



c) Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, 2019.

Contaminación antrópica por organismos microbiológicos en la microcuenca del río Pixquiac

Socorro Menchaca Dávila – Osiris Ornelas López – Héctor Hernández García¹

RESUMEN: Se identifican las actividades que intervienen en la contaminación del agua por agentes microbiológicos de los sectores pecuario, acuícola y doméstico cuyas labores se desarrollan en la microcuenca del río Pixquiac. La investigación establece la relevancia de determinar las causas que están interviniendo en los problemas de la disminución de la disponibilidad del recurso hídrico para uso humano, así como los aspectos de vulnerabilidad social y afectaciones que son implícitas a los ecosistemas.

Palabras clave: Agua; contaminación; degradación; medio ambiente

¹ Socorro Menchaca Dávila y Osiris Ornelas López pertenecen al Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana y al Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz (OABCC). Contacto: socorro.menchaca@gmail.com, osirisorlop@hotmail.com. Héctor Hernández García pertenece al Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Veracruz y al Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz (OABCC). Contacto: hectorhernandez@cecytev.edu.mx.

ABSTRACT: Activities that intervene on water pollution by microbiological agents are identified, which are related to sectors of livestock, aquaculture and domestic contexts whose labours are developed on the Pixquiac river micro-basin. The investigation establishes the relevance of determining the causes that intervene on problems of water resource diminution for human use, such as social vulnerability aspects and implicit impacts on ecosystems.

Keywords: Water; pollution; degradation; environment

Introducción

Las actividades que realiza el hombre relacionadas con el uso de los recursos naturales, generalmente, tienen impactos y efectos que son negativos para ambas partes; es decir, para la naturaleza y los servicios ambientales que se expresan en las funciones de los ecosistemas y para la sociedad en su conjunto. Esto tiene singular importancia ya que las actividades generan degradación ambiental, misma que se contextualiza en lo que desarrollan los sectores agrícola, pecuario, acuícola, industrial y doméstico, entre otros, ya que contaminan el recurso hídrico con sustancias químicas, materiales pesados y organismos microbiológicos.

Actualmente, es relevante no solamente establecer los niveles de contaminación del agua, sino también las causas de los mismos, para tener una visión analítica integral que permita diseñar estrategias que no sólo se dirijan al tratamiento del agua residual, sino que disminuyan la generación de las mismas, es decir, acciones que incidan directamente en la salud humana y ambiental.

Los problemas ambientales afectan el modo de vida del ser humano. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) reporta que cada año la insalubridad del agua, entre otros problemas de orden ambiental y saneamiento causan la muerte de 1.7 millones de niños menores de cinco años, es decir, más de una cuarta parte de las defunciones de niños menores de cinco años se pueden asociar a la contaminación del agua.

Por lo anterior, resulta necesario contar con indicadores relativos a los problemas del agua, que proporcionen información sobre los fenómenos y sus tendencias, así como de las condiciones que determinan su estado, lo que permitirá proteger la salud de la población, conocer los daños ocasionados al medio ambiente, definir un aprovechamiento eficiente de los recursos naturales y establecer posibles estrategias de conservación de la integridad de funciones de los ecosistemas, todo en beneficio de la vida en la Tierra, actual y futura.

Es necesario, también, diseñar y desarrollar metodologías que midan indicadores relacionadas con las actividades que impactan y afectan a la calidad del agua, para la creación de nuevos

sistemas de remediación, mediante la aplicación de tecnologías adecuadas para la solución de dichos problemas, entre otros.

El propósito general del presente artículo es identificar las actividades de los sectores pecuario, acuícola y doméstico, que contaminan los recursos hídricos de la microcuenca del río Pixquiac.

Antecedentes y problemática

En investigaciones sobre la disponibilidad de agua en cantidad y calidad, realizadas en el Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, OABCC, (Agua, Bosques, Cuencas y Costas), se estableció que las actividades de todos los usuarios del agua, impactan a los recursos hidrológicos de la microcuenca del Río Pixquiac, y repercuten en el ecosistema, provocando una disminución de la cantidad y calidad del recurso (Menchaca et al., 2011).

También, se ha identificado que el riesgo asociado a las actividades antrópicas de los usuarios del agua de la microcuenca del río Pixquiac, tiene consecuencias sobre los servicios ambientales hidrológicos, del bosque, así como en la calidad del agua; lo que hace vulnerable a la población. Estudios previos mostraron presencia de microorganismos indicadores (coliformes totales y fecales), con valor máximo de 535 UFC/100ml y 280 UFC/100ml, respectivamente (Menchaca et al., 2014; Menchaca et al., 2016). Estos indicadores (calidad microbiológica) están directamente asociados con el riesgo que implica la ingesta de agua contaminada por bacterias patógenas, virus, protozoarios y helmintos provenientes de las heces fecales de humanos y animales (Pajares et al., 2014).

La presencia de estos microorganismos constata que uno de los aspectos que está afectando la calidad de los recursos hídricos, son las aguas residuales (AR) vertidas en los cuerpos de agua naturales de la microcuenca del río Pixquiac, generadas por actividades antrópicas de los usuarios del agua de los sectores pecuario, acuícola y doméstico. Esta mala administración de las AR está afectando la calidad del recurso y provocando la disminución de su disponibilidad para el consumo humano.

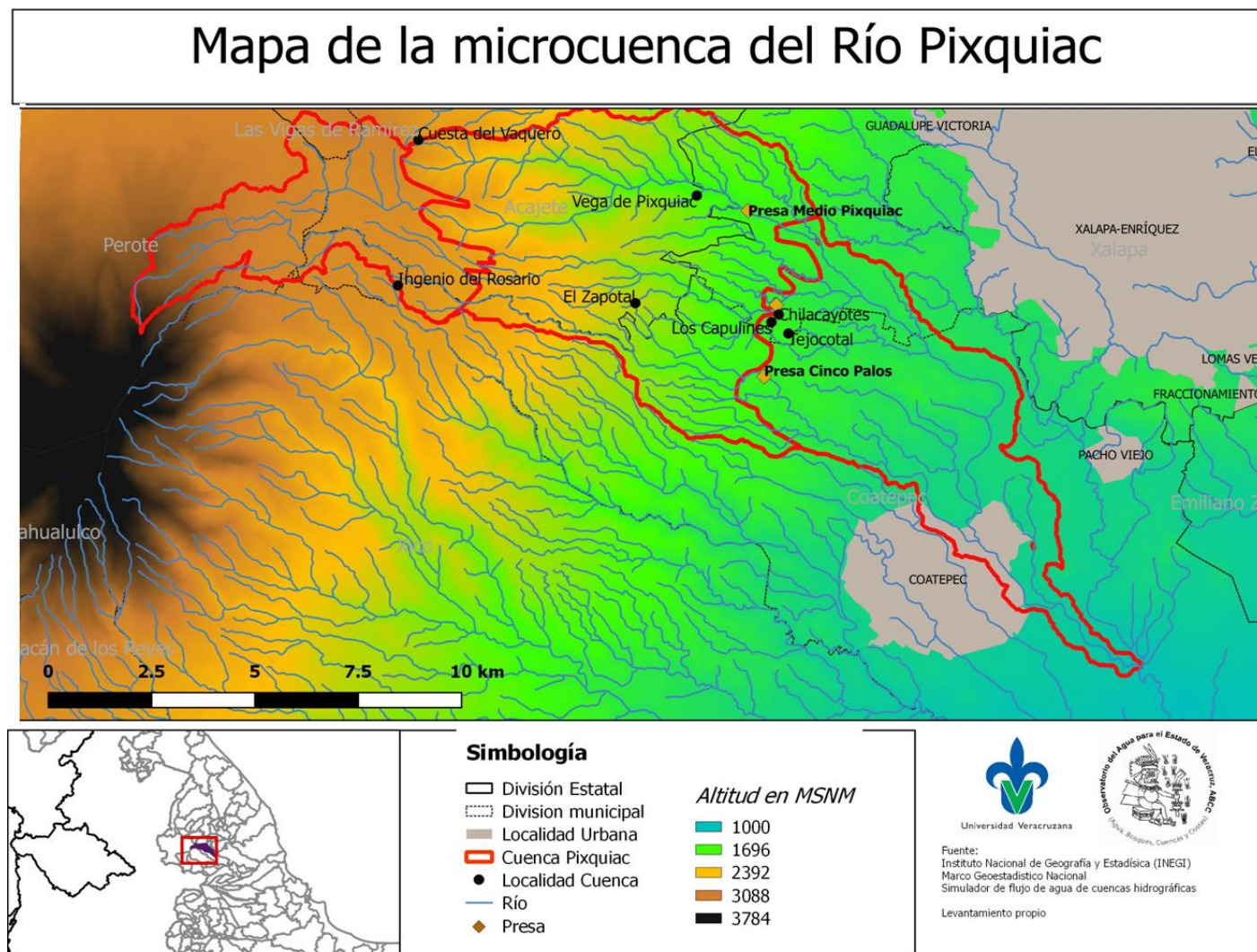
Se señala que las actividades antrópicas que se desarrollan en el sitio de interés, se practican sin que exista una regulación; además, no se evalúan los impactos que pueden generar. Por lo que es importante identificar las actividades (pecuaria, acuícola y doméstica) que contribuyen a la contaminación con organismos microbiológicos del agua de la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz, México.

Metodología

1. Zona de estudio

La microcuenca del río Pixquiac se localiza en el centro del estado de Veracruz. Se ubica hacia el extremo Norte de la cuenca alta de la Antigua, y nace en la vertiente nororiental del sistema montañoso volcánico del Cofre de Perote, por lo que se encuentra expuesta a los vientos húmedos provenientes del Golfo de México. Se localiza al Oeste de la Ciudad de Xalapa y al Noroeste de la ciudad de Coatepec, e integra parcialmente a los municipios de Perote, Las Vigas, Acajete, Tlalnahuayocan y Coatepec. Tiene una superficie total de 10727 ha (lo que equivale al 8.09% del total de la cuenca alta del Antigua) y una longitud de 30.3 km (Figura 1). La zona alta de la microcuenca incluye 908 ha del Parque Nacional Cofre de Perote (Menchaca et al., 2016).

Figura 1. Mapa de la microcuenca del río Pixquiac



La microcuenca, tiene una cobertura forestal de más del 65%, alberga el manchón de bosque mesófilo compacto más grande en el Cofre de Perote, abastece el agua de sus habitantes (alrededor de 7800); además de brindar otros servicios ambientales como regulación del clima, paisaje y retención de suelos (Chan *et al.*, 2016).

De acuerdo con la Comisión Municipal de Agua y Saneamiento de Xalapa (CMAS), sus afluentes contribuyen aproximadamente con el 38% del total del agua de uso público urbano para la ciudad, siendo las principales fuentes de abastecimiento las presas Alto Pixquiac, Medio Pixquiac, Socoyolapan, Cinco Palos, así como manantiales del Cofre de Perote (Figura 1) (Menchaca *et al.*, 2014).

2. Procedimiento

Se elaboraron los mapas hidrológico y altimétrico de la microcuenca, con la finalidad de tener una visión integral de la geografía y del flujo de agua superficial de la zona de estudio en relación con la ubicación de las presas Medio Pixquiac, Socoyolapan y Cinco Palos. Puntos donde la OABCC tiene registro trimestral de la calidad bacteriológica del agua del 2005 al 2016. Además, se identificaron las localidades cercanas a dichas presas y los usuarios del agua de los sectores pecuario, acuícola y doméstico, los cuales podrían estar contribuyendo a la contaminación del recurso hídrico.

Para estudiar el efecto de las actividades sobre la presencia de agentes microbiológicos en los cuerpos de agua, se aplicaron instrumentos de recolección de información, específico para cada sector. El número de instrumentos se determinó con base al tipo de muestreo no probabilístico (nivel de confianza del 95%) de conveniencia (Montgomery *et al.*, 2002) y considerando los siguientes criterios:

- La ubicación geográfica respecto a su cercanía a la orilla del río de las actividades que realizan los distintos tipos de usuarios de interés para esta investigación.
- El flujo y/o escurrimiento de los cuerpos hídricos que tengan su afluente en las presas de Medio Pixquiac, Socoyolapan y Cinco Palos que comprenden las tres zonas analizadas, donde se tiene registrada la presencia de organismos coliformes.

Los instrumentos, variables e indicadores se desarrollaron con base en la revisión de literatura científica (con preguntas abiertas y cerradas e indicadores de carácter cuantitativo y cualitativo, ver Tabla 1). Se aplicaron 33 encuestas (mediante un proceso aleatorio) en las distintas regiones de la microcuenca de interés, la distribución final de los cuestionarios fue cuenca Alta: Ingenio

del Rosario y Cuesta del Vaquero (8); cuenca media: Vega del Pixquiac y El Zapotal (7); cuenca baja: Chilacayotes, Los Capulines y el Tejocotal (18).

Posteriormente, se diseñó y desarrolló una base de datos que integra cada uno de los sectores de los usuarios del agua, las características socioeconómicas generales de la población, así como las variables e indicadores que se consideraron (Tabla 1).

Tabla 1

VARIABLES E INDICADORES DEFINIDOS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Sectores	Variables	Indicador
Pecuario	Generación de estiércol	a) Cría de caballos, vacas, becerros, cerdos b) Cantidad de estiércol
Pecuario	Producción de alimentos lácteos	a) Producción de quesos b) Producción leche
Acuícola	Cría de peces	a) Cultivo de peces dentro del río b) Cultivo de peces fuera del río
Doméstico	Generación de agua residual	a) Disposición final de la descarga

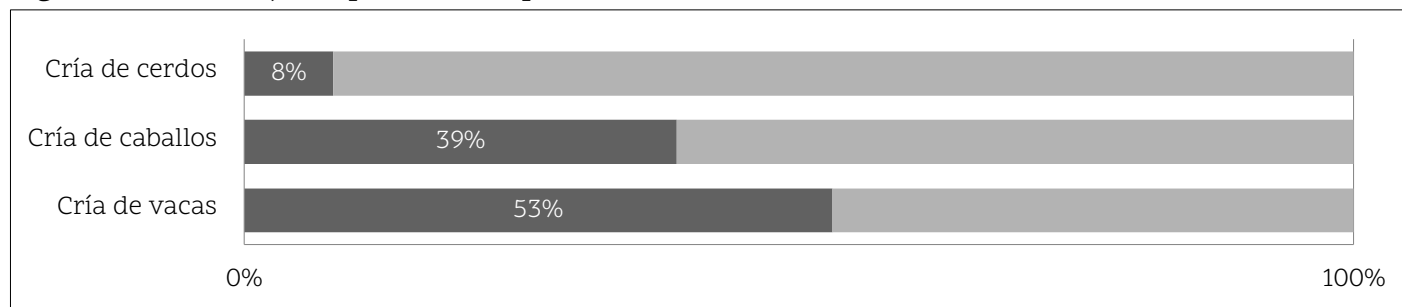
Fuente: Propia

Resultados

1. Sector Pecuario

La actividad de la cría de ganado se desarrolla a lo largo de la microcuenca del río Pixquiac, abarcando las tres zonas (alta, media y baja); las cuales comprenden las localidades de: Los Capulines, El Tejocotal, Chilacayotes, El Zapotal, Cuesta del Vaquero e Ingenio del Rosario. En la zona se tienen cría porcina (8%); equina (39%); y vacuna (53%), de tipo extensiva, y generalmente es para autoconsumo (Figura 2).

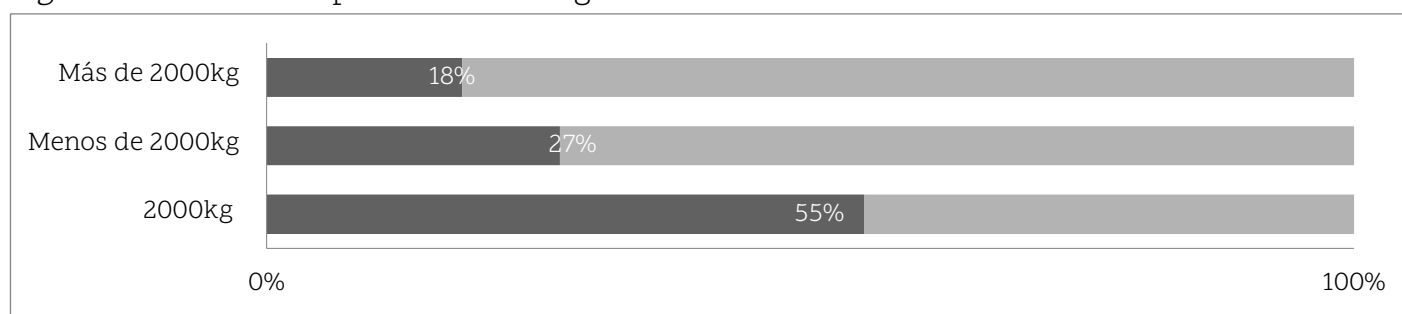
Figura 2. Porcentaje de producción pecuaria en la zona de estudio



Generación de estiércol

El estiércol generado, en los sistemas de producción, tiene impactos ambientales negativos si no existe un control en el almacenamiento, transporte o la aplicación, debido a la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera, y la acumulación de micro y macro nutrientes en el suelo y en los cuerpos hídricos superficiales (Pinos et al., 2012). En la zona de estudio, se identificó que el 18% de los usuarios genera más de 2000 kg de estiércol; el 27% generan menos de 2000kg; y el 55% genera 2000kg al año, dicha actividad se realiza de manera permanente, en la zona de estudio (Figura 3).

Figura 3. Distribución porcentual de la generación de estiércol en la zona de estudio



La generación de estiércol, contamina el agua de la microcuenca por organismos microbiológicos, debido a su mala disposición final, ya que de acuerdo a lo reportado el estiércol se queda en el suelo, lo que causa que el agua se contamine por escurrimiento, infiltración y percolación de las escorrentías y flujo superficial que ocurren en las zonas de pastoreo (EPA, 2006).

Producción de alimentos lácteos

La producción de alimentos lácteos es una actividad que se realiza únicamente en las localidades del Zapotal, Capulines y Cuesta del Vaquero, 29% de los usuarios se dedican a la producción de queso y 71% a la producción de leche, tanto para su comercialización, como para el autoconsumo. Aunque la producción no es a nivel industrial, cuando esta actividad se lleva a cabo sin considerar buenas prácticas ganaderas, el agua puede contaminarse por la mala disposición final de residuos lácteos, pues se producen contaminantes como los organismos microbiológicos provocados por purines; que son la mezcla de desechos animales, el agua sucia que surge del lavado de los equipos de ordeña, el agua de lavado de pisos y las aguas de lluvia que pudieran arrastrar más residuos lácteos (Brunoriet al., 2012).

2. Sector Acuícola

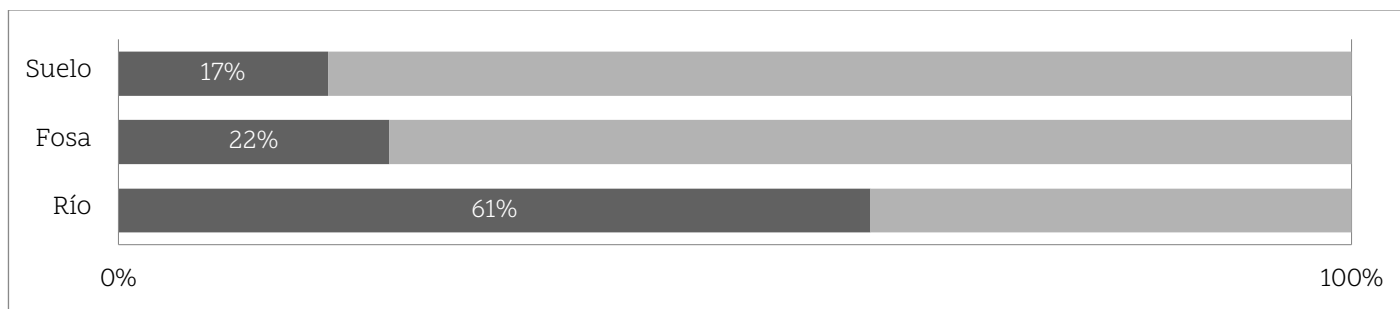
La cría de peces es una actividad que se realiza únicamente en las localidades de los Capulines y el Zapotal. La cantidad que se cultiva es de aproximadamente 13000 peces al año. La frecuencia de alimentación se realiza 3 veces al día y la cantidad aumenta de acuerdo al tamaño del pez, lo que ocasiona que la concentración de los organismos microbiológicos se incremente. Aunque el 50% de las instalaciones no cultivan peces dentro de los afluentes naturales del sistema hidrológico de la microcuenca, los acuicultores descargan directamente las aguas usadas en la cría, sin un tratamiento previo, actividad que impacta a los cuerpos de agua. El 50% restante, realiza la producción acuícola dentro de los cuerpos naturales del agua.

Al respecto, se establece lo encontrado por Bushmann (2001) señalando que la acuicultura es una actividad que degrada el medio ambiente, ya que genera grandes cantidades de desechos, que contaminan el agua, como el alimento no consumido por los peces que se sedimenta, degradando el espacio que no sólo es utilizado por los peces cultivados, sino también por otras especies; segundo porque la introducción de ovas foráneas aumenta la probabilidad de expansión de enfermedades en el medio, entre otros impactos.

3. Sector Doméstico

En las localidades de los Capulines, Chilacayotes, Cuesta del Vaquero, Ingenio del Rosario, Tejocotal, Vega del Pixquiac y el Zapotal, se encontró que las casas no cuentan con drenaje. El 17% las descarga al suelo; el 22% de los usuarios cuentan con fosa séptica; y el 61% las descarga directamente a los cuerpos naturales (Figura 4).

Figura 4. Distribución porcentual del destino de las aguas residuales generadas por las comunidades de la zona de estudio



La actividad doméstica es la responsable de que grandes cantidades de materia orgánica sean depositadas en los cuerpos de agua, esto representa un problema de descomposición de la misma, ya que tiende a una mayor demanda bioquímica de oxígeno (DBO). En condiciones extremas, todo el oxígeno disuelto desaparece, generando la muerte de especies de flora y fauna,

además de enfermedades múltiples que afectan de manera significativa a los habitantes de la región (Menchaca et al., 2011). Cabe destacar, que las deficientes condiciones sanitarias (ambientales, de infraestructura y educación) aumentan el riesgo de infección por helmintos y protozoarios, lo que repercute en la salud de los seres humanos (CEPAL, NU, 2002).

Los impactos anteriormente descritos determinan la afectación a la calidad del agua, ya que los límites máximos permisibles por la OMS 2006, establecen que tanto los coliformes fecales como los totales deben ser no detectables, pues no son indicadores aceptables de la calidad sanitaria de los sistemas de abastecimiento de agua. En comparación con la NOM-127-SSA1, se menciona que los coliformes totales deben estar ausentes o no ser detectados en ninguna muestra de 100ml. Sin embargo, el promedio de este indicador supera por 249 NMP/100ml, dicha concentración. Además, al compararse con el promedio más una desviación estándar, la diferencia es mayor, representando una diferencia de 279 NMP/100ml. Esto ocurre también con las concentraciones de coliformes fecales ya que el promedio de la concentración de los años registrados (2005-2016), muestran un valor de 87 NMP/100ml y el promedio más una desviación estándar indica un valor de 162 NMP/100ml (Tabla 2).

Tabla 2

Comparación entre los límites máximos permisibles legales y los determinados en la zona de estudio

OMS 2006	NOM-127-SSA1	Promedio (2005-2016)	Promedio más una desviación estándar
C. Totales – No detectables	C. Totales – 2 NMP/100ml	C. Totales – 251 NMP/100ml	C. Totales – 381NMP/100ml
C. Fecales – No detectables	C. Fecales – No detectables	C. Fecales – 87 NMP/100ml	C. Fecales – 162 NMP/100ml

*Base de datos del Sistema de Información del OABCC

Conclusiones y recomendaciones

Las características de la dinámica actual de las poblaciones de la zona de estudio, representa un riesgo para la preservación del recurso hídrico y comprometen la disponibilidad para futuras generaciones.

El sector con mayor influencia en el aporte de aguas residuales con carga patógena es el doméstico; la mayoría de estos efluentes (60 %) se vierten directamente en cuerpos de agua. Por lo tanto, se requieren estrategias de minimización y tratamiento para estos efluentes. Sin embargo, el sector pecuario resulta ser también un factor importante debido a que tiene presencia en la mayoría de las comunidades, y genera grandes cantidades de deyecciones. Por

otro lado, el sector con menor presencia en la zona resultó ser el acuícola; el cual, solo se realiza en dos comunidades; aunque todos los productores de peces vierten sus aguas residuales directamente a los cuerpos de agua, lo que magnifica su efecto.

En Capulines y el Zapotal se desarrollan actividades pecuarias, acuícolas y domésticas, por lo tanto, se concluye que son las comunidades con mayor aporte de contaminantes en la región. Mientras que, Cuesta del Vaquero ocupa el segundo; en esta última se desarrollan actividades inherentes a los sectores pecuario y doméstico. La comunidad de Vega de Pixquiac es la de menor aporte de contaminantes, ya que no presenta actividades pecuarias o acuícolas.

La población en el contexto rural no cuenta con redes de drenaje que conduzcan sus descargas a una planta de tratamiento; por lo tanto, se deben proponer diseños de tratamientos de aguas residuales no convencionales o emergentes como alternativa para resolver problemas de contaminación de agua; tales como humedales artificiales. Éste tipo de tratamiento es sencillo, de bajo costo y eficientes. Pueden proyectarse para una o un número reducido de viviendas contiguas.

Referencias

Brunori, J., Fazzone, M. R., & Figueroa, M. E. (2012). *Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar*. Ministerio de agricultura, ganadería y pesca, 277.

Buschmann, A. H. (2001). *Impacto Ambiental de la Acuicultura el Estado de la Investigación en Chile y el Mundo*. Terram Publicaciones, 67.

CEPAL, N. (2002). *La sostenibilidad del desarrollo en América Latina y el Caribe: desafíos y oportunidades*. CEPAL.

Chan, G. V., Pangtay, T. F., Coll, I. G., Ouellet, L. P., & Fernández, P. G. (2016). Cogestión de la cuenca del río Pixquiac. Recuperado de <https://agua.org.mx/biblioteca/cogestion-de-la-cuenca-del-rio-pixquiac-2/>

EPA (Environmental Protection Agency). 2006. *Global Anthropogenic Non-CO2 greenhouse gas emissions: 1990-2020*. United States Environment Protection Agency, USA, 274.

Menchaca, M. del S., & Alvarado, E. L. (2011). Efectos antropogénicos provocados por los usuarios del agua en la microcuenca del Río Pixquiac. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (1), 85-96.

Menchaca, S., Alvarado, L., Zapata, K., & Uscanga, L. A. (2014). "Riesgo: Antropización de los Servicios Ambientales, Amenaza por Contaminación del Agua y Vulnerabilidad en la Microcuenca del Río Pixquiac, Veracruz, México", en *Memorias*, Congreso Internacional de Investigación en Ciencias y Sustentabilidad de Academia Journals, Tuxpan, Veracruz, 28 a 30 de mayo, 2014. Memorias publicadas (ISBN 978-1-939982-04-9; ISBN 978-1-939982-05-6 Y ISSN 2169-6152), 106.

Menchaca, S., & Uscanga, L. (2016). *Cultura del agua para la gobernanza en la gestión integral de los recursos hídricos*. CONAGUA. SEDEMA. SEMARNAT. México.

Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2002). Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. Limusa Wiley.

Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guidelines for drinking-water quality: first addendum to the third edition, volume 1: reccommendations*. Geneva: WHO.

Pajares, M., & Orlando, E. (2014). *Microorganismos indicadores de la calidad de agua de consumo humano en Lima Metropolitana*. Recuperado 23 de marzo de 2018, a partir de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/tesis/basic/marchand_p_e/anteced.htm

Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L. Y., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 359-370.