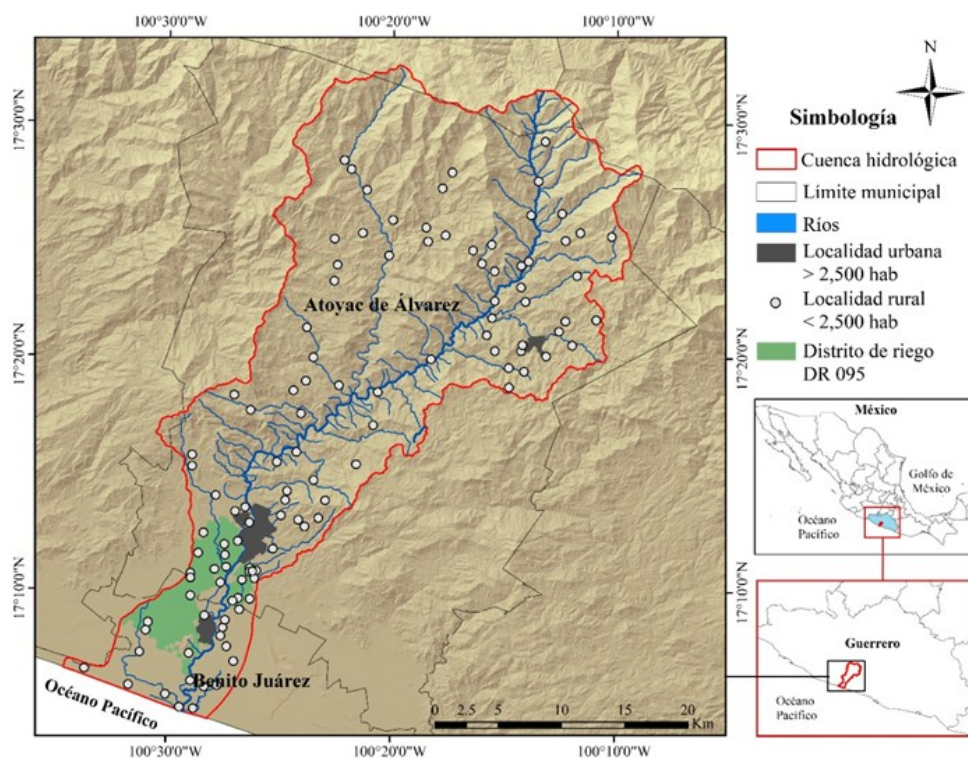


Figura 3 Localidades urbanas (>2,500 hab) y rurales (<2,500 hab) en la cuenca del río Atoyac Gro. Elaborado con información de INEGI (2015b)

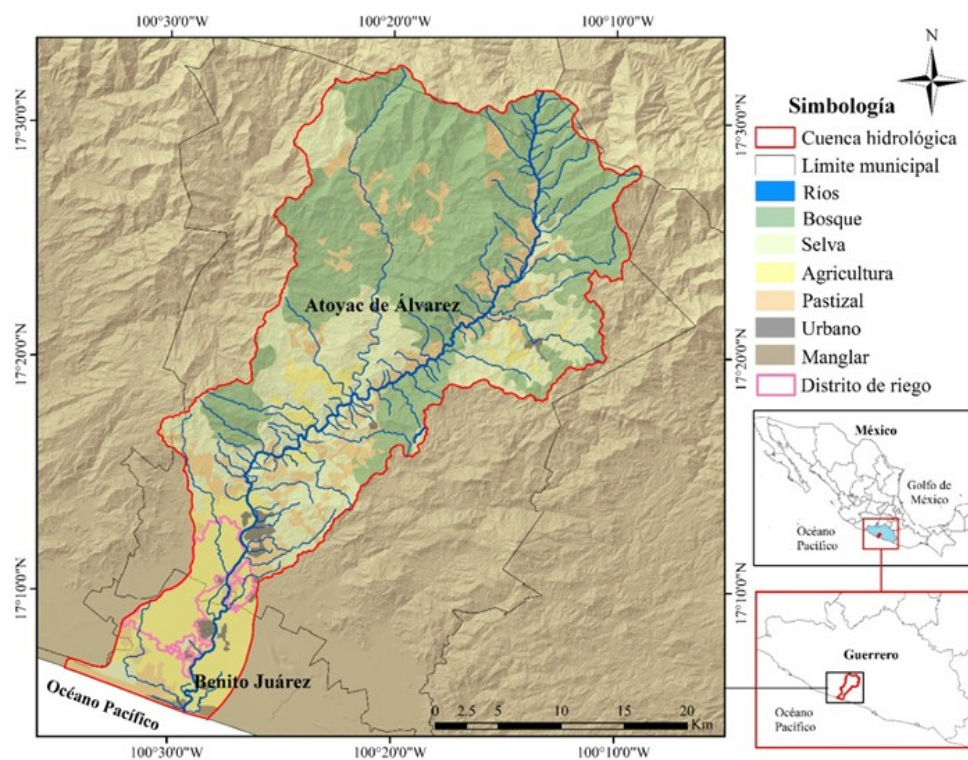


Figura 4 Distribución de usos de suelo y vegetación en la cuenca del río Atoyac, Gro. Elaborado con información de INEGI (2012)

Se obtuvieron las descargas por escurrimiento de los usos de suelo mediante información sobre estas áreas, precipitación medio anual y coeficiente medio de escurrimiento (INEGI 2015a). En este respecto, se presentan valores de precipitación de 2,500 mm/año en la parte alta (>3,500 msnm), 1,500 en la parte intermedia (350-3,500 msnm) y 1,200 mm/año en la zona baja próxima a la costa. Asimismo, los coeficientes de escurrimiento varían entre 0.1 y 0.2 (INEGI 2015a), y para este trabajo se consideró el valor promedio de 0.15. Las concentraciones contaminantes asociadas a descargas en escurrimiento por tipo de suelo se presentan en la Tabla 1.

Para la determinación de las emisiones por agua residual sin coleccionar, se determinó el caudal de agua residual total no coleccionado, sumando los caudales de agua residual no coleccionados en localidades urbanas y rurales. El caudal de agua residual urbano (>2,500 hab) no coleccionado se obtuvo mediante diferencia del caudal total urbano generado y el caudal coleccionado. Para las localidades rurales (<2,500 hab) que no cuentan con sistema de drenaje y alcantarillado, se estimó el caudal de agua residual rural no coleccionado con la información georreferenciada sobre estas localidades y su población, la dotación de agua por habitante en función del clima (CONAGUA s/f) y considerando que entre 70 y 75% del agua dotada se desecha como agua residual y el restante se consume (CONAGUA, 2007). Para obtener las emisiones de esta fuente, se multiplicaron los caudales obtenidos

con las concentraciones promedio reportadas en la literatura para agua residual doméstica de 200 mg/l para DBO5 y SST, 40 mg/l para NT y 10 mg/l para PT (Metcalf y Eddy 2004).

Para esta cuenca no se dispone de información sobre actividad pecuaria intensiva como ubicación de granjas, tipo de instalaciones, así como el manejo, tratamiento y disposición de los desechos generados, repercute en las emisiones y la potencial contaminación de cuerpos de agua. Para determinar las emisiones por actividad pecuaria extensiva, se determinó el número total de cabezas por tipo de ganado a partir de la información oficial agropecuaria (INEGI 2007), y proyectada al año 2016 mediante las tasas de crecimiento de la población ganadera a nivel estatal, de acuerdo con la información publicada por SAGARPA (2016b, c y d). No se encontró información sobre la ubicación específica de las granjas donde se mantiene al hato ganadero; sin embargo, de acuerdo con el Anuario Geográfico y Estadístico de Guerrero, se menciona que se ubican en la cercanía de las cabeceras de ambos municipios con sistema extensivo de libre pastoreo (INEGI 2017). En la literatura, se encontraron reportadas cargas contaminantes para diferentes especies de ganado (Tabla 2). Para el ganado porcino se encontraron reportadas emisiones de NT, PT, DBO5 y SST por Unidad de Peso Agropecuario, que corresponde a un peso animal de 100 kg, alcanzado en un periodo aproximado de 23 semanas de vida.

Tabla 1 Concentraciones contaminantes en escurrimiento por diversos usos de suelo

Uso de suelo	NT	PT	DBO ₅	SST
	(mg/L)			
Agrícola	1.6	0.4	4.0	201.0
Bosque	0.8	0.1	6.0	39.0
Pastizal	1.5	0.1	6.0	70.0
Urbano	15	100	3.4	0.8

Elaborada con información de Benaman et al. (1996)

Tabla 2 Cargas contaminantes (g/cabeza día) de diversos tipos de ganado

Tipo de fuente	DBO ₅	SST	NT	PT	Referencia
Porcino ^a	250	600	50	13	Taiganides <i>et al.</i> (1996)
Bovino cárnico ^b	485	700	104	80	Jones y Sutton (2003)
Bovino lechero ^c	905	1000	217	88	

^aPeso promedio de (43 kg); ^bPeso promedio de animal (304 kg); ^cPeso promedio de animal (350 kg)

Para este tipo de ganado, se consideró un peso medio de 43 kg, equivalente al peso promedio que tienen a las 13 semanas de vida (Dr. Pedro Juan Padral-Roa 2013, Comunicación personal). El ganado bovino se clasifica según su uso: lechero, cárnico o doble propósito. El peso de una res destinada a uso cárnico tiene un crecimiento desde aproximadamente 40 kg al momento de su nacimiento hasta 567 kg cuando es sacrificada, mientras que el crecimiento de una res lechera oscila entre 67 y 634 kg (Jones y Sutton, 2003).

Extracción de agua para el sector agrícola y su efecto en el caudal del río

Se obtuvo información de la Comisión Nacional del Agua sobre los caudales mensuales de agua extraída para el distrito de riego DR 095, en el periodo 2010 al 2018 (Ing. José Humberto Gastelum Espinoza, 2018, comunicación personal). Dicha información se analizó estadísticamente, obteniéndose los caudales de extracción medio mensual. Asimismo, se obtuvo el registro de escurrimiento de la única estación hidrométrica activa con clave 19013 “San Jerónimo”, para el periodo de 1970 al 2014 (CONAGUA 2014). Dicha información se analizó estadísticamente, obteniéndose los caudales medios mensuales de escurrimiento. Se compararon los caudales de extracción con el escurrimiento medio mensual, para conocer cómo la extracción afecta al caudal del río. Con base en la identificación y priorización de las fuentes contaminantes que ponen en riesgo la calidad del agua en el río Atoyac, así como la valoración del impacto que ejerce el distrito de riego DR 095 como usuario del agua de este río, se formularon propuestas para la mitigación de la presión hídrica y deterioro ambiental.

Mapeo de actores estratégicos para mitigación de la presión hídrica

Se realizó un mapeo de actores, a fin identificar a los diferentes representantes interesados en la problemática de la presión hídrica en la zona, así como los intereses de cada actor, establecer un canal abierto de comunicación y para conocer posibles puntos de conflicto que puedan escalarse con el desarrollo y para la implementación de acciones de mitigación de la presión hídrica. Posteriormente, con el objetivo de contar con un diagnóstico consensuado de la problemática de la cuenca y sus posibles soluciones, se llevó a cabo un seminario-taller con actores estratégicos pertenecientes a diversos sectores

a nivel local, donde se discutió y se recibió retroalimentación sobre el planteamiento de un proyecto de investigación-incidencia a desarrollarse durante tres años en el marco de Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES) en materia de agua. Se desarrolló y se presentó también la propuesta metodológica para llevar a cabo talleres de intercambio de ideas, para enriquecer la aplicación de las metodologías propuestas, logrando involucrar al mayor número posible de actores sociales e institucionales que habitan y actúan en el espacio territorial de la cuenca.

3. RESULTADOS

Inventarios de emisiones contaminantes

Las emisiones contaminantes por fuentes puntuales y difusas en la cuenca del río Atoyac, Gro. muestran, que las fuentes difusas, que incluyen agua residual no colectada y escurrimientos de diversos usos de suelo, contribuyen con 95 % de NT, 97 % de PT, 95 % de DBO5 y 98 % de SST (Tabla 3). Entre las fuentes difusas se identifica la actividad pecuaria como el principal emisor de estos contaminantes. Las emisiones por agua residual colectada y no colectada resultaron de igual magnitud y juntos representan porcentajes bajos de emisiones contaminantes. Respecto a los sólidos en suspensión, es mayor la emisión por actividad pecuaria, seguido por usos de suelo bosque y selva, agrícola y pastizal. Es indispensable realizar esta jerarquización de emisiones contaminantes en cuencas y considerarla al formular propuestas de mitigación de la presión en los recursos hídricos. En América Latina y el Caribe, es común atender sólo las emisiones contaminantes por fuentes puntuales y no considerar las emisiones provenientes de fuentes difusas. Sin embargo, la jerarquización de emisiones contaminantes para la cuenca hidrológica del río Atoyac, Gro. muestra claramente que también se deben atender las emisiones por fuentes difusas, o de lo contrario, no habrá mitigación de la presión hídrica en esta cuenca. Extracción de agua para riego y efecto sobre el caudal del río. Finalmente, se analizó también la extracción de agua para el DR 095 y los caudales de escurrimiento en el río Atoyac (Figura 5), observando que el agua extraída en los meses de marzo a mayo representa una importante parte del agua escurrida y que la extracción puede comprometer todo el caudal del río en años más secos.

Tabla 3 Inventario de emisiones contaminantes en la cuenca del río Atoyac

Fuente de emisión	Población ¹ (Hab)	Caudal descargado (Mm ³ /año)	Ganado ²		Área (km ²)	Emisión contaminante (t/año)			
			Porcino	Bovino		NT	PT	DBO ₅	SST
			(Cabezas)						
Puntual									
Agua residual colectada	35,652	1.58	NA		NA	63	16	316	316
Subtotal						63	16	316	316
Difusa									
Agua residual no colectada	17,388	1.57	NA	NA	NA	63	16	316	316
Actividad pecuaria extensiva	NA	NA	12,672	19,252	NA	1,102	612	4,896	6,740
<i>Usos de suelo</i>									
Agrícola	NA	23.1	NA	NA	123.3	36	8	93	4,653
Bosque y selva	NA	141.9	NA	NA	639.3	120	10	733	5,600
Pastizal	NA	26.9	NA	NA	123.3	41	3	162	1,887
Subtotal						1,362	649	6,200	19,196
Total						1,425	665	6,516	19,512

1 INEGI (2015b)

2 INEGI (2007) proyectado al 2016 mediante tasas de crecimiento de población ganadera en el estado (SAGARPA 2016b, c y d).

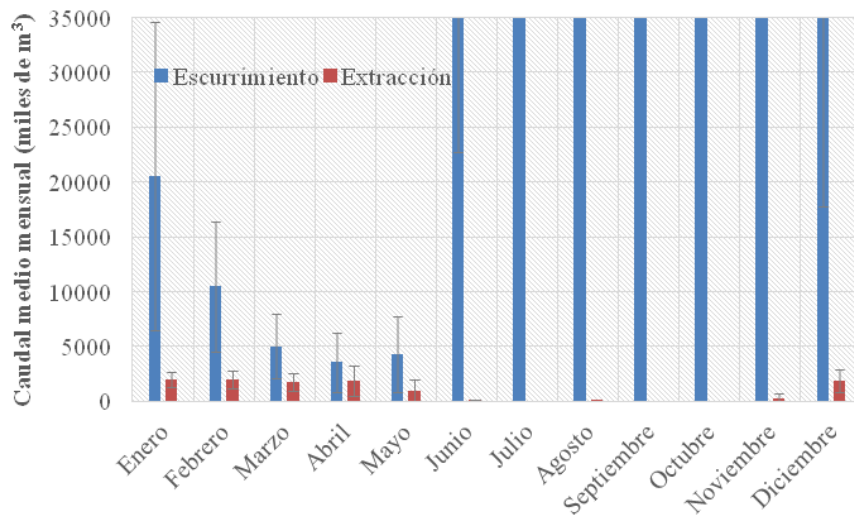


Figura 5 Caudales de extracción (2010-2018)¹ y de escurrimiento (1970-2014)² aguas abajo del DR 095, río Atoyac, Gro. En la gráfica no observan los escurrimientos de junio a diciembre, que varían entre mínimo $54,395 \pm 31,658$ en junio y máximo $238,877 \pm 115,322$ en septiembre

¹Ing. José Humberto Gastelum Espinoza, 2018, comunicación personal). ²CONAGUA (2014)

Mapeo de actores estratégicos

Se identificaron 27 actores en la cuenca del río Atoyac, Gro; los cuales se agruparon en instituciones gubernamentales estatales y federales; autoridades municipales; instituciones educativas; organizaciones sociales; asociaciones religiosas y organismos de los sectores sociales y de economía. En los seminarios-taller se recibió retroalimentación de habitantes, líderes ambientales, actores sociales, así como autoridades locales y funcionarios, sobre el diagnóstico socio-ambiental de la cuenca y estos participantes expresaron los diversos problemas que ellos han percibido, tales como tala de bosques, contaminación de los cuerpos de agua y quema de basura. Mediante análisis de lo expresado en estos seminarios-taller, se confirmó que los principales problemas son presión hídrica y degradación ambiental, consecuencia de una falta de cultura ecológica y deficiente manejo de los recursos naturales. Se acordó que deben designarse y asumirse responsabilidades, para que diferentes instituciones puedan proporcionar constante supervisión, como por ejemplo brigadas contra incendios supervisadas por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Se construyó y consolidó un grupo transdisciplinario comprometido con la transformación social y ambiental en la región, integrado por estudiantes, organizaciones, dependencias, empresas, generando una construcción colectiva de los diagnósticos y dinámicas de incidencia de la problemática a resolver y se amplía el colectivo involucrando academias, dependencias gubernamentales, organizaciones de base comunitaria y empresas privadas, necesario para el proyecto propuesto sobre un modelo de ordenamiento territorial en cuencas, basado en sistemas de gestión participativa con corresponsabilidad público-social, la sostenibilidad

ambiental y el ejercicio de los derechos humanos, a aplicar en la cuenca del río Atoyac, Gro., como experiencia piloto.

4. DISCUSIÓN

A fin de formular propuestas para mitigación de la presión hídrica en la cuenca del río Atoyac, Gro., se determinó con detalle los usos de agua, su impacto en el caudal del río, y las emisiones contaminantes. Se desarrollaron los inventarios de emisiones por fuentes puntuales y difusas, mismos que permitieron jerarquizar las fuentes de emisión, y orientar los alcances de las propuestas de mitigación. Finalmente, se determinó la presión que ejerce el DR095 sobre el río, se analizó información sobre caudales y extracción de agua (Tabla 4). El control de las emisiones por ganadería puede lograrse mediante el control de número de cabezas en el territorio, la modificación de la dieta de ganado bovino y el reúso de excreta para fertilizante. De realizarse esto, se podría reducir las emisiones hasta en 77 % de N, 92 % de P, 75 % de DBO, y 35 % de SST. Para el control de las emisiones por agua residual colectada, se propone la instalación y rehabilitación de alcantarillado, así como cunetas pluviales y tratamiento de escurrimiento urbano, e instalación y rehabilitación de plantas de tratamiento de agua residual. La implementación de estas acciones reducirían las emisiones hasta en 4.4 % de N, 2.4 % de P, 4.8 % de DBO, y 1.6 % de SST. Asimismo, para el control de las emisiones por agua residual no colectada, se propone la instalación y rehabilitación de alcantarillado, así como la instalación de sistemas descentralizados de tratamiento, lográndose así una reducción en las emisiones hasta en 4.4 % de N, 2.4 % de P, 4.8 % de DBO₅, y 1.6 % de SST. Las

emisiones por sedimentos pueden mitigarse controlando las cabezas de pastoreo, la tala inmoderada de madera y reforestando zonas degradadas. Esto, lograría una reducción en las emisiones hasta en 44 % de SST.

Se identificó que el agua extraída para el DR 095 representa una importante parte del agua escurrida en

el río Atoyac, sobre todo durante los meses de marzo a mayo. La extracción para el DR 095 en años más lluviosos, representa 35 % del agua escurrida en el mes de abril mientras que la extracción en años menos lluviosos, representa hasta 80 % del caudal del río Atoyac (Figura 6).

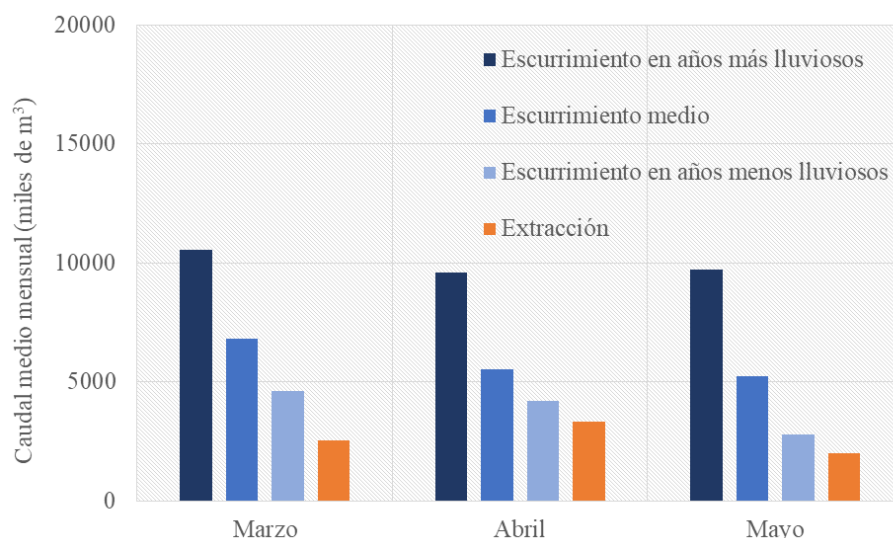


Figura 6 Caudales de extracción y de esguerrimiento en el río Atoyac, Gro. aguas arriba del DR 095

Dada la variabilidad estacional de esguerrimiento y extracción de agua del río, es primordial determinar el caudal ecológico mensual aguas debajo de la presa derivadora para el DR 095, siguiendo los lineamientos establecidos en la norma mexicana “NMX-AA-159-SCFI-2012” (DOF 2012).

Se confirma la participación de los actores sociales e institucionales en estas acciones propuestas y con ello se potencializa las oportunidades de éxito del proyecto propuesto para desarrollarse como experiencia piloto en la cuenca hidrológica del río Atoyac, Gro.. El desafío ambiental que enfrenta esta cuenca ha sido caracterizado y la recomendación 56/2019 de la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH 2019) sienta un precedente relevante para la aceptación del proyecto, también por los sectores productivos. Este proyecto representa un apoyo necesario para el cumplimiento de la recomendación, la restauración ambiental y la mitigación de la presión hídrica.

5. ¿QUÉ SIGUE?

El problema a atenderse para la mitigación de la presión hídrica en cuencas, es en torno al

conocimiento y la gestión del ciclo socio-natural del agua para el bien común y la justicia ambiental. La problemática en cuencas hidrológicas en nuestro país es originada por la contaminación proveniente de fuentes puntuales y difusas, la pérdida de suelos, flora y fauna, la alteración de patrones hidrológicos, que afectan negativamente al ambiente y, por ende, al bienestar social y económico de las regiones.

Actualmente, al menos 70% de los cuerpos de agua monitoreados en México presentan contaminación a causa del insostenible manejo de las cuencas hidrológicas, donde la gestión de los recursos constituye un complejo desafío debido a que no son lo suficientemente comprendidos los procesos de deterioro ambiental y su repercusión sobre la presión hídrica, las escasas experiencias exitosas sobre gestión de cuencas no han sido ampliamente difundidas y la vinculación entre los sectores social, político y ambiental, ha resultado poco efectiva. Por ello, se espera desarrollar próximamente el proyecto propuesto, que sirva para atender y mitigar las causas de presión hídrica en cuencas, aplicado al río Atoyac, Gro. como experiencia piloto, que se pueda adaptar a otras cuencas del país con problemas de presión hídrica.

Tabla 4 Propuestas de mitigación a la problemática de presión hídrica en río Atoyac

Propuesta	Descripción	Beneficio en materia de reducción de emisiones contaminantes
Control de emisiones por ganadería	<ul style="list-style-type: none"> • Control de número de cabezas • Modificación de la dieta de ganado bovino • Reúso de excreta para fertilizante • Instalación y rehabilitación de alcantarillado para descarga de agua residual 	Hasta 77% de reducción de la emisión de N, 92% de P, 75% de DBO ₅ , y 35% de SST
Alcantarillado y tratamiento de agua residual municipal en poblaciones urbanas	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de cunetas y tratamiento de escurrimiento urbano • Instalación y rehabilitación de PTAR 	Hasta 4.4% de reducción en la emisión de N, 2.4% de P, 4.8% de DBO ₅ , y 1.6% de SST
Alcantarillado y tratamiento descentralizado de agua residual en poblaciones rurales	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación y rehabilitación de alcantarillado para descarga de agua residual • Instalación de sistemas descentralizados de tratamiento 	Hasta 4.4% de reducción en la emisión de N, 2.4% de P, 4.8% de DBO ₅ , y 1.6% de SST
Control de erosión y sedimentos	<ul style="list-style-type: none"> • Control de número de cabezas de pastoreo • Control de extracción de madera • Reforestación 	Hasta 44% de reducción de la emisión de SST
Control del caudal para riego	<p>Controlar el caudal extraído mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Control de área cultivada • Cambio de cultivos • Mejora en la eficiencia de riego • Establecimiento de caudal ecológico y ambiental a nivel mensual 	Hasta 380% de aumento en caudal del río en época de estiaje
Consenso con actores sociales para definición de las soluciones y su desarrollo	<ul style="list-style-type: none"> • Reuniones y talleres para socialización y definición de las soluciones más apropiadas • Identificación de obstáculos normativos, sociales e institucionales y su efecto permanencia de las soluciones 	Participación social, fortalecimiento de capacidades y sostenibilidad de las soluciones

En los años sesenta surgió en el estado de Guerrero un movimiento cívico revolucionario en contra de las diferentes formas de cacicazgos existentes en la zona, y en Atoyac de Álvarez inició una guerrilla campesina. Recientemente, se experimentan nuevas formas de búsqueda de opciones democráticas y proyectos de la sociedad civil para democratizar la vida política, la economía, el acceso a los recursos naturales e incluso para detener la devastación ambiental. Todo esto debe estar presente en la proyección de nuevas iniciativas, tenerse en cuenta y formar parte de los temas de mitigación de la presión hídrica en la cuenca (Dr. José Alfredo Agudo García, 2021, Comunicación personal).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (Convenio folio CGSRA JI083/2018) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Proyecto Fordecyt 307361). Los autores agradecen a Denise Soares Freitas y Susana Ortega López, IMTA; Martín Fierro Leyva, UAGRO;

Nohora Guzmán Ramírez, UAEM; y José Alfredo Agudo García, por su participación en estos proyectos. Se agradece también al Ronald Ontiveros Capurata y a Suhaila Elizabeth Díaz Valencia por su apoyo en la elaboración de los mapas contenidos en este manuscrito.

REFERENCIAS

Benaman J, Armstrong N y Maidment D (1996). Modeling of dissolved oxygen in the Houston Ship Channel using WASP5 and Geographic Information Systems. Center for Research in Water Resources. Austin, Texas, USA Disponible en: <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/6750> Última consulta: Junio 25, 2021

CNDH Comisión Nacional de los Derechos Humanos (2019). Recomendación No.56/2019 sobre el caso de las violaciones a los derechos humanos a un medio ambiente sano y al saneamiento del agua, por la contaminación del río Atoyac por descargas de aguas residuales municipales no controladas, y por la inadecuada gestión de los residuos sólidos urbanos, en los municipios de Atoyac de Álvarez y Benito Juárez, estado de Guerrero; en agravio de quienes habitan y transitan en dichas municipalidades, México, 119 p. Disponible en: https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/documentos/2019-09/Rec_2019_056.pdf Última consulta: Agosto 20, 2021

CONAGUA Comisión Nacional del Agua (s/f). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, México, pp. 92. Disponible en: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf> Última consulta: Septiembre 08, 2021

CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Lineamientos técnicos para la elaboración de estudios y proyectos de agua potable y alcantarillado sanitario. México, D.F. pp. 246. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/Libros/03CarcamosDeBombeoParaAlcantarilladoFuncionalHidraulico.pdf> Última consulta: Agosto 25, 2021

CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2012). Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. Septiembre 2012. Semarnat. México, D.F., pp. 91. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-40-12.pdf> Última consulta: Agosto 16, 2021

CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2014). Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS). Disponible en: <https://app.conagua.gob.mx/bandas/> Última consulta: Agosto 02, 2021

CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2015). Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2015. Semarnat. México, D.F. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/197610/Inventario_2015.pdf Última consulta: Agosto 06, 2021

CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2020). Registro Público de Derechos del Agua Disponible en: <https://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx> Consulta: agosto 02, 2021

CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2021a). Grado de presión. Sistema de Información Nacional del Agua. Disponible en <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=17> Última consulta: Agosto 02, 2021

CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2021b). Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua. Disponible en <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua> Última consulta: Septiembre 14, 2021

DOF Diario Oficial de la Federación (2012). Norma Oficial Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166834/NMX-AA-159-SCFI-2012.pdf> Última consulta: Agosto 15, 2021

FCEA Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental (2017) ¿Cuánta agua hay en el planeta? Centro virtual de Información del Agua. Disponible en: <https://agua.org.mx/en-el-planeta/> Última consulta: Agosto 02, 2021

- Fernández Gómez R y Fierro Leyva M (2015). Participación ciudadana y desarrollo sustentable en la recuperación de la cuenca del río Atoyac: Proyecto Pro-Regiones UNAM-UAGro. Revista Tlamati Sabiduría, 6 (4) 59-62, Disponible en:
http://ri.uagro.mx/bitstream/handle/uagro/550/11995_ART2015OK.pdf?sequence=1&isAllowed=y Última consulta: Septiembre 03, 2021
- Fierro Leyva M y Alcántara Valverde N (2008). Participación ciudadana y desarrollo sustentable en la recuperación de la cuenca del río Atoyac. Antología de Estudios Territoriales, Fomento de los Estudios Territoriales en Iberoamérica, segunda parte. Universidad Autónoma de Guerrero (IIEPA-IMA), 11 p. Disponible en
<http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/3807/1/Participaci%C3%B3n%20ciudadana%20y%20de%20desarrollo%20sustentable%20en%20la%20recuperaci%C3%B3n%20de%20la%20cuenca.pdf> Última consulta: Septiembre 14, 2021
- Hansen AM, Ruiz-Castro AA, Díaz-Valencia S, Moreno-Ayala V, Díaz-Aldama E, Sandoval DA y Santana-Vega Z (2020). Dimensionamiento hidrogeoquímico para la rehabilitación de cuerpos de agua. XXX Congreso Nacional de Geoquímica, Actas INAGEQ, 26, 9-29. Disponible en:
<https://congresogeoquimica2020.uach.mx/04%20Actas%20INAGEQ%20Vol.%2026%20XXX%20CNG%202020.0.pdf> Última consulta: Agosto 22, 2021
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2007). Anuario estadístico del estado de Guerrero. Edición 2007. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/ganaderia/> Última consulta: Agosto 15, 2021
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2010). Red Hidrográfica, escala 1:50000, edición 2.0. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia/> Última consulta: Agosto 11, 2021
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2012). Carta de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie V. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/> Última consulta: Agosto 20, 2021
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2015a). Mapa Digital de México de INEGI versión 6.3.0. Disponible en:
<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjIzLjMyMDA4LGxvbjotMTAxLjUwMDAwLHo6MSxsOmMxMTFzZXJ2aWNpb3N8dGMxMTFzZXJ2aWNpb3M=> Última consulta Agosto 05, 2021
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2015b). Encuesta intercensal 2015 Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/> Última consulta: Agosto 07, 2021
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2017). Anuario estadístico del estado de Guerrero. Edición 2017, pp. 655. Disponible en:
http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/GRO_ANUARIO_PDF.pdf Última consulta: Julio 28, 2021
- Jiménez Varela A, Méndez Bahena A, Alvarado Gómez AV, Rivera Barreto C (2000). Diagnóstico ambiental de la Cuenca del Río Atoyac, Guerrero. Altamirano, junio-julio, 2000, (16), 43-62. Disponible en:
[Revista%20Altamirano%20No.16.Jun-Jul%202000.pdf](http://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia/) Última consulta: Julio 25, 2021
- Jones DD y Sutton AL (2003). Design and operation of livestock waste lagoons. Agricultural and Biological Engineering, Purdue University, Indiana, USA
- Metcalf y Eddy (2004). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (4th Ed.) McGraw-Hill. New York. 1848 p. ISBN: 0070418780
- PDM Plan de Desarrollo Municipal 2015-2018 del H. Ayuntamiento Municipal Constitucional de Atoyac de Álvarez (2015). Disponible en:
<http://promunicipio.mx/AlimentaPlataforma/Documentos/PMD%20Final.Atoyac.pdf> Última consulta: Julio 25, 2021
- SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2016a). SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Estadísticas de la producción agrícola de 2016. SAGARPA,

México. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php> Última consulta: Agosto 18, 2021

SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2016b). SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Población ganadera estatal de ganado bovino cárnico de 2006 a 2015. SAGARPA, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera> Última consulta: Agosto 19, 2021

SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2016c). SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Población ganadera estatal de ganado bovino lechero de 2006 a 2015. SAGARPA, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera> Última consulta: Agosto 19, 2021

SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2016d). SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Población ganadera estatal de ganado porcino de 2006 a 2015. SAGARPA, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera> Última consulta: Agosto 20, 2021

Taiganides EP, Pérez ER y Girón SE (1996). Manual para el manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México. Consejo Mexicano de Porcicultura, México. Disponible en <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DO2003101250>. Última consulta: Septiembre 14, 2021

UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2021). The United Nations World Water Development Report (2021) Valuing Water, París, Francia, pp. 186. Disponible en: <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2021/> Última consulta: Agosto 04, 2021

Zarza LF (2021). ¿Qué es presión hídrica? Smart Water Summit 2021 <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-estres-hidrico> Última consulta: Septiembre 14, 2021



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license