

Evaluación fitotóxica del efluente de agua residual tratada en lagunas de oxidación utilizada para riego agrícola

Milton Torres-Cerón^a, Juan Antonio Vidales-Contreras^{a*}, Humberto Rodríguez-Fuentes^a, Alejandro I. Luna-Maldonado^a, Ernesto J. Sánchez-Alejo^a y Donaji J. González-Mille^b

^aFacultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Francisco Villa S/N, Ex Hacienda el Canadá, Escobedo, Nuevo León, México.

^bCIACYT-Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Avenida Sierra Leona No. 550, CP. 78210 Colonia Lomas Segunda Sección, San Luis Potosí, SLP, México

*E-mail: juan.vidalescn@uanl.edu.mx

Recibido 24 de febrero 2015, Aceptado 26 de mayo 2015

Resumen

El agua residual se considera como una mezcla compleja debido a los diversos compuestos que tiene. Por ello su tratamiento puede dificultarse debido a compuestos y/o mezclas recalcitrantes. Una forma de evaluar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de agua residual es a través de bioensayos de toxicidad tales como los que utilizan plantas, ya que presentan las ventajas de ser de bajo costo y fáciles de realizar. El objetivo del presente trabajo fue realizar un ensayo fitotoxicológico del agua residual tratada utilizada para riego agrícola en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL) utilizando lechuga *Lactuca sativa* L y pepino *Cucumis sativus* L. Se observó que el agua en proceso de tratamiento, así como el efluente utilizado en riego agrícola, producen un efecto inhibitorio en el crecimiento de la radícula de las dos especies utilizadas. Esto sugiere que el tratamiento del agua residual en las lagunas de oxidación no es suficiente para disminuir la toxicidad del influente. Por ello se recomienda realizar evaluaciones ecotoxicológicas más extensas en el área de estudio, a fin de determinar el riesgo ecológico que representa el agua residual utilizada en riego agrícola en la FAUANL.

Palabras clave: Ensayos de toxicidad, evaluación fitotoxicológica, tratamiento de aguas residuales, lagunas de oxidación.

1. Introducción

Toxicológicamente hablando, el agua residual es una mezcla compleja en la que los distintos componentes interactúan entre sí, afectando la fisiología de los organismos [1]. Entre los componentes más recalcitrantes en los tratamientos de aguas residuales urbanas se encuentran los productos de cuidado personal, plaguicidas, plastificantes, aditivos de combustible, retardantes de fuego, hidrocarburos aromáticos policíclicos, alquilfenoles, compuestos organoestánicos, los cuáles pueden actuar como disruptores endócrinos (incluyendo, además, hormonas esteroideas androgénicas y estrogénicas provenientes de fármacos), y metales pesados [1-4].

La ineficiencia de los tratamientos convencionales de aguas residuales para remover estos componentes recalcitrantes ha sido una de las causas para que se opte por su reúso en riego agrícola. Sin embargo, esta práctica puede contaminar los cultivos con compuestos orgánicos e inorgánicos y microorganismos patógenos. Además de acumular plaguicidas, contaminantes emergentes, microorganismos patógenos y metales pesados en suelos [2, 5, 6].

Aún cuando a nivel internacional existen políticas de protección al medio ambiente, los aspectos de contaminación acuática han sido los más desatendidos,

enfocando las principales políticas en la mitigación de emisiones atmosférica [6]. En México, la base constitucional, para la protección de los ecosistemas acuáticos y recursos hídricos, se encuentra en los artículos 4, 25, 27, 73, 115, mismos que son la base fundamental de las principales leyes que protegen los ecosistemas acuáticos: Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental, Ley General de Bienes Nacionales y Ley Federal de Responsabilidad Ambiental. Referente al aspecto de riego agrícola con agua residual, las principales recomendaciones son referentes a calidad microbiológica, pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), turbidez y sólidos suspendidos [8]. Sin embargo, en la normatividad existente en agua residual no incluye los análisis de toxicidad o evaluaciones de riesgo ecológico.

Los bioensayos de toxicidad son métodos útiles para evaluar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de agua residual [1, 10]. Los bioensayos son útiles para analizar el efecto y destino de los xenobióticos en los organismos [9]. La utilización de bioensayos con plantas presentan las ventajas de ser de bajo costo y fáciles de realizar [1, 9-10].

El objetivo del presente trabajo fue realizar un ensayo fitotoxicológico del agua residual utilizada para riego agrícola en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL), Campus Experimental Marín, Marín, Nuevo León. Se utilizaron lechuga *Lactuca sativa* L. y pepino *Cucumis sativus* L. ya

que son recomendadas por la OECD para este tipo de análisis [11]

2. Parte experimental

2.1. Descripción del área de estudio

La FAUANL cuenta con un campus para experimentación en el municipio de Marín, Nuevo León. Marín se encuentra en el área periurbana del Área Metropolitana de Nuevo León a 400 msnm. Al año 2010, su población ascendía a 5488 habitantes y sus principales actividades económicas son la agricultura y ganadería [12].

Al oeste del municipio se encuentra el Campus Experimental Marín (CEM) de la FAUANL. El agua residual del municipio es tratada de forma natural a través de un sistema de lagunas de oxidación localizadas al sureste del polígono Norte A del CM, en las coordenadas UTM 395402.22 E y 286208.63 N a 371 msnm (Figura 1). El agua residual tratada es utilizada para riego de cultivos forrajeros.

2.2. Toma de muestras

Se tomaron muestras de agua proveniente del canal de riego agrícola (agua tratada) definida como Sitio 1 (S1). Posteriormente se tomaron muestras de las tres lagunas de tratamiento de agua residual. Cada laguna de oxidación fue definida como Sitios 2 (S2), 3 (S3) y 4 (S4) desde la última a la primera fase de tratamiento respectivamente (Figura 1). Esta colecta de agua se realizó mediante un muestreo manual con contenedores plásticos estériles de 1 L de capacidad [13]. Las muestras fueron transportadas en hielo hasta el laboratorio.

2.3. Bioensayos fitotoxicológicos

Con las muestras de agua se llevó a cabo un bioensayo pre-emergencia de fitotoxicidad con semillas de *L. sativa* y *C. sativus* por triplicado. Las semillas fueron obtenidas de la empresa Distribuidora Rancho los Molinos S.A. de C.V. considerando que presentaran un porcentaje de germinación superior al 80%, que las semillas sean de fácil obtención, una uniformidad genética, ser sensibles a compuestos tóxicos (previamente usados en este tipo de ensayos, y ser recomendados en la literatura) características recomendadas por la OECD para ensayos de toxicidad en plantas [11]. Las especies seleccionadas se encuentran entre las más utilizadas para estos fines [11]. Los datos técnicos de las semillas utilizadas se muestran en la Tabla 1.

Se utilizó agua destilada como control negativo y una solución de 21.31 mg L⁻¹ de K₂Cr₂O₇ (CE_{50-96h}) para lechuga y una de 40.74 mg L⁻¹ (CE_{50-96h}) para pepino como controles positivos. En cada repetición de los distintos tratamientos se añadieron 5 mL de la muestra correspondiente. El ensayo tuvo una duración 96 h en condiciones de oscuridad a una temperatura de 27°C. El efecto tóxico del agua residual fue determinada como porcentaje de fitotoxicidad (%F) calculado con la Ecuación 1 [2, 14] donde A es la longitud de la radícula del control negativo, B es la longitud de la radícula en el tratamiento.

$$\%F = \left(\frac{A - B}{A} \right) * 100 \quad (1)$$

Para analizar las diferencias de medias entre tratamientos llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) con los resultados obtenidos y posteriormente se realizaron las pruebas de comparación de medias Tukey siguiendo un diseño experimental completamente al azar. Este análisis se llevó a cabo utilizando el programa SPSS 17.0



Figura 1. Mapa de los sitios de colecta de agua residual y agua tratada utilizada en riego agrícola en la FAUANL.

Tabla 1. Datos técnicos de las semillas utilizadas en el bioensayo.

Nombre común	Especie	Familia	% de Germinación	Tratamiento
Lechuga orejona	<i>L. sativa</i>	Astereaceae	>88	Sin tratamiento
Pepino	<i>C. sativa</i>	Cucurbitaceae	>96%	Thiram

3. Resultados y discusión

La prueba de Tukey usadas en el ensayo con *L. sativa* muestran que el control positivo presentó una toxicidad significativamente mayor que los ejemplares expuestos a las muestras de aguas residuales (Tabla 3) tal como se muestra en la Figura 2. El control negativo presentó un crecimiento radicular similar a las semillas expuestas al agua residual de los sitios S2 y S4. Por otra parte, las plántulas que germinaron con el agua de los sitios S3 y S4 presentaron una estimulación del crecimiento radicular en comparación con los demás tratamientos (Tabla 2), ya que el porcentaje de fitotoxicidad fue negativo (Figura 2).

En el bioensayo con *C. sativus* los ejemplares tratados con las muestras S1, S2, S3 y S4 presentaron una fitotoxicidad significativamente mayor que el control negativo (Tabla 3; Figura 3). El control positivo y el tratamiento S4 no presentaron diferencias significativas entre sí. El control positivo presentó un porcentaje fitotoxicidad significativamente mayor que los demás tratamientos. Las medias de la longitud de la radícula en cada tratamiento para esta especie se muestran en la Tabla 2.

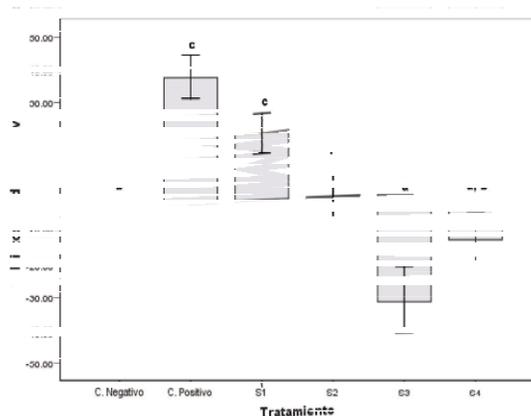


Figura 2. Porcentaje de fitotoxicidad del ensayo con *L. sativa*. Los grupos sin diferencia significativa (Tukey, $p < 0.05$) son rotulados con la misma letra.

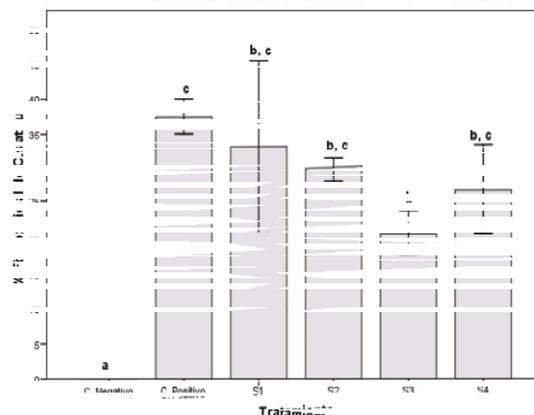


Figura 3. Porcentaje de fitotoxicidad del ensayo con *C. sativus*. Los grupos sin diferencia significativa (Tukey, $p < 0.05$) son rotulados con la misma letra.

La toxicidad del agua residual puede deberse a xenobióticos tales como contaminantes emergentes, metales pesados y plaguicidas que se han reportado en aguas residuales urbanas. Estos xenobióticos son de difícil remoción en los procesos convencionales de tratamiento de aguas [1, 2, 15].

Las diferentes respuestas de las especies utilizadas pudiera deberse a que resistencia genética presente en las familias Cucurbitaceae y Asteraceae son distintas [14]. Es importante considerar que las plantas pueden tolerar contaminantes inorgánicos en solución acuosa durante la etapa de la germinación debido a que la energía necesaria para la elongación de la radícula proviene de los cotiledones [15]. El hecho de que la lechuga presentara mayor variabilidad en el bioensayo puede deberse a que es de las especies vegetales más sensibles a la contaminación [14-16]. Resultados similares a lo observado con las semillas de lechuga que muestran una estimulación del crecimiento radicular en una matriz con compuestos teóricamente tóxicos para las plantas fueron reportados para gramíneas y ciperáceas [17]. Esta observación fue reportada como una caja negra debido al desconocimiento de la toxicodinámica de la matriz de prueba. Es importante mencionar que la elongación de la radícula es más sensible a la presencia de compuestos orgánicos que compuestos inorgánicos [18].

Por otro lado, es posible que dentro de la matriz compleja de estudio se encuentren presentes compuestos

orgánicos que estimulen el crecimiento de la radícula, ya que éstos por su coeficiente de partición octanol agua (K_{ow}) pueden ser más fácilmente absorbidos por las células de la radícula. Esto es importante ya que el K_{ow} es un factor determinante en la respuesta toxicológica de un organismo [18].

El pepino presentó una menor variabilidad en su respuesta, y se observó una toxicidad similar al control positivo y las muestras de agua residual (Figura 3). Este comportamiento indica que en las muestras de agua, consideradas como una matriz acuosa compleja [1] presentan un compuesto o elemento, tales como xenobióticos y metales pesados, que ocasiona una inhibición en el crecimiento radicular [1,2,14, 19-20]

Tabla 2. Medias de las longitudes de la radícula de las plántulas germinadas durante el bioensayo

Tratamientos	Media de la longitud de la radícula (mm)	
	<i>L. sativa</i>	<i>C. sativus</i>
Control negativo	22.464±2.818	53.170±43511
Control positivo	14.123±1.488	37.300±0.583
S1	21.044±2.972	48.709±9.776
S2	22.513±4.373	48.554±2.233
S3	29.380±2.930	47.499±2.573
S4	26.378±3.018	46.120±2.476

Tabla 3. Análisis de varianza de los bioensayos fitotoxicológicos con agua residual

Fuentes de Variación		SC	GL	CM	F	Sig.
<i>L. sativa</i>	Tratamientos	8807.955	5	1761.591		
	Error	574.256	12	47.855	36.811	0.000
	Total	9382.211	17			
<i>C. sativus</i>	Tratamientos	2694.192	5	538.838		
	Error	414.571	12	34.548	15.597	0.000
	Total	3108.763	17			

SC = Suma de cuadrados, GL = Grados de Libertad, CM = Cuadrados medios

4. Conclusiones

Bajo las condiciones experimentales, *C. sativus* fue un mejor bioindicador de toxicidad, ya que presentó menos variación en su respuesta fisiológica al agua residual.

Los resultados obtenidos sugieren que el tratamiento del agua residual en las lagunas de oxidación no es suficiente para disminuir la toxicidad del influente. Esto pudiera deberse a los contaminantes presentes en el agua residual y que debido a su naturaleza recalcitrante no pudieron ser removidos por el sistema de tratamiento. Ello puede representar un riesgo para la salud ambiental y humana.

Se recomienda realizar evaluaciones ecotoxicológicas más extensas en el área de estudio, a fin de determinar el riesgo ecológico que representa el agua residual utilizada en riego agrícola en el CEM de la FAUNAL.

5. Referencias

- Rizzo, L. Wat. Res. **2011**, 45, 4311-4340
- Dzantor, E.K. J. Chem. Technol. Biotechnol. **2007**, 232, 228-232
- Schröder, P.; Navarro-Aviño, J.; Azaizeh, H.; Goldrish, A.H.; DiGregorio, S.; Komives, T.; Langergraber, G.; Lenz, A.; Maestri, E.; Memon, A.R.; Ranalli, A.;

- Sebastiani, L.; Smrcek, S.; Vanek, T.; Vuilcumier, S.; Wising, F. Env. Sci. Pollut. Res. **2007**, 14, 490-497
- Belgiorno, V.; Rizzo, L.; Fatta, D.; Della-Rocca, C.; Lofrano, G.; Nikolaou, A.; Naddeo, V.; Meric, S. Desalination. **2007**, 215, 166-177
- Iurciuc, C.E.; Dima, M.; E.E.M.J. **2013**, 12, 801-806
- Marofi, S.; Parsafar, N.; Rahim, G.H.; Dashti, F.; Marofi, H.. Int. J. Environ. Sci. Technol. **2013**, 10, 133-140
- Xenarios, S., Bithas, K. J. Env. Pol. Gov. **2012**, 22, 14-26
- Veliz-Lorenzo, E.; Llanes-Ocaña, J.G.; Asela-Fernández, L.; Bataller-Venta, M. Rev. CENIC Ciencias Biológicas. **2009**, 40, 35-44
- Mejía-Saavedra, J.; Espinosa-Reyes, G.; Ilizaliturri-Hernández, C.; Chipres de la Fuente, J. Uso de bioensayos en la evaluación de la calidad del agua del pantano de Santa Alejandrina, Minatitlán, Veracruz. México. En *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*; Botello, A.V., Rendón von Osten, J., Benitez, J.A., Gold Boucht, G. Eds.; UAC, UNAM-ICMYL, CINVESTAV-Unidad Mérida; México, **2014**, Tomo 1, 1174 p.
- Boluda, R.; Roca-Pérez, L.; Marimón, L. Chemosphere. **2011**, 84, 1-8
- Organisation for Economic Co-operation and Development Guidelines for the Testing of Chemicals:

- Terrestrial plant test: Seedling Emergence and Seedling Growth Test, **2006**, 21 p
12. Marín, Nuevo León, Presidencia municipal. <http://www.marin.gob.mx/> (accesado el 20 de marzo del 2015)
13. American Public Health Association. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21a Edición. Washington, DC. USA.
14. Sahu, R.; Katiyar, S.; Yadav, A.K.; Kumar, N.; Srivastava, J., *Clean*, **2008**, 36, 517-520
15. Clark, J.; Ortego L.S.; Fairbrother, A.. *Chemosphere*, **2004**, 57, 1599-1612
16. Aportella-Gilling, P.; González-Pérez, Y. *Ann. De Toxicol.* **2001**, 1, 98-103
17. Bonamomi, G.; Sicurezza, M.G.; Caporaso, S.; Esposito, A.; Mazzoleni, S. *New. Phytol.* **2006**. 169, 571-578
18. Wang, X.; Sun, C.; Gao, S.; Wang, L.; Shuokui, H. *Chemosphere.* **2001**. 44, 1711-1721
19. Silva, J.; Fuentealba, C.; Bay-Schmith, E.; Larrain, A., *Guayana*, **2007**, 71, 135-141
20. Panda, S.K.; Upadhyay, R.K.; Nath S., *J Agron Crop Sci*, **2010**, 196, 161-174