

ENSAYOS DE GENOTOXICIDAD EN AGUAS SUPERFICIALES. EL SISTEMA HIDROLÓGICO ATOYAC-ZAHUAPAN, COMO ESTUDIO DE CASO

Valencia-Quintana R, Sánchez Alarcón J, Montiel-González JMR, Pérez Flores GA

Laboratorio “Rafael Villalobos-Pietrini” de Toxicología Genómica y Química Ambiental,
Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala
CA Ambiente y Genética UATLX-CA-223
Red Temática de la Calidad y Disponibilidad del Agua
Km. 10.5 Autopista San Martín-Tlaxcala, Ixtacuixtla de Mariano Matamoros CP 90120, Tlaxcala

Introducción

Las aguas superficiales, como ríos, lagos, estuarios y mares, reciben grandes cantidades de aguas residuales de fuentes industriales, agrícolas y domésticas, incluidas las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Éstas, a pesar de su contaminación con muchos compuestos desconocidos, se utilizan como fuente de agua potable, así como para actividades agrícolas, recreativas y religiosas en todo el mundo, por lo que pueden ser un problema grave para la salud pública y el ecosistema (Wu 2005).

Como una alternativa a los análisis del grado de contaminación o de la calidad del agua superficial, natural y de desecho, efectuados por métodos fisicoquímicos, saprobiológicos y/o radiológicos, se proponen análisis citogenéticos y genotóxicos, los cuales indican los efectos sinérgicos potenciales de las mezclas complejas presentes en las aguas superficiales, ya que los análisis fisicoquímicos únicamente determinan la presencia y las diferentes concentraciones de dichas sustancias y no sus efectos ni posibles interacciones (Valencia-Quintana et al. 2007)

Actualmente los análisis basados en efectos están siendo reconocidos como herramientas excelentes para una evaluación integral y confiable de la calidad del agua para complementar las determinaciones habituales de parámetros físicos y químicos. Entre las muchas sustancias tóxicas que pueden estar presentes en las aguas superficiales, los genotóxicos han sido una de las principales preocupaciones con respecto a la calidad del agua (Roubicek et al. 2020). Sin embargo, lamentablemente este tipo de compuestos o efectos no son considerados en las normas correspondientes actuales.

El uso de bioensayos a corto plazo, que pueden detectar una amplia gama de agentes genotóxicos, permite cuantificar este riesgo sin información previa sobre la identidad de los compuestos presentes ni de las propiedades físico-químicas (Wu 2005). Estos análisis han demostrado que algunos ríos del mundo, están contaminados con potentes mutágenos de acción directa e indirecta. Se informa que estos ríos están contaminados por descargas parcialmente tratadas o no tratadas de industrias químicas, petroquímicas, refinerías de petróleo, derrames de petróleo, laminadoras de acero, lodos domésticos sin tratar y escorrentías de pesticidas entre otros (Ohe et al. 2004, Rodríguez-Mendieta et al. 2013).

Desde los 90's, Stahl (1991) y Houk (1992) ya habían establecido que los compuestos orgánicos genotóxicos pueden entrar en las aguas superficiales desde una amplia gama de fuentes industriales y municipales al resumir sus revisiones sobre este tópico en la literatura. También destacaron la importancia de los bioensayos para detectar mutagenicidad / genotoxicidad derivada de la ubicuidad de compuestos genotóxicos en el ambiente y la necesidad de identificar las fuentes de contaminación.

Los principales bioensayos que han sido empleados con este propósito han sido: el ensayo de mutagenicidad con *Salmonella* o prueba de Ames, así como la detección de aductos y mutaciones, la prueba de micronúcleos, el ensayo cometa, los intercambios de cromátidas hermanas y la prueba de aberraciones, entre otros, tanto en organismos vegetales como animales, así como en células somáticas y germinales (Houk 1992, Tabrez et al. 2011).

El Sistema Hidrológico Atoyac-Zahuapan, como casa de estudio

Los ríos Zahuapan y Atoyac son las principales corrientes hidrológicas en los estados de Tlaxcala y Puebla. El desarrollo y crecimiento de ambos estados ha causado problemas de contaminación ya que éstos son los únicos cuerpos receptores de los desechos de las diferentes actividades, al grado de que en la actualidad los ríos funcionan como un canal de desagüe, transportando gran cantidad de aguas residuales industriales, domésticas, agrícolas y municipales (Suárez-Sánchez et al. 2011). Se carece de indicadores biológicos que permitan estimar las consecuencias de la contaminación sobre la biota de este ecosistema y/o de los organismos expuestos, incluyendo al hombre. Se ha analizado el Sistema Hidrológico Atoyac-Zahuapan, como un ente potencialmente peligroso, determinando cuales son los sitios de mayor riesgo a lo largo de su cauce, con el propósito de evaluar los riesgos ambientales, en la salud de poblaciones expuestas, generados por la contaminación de sus aguas por las actividades industriales, municipales y agrícolas. Resultados previos permiten identificar la presencia de puntos donde los elementos contaminantes son capaces de inducir alteraciones genotóxicas (Valencia-Quintana et al. 2006, 2009, 2011a, b)).

El grupo de investigación ha desarrollado diferentes estudios desde 1992 empleando diferentes bioensayos y biomarcadores de genotoxicidad.

Ensayos con *Vicia faba*

Raíces de *Vicia faba* fueron usadas como monitor para detectar mutágenos en las aguas del Atoyac-Zahuapan, los resultados fueron significativos en tres de las muestras al incrementar la frecuencia de aberraciones cromosómicas y alteraciones centroméricas (Villalobos-Pietrini et al., 1994). Las descargas de desechos acumulados en los sedimentos donde se obtuvieron respuestas positivas provienen de diferentes industrias, principalmente involucradas en el reciclaje de papel, siendo los contaminantes más frecuentes celulosa, minerales, grasas, aceites y colorantes, así como industrias de manufactura de colorantes donde los metales pesados pueden estar en concentraciones elevadas (Villalobos-Pietrini et al. 2011).

Al evaluar el potencial genotóxico de mezclas complejas de tres efluentes industriales descargados en el río Atoyac, empleando los ICH como biomarcador de daño en células meristemáticas de *Vicia faba* se encontró un incremento estadísticamente significativo el compararse con la muestra testigo (Juárez-Santacruz et al. 2003).

En otro de esos estudios, empleando como sistema de prueba el mismo bioensayo, se evaluaron los sedimentos y agua del Sistema Hidrológico Atoyac-Zahuapan en Panotla, Xicohtzinco-Zahuapan, Presa San Lucas y Xicohtzinco-Atoyac. Los puntos monitoreados inducen alteraciones cromosómicas en células en anafase como aberraciones (fragmentos sencillos, puentes sencillos) y cromosomas con el centrómero inactivado. De igual manera las muestras analizadas fueron capaces de alterar el IM de estas células, e inducir intercambios de cromátidas hermanas, lo cual es un indicador de la presencia de sustancias potencialmente peligrosas, lo que amerita profundizar en este tipo de estudios para identificar los sitios que a lo largo de este Sistema

Hidrológico, pudieran representar un riesgo potencial por el tipo de contaminación (Valencia-Quintana et al. 2006).

En otros estudios con *Vicia faba* se han empleado la prueba de MN y el ensayo cometa, para determinar el potencial genotóxico del agua y sedimentos de la cuenca alta del Sistema Hidrológico Atoyac-Zahuapan, encontrando incrementos significativos de las frecuencias de MN y de la fragmentación del ADN determinada a través del ensayo cometa (Arenas-Sánchez et al. 2018, Hernández-Hernández et al. 2018, 2019, Vergara-Aragón et al. 2018, Montiel-González et al. 2019)

Ensayos con linfocitos humanos

Otro sistema adecuado para evaluar el daño citogenético lo constituyen los linfocitos humanos, empleando como biomarcador los intercambios de cromátidas hermanas, en este estudio no hubo daño genotóxico estadísticamente significativo, aunque reportaron evidencias de posibles efectos citotóxicos (Valencia-Quintana et al. 1997).

Los resultados sobre los efectos citogenéticos en linfocitos humanos en cultivo inducidos por las aguas del río Zahuapan en Panotla, Tlaxcala no mostraron diferencias significativas al compararlos con el grupo testigo con la prueba de ICH (Sánchez-Alarcón et al. 2003a). La misma respuesta fue encontrada con muestras del río en Xicohtzinco, Tlaxcala (Sánchez-Alarcón et al. 2003b).

La frecuencia de ICH, tampoco se vio alterada significativamente al probar efluentes de una industria textil en Santa Ana Chiautempan, Tlaxcala, aunque se observaron efectos citotóxicos al disminuir el índice mitótico y la cinética de proliferación celular al incrementarse el volumen probado (Vázquez-Cuecuecha et al. 2003)

Conclusiones

Las pruebas de mutagenicidad/genotoxicidad de mezclas complejas tales como aguas superficiales utilizando una variedad de bioensayos demuestra que estas mezclas ambientales contienen muchos tóxicos no identificados y no regulados que pueden ser carcinogénicos y un riesgo de magnitud desconocida. Se puede concluir que el análisis de aguas superficiales resulta ser una etapa fundamental del estudio para identificar áreas potencialmente contaminadas por compuestos genotóxicos de las diferentes fuentes.

Sin embargo, no se ha realizado la identificación de los principales compuestos mutagénicos/genotóxicos putativos en la mayoría de las aguas superficiales con alta actividad mutagénica/genotóxica en el mundo. Deben realizarse más esfuerzos en el aislamiento químico y la identificación mediante análisis químico dirigido por bioensayos.

A pesar de las normas ambientales establecidas, los estudios realizados demuestran que las prácticas actuales de eliminación de residuos liberan compuestos genotóxicos al ambiente. Desde el punto de vista de la salud pública, la contaminación de fuentes de agua, tanto superficial como subterráneo, significa un riesgo potencial elevado.

Referencias

- Arenas-Sánchez H., Sánchez-Alarcón J., Pérez Sánchez M., Gregorio Jorge J., Gómez-Olivares J.L., López-Durán R.M., Minor-Caballero A.E., Tenorio-Arvide M.G., Valera Pérez M.A., Valencia-Quintana R. (2018). Inducción de micronúcleos en células meristemáticas de *Vicia faba* por exposición a aguas superficiales. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 34 (Memorias CNG2018): 64. DOI: 10.20937/RICA.2018.34.MSMG2.
- Hernández-Hernández A., Sánchez-Alarcón J., Arenas-Sánchez H., Muñoz-Gallo G.A., Reyes-Cerón A., López-Durán R.M., Suárez-Sánchez J., Muñoz-Nava H., Grada-Yautentzi J.A.R., Valencia-Quintana R. (2018). Potencial genotóxico de sedimentos del arroyo Totolac, Tlaxcala en *Vicia faba*. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 34 (Memorias CNG2018): 69. DOI: 10.20937/RICA.2018.34.MSMG2.
- Hernández-Hernández A., Sánchez-Alarcón J., Flores-Márquez A.R., Cortés-Eslava J., Muñoz-Nava H., Montiel-González J.M.R., Valencia-Quintana R. (2019). Genotoxicidad inducida por aguas superficiales en la cuenca alta del Sistema Hidrológico Atoyac-Zahuapan. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 35 (Memorias CIG-SMG 2019): 45-46. DOI: 10.20937/RICA.2019.35.MSMG1
- Houk V.S. (1992). The genotoxicity of industrial wastes and effluents. *Mutat Res.* 277:91-138. doi: 10.1016/0165-1110(92)90001-p.
- Juárez-Santacruz L., Sánchez-Alarcón J., Valencia-Quintana R. (2003). Monitoreo de la capacidad genotóxica de las aguas del río Atoyac en el estado de Tlaxcala. Conferencia: Foro sobre problemática del agua, un desafío para las IES.Acapulco, Guerrero Volume 1. DOI: 10.13140/2.1.5115.4722.
- Montiel-González J.M.R., Sánchez-Alarcón J., Hernández-Hernández A., Flores-Márquez A.R., Cortés-Eslava J., Suárez-Sánchez J., Valencia-Quintana R. (2019). Evaluación de la capacidad genotóxica de sedimentos del Sistema Hidrológico Atoyac-Zahuapan en Tlaxcala. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 35 (Memorias CIG-SMG 2019): 43-44. DOI: 10.20937/RICA.2019.35.MSMG1
- Ohe T., Watanabe T., Wakabayashi K. (2004). Mutagens in surface waters: a review. *Mutat Res.* 567:109-149. doi: 10.1016/j.mrrev.2004.08.003.
- Roubicek D.A., Rech C.M., Umbuzeiro G.A. (2020). Mutagenicity as a parameter in surface water monitoring programs—opportunity for water quality improvement. *Environ. Mol. Mutag.*, 61: 200-211. DOI: 10.1002/em.22316.
- Rodríguez-Mendieta S., Sánchez-Alarcón J., Valencia-Quintana R. (2018). Determinación de metales pesados: en efluentes industriales del estado de Puebla. Editorial Académica Española
- Sánchez-Alarcón J., Maldonado-Pavón M.I., Juárez-Santacruz L., Valencia-Quintana R. (2003a). Efectos citogenéticos en linfocitos humanos en cultivo inducidos por las aguas del río Zahuapan en Panotla, Tlaxcala. Conferencia: Foro sobre problemática del agua, un desafío para las IES.Acapulco, Guerrero Volume 1. DOI: 10.13140/2.1.1969.7447.
- Sánchez-Alarcón J., Meneses-Nava M., Juárez-Santacruz L., Valencia-Quintana R. (2003b). Monitoreo de la capacidad genotóxica del agua del río Zahuapan en Xicohtzinco Tlaxcala. Foro sobre problemática del agua, un desafío para las IES.Acapulco, Guerrero Volume 1. DOI: 10.13140/2.1.2690.6400.
- Stahl R.G. Jr (1991). The genetic toxicology of organic compounds in natural waters and wastewaters. *Ecotoxicol Environ Saf.* 22:94-125. doi: 10.1016/0147-6513(91)90051-p.
- Suárez Sánchez J., Muñoz-Nava H., Orozco-Flores S., Sánchez Torres G., Ritter-Ortiz W., van der Wal H., Trujillo-Treviño J.M., Valencia-Quintana R. (2011). Análisis espacio-temporal de los contaminantes del Río Zahuapan, Tlaxcala. El impacto de los fondos mixtos en el desarrollo regional. En: *El Impacto de los Fondos Mixtos en el Desarrollo Regional*. Laclette JP, Zúñiga P y Romero JA (Eds.) 1a Edition: México, Publisher: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC Vol. 2, p. 313-322.
- Tabrez S., Shakil S., Urooj M., Damanhoury G.A., Abuzenadah A.M., Ahmad M. (2011). Genotoxicity testing and biomarker studies on surface waters: an overview of the techniques and their efficacies. *J. Environ. Sci. Health, Part C* 29: 250-275. DOI: 10.1080/10590501.2011.601849
- Valencia-Quintana R., Maldonado-Pavón M.I., Meneses-Nava C.I., Romano-Galicia F., Juárez-Santacruz L., Sánchez-Alarcón J. (1997). Monitoreo de la capacidad genotóxica de las aguas del río Atoyac-Zahuapan. Conferencia: Foro Institucional: "Resultados de las Investigaciones Realizadas en la UAT 1997. Tlaxcala, Tlaxcala, Volume: 1. DOI: 10.13140/2.1.2952.7840
- Valencia-Quintana R., García-Nieto E., Juárez-Santacruz L., Montiel-González J.M.R., Gómez Olivares J.L., Sánchez-Alarcón J. (2006). Diagnóstico de la problemática ambiental generada por la exposición a contaminantes ambientales presentes en aguas superficiales, con énfasis en sus impactos en la salud. Conferencia: V Congreso Internacional y XI Nacional de Ciencias Ambientales. Oaxtepec, Morelos Volume 1. DOI: 10.13140/2.1.3747.4084.
- Valencia-Quintana R., Sánchez-Alarcón J., Ortiz E., Gómez-Olivares J.L. (2007). La contaminación de los ríos, otro punto de vista Primera parte. *Ciencia en la Frontera* 5: 35-49.
- Valencia-Quintana R., Gómez-Olivares J.L., Sánchez-Alarcón J., Castillo-Cadena J., Waliszewski S.M. (2009). Potencial genotóxico de aguas superficiales y sedimentos del Sistema Hidrológico Atoyac-Zahuapan y de efluentes industriales en el estado de Tlaxcala. *Ciencia en la Frontera* 7: 61-71.
- Valencia-Quintana R., Gómez-Olivares J.L., Waliszewski S.M., Castillo-Cadena J., Sánchez-Alarcón J. (2011a). Identificación de contaminantes y potencial genotóxico del Sistema Hidrológico Atoyac-Zahuapan. Conferencia: ISBN: 978-607-477-520-4. Libro Científico Conservación. Avances de Mujeres en las Ciencias, las Humanidades y todas las Disciplinas. México, Volume: 1. DOI: 10.13140/2.1.3714.6402.
- Valencia-Quintana R., Waliszewski S.M., Gómez-Olivares J.L., Suárez-Sánchez J., Sánchez-Alarcón, J. (2011b). Evaluación de riesgos por exposición a contaminantes ambientales presentes en las aguas del Sistema Hidrológico Atoyac-Zahuapan. Zahuapan. En: Jiménez-Guillén R., Hernández-Rodríguez M.L. (Coord.) Zahuapan: Río-Región-Contaminación, Tlaxcala, México: El Colegio de Tlaxcala, A.C. 79-102.
- Vázquez Cuacuecha O.G., Zamora Campos E., Sánchez-Alarcón J., Juárez-Santacruz L., Valencia Quintana R. (2003). Conferencia: Foro sobre problemática del agua, un desafío para las IES.Acapulco, Guerrero Volume 1. DOI: 10.13140/2.1.4066.8968
- Vergara-Aragón C.F., Sánchez-Alarcón J., Flores-Márquez A.R., Cortés-Eslava J., Maldonado-Delgado S., Gómez-Olivares J.L., López-Durán R.M., Tenorio-Arvide M.G.,
- Valera Pérez M.A., Valencia-Quintana R. (2018). Evaluación del potencial genotóxico de fuentes de agua potable en el estado de Tlaxcala. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 34 (Memorias CNG2018): 68. DOI: 10.20937/RICA.2018.34.MSMG2
- Villalobos-Pietrini R., Flores-Márquez A.R., Gómez-Arroyo, S. (1994). Cytogenetic effects in *Vicia faba* of the polluted water from rivers of the Tlaxcala hydrological system, México *Rev. Int. Contam. Ambie.* 10: 83-87.
- Villalobos-Pietrini R., Flores-Márquez A.R., Gómez-Arroyo S. (2011). Detección de mezclas complejas de sustancias con efectos genotóxicos en el sistema hidrológico Atoyac-Zahuapan (SH-AZ) Tlaxcala. En: Jiménez-Guillén R., Hernández-Rodríguez M.L. (Coord.) Zahuapan: Río-Región-Contaminación, Tlaxcala, México: El Colegio de Tlaxcala, A.C. 23-32 pp.
- Wu JY (2005). Assessing surface water quality of the Yangtze Estuary with genotoxicity data. *Mar Pollut Bull.* 50:1661-1667. doi: 10.1016/j.marpollbul.2005.07.001.