



Revista de Toxicología

ISSN: 0212-7113

revista@aetox.es

Asociación Española de Toxicología
España

Pérez Donato, J.A.; Vera, L.; Bravo, S. L.; Delgado, S.; González, E.
Efectos de la ultrafiltración sobre la fitotoxicidad de efluentes primarios y secundarios de
la depuración de aguas residuales urbana
Revista de Toxicología, vol. 33, núm. 2, 2016, pp. 103-107
Asociación Española de Toxicología
Pamplona, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91949104006>

- [Cómo citar el artículo](#)
- [Número completo](#)
- [Más información del artículo](#)
- [Página de la revista en redalyc.org](#)

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Efectos de la ultrafiltración sobre la fitotoxicidad de efluentes primarios y secundarios de la depuración de aguas residuales urbanas

Pérez Donato J.A.², Vera L.^{3,*}, Bravo S. L.⁴, Delgado S.¹, González E.¹

¹ Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Sección de Química, Universidad de La Laguna, Av. Astrof. Fco. Sánchez, s/n., 38200, La Laguna, España.

² Centro de Bioactivos Químicos, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Carretera a Camajuani Km. 5 y 1/2. Santa Clara. Villa Clara. Cuba.

³ Centro de Estudios Ambientales, Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Cuenca. Campus Balzay, Av. Víctor Albormoz y Calle de los Cerezos parroquia San Joaquín, apartado: 01.01.168. Ecuador.

⁴ Universidad Estatal Amazónica. Ciencia de la Tierra. Vía Napo Km 2 ½, Paso Lateral S/N. Ecuador.

Resumen: Las aguas residuales urbanas depuradas/regeneradas se han convertido en un recurso hídrico alternativo importante, como parte del uso y la gestión sostenible del agua, especialmente en zonas áridas con déficit en recursos naturales. Una de las aplicaciones de mayor interés es el riego agrícola, sector económico que demanda grandes cantidades de agua. Las etapas clásicas de tratamiento primario y secundario biológico suministran efluentes con aplicaciones limitadas para riego, pero se pueden mejorar sensiblemente si tales efluentes se someten a un proceso de ultrafiltración con membranas. En este trabajo se analizan los resultados de un estudio que correlaciona los parámetros físico-químicos de calidad con sus propiedades fitotóxicas, en efluentes primarios y secundarios, y el efecto que produce la ultrafiltración con membranas en tales efluentes. En cada muestra se determinó: conductividad, turbidez, carbono orgánico total, proteínas solubles, polisacáridos, demanda química de oxígeno y los iones de Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, B³⁺, F⁻, Cl⁻. Los criterios de fitotoxicidad se evaluaron mediante el biomarcador *Lactuca sativa* L. Se concluye que la conductividad y la fitotoxicidad son parámetros interdependientes al evaluar el efecto tóxico durante los procesos de tratamiento de las aguas residuales. Por otra parte, el ion Cl⁻ puede jugar un rol fitotóxico en los permeados que se obtienen cuando se someten a ultrafiltración los efluentes primarios y secundarios.

Palabras clave: aguas residuales domésticas, ultrafiltración, fitotoxicidad, policloruro de aluminio.

Abstract: *Effects of ultrafiltration on the phytotoxicity of primary and secondary effluents from urban wastewater treatment*

The clean / reclaimed waste water has become an important alternative water resources as part of sustainable use and management of water, especially in arid areas with deficits in natural resources. One application of interest is the agricultural irrigation industry that requires large amounts of water. The classic stages of primary and secondary biological treatment supply effluents with limited applications for irrigation, but can be improved significantly if such effluents undergo a process of ultrafiltration membranes. This paper presents the results of a study correlating the physical and chemical quality with phytotoxic properties, parameters in primary and secondary effluents and the effect of the ultrafiltration membrane in such effluents are analyzed. In each sample was measured: conductivity, turbidity, total organic carbon, soluble proteins, polysaccharides, chemical oxygen demand and ions of Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, B³⁺, F⁻ and Cl⁻. Criteria phytotoxicity were evaluated by *Lactuca sativa* L. Biomarker is concluded that phytotoxicity conductivity and are interdependent to evaluate the toxic effect treatment processes for wastewater parameters. Moreover, the Na⁺ and Cl⁻ ions may play a role in the permeates phytotoxic obtained when subjected to ultrafiltration primary and secondary effluents.

Keywords: domestic wastewater, ultrafiltration, phytotoxicity, aluminium polychloride.

Introducción

La creciente demanda de agua en los diferentes sectores de las

actividades humanas, la escasez cada día mayor de las reservas existentes y el descenso paulatino de su calidad, junto a la preocupación mundial por la conservación del medio ambiente a través de un desarrollo sostenible, ha dado lugar al planteamiento de soluciones alternativas que puedan apalar el déficit de recursos naturales de agua dulce. Entre estas alternativas viables aparecen, entre otras la reutilización de las aguas residuales, una vez regeneradas y adecuadas al uso o destino final (Asano et al., 2007). Las tendencias en la reutilización de aguas residuales se dividen en tres líneas de actuación según tipo de uso, seguridad y tecnología. Estas tres líneas de actuación están relacionadas entre sí, pues la tecnología a utilizar depende del tipo de uso del agua regenerada y de los criterios de calidad físico- química y sanitaria que requiera cada aplicación. Las normativas internacionales sobre calidad de efluentes finales de los procesos de tratamiento de aguas residuales son cada vez más restrictivas, tanto para vertido como para reutilización. En este marco, la aplicación de procesos avanzados con membranas de ultrafiltración ha cobrado gran interés. Sin embargo, los fenómenos de ensuciamiento de la membrana han restringido su implantación generalizada debido a los altos costes asociados a los métodos de control del ensuciamiento (Asano et al., 2007). Para controlar este ensuciamiento se han planteado distintas modificaciones del proceso, entre las que cabe destacar la aplicación previa de un tratamiento de coagulación/floculación, el cual permite la eliminación de la materia suspendida o coloidal de las aguas residuales (Asano et al., 2007). Los coagulantes más utilizados en el tratamiento de aguas residuales son sales inorgánicas que contienen el aluminio o hierro. No obstante, la adición de estos coagulantes puede producir un efecto fitotóxico en las aguas regeneradas, comprometiendo así su aplicación al riego de cultivos.

El bioensayo con *L. sativa* evalúa el efecto tóxico subletal y letal. El primero hace referencia a la afectación de desarrollo normal de órganos de la planta como la raíz y el hipocotilo. El segundo tiene que ver con la inhibición de la germinación de la semilla y se corresponde con un efecto drástico del tóxico. La prueba con *Lactuca sativa* L. es una de las más utilizadas a nivel mundial (Peña-Alvarez y Castillo-Alanis, 2015; Gusttavson et al., 2000; Lallana MC et al., 2008; Ramirez-Romero y Mendoza-Cantu, 2008; Castillo-Morales, 2004; Reynaldo et al., 2000; Torres-Rodríguez et al., 2006; Bohorquez-Echeverry y Campos-Pinilla, 2007). El bioensayo con semilla de *Lactuca sativa* L., se clasifica como estático de toxicidad aguda (120 horas de exposición). En él se evalúa el efecto fitotóxico de un compuesto puro o una mezcla compleja en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento. Como puntos finales para la evaluación de los efectos fitotóxicos, se determina la inhibición de la germinación, así como la afectación en la elongación de la radícula y el hipocotilo. Esto permite evaluar el efecto tóxico de compuestos solubles presentes en concentraciones tan bajas que no son suficientes para inhibir la germinación, pero que sí pueden retardar o inhibir completamente los procesos de prolongación de la raíz o del hipocotilo, lo que depende del modo y lugar de acción de los contaminantes. Este ensayo permite monitorear las aguas residuales en diferentes momentos del proceso tecnológico de depuración.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto fitotóxico y características físico-químicas de muestras procedentes del tratamiento primario y secundario de una estación depuradora de aguas residuales

*e-mail: joseiannaconeoliver@gmail.com

y sometidas a un proceso tecnológico de depuración a nivel de laboratorio que involucra: floculación-coagulación con policloruro de aluminio (PCAl) y ultrafiltración con membranas. La selección del biomodelo con *Lactuca sativa* para evaluar el efecto fitotóxico se elige por resultar sencillo y bien reconocido desde el punto de vista regulatorio.

Material y métodos

Prueba de fitotoxicidad con la planta Lactuca sativa

Previo a la implementación de la prueba se verificó el porcentaje de germinación del biomarcador. Este se comportó en intervalo adecuado: por encima de 90%; conjuntamente se evaluó la variabilidad del crecimiento de la radícula e hipocotilo, el que mostró un coeficiente de variación (CV) de 17 % con intervalos entre 20 y 14 %. El experimento se desarrolló en ausencia de luz y a temperatura de 21± 1 °C en cámara oscura termostata, previamente se caracterizaron las condiciones de fotoblastismo negativo y la temperatura óptima de germinación. Las semillas fueron seleccionadas en base al aspecto e intervalo de peso, rechazando las que no cumplen con los requerimientos.

Una vez aceptado el lote de semillas, estas son sometidas periódicamente a evaluaciones de fitotoxicidad utilizando un tóxico de referencia. Con estos datos se conforma la carta control para la sensibilidad de la semilla al responder ante la presencia de un tóxico.

La Tabla 1 muestra un resumen de la carta control del biomarcador *L. sativa*. Esta se confecciona realizando ensayos donde se calcula la DI₅₀ empleando un tóxico de referencia. En este caso se aplica Zn (II) en forma de sulfato monohidratado para comprobar la sensibilidad del biomarcador. La carta control se considera válida una vez que se han realizado al menos cinco ensayos de toxicidad. El biomarcador muestra una sensibilidad adecuada pues el cálculo de la DI₅₀ se enmarca en ±2 δ con relación al promedio de DI₅₀ (Tabla 1). Los 12 ensayos reportados en la carta control del lote de semillas utilizadas cumplieron con lo anteriormente enunciado.

Tabla 1. Datos de sensibilidad para el cálculo DI₅₀

Indicadores	Unidad	DI ₅₀ [120 h]
Promedio	mg/L	89.0
Desviación típica (δ)	mg/L	7.82
Promedio +2δ	mg/L	104.7
Promedio -2δ	mg/L	73.4
Coefficiente variación (CV)	%	8.7

En el desarrollo del bioensayo se utilizan placas desechables de Petri (100 mm), papel de filtro Whatman número 3 (90 mm), agua “MilliQ” reconstituida y se procede según protocolo basado en la US EPA (1989) y EPA OPPTS (1996).

Muestras de agua residual

Las muestras de efluentes primarios y secundarios utilizadas para el estudio de proceden de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) de la isla de Tenerife (Islas Canarias, España). El resto de las muestras se obtuvieron posterior al proceso de coagulación-floculación, el que se realizó en Jar-test (Modelo JLT6, Velp Scientifica) con policloruro de aluminio PCAl (10% Al₂O₃, 9,2% Cl y 2,7% SO₄²⁻) como coagulante/floculante y posterior sedimentación; finalmente, se sometió al filtrado con empleo de un módulo de membrana ZW1 (ZeeWeed, GE Zenon) formado por un haz de fibras huecas poliméricas, asimétricas, con capa activa externa, hidrófila, con un diámetro medio de poro de 0,03 μm y un diámetro absoluto de 0,1 μm. Las 80 fibras, de unos 20 cm de longitud, se dispusieron verticalmente proporcionando una superficie filtrante total de 0,093 m².

Determinación de indicadores fisicoquímicos.

La evaluación analítica de los diversos indicadores de contaminación físico-química se realizó a temperatura ambiente de 25°C y por duplicado a cada muestra. La cuantificación se efectúa utilizando protocolos de trabajo que tienen como base Standard métodos for the examination of water and wastewater (2005) y AENOR (1997). La turbidez se determinó con el turbidímetro HACH 2100N.

Tratamiento estadístico de los datos

La evaluación de la fitotoxicidad se realiza mediante la medición de los órganos (hipocotilo y raíz) de la plántula de *L. sativa* y calculando el efecto de inhibición (EI). El agua investigada (muestra) se comparó con el control negativo que utilizó agua “Mili Q” restituida. Para ello se utiliza la siguiente ecuación.

$$EI = (muestra - control / control) \times 100$$

Tanto los valores positivos como negativos del EI indican crecimientos anormales y por tanto son evaluados con criterio de toxicidad (Reynaldo et al., 2000).

La fluctuación de los parámetros físicos y químicos se valora mediante análisis porcentual. Este se estima en base a las lecturas antes y después de la ultrafiltración a través de membranas. Se asume como 100% las cuantificaciones realizadas en las muestras antes del paso por el sistema de membrana, y como porcentaje de reducción los valores registrados en los respectivos permeados.

Resultados y discusión

Efecto fitotóxico de efluentes primarios y secundarios, floculado con PCAl y sus permeados sobre el biomarcador L. sativa.

Se evaluó la toxicidad del agua residual primaria, del coagulado-floculado (F) con diferentes concentraciones de PCAl (40, 80, 100, 120 y 160 mg/L), así como los permeados resultantes tras la ultrafiltración de los clarificados obtenidos en cada ensayo de coagulación/floculación (P). Los resultados obtenidos (Tabla 2, Figura 1) mostraron un significativo efecto la concentración de PCAl, la cual fue directamente proporcional al efecto fitotóxico reflejado en el porcentaje de inhibición del crecimiento de la raíz y el hipocotilo de las plántulas de *L. sativa*. Asimismo, el órgano raíz resultó más sensible que el hipocotilo. En cuanto al efecto tóxico del PCAl para la raíz, concentraciones de coagulante de 100 mg/L y superiores muestran rangos de inhibición próximos al 50%. Mientras en el caso de los permeados, su efecto tóxico sobre la raíz muestra rangos de inhibición similares para concentraciones de PCAl superiores a 160 mg/L.

La Tabla 3 y la figura 2 muestran los resultados del efecto fitotóxico

Tabla 2. Efecto fitotóxico del efluente primario floculado (F) con PCAl a distintas concentraciones y sus permeados (P) en *L. Sativa*.

Muestra	Fitot., Raíz (EI ^a , %)	Fitot., Hipocotilo (EI, %)
E. Primario	5	0
F+PCAl 40	15	4,32
F+PCAl 80	24,6	10,3
F+PCAl 100	42,4	15,2
F+PCAl 120	50,1	22,3
F+PCAl 160	56,7	28,2
P+PCAl 40	10,4	2,12
P+PCAl 80	14,5	5,32
P+PCAl 100	35,7	7,23
P+PCAl 120	46,3	11,8
P+PCAl 160	49,1	15,6

^a Efecto inhibitorio

del efluente secundario de agua residual de la EDAR de Santa Cruz de Tenerife, del coagulado-floculado con diferentes concentraciones

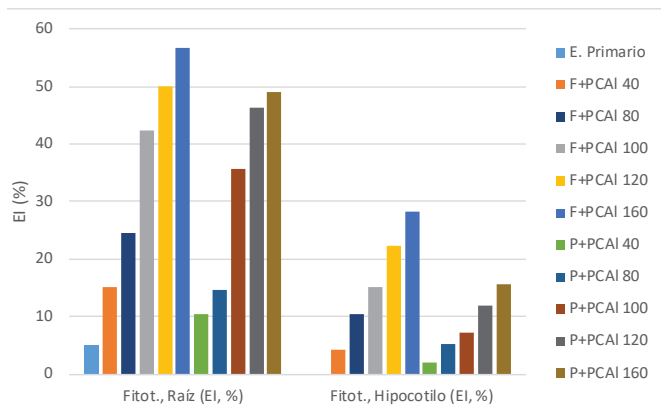


Figura 1: Efluente primario: E. primario; Floculado con PCAI: F+(PCAI); Permeado por membrana previo tratamiento con PCAI: P+(PCAI); Efecto inhibitorio: EI; fitotoxicidad sobre raíz-hipocotilo: (Fitot. Raíz) (Fitot. Hipoc.).

de PCAI (40, 80, 100 mg/L) y sus correspondientes permeados. Se observó una tendencia al incremento de la fitotoxicidad asociada con las concentraciones de PCAI aplicadas. De nuevo, se puede observar que concentraciones de coagulante de 100 mg/L implican una inhibición cercana al 50%. Asimismo, este efecto fitotóxico se ve disminuido al aplicar un proceso de ultrafiltración. Si comparan estos resultados obtenidos con los del efluente primario (Tabla 2), se puede observar que son cualitativamente y cuantitativamente semejantes. Se deduce de ello, por tanto, que la fitotoxicidad de los efluentes está asociada principalmente al tratamiento de coagulación/floculación.

Tabla 3. Efecto fitotóxico de efluente secundario después de un proceso de coagulación/floculación (F) con PCAI a distintas concentraciones y sus permeados (P) en *L. Sativa*.

Muestra	Fitot., Raíz (EI ^a , %)	Fitot., Hipocotilo (EI, %)
E. Secundario	7	2
F+PCAI 40	16	5,7
F+PCAI 80	26,3	14,5
F+PCAI 100	44,4	19,3
P+PCAI 40	13,6	4,6
P+PCAI 80	20,5	8,4
P+PCAI 100	39,1	10,2

^a Efecto inhibitorio

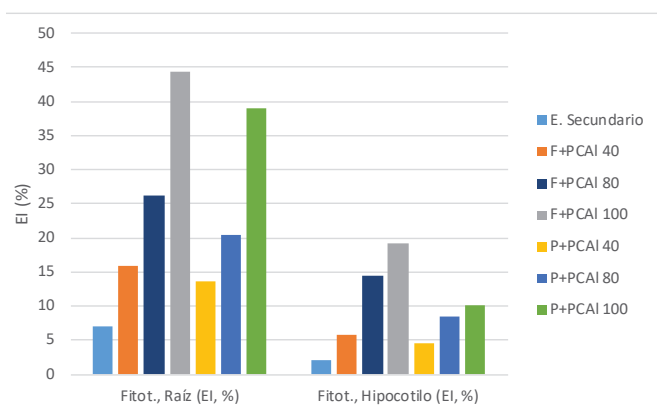


Figura 2: Efluente secundario: E. secundario; Floculado con PCAI: F+(PCAI); Permeado por membrana previo tratamiento con PCAI: P+(PCAI); Efecto inhibitorio: EI; fitotoxicidad sobre raíz-hipocotilo: (Fitot. Raíz) (Fitot. Hipoc.).

Correlación entre indicadores físico-químico y fitotoxicidad

La Tabla 4 contiene las reducciones de los diferentes parámetros físicos y químicos de las aguas residuales primarias al ser filtradas por membranas, y teniendo en consideración los tratamientos con

PCAI previos. Como aspecto a destacar se debe considerar la amplia reducción que sufrieron la turbidez, los polisacáridos, DQO y TOC, en ese orden. Como era de esperar, la conductividad resultó ser el parámetro que menos reducción mostró en dicho estudio, debido a que la membrana de ultrafiltración no retiene iones. Sin embargo, este parámetro es de gran interés, debido a que son varios los autores que le atribuyen al factor conductividad del agua una relación directa con la fitotoxicidad, planteando que su incremento afecta al suelo y a las

Tabla 4. Valores de la reducción porcentual de parámetros fisicoquímicos de DQO_t, DQO_f, TOC, Conductividad, turbidez, proteínas solubles (Prot.) y polisacáridos (Polis.) de aguas residuales procedentes del tratamiento primario después de la filtración por membranas.

Muestra	DQO _t	DQO _f	TOC	Cond.	Turbidez	Prot.	Polis.
P+PCAI 40	90,90	83,40	77,79	9,90	98,43	85,80	87,26
P+PCAI 80	84,97	77,07	54,73	3,48	99,72	75,21	75,33
P+PCAI 100	86,08	80,39	62,13	8,15	99,70	79,17	92,70
P+PCAI 120	89,00	79,86	85,38	12,3	99,53	89,48	85,12
P+PCAI 160	81,42	67,50	55,92	2,00	99,66	78,38	86,57

plántulas (Severiche-Sierra et al., 2013; Pérez Donato et al., 2015).

Los resultados correspondientes al comportamiento de los valores físico-químicos a partir de efluentes secundarios de aguas residuales provenientes de la EDAR, y su reducción porcentual al ser filtradas por membranas, se plasman en la Tabla 5. Las reducciones son bien marcadas para el parámetro turbidez con un 95,29 % de reducción, le siguen en orden las proteínas solubles, polisacáridos, TOC, y DQO. Por otra parte, la conductividad no mostró variación significativa. Estos resultados parecen indicar que el contenido en materia orgánica residual, que es mayoritariamente retenida por la membrana de ultrafiltración, puede tener un efecto tóxico sobre el biomarcador *L.*

Tabla 5. Valores de reducción porcentual de parámetros fisicoquímicos DQO_t, DQO_f, TOC, conductividad, turbidez, proteínas totales y polisacáridos de efluentes primarios, secundarios filtrados directamente por la membrana y después de un tratamiento de coagulación/floculación con 40 mg/L de PCAI.

Muestra	DQO _t	DQO _f	TOC	Cond.	Turbidez	Prot.	Polis.
P (primario)	15,47	2,80	4,47	1,01	33,98	3,69	35,60
P (secundario)	28,51	24,44	6,62	1,02	96,89	51,75	70,62
P+PCAI 40 (primario)	8,17	24,23	18,37	10,1	92,00	48,90	89,70
P+PCAI 40 (secundario)	52,30	56,52	50,93	1,65	95,29	76,76	51,25

P: Permeado

Sativa, lo que justificaría los menores valores de EI encontrados en los permeados (Tablas 2 y 3).

Como último aspecto evaluado se encuentra la determinación de iones en las muestras de agua residual primaria y secundaria, con sus respectivos filtrados de membrana, que resumen en la Tabla 6. Los iones que en mayor cantidad se encuentran en los efluentes y sus permeados son el Na⁺ y Cl⁻. Este último anión muestra una elevación en los permeados asociado a la aplicación de PCAI, mientras que el primero está presente en las aguas residuales de partida. Es conocido que concentraciones elevadas de B³⁺, Na⁺ y Cl⁻ pueden limitar la viabilidad de la utilización de aguas regeneradas para el riego de los diferentes cultivos (Ayers y Westcot, 1985). Mientras que los niveles de B³⁺ en las muestras estudiadas son inferiores a los niveles máximos tolerados en la mayoría de cultivos, cabe destacar que las concentraciones de Na⁺ superan ligeramente los límites máximos establecidos para cultivos sensibles, como pueden ser los cítricos (Grattan, 2013). No obstante, los bajos valores de efecto de inhibición en las muestras de efluente primario y secundario (Tablas 2 y 3) descartan un efecto apreciable sobre el biomarcador *L. sativa*. Por el

Tabla 6. Iones presentes en muestras de efluentes primarios, secundarios filtrados directamente por la membrana y después de un tratamiento de coagulación/floculación con 40 mg/L de PCAl.

Muestra	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	B ³⁺	F ⁻	Cl ⁻
P (primario)	239±46	44,7±9,2	28,8±5,2	51,5±4,5	0,2±0,01	0,3±0,2	223±37,6
P (secundario)	257±54	24,4±7,2	13,7±3,9	18,5±1,8	0,2±0,01	0,3±0,2	223±36,1
P+PCAl 40 (primario)	259±22	25,5±11	13,4±3,5	13,3±1,7	0,2±0,01	0,3±0,2	308±40,2
P+PCAl 40 (secundario)	257±19	26,7±8,5	14,5±4,2	14,7±1,2	0,2±0,01	0,3±0,2	320±41,3

P: Permeado

contrario, la concentración de Cl⁻, que aumenta apreciablemente con la adición de PCAl, presenta una buena correlación con el efecto fitotóxico a nivel del órgano raíz del biomarcador. De hecho, el rango de concentraciones de Cl⁻ es superior al recomendado en la aplicación de aguas regeneradas para el riego de cultivos sensibles (Morgan, 2011). Por todo ello, se concluye que la concentración de Cl⁻ es buen indicador físico-químico de toxicidad de las aguas tratadas mediante un tratamiento de coagulación/floculación con PCAl.

Conclusiones

La incorporación de ensayos de toxicidad aguda con bioindicadores, como *L. sativa* L., en la evaluación de procesos de depuración de aguas residuales resulta un complemento útil para estimar la posible implicación de la tecnología aplicada en aspectos toxicológicos. En el presente estudio se demostró que el órgano raíz constituye el elemento más sensible como indicador de toxicidad al compararlo con el hipocotilo de la *L. sativa* L.

El uso de PCAl como coagulante en el proceso de depuración de aguas residuales es empleado a concentraciones superiores a los 100 mg/L resulta fitotóxico. No obstante, la ultrafiltración por membranas puede reducir dicho efecto. Este hecho, posiblemente puede deberse a la retención por parte de las membranas, de sustancias tóxicas que están presentes en las aguas residuales evaluadas en este estudio

El ion Cl⁻ puede jugar un rol fitotóxico en los permeados que se obtienen cuando se someten a ultrafiltración los efluentes primarios y secundarios.

Se puede concluir que al igual que ocurre desde el punto de vista de eficacia de eliminación de contaminantes físico-químicos, la ultrafiltración reduce la toxicidad de las aguas residuales evaluadas mediante el bioensayo con *L. sativa* L.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo financiero del Proyecto de Cooperación Internacional (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo) y el proyecto CONVAGUA de Canarias por la Agencia ACIISI, patrocinado por la Comisión Europea y el Gobierno de Canarias Regional, También quieren expresar su agradecimiento a GE Zenon, BALTEN, EMMASA y CANARAGUA por su colaboración.

Abreviaturas y nomenclatura

- Cond., Conductividad
- DQO, demanda química de oxígeno
- DQO_f, demanda química de oxígeno filtrada
- DI, dosis tóxica que inhibe el crecimiento de raíz o hipocotilo de *L. sativa*
- EDAR, estación depuradora de aguas residuales
- Fitot., fitotoxicidad
- F+PCAl, Coagulación/Floculación con policloruro de aluminio
- TOC, Concentración de carbono orgánico total
- T, turbidez
- P+PCAl, Permeado por membrana después de tratamiento de

Coagulación/Floculación con policloruro de aluminio
 PCAl, Policloruro de aluminio (10% Al₂O₃, 9,2% Cl⁻ y 2,7% SO₄²⁻)
 DE, Desviación estándar

Bibliografía

AENOR. Calidad de agua. Medio ambiente, Tomo I. Recopilación de normas UNE. Madrid: AENOR; 1997.

APHA-AWWA-WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th edition. Washington DC: APHA-AWWA-WEF; 2005.

Asano T, Burton F, Leverenz H, Tsuchihashi R, Tchobanoglous G. Water Reuse. Issues, Technologies and Applications. New York: Metcalf & Eddy. Mc Graw-Hill; 2007.

Ayers RS, Westcot DW. Water quality for agriculture, En: FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Roma; 1985.

Bohorquez-Echeverry P, Campos-Pinilla C. Evaluación de *Lactuca sativa* y *Selenastrum capricornutum* como indicador de toxicidad aguda. Universidad Scientiarum. 2007; 12 (2), 83-98.

Castillo-Morales G. Ensayos toxicológicos y métodos de validación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicación. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; 2004.

EPA OPPTS. Ecological effects test guidelines- Seed / germination/ root elongation toxicity test. 850-4200; 1996.

Grattan S. Evaluation of the impact of boron on citrus orchards in Riverside country. Report submitted to Riverside County Water Task Force; 2013.

Gusttavson KE, Sonsthagen SA, Crunkilton RA, Harkin JM. Groundwater toxicity assessment using bioassay, chemical, and toxicity identification evaluation analysis. Environm. Toxicol. 2000; 15, 421-430.

Lallana MC, Elizalde JH, Billard CE, Lallana VH. Bioensayo de germinación de *Lactuca sativa* (L): determinación de calidad de agua en represas para riego. Rev. FCAUNC. 2008; XL(1), 29-38.

Morgan KT. Effects of Reclaimed Water on Citrus Growth and Productivity. En: Fernando Sebastián García Einschlag. Waste Water-Evaluation and Management. Intech; 2011.

Peña-Alvarez A, Castillo-Alanis A. Identificación y cuantificación de contaminantes emergentes en aguas residuales por microextracción en fase sólida-cromatográfica de gases-espectrometría de masas (MEFS-GC-EM). OIIP revista especializada de ciencias químico-biológicas. 2015; 18(I), 29-42.

Pérez Donato J, Vera L., Bravo L, Delgado S, González E. Valoración Físico-Química y Fitotóxica de las aguas residuales depuradas/regeneradas al riego agrícola. Revista de Toxicología. 2015; 32 (2), 140-143.

Ramirez-Romero P, Mendoza-Cantu A. Ensayos ecotoxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. México: Instituto nacional de ecología y cambio climático; 2008.

Reynaldo IM, Jerez E, Torres J. Fitotoxicidad del aluminio en plántulas de arroz de la variedad LP-7. Contribución a la educación y protección ambiental. Cátedra de Medio Ambiente. 2000; 1, 89-93.

Severiche -Sierra CA, Castillo -Bertel ME, Acevedo -Barrios RL. Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros físico-químicos básicos en agua. Colombia: Fund. Univ. Andaluza Inca Garcilaso; 2013.

Torres- Rodríguez MT, García Milián M, Hernández Perera NM, Fernández Novo, M. Toxicidad aguda de lixiviados acuosos mediante un ensayo con *Lactuca sativa* L. Hig. Sanid. Ambient. 2006; 6, 170-172.

US EPA. Protocols for short- term toxicity testing of organic and inorganic pollution. US Environmental protection Agency. EPA 600/388/029; 1989.