

Cárdenas-Guevara, G., N.R. Castañeda-Chávez & R.E. Zamudio-Alemán. 2025. Contaminantes Emergentes con Impacto en el PNSAV: Caso Oxitetraciclina, p. 227-240. In: A. Granados-Barba, L.D. Ortiz-Lozano & A.L. Gutiérrez-Velázquez (eds.). Nuevo Conocimiento sobre el Corredor Arrecifal del suroeste del Golfo de México: Integrando los Ambientes Costeros. Universidad Autónoma de Campeche. 540 p. ISBN 978-607-8907-34-2. doi 10.26359/EPOMEX02202509.

Contaminantes Emergentes con Impacto en el PNSAV: Caso Oxitetraciclina

*Gabriela Cárdenas-Guevara, María del Refugio Castañeda-Chávez**
& *Rosa Elena Zamudio-Alemán*

Instituto Tecnológico de Boca del Río
Tecnológico Nacional de México,
Boca del Río, Veracruz

*Autor de correspondencia: mariacastaneda@bdelrio.tecnm.mx

Resumen

Los contaminantes emergentes son compuestos químicos cuya presencia en el medioambiente, su comportamiento y distribución no se consideran para su monitoreo sistemático. No están regulados por la legislación mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 pero se introducen constantemente a los cuerpos de agua a través de las aguas residuales y escorrentías superficiales. La oxitetraciclina es un antibiótico de uso común en México debido a que actúa contra una amplia gama de bacterias patógenas, sean grampositivas o gramnegativas. El objetivo del presente trabajo fue determinar la concentración de oxitetraciclina en aguas superficiales del Área Natural Protegida (ANP) Arroyo Moreno. Esta zona se encuentra impactada por las actividades antropogénicas que se desarrollan a los alrededores, aun cuando el 25 de noviembre de 1999 fue declarada Reserva Ecológica, y en el 2008 se reforzó su protección elevando su estatus a Área Natural Protegida Estatal. Mediante el Ensayo por Inmunoabsorción Ligado a Enzimas (ELISA), se determinó la concentración de oxitetraciclina en diez puntos de muestreo ubicados a lo largo del Arroyo Moreno, durante nortes, lluvias y estiaje (secas). El resultado de dicho análisis arrojó concentraciones de entre 0.47 a 6.40 ng/L, lo que deja en evidencia el impacto de la continua descarga de aguas residuales a la Reserva Natural Arroyo Moreno, y de cómo este contaminante emergente se introduce por arrastre a la cuenca baja del río Jamapa que descarga directamente en el PNSAV.

Palabras clave: Antibióticos, PNSAV, ELISA.

Abstract

Emerging contaminants are chemical compounds whose presence in the environment, behavior, and distribution are not considered for systematic monitoring. They are not regulated by Mexican legislation NOM-001-SEMARNAT-2021 and are constantly introduced into water bodies through wastewater and surface runoff. Oxytetracycline is an antibiotic commonly used in Mexico because it acts against a wide range of pathogenic bacteria, both gram-positive and gram-negative. The objective of this study was to know the concentration of oxytetracycline in surface water in the Arroyo Moreno Natural Protected Area. This area is impacted by anthropogenic activities in the surrounding area, even though on November 25, 1992, it was declared an Ecological Reserve. In 2008, its protection was reinforced by elevating its status to the Natural Protected Area. Using the Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA), the concentration of oxytetracycline was determined at ten sampling points distributed along the Arroyo Moreno River, during nortes, rain, and dry seasons. The results of this analysis showed concentrations ranging from 0.47 to 6.40 ng/L, which demonstrates the impact of the continuous discharge of wastewater into the Arroyo Moreno Nature Reserve and how this emerging contaminant is introduced into the lower basin of the Jamapa River, which discharges directly into the PNSAV.

keywords: antibiótico, PNSAV, ELISA.

Introducción

La presencia de productos químicos farmacéuticos en el medio acuático ha sido reconocida como una preocupación. Las principales vías de los productos farmacéuticos hacia el medio ambiente son a través de la excreción humana, la eliminación de los productos no utilizados y por el uso agrícola.

Una amplia gama de productos farmacéuticos se han detectado en aguas superficiales y subterráneas, asociados con la eliminación de las aguas residuales, las cuales están definidas en la Ley de Aguas Nacionales como “*aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público, urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas*” (DOF, 2023).

Estos residuos son transportados a cuerpos de agua por diferentes rutas, y las plantas de tratamiento de aguas residuales actúan como una de las puertas de entrada de estos productos al medio natural. En efecto, muchos de estos compuestos no son realmente retenidos en sus procesos y son descargados directamente al ecosistema, como es el caso de residuos farmacéuticos veterinarios (Gil *et al.*, 2012).

Los antibióticos son fármacos de uso global debido a su efecto contra microorganismos patógenos en animales y humanos, así como para la preservación de alimentos. Por ello, su producción y consumo se ha incrementado derivando en grandes descargas sobre los cuerpos de agua, con manifestaciones de resistencia microbiana (Escher *et al.*, 2011). Existe evidencia de la presencia de residuos de antibióticos en el ambiente y

su implicación sobre los mecanismos de defensa de los organismos vivos; entre los antibióticos con mayor reporte en los cuerpos de agua están las tetraciclinas, aminoglicósidos, macrólidos, betalactámicos y vancomicina (Gil *et al.*, 2012).

La mayoría de los antibióticos no son metabolizados completamente por humanos y animales, por lo que entre el 30 y 90 % de éstos son excretados en la orina como sustancias activas y logran pasar al ambiente (León-Aguirre *et al.*, 2017). Se ha reportado la toxicidad de antibióticos, junto con sus metabolitos, que incluyen casos de mortalidad en algas, invertebrados y peces (Escher *et al.*, 2011). Asimismo, antibióticos y mezclas de éstos, han sido encontrados en microorganismos acuáticos como cianobacterias y algas verdes (González *et al.*, 2016). Su presencia en el medio acuático puede influir en la resistencia a los antibióticos en las infecciones de la población humana (Escher *et al.*, 2011).

El fenómeno de difusión de los antibióticos en los ecosistemas (Jiang *et al.*, 2014) supone que los hospitales son la fuente de introducción de los antibióticos y las bacterias resistentes en las aguas residuales municipales; sin embargo, se reporta que los efluentes hospitalarios contribuyen con menos del 1% de la cantidad total presente en estas aguas. Además, para Hiroshi *et al.* (2009) los antibióticos rara vez se encuentran en el agua subterránea y en caso de encontrarse se debe a la lixiviación de los campos tratados con antimicrobianos en actividades como la agricultura, acuicultura y medicina veterinaria.

Por otra parte, Vargas & Ruiz (2007) documentan que la exposición a los antibióticos en las aguas superficiales puede tener efectos adversos en la reproducción en las primeras etapas de vida de los organismos. De acuerdo con Acevedo-Barrios *et al.* (2015), la presencia de antibióticos en el ambiente acuático puede afectar el comportamiento de los organismos, ocasiona deformaciones del esqueleto de peces, al igual que en el caparazón de las tortugas que han estado expuestas a altas concentraciones de antibióticos en el medio ambiente.

Castañeda *et al.* (2009) documentaron que los antibióticos que se unen a las partículas de los sedimentos son retenidos por su asociación con los productos químicos del mismo y retrasan su biodegradación, lo que explica su persistencia en el ambiente. Asimismo, se ha analizado la prevalencia de antibióticos de uso veterinario en matrices ambientales como el suelo, agua y estiércol, así su potencial riesgo en el ambiente (Patyra *et al.* 2023).

De igual manera, la agricultura juega un papel importante en la incorporación de estos compuestos en los suelos, sea en su forma original o como metabolito, en el estiércol y el abono (Kim *et al.*, 2023). En la acuicultura, los antibióticos se han utilizado principalmente para fines terapéuticos y como agentes profilácticos, entre éstos se encuentran oxitetraciclina, florfenicol, premezcla, sarafloxacin, sulfonamidas o eritromicina (Cabello, 2006).

Robledo-Zacarías *et al.* (2017) evaluaron la presencia de 22 compuestos de productos farmacéuticos, entre ellos cuatro antibióticos (tetraciclina, cefaclor, cefadroxilo y ampicilina), en muestras de agua residuales del in-

fluente y efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Morelia, Michoacán. Los análisis se llevaron a cabo mediante espectrofotometría de infrarrojo (FT-IR) y espectrometría de masas (ESI-MS-TOF). Demostraron que los tratamientos de aguas residuales son ineficientes para la eliminación de productos farmacéuticos, además, proponen el análisis del cuerpo de agua en donde se descarga el efluente tratado.

Avilés *et al.* (2015) demostraron que las aguas residuales son una de las principales vías de ingreso de estos contaminantes a los ecosistemas acuáticos. Analizaron el efluente de una PTAR en aguas superficiales de los ríos Yautepec y Cautla, en Morelos; emplearon cromatografía líquida acoplada a un detector de masas triple cuadrupolo para la cuantificación de fármacos como atenolol, sulfametoxazol, proanolol, naproxeno. Los resultados arrojaron concentraciones de atenolol, sulfametoxazol, propanolol y naproxeno, mientras que, en el caso de las fuentes de abastecimiento, los fármacos encontrados en mayores concentraciones fueron metoprol y sulfametoxazol.

Cruz *et al.* (2014) identificaron altas concentraciones (del orden μgL^{-1}) de ibuprofeno, naproxeno, ketoprofeno, cafeína, manileño y bisfenol en aguas de río y laguna en la reserva de la biosfera “La Encrucijada”; ello es evidencia de que los programas de protección y monitoreo ambiental deben revisarse con más rigor.

Con base en lo anterior, el propósito de esta investigación es dar a conocer la presencia de oxitetraciclina, un antibiótico de uso común en México, en aguas superficiales del ANP Arroyo Moreno, evidenciando que los antibióticos son contaminantes novedosos

que pueden deteriorar la calidad de los cuerpos de agua naturales, poner en riesgo a la biota y a la salud pública.

Materiales y métodos

El Arroyo Moreno es parte de la cuenca hidrológica del río Jamapa que se origina en deshielos del volcán Citlaltépetl a 5,610 metros sobre el nivel del mar (msnm). El río Jamapa se origina a 4 700 msnm en el límite de los estados de Puebla y Veracruz, y desemboca al mar en el municipio de Boca

del Río (figura 1); sin embargo, en las inmediaciones del municipio de Medellín de Bravo fluye en el río Cotaxtla y de esta confluencia, el río Jamapa se orienta hacia el norte desviándose hacia el oriente formando una margen izquierda que define al Arroyo Moreno (Fuentes-Mariles *et al.*, 2014) un

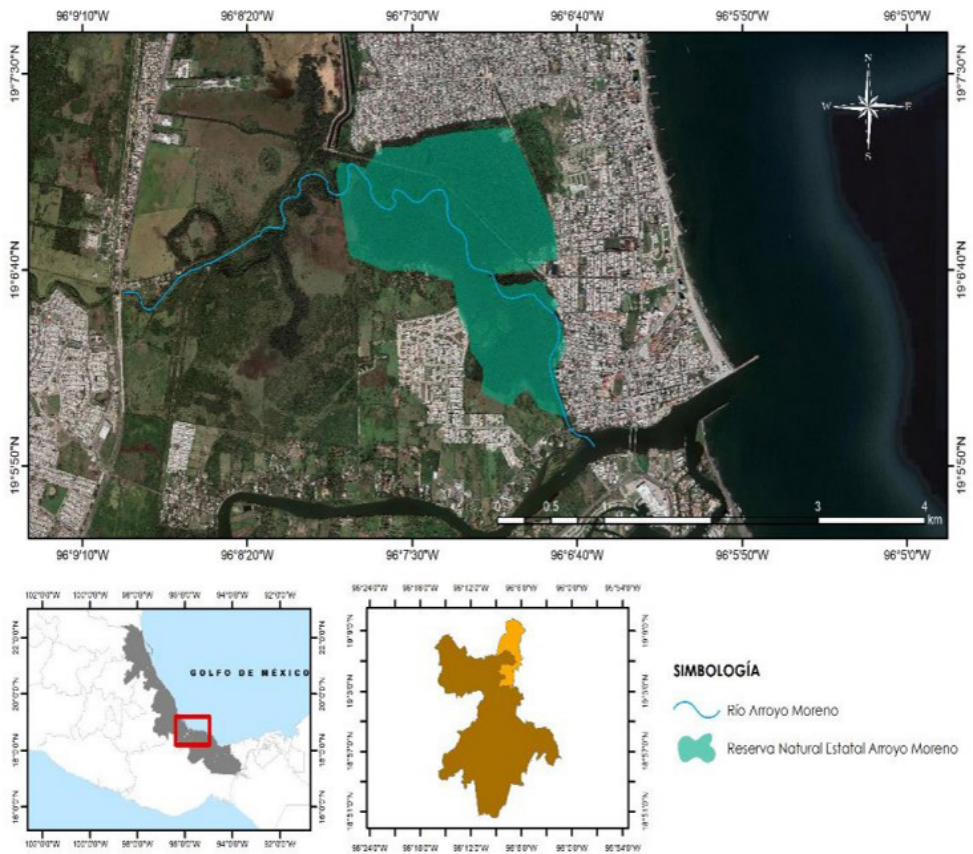


Figura 1. Reserva Natural Estatal Arroyo Moreno.

ANP impactada por las descargas municipales de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín (Castañeda-Chávez & Lango-Reynoso, 2022).

La importancia de esta parte de la cuenca radica en que es un sistema estuarino cuyas descargas y nutrientes llegan al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PN-SAV), el cual cuenta con 50 arrecifes de coral (Leaño-Carrera *et al.*, 2019) que funcionan como una barrera de protección contra los efectos del oleaje, marejadas, tormentas tropicales y huracanes. Además, contribuyen a mitigar los efectos del cambio climático, por lo que cualquier daño ambiental o de contaminación es sancionado por la NOM-022-SEMARNAT-2003, ordenamiento que protege también al ecosistema de manglar (INECC, 2018).

En la zona de estudio se presentan tres temporadas climáticas con marcada influencia sobre los ecosistemas costeros, como el periodo de fuertes vientos del norte, llamada “Nortes (N)”, en la que se desarrollan los frentes fríos de septiembre a abril; seguida por el periodo de “Estiaje (E)” también llamada de secas, que se desarrolla de mayo a junio, y por la de “LLuvias (LL)” durante julio y agosto (Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008).

Con base en dos visitas de prospección realizadas entre los meses de octubre 2020 a julio 2021, se seleccionaron 10 puntos de muestreo (tabla 1) de acuerdo con los siguientes criterios: 1) Cercanía a fuentes de contaminación puntuales tales como descargas de efluentes de aguas residuales y pluviales; 2) Asentamientos humanos, y 3) Vías de acceso.

Tabla 1. Ubicación de los puntos de Muestreo.

Clave	Ubicación	
	X	Y
P1	-96.1116	19.0996
P2	-96.1118	19.0999
P3	-96.1180	19.09999
P4	-96.1121	19.101160
P5	-96.1131	19.103500
P6	-96.1127	19.105820
P7	-96.1220	19.115930
P8	-96.1302	19.118640
P9	-96.1303	19.118440
P10	-96.1421	19.111380

La determinación cualitativa y cuantitativa de oxitetraciclina se realizó mediante un ensayo por Inmunoabsorción Ligado a Enzimas ELISA (del inglés *Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay*), siguiendo el protocolo establecido para tal fin. Esta técnica consiste en la detección de un antígeno inmovilizado sobre una fase sólida (pocillo) mediante anticuerpos que, directa o indirectamente, producen una reacción (*e.g.* colorimétrica) que puede ser medida por espectrofotometría mediante la medición de la longitud de onda para ese antígeno en específico (Guzmán-Vázquez, 2006; Seyco, 2021).

Para llevar a cabo el análisis estadístico de los datos se utilizó el software Minitab 18. Primero se comprobó la normalidad de los datos obtenidos mediante una prueba de normalidad Ryan-Joiner (similar a Shapiro-Wilk). Una vez obtenida esta información se procedió a realizar un análisis de la varianza (ANOVA) en específico un modelo lineal general.

Resultados

En la presente investigación se identificaron 10 fuentes puntuales de contaminación (figura 2) a lo largo del sendero del río Arroyo Moreno (también llamado río Moreno, o río Puente Moreno).

Se identificó el canal de la Zamorana (figura 3) en donde convergen las aguas residuales de alrededor 52 colonias.

En la tabla 2 y figura 4 se presentan las concentraciones obtenidas por punto de muestreo en la temporada de “Nortes”

donde se puede observar que la concentración mínima obtenida es de 4.62 ng/L, mientras que la máxima es de 5.30 ng/L con un promedio de 4.913 ng/L.

En la tabla 3 y figura 5 se presentan las concentraciones obtenidas por punto de muestreo en la temporada de Estiaje donde se puede observar que la concentración mínima obtenida es de 4.95 ng/L, mientras que la máxima es de 5.85 ng/L, con un promedio de 5.56 ng/L.

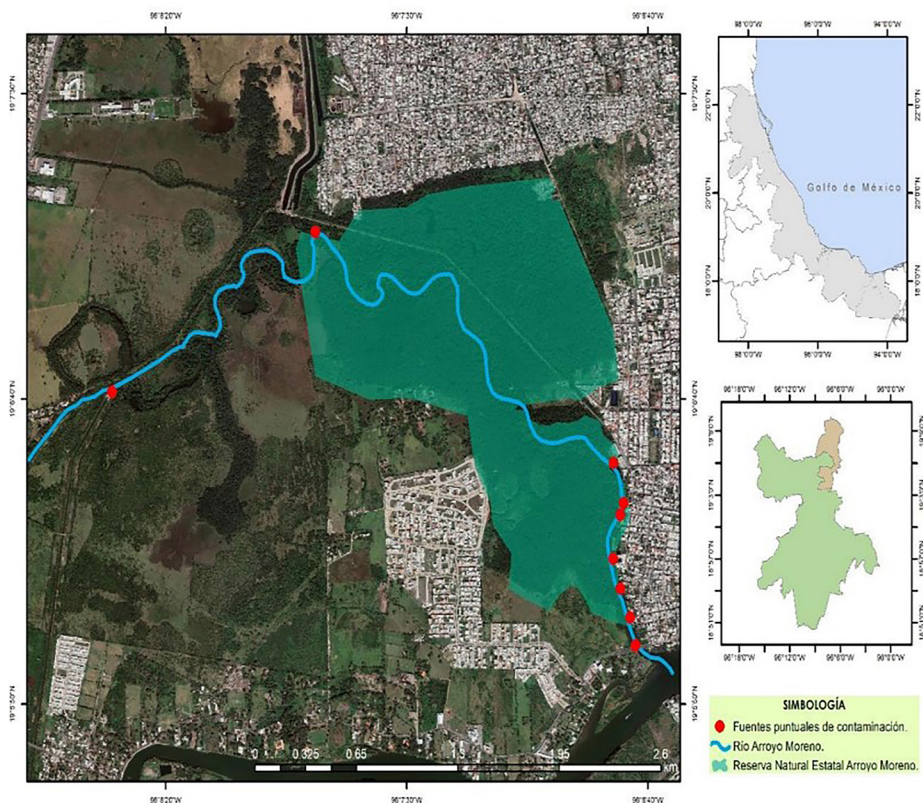


Figura 2. Fuentes Puntuales de Contaminación.



Figura 3. Descarga del canal de la Zamorana.

Tabla 2. Resultados temporada de Nortes.				
No. Muestra	Temporada	ID	Absorbancia	Concentración
1	Nortes	m1-N	0.61	4.88
2		m2-N	0.69	4.65
3		m3-N	0.60	4.91
4		m4-N	0.70	4.62
5		m5-N	0.50	5.20
6		m6-N	0.57	5.01
7		m7-N	0.52	5.14
8		m8-N	0.56	5.03
9		m9-N	0.72	4.57
10		m10-N	0.47	5.30
		Promedio	0.59	4.93

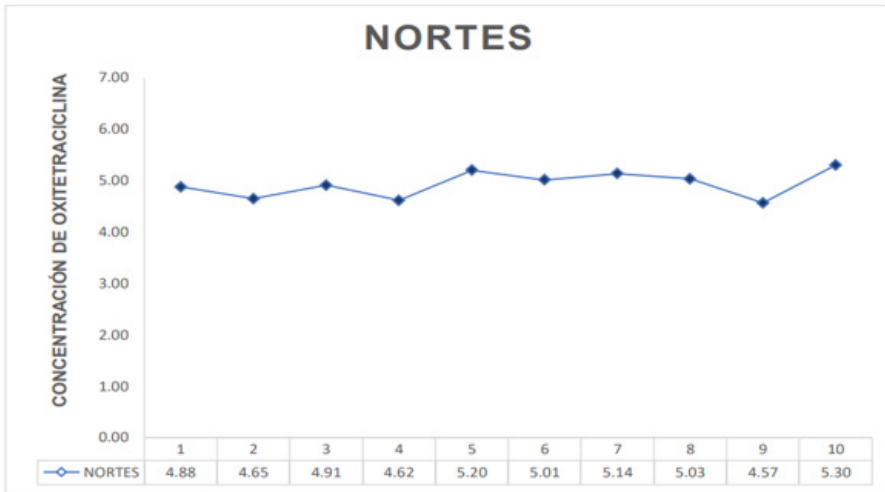


Figura 4. Concentración de oxitetraciclina en temporada de Nortes.

Tabla 3. Resultados de la temporada de “Estiaje”.

No. Muestra	Temporada	ID	Absorbancia	Concentración
1	Estiaje	m1-E	0.34	5.67
2		m2-E	0.35	5.64
3		m3-E	0.36	5.61
4		m4-E	0.42	5.44
5		m5-E	0.40	5.51
6		m6-E	0.30	5.79
7		m7-E	0.36	5.62
8		m8-E	0.41	5.47
9		m9-E	0.59	4.95
10		m10-E	0.28	5.85
Promedio			0.38	5.56

En la tabla 4 y figura 6 se presentan las concentraciones obtenidas por punto de muestreo en la temporada de Lluvias donde se puede observar que la concentración mí-

nima obtenida es de 3.11 ng/L, mientras que la máxima es de 4.04 ng/L con un promedio de 3.65 ng/L.

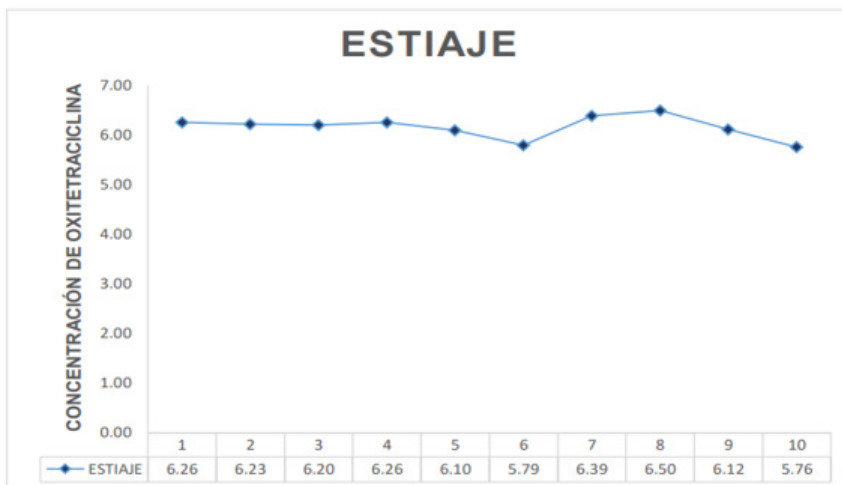


Figura 5. Concentración de oxitetraciclina en temporada de Estiaje.

Tabla 4. Resultados de la temporada de “Lluvias”.

No. Muestra	Temporada	ID	Absorbancia	Concentración
1	Lluvias	m1-E	1.00	3.74
2		m2-E	1.10	3.44
3		m3-E	1.20	3.15
4		m4-E	1.02	3.68
5		m5-E	1.02	3.68
6		m6-E	0.90	4.04
7		m7-E	0.90	4.02
8		m8-E	0.94	3.91
9		m9-E	1.21	3.11
10		m10-E	1.01	3.71
		Promedio	1.03	3.65



Figura 6. Concentración de oxitetraciclina en la temporada de lluvias.

Discusión

El comportamiento de la oxitetraciclina en el medio acuático se ve afectado por el nivel del agua puesto que se trata de una molécula hidrosoluble. En la figura 7 se presenta el comportamiento de las precipitaciones en el área de estudio; se puede observar que, entre los meses de junio a septiembre, la precipitación fue de 270 mm por lo que el nivel del río Arroyo Moreno (también llamado río Moreno, o río Puente Moreno) se incrementó y la concentración de oxitetraciclina registró su concentración más baja 0.50 ng/L. Por el contrario, en el periodo de Estiaje (meses de febrero a mayo) donde las precipitaciones fueron más bajas (de 13 mm), la oxitetraciclina registró su concentración más alta (de 6.40 ng/L). Durante la temporada de Nortes (noviembre a enero) se registraron valores intermedios del antibiótico con una concentración máxima de 5.40 ng/L.

De acuerdo con CONAGUA (2021), el 67 % del agua residual generada en México es tratada, por lo que el porcentaje restante aun es de consideración. En este estudio, alrededor de 52 colonias se desconoce si las aguas residuales son tratadas. Al respecto, existen estudios científicos que documentan que los tratamientos convencionales de aguas residuales no eliminan los antibióticos; Robledo-Zacarías *et al.* (2017) indican una eficiencia media de remoción de antibióticos del 13.6 %, por lo que recomiendan utilizar métodos alternativos efectivos y que puedan ser adaptados en las PTAR. Asimismo, sugieren el establecimiento de límites máximos permitidos para contaminantes emergentes en efluentes, principalmente de uso agrícola, sobre todo si se considera que, de acuerdo con Morgan-Sagastume *et al.* (2023), en México el 54 % del agua tratada se reusa.

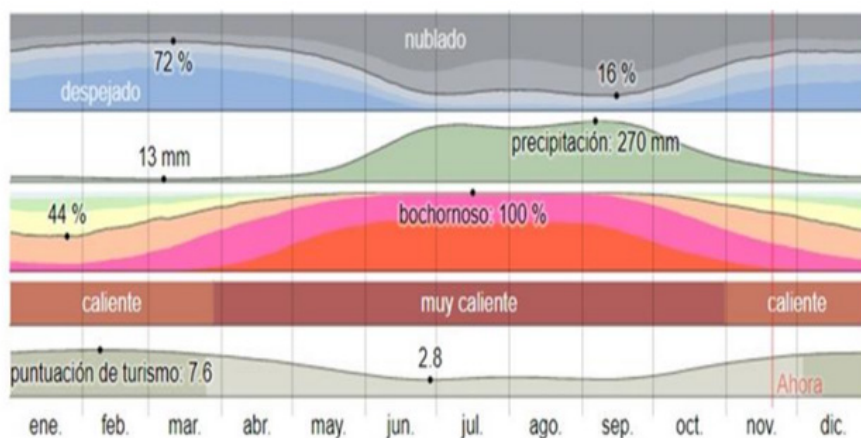


Figura 7. Principales precipitaciones del ciclo anual 2019-2020 (Conagua: 2021).

En el presente estudio, la mayor concentración de oxitetraciclina se registró en la principal descarga de aguas residuales, la zona del canal de la Zamorana, lo cual es consistente con lo que indica Barceló (2010) acerca de que la principal entrada de oxitetraciclina a los ríos es a través de las descargas de aguas residuales.

Todo lo anterior apunta a que la principal vía de distribución de los antibióticos a las aguas superficiales, son las descargas de aguas residuales provenientes de las zonas residenciales aledañas a la zona de estudio. Por ello, en futuras investigaciones es necesario

incidir sobre los problemas ecotoxicológicos que estos compuestos pueden generar en la zona donde se vierten y usan estas aguas residuales.

Las concentraciones de oxitetraciclina encontradas en la margen de la Reserva Natural Arroyo Moreno son bajas en comparación con otros trabajos reportados para zonas similares; sin embargo, no se descarta la posibilidad de que estas concentraciones estén afectando a los organismos acuáticos, debido a que los antibióticos tienden a ser bioacumulables y persistentes en el medioambiente.

Conclusiones

Las fuentes principales de contaminación identificadas fueron un total de diez, son fuentes de tipo puntual, en específico descargas de aguas residuales de los principales complejos residenciales aledaños a la zona de estudio, lo que refleja la falta de regula-

rización de dichas descargas por parte de las autoridades correspondientes.

Las concentraciones de oxitetraciclina registradas en las aguas superficiales del ANP Arroyo Moreno son bajas comparadas con trabajos reportados para zonas similares.

Las concentración más alta de oxitetraciclina se registró en el periodo de Estiaje con 6.40 ng/L, lo que es evidencia de que los tratamientos de aguas residuales convenciona-

les no son eficientes para la remoción de este antibiótico, clasificado como “contaminante emergente”.

Consideraciones finales

Este trabajo deja un precedente acerca de la presencia de oxitetraciclina en aguas superficiales del ANP Arroyo Moreno y su relación con las fuentes de contaminación encontradas en sus inmediaciones.

El ANP Arroyo Moreno, a través del río Arroyo Moreno, conecta directamente con

el río Jamapa que, a su vez, descarga sus aguas en las inmediaciones del PNSAV con probables efectos sobre su calidad del agua. Por ello, es importante hacer estudios al respecto en las aguas de este parque arrecifal.

Literatura citada

- Acevedo-Barrios, R.L., C.A. Severiche-Sierra & J.C. Jaimes-Morales, 2015. Bacterias resistentes a antibióticos en ecosistemas acuáticos. *Revista P+L*, 10:160-172.
- Avilés-Flores, M., M. Sánchez-Zarza & N. Ramírez-Salinas, 2015. Métodos analíticos para determinación de compuestos emergentes en agua. Informe Final proyecto TC1502.1 IMTA-SEMARNAT. 31 pp.
- Cabello, F., 2006. Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: a growing problem for human and animal health and the environment. *Environmental Microbiology*, 7:1137–1144.
- Castañeda, Y., P. López, R. Figueroa & J.L. Fuentes, 2009. Susceptibilidad a antibióticos de bacterias indicadoras de contaminación fecal aisladas de aguas y sedimentos marinos de playas de la Isla de Margarita, Venezuela. *Saber*, 21:12-19.
- Castañeda-Chávez, M.R. & F. Lango-Reynoso, 2022. Impact of the Jamapa River Basin on the Gulf of Mexico. *IntechOpen*. doi:10.5772/intechopen.97021.
- CONAGUA, 2021. Inventario Nacional de Plantas Municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación 2021. CONAGUA. www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/759492/Inventario_2021.pdf
- Cruz-Carrillo, M.J., 2019. Evaluación y tratamiento de contaminantes emergentes (fármacos ácidos) en aguas residuales mediante un reactor SBRLF acoplado a fotocatalisis. Tesis Doctorado. UAEM. 167 pp.
- DOF, 2023. Diario Oficial de la Federación. Ley de aguas nacionales. Pp. 1-118. *In: Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada 08-05-2023.* <https://diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf>
- Escher, B.I., R. Baumgartner, M. Koller, K. Treyer, J. Lienert, & C.S. McArdell, 2011. Environmental toxicology and risk assessment of pharmaceuticals from hospital wastewater. *Water Research*, 45(1):75-92.
- Fuentes-Mariles, O.A., V. Franco, F. Luna-Cruz, L. Vélez-Morales & H.L. Morales-Rodríguez, 2014. Caracterización fluvial e

- hidráulica de las inundaciones en México. Convenio CNA-SGT-GASIR-09/2014, organismo de cuenca X, Golfo centro ciudad de Veracruz, Veracruz ríos Jamapa y Cotaxtla. CONAGUA e Instituto de Ingeniería, UNAM. 87 pp.
- Gil, M.J., A.M. Soto, J.I. Usma & O.D. Gutiérrez, 2012. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción+limpia*, 7(2):52-73.
- González-Martínez, M., M. López-Novo, M. Montesino-López, Y. Pérez-Plana, H. Martínez-Sánchez, 2016. Resistencia microbiana de microorganismos aislados en neonatología. Hospital Abel Santamaría Cuadrado. *Revista Científica Médica de Pinar del Río*, 20(5):593-602.
- Hiroshi Y., Y. Nakamura., S. Moriguchi, & J. Sekizawa, 2009. Persistence and partitioning of eight selected pharmaceuticals in the aquatic environment: Laboratory photolysis, biodegradation, and sorption experiments. *Water Research*, 43:351-362.
- Jiang, J., C. Lee, & M. Fang, 2014. Emerging organic contaminants in coastal waters: anthropogenic impact, environmental release, and ecological risk. *Marine Pollution Bulletin*, 85(2):391-399.
- Kim, J.W., Y. Hong, S. Ryu, O. Kwon, Y. Lee, & S. Kim, 2023. Development of analytical method for veterinary antibiotics and monitoring of residuals in agricultural environment. *Applied Biological Chemistry*, 66(20). <https://doi.org/10.1186/s13765-023-00777-3>
- León-Aguirre, K.G., A.A. González-Sánchez, E. Hernández-Núñez & G. Giacomán-Vallejos, 2017. Detección de oxitetraclina en agua residual porcícola de granjas pequeñas y medianas en Yucatán. XII Congreso Regional para Norteamérica y el Caribe Primer Simposio Interamericana de AIDIS Joven y Primer Encuentro Internacional de Jóvenes Investigadores en Evaluación de Tecnología Ambiental, EJITA, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, UJAT.
- Liaño-Carrera, F., T. Camarena-Luhrs, A. Gómez-Barrero, F.J. Martos-Fernández, J.I. Ramírez-Macias, & D. Salas-Monreal, 2019. New coral reef structures in a tropical coral reef system. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(2):270-281.
- Morgan-Sagastume, J.M., C. Morgan-Martínez, B. Ramírez-Higareda & A. Noyola-Robles, 2023. Tratamiento y reúso de agua residual municipal: Metodología para estimar el potencial de reúso en una región y evaluar el desempeño de plantas de tratamiento. Primera ed., Instituto de Ingeniería, UNAM, C.U., CDMX, México. <https://10.22201/iingen.9786073082693e.2023>
- Patyra, E., C. Nebot, R. Gavilán, K. Kwiatek, & A. Cepeda, 2023. Prevalence of veterinary antibiotics in natural and organic fertilizers from animal food production and assessment of their potential ecological risk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(7):3638-3644. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12435>
- Robledo-Zacarías, V., M. Velázquez-Machuca, J. Montañez-Soto, J. Pimentel-Equihua, Vallejo-Cardona, A., M. López-Calvillo, & J. Venegas-González, 2017. Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbanas industriales de Morelia, Michoacán, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2):221-235.
- Salas-Pérez, J.J. & Granados-Barba, A., 2008. Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Atmósfera*, 21(3):281-301. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362008000300005&lng=es&tlng=
- Vargas, E. & L. Ruiz, 2007. Química verde en el siglo XXI: Química verde, una química limpia. *Revista Cubana de Química*, 14:29-32.