

Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2024,
Volumen 8, Número 1.

DOI de la Revista: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1

EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL Y A LA SALUD HUMANA ASOCIADOS A ALTAS CONCENTRACIONES DE PLAGUICIDAS EN LA CUENCA DEL RÍO AYUQUILA JALISCO

**ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL AND HUMAN HEALTH
RISKS ASSOCIATED WITH HIGH CONCENTRATIONS OF
PESTICIDES IN THE AYUQUILA JALISCO RIVER**

Gabriela Peña Velasco

Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, México

Luis Manuel Martínez Rivera

Centro Universitario de la Costa Sur Universidad de Guadalajara, México

Ariana Rodríguez Arreola

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, México

Alejandro Aarón Peregrina Lucano

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10404

Evaluación del Riesgo Ambiental y a la Salud Humana Asociados a Altas Concentraciones de Plaguicidas en la Cuenca del Río Ayuquila Jalisco

Gabriela Peña Velasco¹

gabriela.pena@upzmg.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-7846-6992>

Universidad Politécnica de la Zona
Metropolitana de Guadalajara
México

Luis Manuel Martínez Rivera

lmartinez@cucsur.udg.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7050-9385>

Centro Universitario de la Costa Sur
Universidad de Guadalajara
México

Ariana Rodríguez Arreola

ariana.rareola@academicos.udg.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8524-3236>

Centro Universitario
de Ciencias Exactas e Ingenierías
Universidad de Guadalajara
México

Alejandro Aarón Peregrina Lucano

aaron.peregrina@academicos.udg.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7149-8243>

Centro Universitario
de Ciencias Exactas e Ingenierías
Universidad de Guadalajara
México

RESUMEN

Recientemente un gran número de investigaciones a lo largo del mundo se han enfocado en estudiar el impacto de la contaminación del agua en la salud humana, evidenciando potenciales problemas de salud pública y efectos adversos al medio ambiente. Los factores antropogénicos han sido identificados como una de las principales causas de la contaminación de los recursos hídricos, en especial, el uso excesivo de plaguicidas, compuestos químicos utilizados en actividades agrícolas para mantener libres de maleza e insectos los cultivos, contrarrestando la creciente demanda de producción de alimentos. Siendo el estado de Jalisco el mayor productor agroalimentario de México en los últimos años, el objetivo de la presente investigación fue el monitoreo y determinación de 17 plaguicidas en 13 puntos diferentes de la cuenca del río Ayuquila, Jalisco durante los años 2015, 2016 y 2017. Entre los principales hallazgos se encontró la presencia de plaguicidas en todos los puntos de muestreo con frecuencias de detección en un rango del 10 – 100%, siendo el malatión el pesticida mayormente detectado durante los tres años del estudio. Finalmente, se calcularon los riesgos al medio ambiente (RQ_i) y la salud humana (HQ) demostrando que las concentraciones detectadas para diazinon, dimetoato, emamectina y malatión alcanzaron valores significativos (≥ 1) para representar un potencial riesgo a la población. Las concentraciones relativamente altas que fueron encontradas en este estudio sugieren que la presencia y alta tasa de prevalencia de plaguicidas en agua del río Ayuquila podría ser derivado de un intensivo aumento en el uso de mezclas de estos en las zonas agrícolas de la región.

Palabras clave: plaguicidas, contaminación del agua, HPLC/MS-MS, monitoreo, riesgo salud humana

¹Autor principal.

Correspondencia: aaron.peregrina@academicos.udg.mx

Assessment of Environmental and Human Health Risks Associated with High Concentrations of Pesticides in the Ayuquila Jalisco River

ABSTRACT

Several investigations worldwide have focused on studying the impact of water pollution on human health, and evidence suggests potential public health issues and adverse effects on the environment. Anthropogenic factors have been recognized as one of the main causes of water resource pollution, particularly excessive pesticide use, identified as chemical compounds used in agricultural activities to keep crops free of weeds and insects, counteracting the growing demand for food production. Jalisco state is the largest agri-food producer in Mexico just recently, the purpose of the research was the monitoring and determination of 17 pesticides in 13 different points of the Ayuquila River during the years 2015, 2016, and 2017. The results of this study demonstrate the occurrence of pesticides in the entirety of sampling points with detection frequencies in a range of 10 - 100%, being malathion the pesticide most detected during the three years of the study. Finally, the risks to the environment (RQi) and human health (HQ) were calculated, evidencing that the concentrations detected for diazinon, dimethoate, emamectin, and malathion reached significant values (≥ 1) to represent a risk. The relatively high concentrations found in this study suggest that the presence and high prevalence rate of these pollutants in the water of the Ayuquila River could be derived from an intensive increase in the use of pesticide mixtures in the agricultural areas of the region.

Keywords: pesticides, water pollution, HPLC/MS-MS, monitoring, risk human health

*Artículo recibido 20 enero 2024
Aceptado para publicación: 25 febrero 2024*

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una necesidad urgente de abordar los problemas de seguridad causados por la contaminación del agua, debido a que es un recurso esencial para la supervivencia humana. La industrialización, la producción agrícola y la creciente demanda alimenticia de las zonas urbanizadas han aumentado considerablemente la degradación y contaminación del medio ambiente, afectando negativamente a los cuerpos de agua (ríos y océanos) necesarios para la vida e incluso, indirectamente afectando la salud humana y el desarrollo social sostenible (Lin et al., 2022). Considerando que la producción agrícola a nivel nacional es representada fuertemente por el estado de Jalisco, al occidente de México, es desmedido y constante el uso de pesticidas, los cuales han llegado a convertirse en indispensables debido a que se considera que aproximadamente un tercio de los productos agroalimentarios que se producen requieren de su aplicación para contrarrestar pérdidas de producción de hasta un 78% de diversos cultivos (Tudi et al., 2021). Por esta razón es que en la últimas décadas se ha incrementado el número de investigaciones que evidencian la presencia de plaguicidas en diversos cuerpos de agua (Deknock et al., 2019; Derbalah et al., 2019; Yang et al., 2018). Particularmente, la cuenca del río Ayuquila-Armería ubicada entre los estados de Jalisco y Colima en la zona occidental de la República Mexicana (Figura 1), conformada por las corrientes de los ríos Ayuquila y Tuxcacuesco, originadas en la Sierra de Quila, que confluyen en la corriente del río Armería, drenando alrededor de 9864 km² recorriendo 321km desde su nacimiento hasta su desembocadura en Boca de Pascuales en el estado de Colima (Rodríguez-Aguilar et al., 2022). La importancia de este cuerpo de agua se centra en la extensa biodiversidad que alberga, incluyendo 12 especies acuáticas endémicas de la zona, aunado a su uso en el riego de los valles, donde se estima que el 74% del agua se utiliza en actividades agrícolas, 20% para uso doméstico, 3% en industria y el 3% restante para usos múltiples (Iverson & Dervan, 2018). Esta creciente demanda agrícola, ha traído consigo la imperante necesidad de analizar los tipos y usos específicos de pesticidas en la zona; por lo que los objetivos de la presente investigación fueron realizar el muestreo y análisis que permitan el monitoreo y detección de plaguicidas a lo largo de trece puntos de la cuenca del río Ayuquila, estudiar el comportamiento de los mismos durante tres años consecutivos (2015, 2016 y 2017), establecer sus probables vías de acceso a este cuerpo de agua, los principales efectos adversos sobre el entorno natural que delimita esta zona y finalmente correlacionar

reportes previos con el potencial riesgo de salud pública que representa su presencia a las concentraciones encontradas dentro de este cuerpo de agua; buscando aportar en la investigación sobre los factores que influyen en la continúa presencia de plaguicidas en agua que contribuyan a una mayor gestión de su uso en el futuro.

METODOLOGÍA

El presente estudio es observacional, longitudinal y descriptivo; a continuación, se detallan brevemente las principales etapas del mismo.

Recolección de muestras

Las muestras de agua del río Ayuquila fueron recolectadas una vez al mes a una profundidad aproximada de 30 cm en 13 puntos distintos a lo largo de la cuenca del río Ayuquila, identificados como: Achacales, Antes Dren Autlán, Antes Manantlán, Arroyo Manantlán, Corcovado, Dren Autlán, Dren Grullo, Palo Blanco, Puente Grullo, Río Armería, Río Ayuquila, Río Tuxcacuesco y Zenzontla. Fueron un total de 346 muestras colectadas una vez al mes desde el año 2015 al 2017, transportadas en recipientes de vidrio ámbar dentro de hieleras al laboratorio de Farmacocinética del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI), donde se almacenaron a 4°C hasta su análisis.

Reactivos y Condiciones de Análisis

Los estándares de plaguicidas que se utilizaron para su detección en muestras de agua de la cuenca del río Ayuquila fueron: 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), acetoclor, ametrina, atrazina, carbendacima, carbofurano, cialotrina, diazinon, dimetoato, emamectina, glifosato, imazalil, malatión, metoxurón, molinato, piclobencim y piraclostrobina. El análisis de las muestras de agua de río se llevó a cabo mediante cromatografía de líquidos de alta resolución acoplada a espectrometría de masas (HPLC/MS-MS), con un equipo serie Agilent Technologies 1200 y espectrómetro de masas de triple cuadrupolo Agilent Technologies 6430B. Para el análisis cromatográfico se utilizó una columna ZORBAX Eclipse XDB-C18, tamaño de partícula 3,5µm, 2,1 x 50 mm, volumen de inyección de 5 µL, fase móvil de [a) H₂O-HCOONa 0.1% y b) ACN(95):(5)H₂O-HCOONa 0.1% (proporción 40:60 v/v)] para 2,4-D y glifosato, y en el análisis

del resto de los plaguicidas se utilizó [a) H₂O-HCOOH 0.1%, b) H₂O-HCOONa 0.1% y c) ACN(95):(5)H₂O-HCOOH 0.1% (proporción 60:40 v/v)] a un flujo de 0.5 mL/min y un tiempo de

corrida de 5 min; las condiciones espectrométricas para la determinación de cada pesticida se muestran en la **Tabla 1**. Para la interpretación de resultados se utilizó el software de control del sistema y software de integración Agilent MassHunter Workstation Adquisición de Datos Versión B.0802 y Agilent MassHunter Navigatos versión B.08.00.

Análisis y tramio de muestras

La metodología implementada mediante HPLC/MS-MS permitió el análisis de muestras mediante inyección directa, sin ninguna etapa de preconcentración, siguiendo metodología previamente reportada para el análisis de plaguicidas y contaminantes emergentes en muestras de agua por esta vía (Baloglu et al., 2017; Díaz et al., 2008; Fabregat-Safont et al., 2021; Sandstrom et al., 2015) con el objetivo de desarrollar e implementar metodologías analíticas de cuantificación rápidas y sensibles, evitando la manipulación de muestras, disminución de uso de solventes y posible pérdida de analitos con alta grado de polaridad (Boix et al., 2015; Fabregat-Safont et al., 2021). Brevemente, 2 ml de muestra se centrifugaron a 4500 rpm durante 10 min., posteriormente, fueron filtradas a través de un filtro de jeringa (WHATMAN 0.2 μm PTFE), se colocaron en viales para HPLC para su inyección al sistema HPLC/MS-MS. Para llevar a cabo la cuantificación de los plaguicidas detectados se crearon curvas de calibración de 0 – 1000 $\mu\text{g/L}$ de cada plaguicida, a partir de las cuales se obtuvieron los coeficientes de determinación (r^2), límite de detección (LOD) y límite de cuantificación (LOQ) correspondiente a lo establecido en la Guía de Validación y Control de Calidad para Análisis de Residuos de Pesticidas en Agua (Pihlstrom et al., 2022).

Evaluación del Riesgo Ambiental y de Salud Humana asociado a la presencia de plaguicidas en agua

La evaluación de riesgo medioambiental es una herramienta ampliamente utilizada en la actualidad que busca la identificación de afectaciones derivadas de la presencia y continua exposición a ciertas sustancias y/o contaminantes presentes en compartimentos del medio ambiente; para el caso específico de la presente investigación se relacionan las concentraciones detectadas de plaguicidas en muestras de agua del Río Ayuquila con las concentraciones previstas sin efecto (PNEC) tóxico de los mismos. El riesgo ambiental (RQ_i) fue calculado basado en previos reportes de la literatura (D'Andrea, 2019;

Derbalah et al., 2019) expresado como (ecuación 1) $RQ_m = \frac{MEC}{PNEC}$ donde MEC representa la concentración promedio detectada del plaguicida en agua (mg/L) y PNEC puede ser representado como la concentración letal 50 (CL₅₀), concentración efectiva 50 (CE₅₀) o la concentración sin efecto observado (NOEC) de cada uno de los plaguicidas analizados utilizando valores previamente reportados y estandarizados (European Commission, 2008). De igual forma, el riesgo a la salud humana se evaluó relacionando las concentraciones que no presentan efectos cancerígenos y las detectadas de cada plaguicida en las muestras de agua del Río Ayuquila, asumiendo las muestras de agua de río como agua de consumo humano para ingerir directamente, el cálculo se realizó conforme a estudios previos y normativas que establecen los niveles de ingesta diaria sugerida de cada uno de los plaguicidas (USEPA - U.S, 2005) expresado como (ecuación 2) $HQ = \frac{CDI}{RfD}$ donde CDI es calculado como $CDI = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$ siendo C la concentración detectada de cada pesticida en las muestras de agua del Río Ayuquila (mg/L), IR es la cantidad de agua ingerida al día (1.41 L/día para un adulto de 70 años), EF es la frecuencia de exposición (365 días/año), ED es el período de vida de exposición (70 años para un adulto), BW es el peso promedio (70 kg para un adulto) y AT es la esperanza de vida promedio (25,550 días para un adulto). Finalmente, para ambos parámetros se establece que RQ_m y/o HQ < 1 son indicadores de efectos adversos al medio ambiente o la salud humana.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Presencia y frecuencia de detección de pesticidas en agua del Río Ayuquila

De un total de 346 muestras analizadas, fueron detectados 17 pesticidas a lo largo de 13 sitios de muestreo que conforman el Río Ayuquila en el estado de Jalisco, México. La frecuencia de detección para cada uno de los pesticidas encontrados se muestra en la **Figura 1**, donde puede observarse que todos los plaguicidas fueron detectados en al menos dos de los tres años que duró el estudio y monitoreo de los mismos. De igual forma, los porcentajes de frecuencia de detección durante 2015 y 2016 se encuentran en un rango del 10 – 50% para todo los plaguicidas, con excepción de Ametrina (60%) y Malatión (90%). Siendo el 2017 el año con mayor frecuencia de presencia y detección en la totalidad de plaguicidas en rangos del 40 al 100%. Dicho comportamiento y variación en la presencia de plaguicidas en muestras de agua de río ha sido previamente reportado en diversos estudios alrededor del país y a

nivel mundial, debido al gran número de factores que influyen en su determinación, tales como los sitios de muestreo, tamaño de muestra, uso de pesticidas en la región de análisis, entre otros; sin embargo, los reportes coinciden de manera generalizada mostrando que en el 50% de las muestras analizadas se detectada al menos un pesticida (Deknock et al., 2019; Leyva Morales et al., 2017). A partir de estos porcentajes de frecuencia y considerando los factores de influencia, fue revelador encontrar al malatión como el plaguicida mayormente detectado en el estudio ($\geq 40\%$ durante los tres años) que si bien es considerado un insecticida actualmente autorizado y recomendado por el Centro Nacional de Prevención de Enfermedades de México Programas y Control de Enfermedades (CENAPRECE 2019) para el control de insectos vectores de la enfermedad del dengue mediante la fumigación del mismo (Rodríguez-Aguilar et al., 2022), la cantidad de residuos de Malatión dispersos en el medio ambiente aunado a la combinación con otros pesticidas y/o contaminantes emergentes presentes pueden desencadenar relaciones toxicológicas para el medio ambiente y la salud pública que son generalmente desconocidas hasta el momento (Tudi et al., 2021; Vasquez et al., 2014). Así mismo, **la Tabla 2** concentra las concentraciones promedio detectadas de cada uno de los plaguicidas durante 2015 al 2017 por sitio de muestreo; encontrándose en un rango de 12.16 hasta 2005. 84 $\mu\text{g/L}$ para Cihalotrina y Malatión, respectivamente. En orden descendiente las mayores concentraciones promedio detectadas fueron para Malatión > Molinato > Piraclostrobina > Dimetoato > Diazinon > Imazalil > Atrazina > Acetoclor > Emamectina > Picloram > 2,4-D > Glifosato > Carbofurano > Cihalotrina > Carbendacima > Metoxuron > Ametrina. En congruencia con los porcentajes de frecuencia de detección el uso principal de los cinco plaguicidas con mayores concentraciones promedio detectados se encuentran 3 insecticidas (Malatión, Dimetoato y Diazinon) y 2 herbicidas (Molinato y Piraclostrobina). Otro hallazgo a destacar es la poca variación de algunas concentraciones de residuos de pesticidas (Ametrina, Atrazina, Carbofurano, Emamectina y Metoxuron) las cuales no difirieron significativamente entre los sitios de muestreo, lo que podría sugerir un amplia distribución resultado del uso frecuente lo que lleva a su constante presencia en el agua superficial, así como al movimiento e intercambio constante de masas de agua, derivando en la mezcla y homogeneización de pesticidas disueltos y suspendidos en agua (Leyva Morales et al., 2017). En relación a los sitios de muestreo que presentaron menor presencia de plaguicidas se encuentran los identificados como Río Tuxcacuesco y Río Ayuquila, los cuales son

próximos entre sí y alejados de asentamientos humanos, zonas de descarga de aguas residuales domésticas e industriales pero circundantes a zonas de invernaderos. Por su parte los sitios de muestreo con mayor detección de plaguicidas fueron Dren Autlán y Puente Grullo estando localizados muy cerca de zonas de descarga de agua residual doméstica e industrial, la presencia de un ingenio azucarero y principalmente zonas de riego; lo que es congruente con el actual incremento alarmante de la presencia de contaminantes emergentes (incluidos pesticidas) en aguas superficiales derivado del uso antropogénico desmedido (Galindo-Miranda et al., 2019; Vázquez-Tapia et al., 2022). Teniendo como referencia que otro de los principales factores que influyen en la determinación de plaguicidas en agua es el uso de los mismos, es de relevancia analizar la producción agrícola de las zonas circunvecinas y los principales usos de cada uno de los plaguicidas detectados. La **Tabla 3** muestra la clasificación, principales aplicaciones y los límites permisibles en agua de cada uno de los plaguicidas analizados en este estudio de acuerdo con la normativa mexicana, europea y estadounidense (Benítez & Miranda, 2013; DOF, 2022; Hamilton et al., 2003), observando que conforme a lo establecido por la normativa actual para agua de uso y consumo humano en México y la Unión Europea, las concentraciones detectadas de todos los plaguicidas sobrepasan los límites permisibles, por lo que definitivamente el agua proveniente del río Ayuquila no podría considerarse apta usos (directos e indirectos) y consumo humano. Respecto, a la normativa establecida por los Estados Unidos de Norteamérica los plaguicidas que sobrepasan los límites permisibles en agua superficial son atrazina, 2,4-D y el malatión. A su vez, las concentraciones de plaguicidas que se encontraron casi constantes en distintos sitios de muestreo son aquellas correspondientes al control de malezas en caña de azúcar (Ametrina y Atrazina) y maíz (Carbofurano), congruente con los cultivos de mayor superficie y producción agrícola del estado de Jalisco (Gobierno del Estado de Jalisco, 2020) y los sitios de muestreo con mayor detección ubicados de manera cercana a un ingenio azucarero y zonas agrícolas de cultivo de maíz. Con respecto a los insecticidas mayormente detectados el Malatión tiene como uso principal el control de mosquitos y erradicación de las mosca de la fruta; el Dimetoato es utilizado en cultivos de verduras de hoja verde, cítricos y melones (productos agrícolas cultivados cercanos de la zona); y por su parte el Diazinon con uso doméstico autorizado para el control de cucarachas y agrícola en cultivos de plantas ornamentales, siendo Jalisco uno de los principales estados que cultivan dos plantas de ornato conocidas como la For

de mayo y el Coralillo (Arrendo, Alberto; Avila Rolando; Muñoz, 2012). Finalmente, de manera generalizada, las principales aplicaciones de los 13 plaguicidas detectados en muestras de agua del Río Ayuquila coinciden con los cultivos presentes en la zona agrícola del estado de Jalisco (caña de azúcar, maíz, pepino, jitomate, limón, plátano, entre otros). Con base en el creciente uso de los plaguicidas detectados derivado de la demanda de la producción agrícola en el estado de Jalisco, cobra importancia visualizar si este incremento podría ser relacionado a daños toxicológicos para el medio ambiente la salud humana, la Tabla 3 muestra los resultados obtenidos del cálculo del riesgo ambiental (RQ_m) y de salud humana (HQ) a partir de la concentración promedio detectada de cada plaguicida en agua. Siguiendo el procedimiento descrito previamente en el apartado de metodología los RQ_m y $HQ \geq 1$ podrían sugerir riesgo ambiental y a la salud humana, respectivamente; considerando esto, Dimetoato y Emamectina, presentaron valores de RQ_m y $HQ \geq 1$, ambos clasificados como insecticidas sistémicos, selectivos y de baja toxicidad para el resto de los organismos, lo que podría estar derivando en un uso desmedido y mayor a las concentraciones recomendadas y permitibles en la normativa. En el caso de Diazinon, se obtuvo un coeficiente de riesgo a la salud humana mayor a 1 ($HQ = 2.12$), el cual coincide con el uso autorizado y prevalente como insecticida en zonas domésticas (casa, escuela, hospital, edificios gubernamentales) que incrementa la constante exposición y el riesgo a la salud humana asociados a padecimientos oncológicos (European Commission, 2008). Por su parte, con la concentración promedio detectada de Malatión se obtuvo un $RQ_m = 4.96$ mostrando que a pesar de ser un insecticida autorizado y recomendado por organismos de salud del país, los residuos generados y presentes en el medio ambiente podrían representar un problema toxicológico para la flora y fauna presentes en los cuerpos de agua superficiales, como ha sido recientemente reportado reportado en un estudio que demostró la toxicidad del malatión en especímenes de *Heteropneustes fossilis* (bagre) (Ahmad et al., 2021). Finalmente, en la **Tabla 4** se muestran las concentraciones máximas detectadas de cada plaguicida, por año (2015 – 2017), temporada estacional (verano e invierno) y sitio de muestreo; permitiendo analizar el comportamiento (aumento o disminución) de la presencia de los plaguicidas analizados en compartimentos medioambientales acuáticos y de esta manera realizar sugerencias sobre las posibles vías de acceso y la influencia que ejercen factores antropogénicos y naturales. En los resultados arrojados puede observarse claramente un aumento en la presencia de plaguicidas durante el

año 2017 en comparación con los dos años anteriores, como primer instancia, esto podría estar relacionado estrechamente con el aumento de la producción y demanda de insecticidas y plaguicidas en el país, declarado por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), donde en el año 2017 se produjeron alrededor de más de siete mil toneladas en comparación al 2015, datos obtenidos a partir de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera EMIM por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Kutlu, 2023). Por otra parte, otro factor a considerar es la influencia que ejercen fenómenos naturales sobre la calidad del agua en compartimentos medioambientales. Tal es el caso, de los huracanes los cuales se han relacionado como causantes de perturbaciones a escala del paisaje que afectan el ciclo biogeoquímico y la calidad del agua, alcanzando a provocar cambios rápidos *in situ* y algunos capaces de persistir durante períodos más largos (≥ 3 meses), donde la observación y análisis de la respuesta del compartimento acuático puede ayudarnos a comprender los mecanismos asociados con la resiliencia y recuperación de los ecosistemas (Schafer et al., 2020). Bajo este contexto, durante el mes de octubre del año 2015, en la zona costera del océano Pacífico tuvo lugar un ciclón tropical (Huracán Categoría 5) denominado Patricia provocando diversas afectaciones en el estado de Jalisco (CONAGUA, 2020), considerando que la frecuencia de los huracanes de alta intensidad ha aumentado en las últimas décadas, es necesario comprender que la perturbación provocada por los mismos se suma a la perturbación antropogénica y genera efectos importantes sobre los ecosistemas (Sil-Berra et al., 2021). Es así como diversos estudios previos han establecido el posible impacto ambiental de los huracanes en la presencia y transporte de compuestos de diverso origen y naturaleza química en compartimentos acuáticos, tales como ríos y arroyos. En el estudio de (Mitchell et al., 2023) se establece la dinámica en los sistemas urbanos que cobra importancia derivado de las alteraciones que produce en la dinámica hidrológica debido a las emisiones antropogénicas de diversos contaminantes, sugiere además el beneficio obtenido de comprender los ciclos del carbono, nitrógeno, fósforo, contaminantes y materia orgánica en cuerpos de agua; en su estudio se proporciona vinculación entre altas concentraciones de diferentes sales que afectan la movilización de compuestos químicos (plaguicidas) en suelos obteniendo una fuerte co-movilización preferencial de ciertos compuestos capaces de unirse mediante intercambio iónico a dichas sales, por lo que efectivamente, después de grandes cantidades de agua fluvial, las mismas pueden arrastrar estos compuestos químicos a cuerpos

de agua, tales como ríos y arroyos. Sin embargo, en el caso específico del Río Ayuquila, durante el año 2016 no se vió reflejado de manera inmediata este aumento de compuestos químicos, en términos de plaguicidas, en la muestras de agua de río analizadas; esto podría encontrarse estrechamente relacionado a los estudios realizados por (Kaushal et al., 2018) donde se ha demostrado que la movilización de la mezcla de compuestos químicos (“chemical cocktails”) presentes en cuerpos de agua se ve influenciada después de eventos meteorológicos como son los huracanes, provocando fluctuaciones en el oxígeno disuelto durante la inundación, presencia de algunos eventos de reducción microbiana y reincidencia de ciclos de oxidación – reducción que podrían favorecer la degradación de los contaminantes o incluso favorecer su asentamiento en suelos. En otro estudio (Schafer et al., 2020) se encontró que los cambios en la turbidez, salinidad y concentraciones de oxígeno disuelto presentados después de un huracán en cuerpos de agua, afectan el transporte de nutrientes y compuestos químicos presentes favoreciendo ambientes oxidantes pudiendo modificar la calidad del agua hasta un año después. Por lo tanto, lo que podría visualizarse como un ciclo biogeoquímico benéfico para la disminución de contaminantes en cuerpos de agua, nos permite confirmar que las descargas y uso desmedido de compuestos químicos como plaguicidas son mayores a la capacidad natural del medio ambiente para degradarlos, ya que en 2017 se suscitó un aumento significativo en la presencia de un mayor número de plaguicidas en las muestras de agua del Río Ayuquila. Como información a considerar dentro de este estudio no se observaron fluctuaciones significativas en los plaguicidas detectados en estaciones de invierno o verano, lo que podría sugerir un uso constante de los mismos durante las temporadas de cosecha y cultivo, tanto como pre y post tratamiento, e incluso para maduración de productos agrícolas, como es el caso del glifosato (Chang et al., 2011; Mas et al., 2020).

Ilustraciones, Tablas, Figuras

Tabla 1. Condiciones espectrométricas utilizadas para el análisis y determinación de plaguicidas en muestras de agua del Río Ayuquila mediante HPLC/MS-MS.

Plaguicida	Ion producto	Ion precursor	Fragmentador	Energía de colisión	Polaridad
2,4-D	161.1	219	50	5	Negativa
Acetoclor	224.2	270.1	60	5	Positiva
	148.4			10	
Ametrina	186	228.1	120	15	Positiva
	96			25	
Atrazina	132	216	120	20	Positiva
Carbendacima	160	192.1	110	20	Positiva
Carbofurano	123	222	120	15	Positiva
Cihalotrina	225.1	467.1	80	5	Positiva
Diazinon	153	305	160	20	Positiva
Dimetoato	171	230	80	10	Positiva
Emamectina	158.1	887.1	60	10	Positiva
Glifosato	149.9	168	80	5	Negativa
	124.2				
Imazalil	159	297	160	20	Positiva
Malatión	99	331	80	10	Positiva
Metoxuron	72.1	229.1	93	14	Positiva
Molinato	55.1	188.1	78	22	Positiva
Picloram	222.9	240.9	90	10	Positiva
	194.9			15	
Piraclostrobina	163	388	120	20	Positiva

Figura 1. Frecuencia de detección por cada pesticida en los sitios de muestreo durante los años 2015, 2016 y 2017.

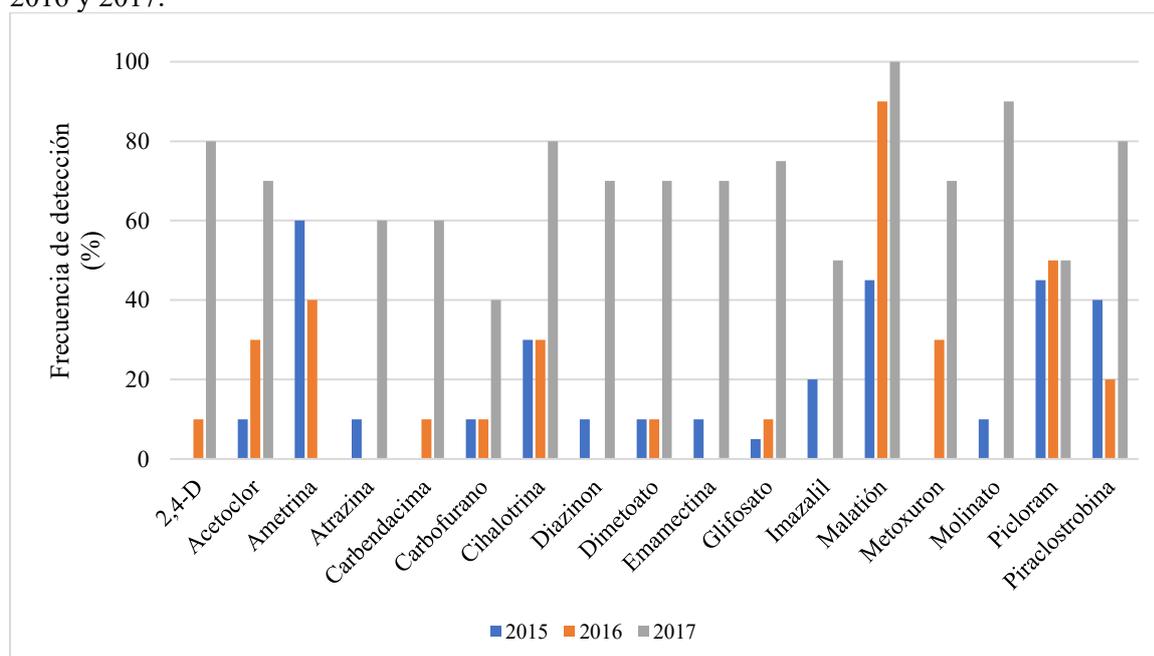


Tabla 2. Concentraciones de pesticidas detectados en los sitios de muestreo del río Ayuquila durante los años 2015, 2016 y 2017.

Plaguicida*	Achacales (µg/L)	Antes Dren Autlán (µg/L)	Antes Manantlán (µg/L)	Arroyo Manantlán (µg/L)	Corcovado (µg/L)	Dren Autlán (µg/L)	Dren Grullo (µg/L)	Palo Blanco (µg/L)	Puente Grullo (µg/L)	Río Armería (µg/L)	Río Ayuquila (µg/L)	Río Tuxcacuesco (µg/L)	Zenzontla (µg/L)
2,4-D	26	41.93	14.94	195.33	195.33	41.93	22.98	14.06	12.94	41.93	41.93	25.00	12.94
Acetoclor	47.68	40.94	86.92	64.29	56.05	40.94	65.88	ND	122.01	67.30	124.14	ND	196.34
Ametrina	15.69	15.72	15.66	15.70	15.80	15.73	15.89	15.71	15.70	ND	ND	ND	ND
Atrazina	ND	42.28	ND	47.28	ND	42.27	ND	49.58	42.28	42.28	ND	415.50	42.28
Carbendacima	43.09	ND	ND	18.36	23.09	ND	20.72	18.36	23.09	23.09	ND	ND	23.09
Carbofurano	15.34	ND	15.34	ND	ND	15.34	15.33	15.33	144.13	15.34	ND	ND	ND
Cihalotrina	12.16	27.45	20.27	19.7	ND	36.98	28.11	50.58	42.27	14.06	40.06	ND	40.30
Diazinon	16.49	ND	33.90	18.26	ND	ND	261.55	18.26	18.26	ND	ND	961.65	18.26
Dimetoato	480.43	16.49	ND	ND	16.49	16.49	ND	ND	15.64	480.93	480.43	ND	144.38
Emamectina	56.56	56.96	ND	56.28	ND	56.96	ND	56.32	207.38	56.87	56.27	ND	57.13
Glifosato	ND	ND	17.77	42.89	ND	42.89	40.21	2.3	102.31	45.89	42.89	42.89	55.74
Imazalil	ND	100.07	ND	ND	ND	137.61	ND	100.07	ND	100.07	ND	100.07	100.07
Malatión	854.79	1726.65	1500.54	2005.84	1112.81	1194.56	1450.45	890.98	1816.87	ND	1226.98	1399.54	1355.75
Metoxuron	16.57	23.27	23.27	23.27	23.27	23.27	ND	15.20	ND	20.40	ND	ND	ND
Molinato	ND	952.58	18.37	14.73	982.58	982.58	18.37	18.37	201.65	ND	982.58	ND	8.76
Picloram	69.97	220.82	30.38	ND	25.36	27.17	60.87	25.61	22.24	ND	28.24	ND	36.13
Piraclostrobina	ND	309.22	625.40	307	103.96	312.79	321.14	523.27	100.11	90.85	379.06	ND	312.58

*Promedio de las concentraciones de plaguicida detectadas durante 2015, 2016 y 2017 en dicha zona de la cuenca del río ($n=3$). ND= No detectado.



Tabla 3. Clasificación, aplicación y evaluaciones de riesgo ambiental y salud humana de los pesticidas detectados en agua del Río Ayuquila durante los años 2015, 2016 y 2017.

Plaguicida	Clasificación	Principales Aplicaciones	Evaluación Riesgo Ecotoxicológico (RQ _m) ^a	Evaluación Riesgo en Salud Humana (HQ) ^b	Límite Permisible en agua*
2,4-D	Herbicida	Herbicida selectivo, utilizado en cultivos de cereales, pastos, debajo de árboles frutales y césped.	0.04	0.004	NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Atrazina 100 µg/L 2,4-D 30 µg/L Carbofurano 7.0 µg/L Dimetoato 6.0 µg/L Molinato 6.0 µg/L (DOF, 2022)
Acetoclor	Herbicida	Utilizado en cultivos de trigo, cebada y caña para el control de malezas de hoja ancha.	0.08	0.46	
Ametrina	Herbicida	Esencialmente utilizado en cultivos de caña de azúcar.	0.003	0.01	
Atrazina	Herbicida	Herbicida sistémico registrado para uso en cultivos de maíz, sorgo y caña de azúcar.	0.003	0.09	
Carbendacima	Fungicida	Controla ascomicetos, hongos imperfectos y basidiomicetos en cultivos de plátanos, cereales, algodón, uvas, plantas ornamentales, maní, remolacha azucarera, soya, tabaco y hortalizas.	0.002	0.02	
Carbofurano	Biocida	Insecticida y nematocida sistémico registrado para el control de plagas foliares y del suelo en cultivos de papas, maíz y soya.	0.02	0.14	



Cihalotrina	Insecticida	Insecticida no sistémico de amplio espectro utilizado en cultivos de caña de azúcar y jitomate.	0.003	0.03	Plaguicida individual $\leq 0.1 \mu\text{g/L}$ Total de plaguicidas $\leq 0.5 \mu\text{g/L}$, independientemente de la naturaleza de estos. (Países de la Unión Europea) (Benítez & Miranda, 2013)
Diazinon	Insecticida	Uso agrícola en cultivos de plantas ornamentales y nueces. Uso doméstico autorizado para control de cucarachas.	0.70	2.12	
Dimetoato	Insecticida	Insecticida sistémico utilizado en cultivos de verduras de hoja verde, cítricos y melones.	258.01	2.08	
Emamectina	Insecticida	Insecticida selectivo y potente para controlar el gusano del algodón <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner), con baja toxicidad para el medio ambiente y otros organismos.	73.41	2.96	
Glifosato	Herbicida	Control de malezas de hoja ancha y uso en la maduración de cultivos.	0.04	0.002	
Imazalil	Fungicida	Fungicida sistémico para uso post -cosecha en plátanos, cítricos y antes de la siembra de semillas de cebada y trigo. Uso para tratamientos en criaderos de pollos.	0.04	0.09	
Malatión	Insecticida	Control de mosquitos y erradicación de las mosca de la fruta.	4.96	0.09	



REGULATORY LIMITS FOR PESTICIDE RESIDUES IN WATER					
Metoxuron	Herbicida	Uso como regulador del crecimiento de plantas y en tratamiento de pre y post emergencia para el control de pastos y malezas de hoja ancha en zanahorias y cereales.	0.002	0.17	Atrazine 3 µg/L
Molinato	Herbicida	Utilizado para control de malezas herbáceas y de hoja ancha, principalmente en cultivos de arroz.	0.03	4.21	Carbofuran 40 µg/L 2,4-D 70 µg/L Glyphosate 700 µg/L
Picloram	Herbicida	Herbicida sistémico utilizado en el control de malezas herbáceas y plantas leñosas en derechos de paso, bosques, pastizales, pastos, seguidos de la silvicultura.	0.0005	0.02	Picloram 500 µg/L Ametryn 9000 µg/L ^c
Piraclostrobina	Fungicida	Control de hongos patógenos en cultivos de trigo, arroz y pepino.	0.003	0.21	Malathion 200 µg/L ^c
(Hamilton et al., 2003)					

* Criterios expresados como límite máximo permitido y regulado, en caso de no especificarse demuestra falta de regulación por la normativa correspondiente.

^a Calculado mediante: $RQ_i = \frac{MEC}{PNEC}$ y ^b Calculado mediante: $HQ = \frac{CDI}{RfD}$ utilizando la metodología previamente reportada (Derbalah et al., 2019).

^c Expresado como “*aviso de salud*”, es decir se refieren a valores umbral que no tienen estatus regulatorio pero que pudieran afectar negativamente la salud humana.



Tabla 4. Concentraciones máximas de los pesticidas detectados en agua del Río Ayuquila por estaciones (verano e invierno) durante los años 2015, 2016 y 2017.

Sitio de Muestreo	Concentraciones máximas ($\mu\text{g/L}$) detectadas de plaguicidas por año, temporada estacional y sitio de muestreo.					
	2015		2016		2017	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno
Achacales	Ametrina (15.69)	Malatión (1737.12)	Malatión (1205.04)	Malatión	2,4-D (14.06)	2,4-D (26)
	Malatión (658.56)		Picloram (69.69)	(2303.37)	Diazinon (18.06)	Metoxuron (23.26)
				Metoxuron (6.89)	Dimetoato (16.49)	Carbofurano (15.33)
					Carbendacima (23.08)	Glifosato (11.56)
					Malation (67.49)	Dimetoato (480.43)
					Acetoclor (47.68)	Cihalotrina (12.16)
					Emamectina (56.56)	Molinato (982.57)
				Cihalotrina (11.33)		
Antes Dren	Piraclostrobina	Malatión (1887.98)	Ametrina (15.71)	Malatión	2,4-D (12.94)	2,4-D (41.93)
Autlán	(95.26)		Malatión (1180.73)	(4144.07)	Glifosato (42.89)	Glifosato (8.53)
	Picloram (13.98)		Picloram (18.43)	Picloram (182.68)	Acetoclor (22.10)	Acetoclor (40.94)
				Cihalotrina (42.86)	Carbofurano (15.33)	Emamectina (56.96)
					Cihalotrina (12.07)	Metoxuron (23.26)
					Picloram (37.25)	Imazalil (100.06)
					Atrazina (42.27)	Piraclostrobina (523.17)
					Dimetoato (16.49)	Molinato (8.76)
					Molinato (982.57)	



Antes	Diazinon (49.54)	Carbendacima (47.77)	Malatión (1597.09)	Acetoclor	2,4-D (12.94)	2,4-D (41.93)
Manantlán		Malatión (1792.31)	Piraclostrobina (102.03)	(196.34)	Glifosato (17.76)	Glifosato (4.21)
		Piraclostrobina (121.79)	Picloram (27.70)	Malatión (1849.76)	Acetoclor (47.68)	Cihalotrina (12.10)
				Picloram (30.31)	Carbofurano (15.33)	Molinato (8.75)
Arroyo	Ametrina (15.69)	2,4-D (195.33)	Ametrina (15.76)	Malatión	Glifosato (42.89)	Glifosato (42.89)
Manantlán			Malatión (1932.31)	(2959.41)	Acetoclor (104.24)	Acetoclor (47.68)
					Dimetoato (480.43)	Dimetoato (480.43)
					Atrazina (42.27)	Atrazina (42.27)
					Cihalotrina (17.60)	Cihalotrina (16.69)
					Metoxuron (23.26)	Piraclostrobina (523.17)
					Molinato (8.76)	Malatión (86.80)
					Malatión (86.79)	Molinato (982.57)
						Emamectina (56.28)
Corcovado	Ametrina (15.84)	Ametrina (15.72)	Ametrina (15.85)	2,4-D (195.33)	2,4-D (41.93)	2,4-D (14.06)
		Picloram (10.98)	Malatión (2080.69)	Malatión (2438.40)	Glifosato (5.29)	Glifosato (1.26)
		Piraclostrobina (103.26)		Dimetoato (4.47)	Acetoclor (86.92)	Carbendacima (18.36)
				Picloram (33.75)	Carbendacima (23.08)	Cihalotrina (38.50)
					Cihalotrina (16.92)	Molinato (18.37)
					Malatión (86.79)	Picloram (31.35)
					Metoxuron (23.27)	Piraclostrobina (90.84)
					Molinato (982.57)	



Dren Autlán	Imazalil (175.15)	Cihalotrina (61.92)	Ametrina (15.73)	Carbendacima	2,4-D (41.93)	2,4-D (14.94)
		Malatión (1402.89)	Picloram (30.19)	(48.02)	Acetoclor (47.68)	Carbofurano (15.33)
		Piraclostrobina (102.40)	Malatión (2118.43)	Dimetoato (0.39)	Atrazina (42.27)	Cihalotrina (20.44)
				Malatión (2520.83)	Cihalotrina (20.56)	Diazinon (961.55)
					Glifosato (102.30)	Glifosato (4.22)
					Malatión (86.80)	Malatión (48.93)
					Molinato (18.38)	Piraclostrobina (523.17)
					Picloram (30.43)	
					Piraclostrobina (90.84)	
Dren Grullo	Ametrina (15.89)	Picloram (87.10)	Malatión (1183.64)	Malatión (1183.64)	2,4-D (41.93)	2,4-D (41.93)
			Picloram (52.57)	Picloram (52.57)	Acetoclor (47.68)	Acetoclor (86.92)
			Piraclostrobina (119.01)	Picloram (52.57)	Carbendacima (23.08)	Carbofurano (15.33)
					Cihalotrina (28.10)	Carbendacima (18.36)
					Diazinon (18.26)	Cihalotrina (12.10)
					Malatión (45.87)	Diazinon (961.55)
					Molinato (982.58)	Glifosato (1.28)
					Picloram (34.32)	Molinato (18.37)
						Picloram (42.43)



Palo Blanco	Ametrina (15.70)	ND	Malatión (1824.65)	Cihalotrina (50.58)	2,4-D (14.06)	2,4-D (14.06)
			Metoxuron (7.12)	Malatión (4690.21)	Atrazina (56.89)	Atrazina (42.27)
					Carbofurano (15.33)	Carbendacima (18.36)
					Emamectina (56.89)	Dimetoato (16.49)
					Diazinon (18.26)	Imazalil (100.06)
					Malatión (86.79)	Metoxuron (23.27)
					Picloram (25.61)	Molinato (18.37)
					Piraclostrobina (523.17)	
Puente Grullo	Acetoclor (196.34)	Emamectina (207.38)	Carbofurano (208.06)	Malatión (2192.29)	2,4-D (14.06)	2,4-D (14.06)
	Ametrina (15.70)	Carbofurano (208.07)	Cihalotrina (57.04)		Acetoclor (47.68)	Acetoclor (40.94)
	Dimetoato (14.78)	Malatión (1441.44)	Malatión (2376.87)		Atrazina (42.27)	Carbendacima (23.08)
	Molinato (201.65)	Piroclam (16.05)			Cihalotrina (27.50)	
					Diazinon (18.26)	Carbofurano (15.33)
					Dimetoato (16.49)	Glifosato (3.65)
					Glifosato (102.31)	Malatión (28.45)
					Malatión (48.92)	Molinato (982.57)
					Molinato (982.58)	Picloram (26.82)
					Picloram (28.43)	Piraclostrobina (90.84)
				Piraclostrobina (90.84)		



Río Armería	Ametrina (15.67)	ND	Ametrina (15.73) Malatión (1188.16) Metoxuron (17.52)	Malatión (2098.57)	2,4-D (12.94) Acetoclor (86.92) Atrazina (42.27) Carbendacima (23.08) Glifosato (40.21) Imazalil (100.06) Malatión (67.98)	2,4-D (41.93) Atrazina (42.28) Carbofurano (15.33) Cihalotrina (14.06) Emamectina (56.86) Glifosato (45.89)
Río Ayuquila	Dimetoato (480.43)	Cihalotrina (58.85) Malatión (1494.65)	Malatión (833.08)	Acetoclor (196.34) Diazinon (63.58) Malatión (3517.80)	2,4-D (41.93) Acetoclor (86.92) Cihalotrina (26.40) Glifosato (5.37) Metoxuron(23.26) Molinato (18.37) Picloram (29.26) Piraclostrobina (523.17)	2,4-D (41.93) Dimetoato (480.43) Cihalotrina (31.26) Emamectina (56.27) Glifosato (42.89) Malatión (86.79) Molinato (982.57) Piraclostrobina (523.17)
Río Tuxcacuesco	Atrazina (415.49)	Malatión (3929.14) Picloram (33.89) Piraclostrobina (105.09)	Malatión (2281.90)	Ametrina (15.76) Malatión (2430.50)	2,4-D (14.06) Acetoclor (86.92) Dimetoato (480.43) Glifosato (42.89) Malatión (48.92)	2,4-D (25.00) Cihalotrina (20.27) Diazonin (961.55) Dimetoato (16.49) Malatión (86.79) Metoxuron (23.26) Molinato (18.37) Piraclostrobina (523.17)



Zenzontla	Cihalotrina (61.12)	Malatión (1658.75)	Malatión (1708.54)	Acetoclor	2,4-D (12.94)	2,4-D (26.00)
		Picloram (47.70)	Picloram (25.56)	(196.34)	Carbendacima	Atrazina (42.27)
		Piraclostrobina		Dimetoato	(23.08)	Cihalotrina (20.02)
		(101.98)		(144.38)	Cihalotrina (31.20)	Emamectina (56.89)
				Malatión	Diazinon (18.26)	Malatión (86.80)
				(2384.34)	Dimetoato	Molinato (8.76)
				Picloram (17.62)	(480.43)	Picloram (35.08)
					Emamectina	Piraclostrobina
					(57.37)	(523.17)
					Glifosato (102.31)	
					Malatión (45.87)	
					Metoxuron (23.26)	
					Molinato (8.76)	
				Picloram (36.86)		



CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la contaminación por pesticidas en cuerpos de agua superficial se encuentra ampliamente extendida, alcanzando niveles que representan un riesgo para el medio ambiente y la salud humana. La cuenca del Río Ayuquila conforma un área de distribución de agua muy importante en el sur Jalisco, por lo que es importante continuar con el análisis y monitoreo de la calidad del agua en la misma. Es de amplio conocimiento que el aumento de la población mundial ha traído consigo el aumento del uso de mezclas de plaguicidas para contrarrestar las plagas y malezas que pudiesen afectar los cultivos y dificultar cumplir con la demanda alimenticia actual, sin embargo, este tipo de estudios permiten visualizar la falta de actualización en las normativas actuales para regular los residuos de plaguicidas que son emitidos a los distintos compartimentos medioambientales. De igual forma, priorizar como perspectiva a futuro estudios que puedan demostrar el daño toxicológico derivado de la presencia en mezcla de este tipo de ocontaminantes con otros de diverso origen y naturaleza química.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ahmad, Z., Alkahem Al-Balawi, H. F., Al-Ghanim, K. A., Al-Misned, F., & Mahboob, S. (2021). Risk assessment of malathion on health indicators of catfish: Food and water security prospective research. *Journal of King Saud University - Science*, 33(2), 101294. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.101294>
- Arrendo, Alberto; Avila Rolando; Muñoz, L. (2012). *Fichas descriptivas de 52 plantas ornamentales que se comercializan en la Huasteca Potosina* (Issue Mx). <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/904.pdf>
- Baloğlu, Z., Bozkurt, E. N., & Binici, A. (2017). Sularda pestisitlerin LC-MS/MS ile belirlenmesi. *Turk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 74, 41–48. <https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2017.09798>
- Benítez, P., & Miranda, L. (2013). Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de latinoamérica. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 29, 7–23.
- Boix, C., Ibáñez, M., Sancho, J. V., Rambla, J., Aranda, J. L., Ballester, S., & Hernández, F. (2015). Fast determination of 40 drugs in water using large volume direct injection liquid



- chromatography-tandem mass spectrometry. *Talanta*, 131, 719–727.
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.08.005>
- Chang, F. chih, Simcik, M. F., & Capel, P. D. (2011). Occurrence and fate of the herbicide glyphosate and its degradate aminomethylphosphonic acid in the atmosphere. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(3), 548–555. <https://doi.org/10.1002/etc.431>
- CONAGUA. (2020). *Ciclón Tropical en el Océano Pacífico*. 30, 1–8.
- D’Andrea, M. F. (2019). *Evaluación del riesgo asociado al uso de plaguicidas usados en cultivos extensivos sobre la biota de los cuerpos de agua de la región pampeana*.
https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/82903/CONICET_Digital_Nro.83f84df4-1d64-4673-b01d-7d96b2acf4e5_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Deknock, A., De Troyer, N., Houbraken, M., Dominguez-Granda, L., Nolivos, I., Van Echelpoel, W., Forio, M. A. E., Spanoghe, P., & Goethals, P. (2019). Distribution of agricultural pesticides in the freshwater environment of the Guayas river basin (Ecuador). *Science of the Total Environment*, 646, 996–1008. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.185>
- Derbalah, A., Chidya, R., Jadoon, W., & Sakugawa, H. (2019). Temporal trends in organophosphorus pesticides use and concentrations in river water in Japan, and risk assessment. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 79, 135–152. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.11.019>
- Díaz, L., Llorca-Pórcel, J., & Valor, I. (2008). Ultra trace determination of 31 pesticides in water samples by direct injection-rapid resolution liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 624(1), 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.06.053>
- DOF. (2022). NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. *Diario Oficial de La Federación*, 123.
- European Commission. (2008). Document on Risk Assessment. *Technical Guidance Document on Risk Assessment Part II*, 337. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9aebb292-39c5-4b9c-b4cb-97fb02d9bea2>
- Fabregat-Safont, D., Pitarch, E., Bijlsma, L., Matei, I., & Hernández, F. (2021). Rapid and sensitive analytical method for the determination of amoxicillin and related compounds in water meeting the requirements of the European union watch list. *Journal of Chromatography A*, 1658, 462605.

<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2021.462605>

- Galindo-Miranda, J. M., Guízar-González, C., Becerril-Bravo, E. J., Moeller-Chávez, G., León-Becerril, E., & Vallejo-Rodríguez, R. (2019). Occurrence of emerging contaminants in environmental surface waters and their analytical methodology - A review. *Water Science and Technology: Water Supply*, 19(7), 1871–1884. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.087>
- Gobierno del Estado de Jalisco. (2020). Estrategia del Estado de Jalisco para la Integración de la Biodiversidad en los Sectores Agropecuario, Acuícola y Forestal Visión 2020-2030. *Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, Agricultura y Desarrollo Rural*, 84. https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/19102020_estrategia_del_estado_de_jalisco_final_opt.pdf
- Hamilton, D. J., Ambrus, Á., Dieterle, R. M., Felsot, A. S., & Harris, C. A. (2003). Commission on agrochemicals and the environment * regulatory limits for pesticide residues in water (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 75(8), 1123–1155.
- Iverson, B. L., & Dervan, P. B. (2018). Programa de Ordenamiento Ecológico Regional. Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila. 7823–7830.
- Kaushal, S. S., Gold, A. J., Bernal, S., Johnson, T. A. N., Addy, K., Burgin, A., Burns, D. A., Coble, A. A., Hood, E., Lu, Y. H., Mayer, P., Minor, E. C., Schroth, A. W., Vidon, P., Wilson, H., Xenopoulos, M. A., Doody, T., Galella, J. G., Goodling, P., ... Belt, K. T. (2018). Watershed ‘chemical cocktails’: forming novel elemental combinations in Anthropocene fresh waters. *Biogeochemistry*, 141(3), 281–305. <https://doi.org/10.1007/s10533-018-0502-6>
- Kutlu, T. (2023). INEGI. Producción de insecticidas y plaguicidas de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera. 88–100.
- Leyva Morales, J. B., Valdez Torres, J. B., Bastidas Bastidas, P. de J., Angulo Escalante, M. Á., Sarmiento Sánchez, J. I., Barraza Lobo, A. L., Olmeda Rubio, C., & Chaidez Quiroz, C. (2017). Monitoring of pesticides residues in northwestern Mexico rivers. *Acta Universitaria*, 27(1), 45–54. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1203>
- Lin, L., Yang, H., & Xu, X. (2022). Effects of Water Pollution on Human Health and Disease



Heterogeneity: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 10(June).

<https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246>

Mas, L. I., Aparicio, V. C., De Gerónimo, E., & Costa, J. L. (2020). Pesticides in water sources used for human consumption in the semiarid region of Argentina. *SN Applied Sciences*, 2(4), 1–18.

<https://doi.org/10.1007/s42452-020-2513-x>

Mitchell, C. P. J., Oswald, C. J., & Ledford, S. H. (2023). Editorial: Biogeochemical dynamics in urban systems: interactions, feedbacks and cumulative effects. *Frontiers in Environmental Science*, 11(November), 1–3. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1338537>

Pihlstrom, T., Fernández-Alba, A. R., Gamón, M., Amate, C. F., Poulsen, M. E., Lippold, R., & Anastassiades, M. (2022). Analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed. *Sante/11312/2021*, 42.

https://www.eurl-pesticides.eu/userfiles/file/EurlALL/SANTE_11813_2017-fin.pdf

Rodríguez-Aguilar, B. A., Martínez-Rivera, L. M., Muñoz-Valencia, R., Mercado-Silva, N., Íñiguez-Dávalos, L. I., & Peregrina-Lucano, A. A. (2022). Pesticide Distribution and Ecotoxicological Risk in the Ayuquila-Armería River. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 38(November 2019), 301–315. <https://doi.org/10.20937/RICA.54180>

Sandstrom, M. W., Kanagy, L. K., Anderson, C. A., & Kanagy, C. J. (2015). Determination of pesticides and pesticide degradates in filtered water by direct aqueous-injection liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *U.S. Geological Survey Techniques and Methods*, 54.

<http://pubs.er.usgs.gov/publication/tm5B11>

Schafer, T., Ward, N., Julian, P., Reddy, K. R., & Osborne, T. Z. (2020). Impacts of hurricane disturbance on water quality across the aquatic continuum of a blackwater river to estuary complex. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(6).

<https://doi.org/10.3390/JMSE8060412>

Sil-Berra, L. M., Sánchez-Hernández, C., Romero-Almaraz, M. de L., & Reynoso, V. H. (2021). Vulnerability to natural disturbance in communities of Neotropical bats: Short-term impact of Hurricane Patricia on the Mexican Pacific Coast. *Forest Ecology and Management*, 479(July 2020), 118596. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118596>



- Tudi, M., Ruan, H. D., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1–24.
<https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- USEPA - U.S. (2005). *Environmental Protection Agency. Guidelines for carcinogen risk assessment. March.*
http://www.epa.gov/sites/production/files/2013-09/documents/cancer_guidelines_final_3-25-05.pdf
- Vasquez, M. I., Lambrianides, A., Schneider, M., Kümmerer, K., & Fatta-Kassinos, D. (2014). Environmental side effects of pharmaceutical cocktails: What we know and what we should know. *Journal of Hazardous Materials*, 279, 169–189. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.06.069>
- Vázquez-Tapia, I., Salazar-Martínez, T., Acosta-Castro, M., Meléndez-Castolo, K. A., Mahlknecht, J., Cervantes-Avilés, P., Capparelli, M. V., & Mora, A. (2022). Occurrence of emerging organic contaminants and endocrine disruptors in different water compartments in Mexico – A review. *Chemosphere*, 308(August). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136285>
- Yang, Q., Wang, J., Chen, X., Yang, W., Pei, H., Hu, N., Li, Z., Suo, Y., Li, T., & Wang, J. (2018). The simultaneous detection and removal of organophosphorus pesticides by a novel Zr-MOF based smart adsorbent. *Journal of Materials Chemistry A*, 6(5), 2184–2192.
<https://doi.org/10.1039/c7ta08399>