

# Monitoreo de una planta tratadora de aguas residuales mediante pruebas de toxicidad aguda con el cladócero *Daphnia magna* y el rotífero de agua dulce *Lecane quadridentata*

## Monitoring of a water treatment plant using acute toxicity tests with the cladoceran *Daphnia magna* and the freshwater rotifer *Lecane quadridentata*

Gerardo Guerrero-Jiménez<sup>1</sup>, Roberto Rico-Martínez<sup>1</sup> y Marcelo Silva-Briano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ciencias Básicas, Departamento de Química, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Avenida Universidad 940, Aguascalientes, Ags., 20100. México

<sup>2</sup>Centro de Ciencias Básicas, Departamento de Biología, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags. México

e-mail: rrico@correo.uaa.mx

**Recibido:** 19 de enero de 2016.

**Aceptado:** 18 de enero de 2017.

Guerrero-Jiménez G., R. Rico-Martínez y M. Silva-Briano. 2017. Monitoreo de una planta tratadora de aguas residuales mediante pruebas de toxicidad aguda con el cladócero *Daphnia magna* y el rotífero de agua dulce *Lecane quadridentata*. *Hidrobiológica* 27 (1): 87-92.

### RESUMEN

**Antecedentes.** Los parámetros fisicoquímicos y pruebas de toxicidad aguda sirven para valorar las condiciones del agua de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de acuerdo con la normativa de la NOM-003-SEMARNAT-1997. **Objetivos.** Conocer la calidad del agua del influente y efluente de la planta tratadora de aguas residuales de la Universidad Autónoma de Aguascalientes durante el ciclo anual 2007-2008, fue el objetivo principal de esta investigación. **Métodos.** Se midieron los parámetros físico-químicos, también se realizaron pruebas de toxicidad aguda con el cladócero *Daphnia magna* y el rotífero *Lecane quadridentata*, quincenalmente. **Resultados.** Los valores de concentración letal media en el influente fueron de 25.71 y 3.88 unidades de toxicidad para *L. quadridentata*, mientras que para *D. magna* fueron de 31.51 y 3.17 unidades de toxicidad. El efluente mostró valores de concentración letal media de 60.71 y 1.64 unidades de toxicidad con *L. quadridentata* y para *D. magna* no se presentó toxicidad. **Conclusiones.** La planta tratadora de aguas residuales de la Universidad Autónoma de Aguascalientes durante el periodo 2007-2008 cumplió con los parámetros mexicanos de calidad de salud del agua después de su tratamiento.

**Palabras clave:** Cladóceros, efluente, influente, pruebas de toxicidad aguda, rotíferos.

### ABSTRACT

**Background.** Monitoring of physicochemical parameters and acute toxicity tests allow us to measure water quality of the influent and effluent of wastewater treatment plants in accordance with the parameters established by the NOM-003-SEMARNAT-1997. **Goals.** We measured water quality of the influent and effluent of the wastewater treatment plant of the Autonomous University of Aguascalientes during 2007-2008. **Methods.** Every 15 days physicochemical parameters were taken and acute toxicity tests were conducted with the cladoceran *Daphnia magna* and the rotifer *Lecane quadridentata*. **Results.** The influent showed median lethal concentration to be between 25.71 and 3.88 toxic units with *L. quadridentata*, while with *D. magna* the median lethal concentration was between 31.51 and 3.17 toxic units. The effluent showed median lethal concentration to be between 60.71 and 1.64 toxic units with *L. quadridentata*, whereas the *D. magna* showed no toxicity. **Conclusions.** We concluded that the wastewater treatment plant of the Autonomous University of Aguascalientes in 2007-2008 fulfilled Mexico's water quality criteria after treatment.

**Key words:** Acute toxicity test, cladoceran, effluent, influent, rotifer.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural que se está agotando rápidamente. Por esta razón es preciso implementar estrategias para su reúso y su mejor aprovechamiento. Las plantas tratadoras de agua reciclada son una alternativa que existe en México, ya que es posible volver a usar el agua contaminada proveniente de los drenajes para ciertas actividades. Sin embargo, esto último sólo depende de la reglamentación de cada ciudad.

En el estado de Aguascalientes los efluentes de las plantas tratadoras vierten sus aguas principalmente al río San Pedro, o bien, son colectadas en pequeñas presas para su reúso en el riego de áreas verdes de la ciudad, razón que hace necesario cumplir con parámetros que establezcan los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público de acuerdo con la NOM-003-SEMARNAT-1997 (1997).

La Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA) cuenta con una planta tratadora que recibe las descargas de la colonia Fátima y Bosques del Prado, además de colectar descargas de la propia universidad (información personal del ingeniero Benjamín Vargas Salado, encargado del funcionamiento de la planta de tratamiento). El agua, después de ser tratada, algunas veces es utilizada para el riego de las áreas verdes de la UAA, aunque generalmente sólo es acumulada en un pequeño bordo y en temporadas de lluvia, cuando los niveles del agua suben, el agua tratada llega hasta el cauce principal del río San Pedro. De acuerdo con la reglamentación de la NOM-003-SEMARNAT-1997 (1997), se midieron los parámetros fisicoquímicos del agua para determinar las condiciones. Según Welch *et al.* (1998), con este análisis se puede saber la magnitud del daño directo a un ecosistema acuático; por lo tanto, resulta fundamental el estudio paramétrico, al que hay que sumarle las pruebas de toxicidad que se realizaron.

Las pruebas de toxicidad permiten evaluar el grado de afectación que una sustancia química tiene en organismos vivos (Jaramillo *et al.*, 2009). En el estado de Aguascalientes, México, se han empleado diversos bioindicadores para hacer una evaluación preliminar del contenido tóxico de diversas descargas de los parques industriales del estado con pruebas de inhibición de la ingestión con neonatos de *D. magna* Straus (Rico-Martínez *et al.*, 2000); pruebas de toxicidad aguda con *D. magna*, *D. pulex* Leydig, 1860 y *Simocephalus vetulus* (Müller, 1776) (Rico-Martínez, 2000). Asimismo, se han monitoreado los niveles de toxicidad que afectan al río San Pedro en el municipio de Aguascalientes con *D. magna* y *Lecane quadridentata* (Ehrenberg, 1832). Además, se han analizado cambios en la actividad enzimática de las esterasas y fosfolipasa A2 en el rotífero dulceacuícola *L. quadridentata* (Santos-Medrano *et al.*, 2007). Aun cuando todos estos estudios específicos sobre toxicidad en microorganismos no son estrictamente necesarios para la reglamentación legal de la calidad de agua en México, sí existe la norma NMX-AA-087-SCFI-2010, que establece el método de prueba de toxicidad aguda con *Daphnia magna* (Crustacea-Cladocera).

Con el fin de tener un mejor panorama sobre el funcionamiento y calidad del agua que produce la planta de tratamiento de aguas residuales de la UAA, en esta investigación se analizó y evaluó el influente y efluente, mediante pruebas de toxicidad aguda *in situ* y *ex situ*, así como la medición de los parámetros fisicoquímicos durante el ciclo anual 2007-2008.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en el efluente e influente de la planta tratadora de la Universidad Autónoma de Aguascalientes y el laboratorio de Toxicología del Departamento de Química de la UAA, ubicado en el edificio 60, en Aguascalientes, México. Las pruebas toxicológicas se realizaron, tanto en el laboratorio (*ex situ*) como en el cuerpo de agua (*in situ*), para comparar las diferencias que existen entre los resultados en ambas pruebas.

**Mantenimiento del cultivo de *Lecane quadridentata* y *Daphnia magna*.** Los cultivos se mantuvieron en una cámara bioclimática Refrimaq, modelo PVR, 400, con un fotoperiodo de 16:8 Luz: Oscuridad (L:O), en un medio de agua semidura (medio EPA) (U.S. Environmental Protection Agency, 1985), con un pH de 7.5, a 25 °C para *L. quadridentata*, y a 20 °C para *D. magna*. Estos invertebrados dulceacuícolas fueron alimentados con las algas *Nannochloris oculata* (Droop) Hibberd y *Pseudokirmeriella subcapita* (Korshikov) F. Hindák, respectivamente, con una concentración de  $1 \times 10^6$  células/mL.

**Montaje del experimento para pruebas *in situ*** Para la elaboración de los frascos del muestreo *in situ*, se utilizó la técnica propuesta por Chappie y Burton (1997), que consiste en cortar de la parte central de un frasco de plástico de aproximadamente 200 mL, un cuadrado de 2 cm, y cubrir el hueco con malla de 50  $\mu$ m para evitar la salida de los organismos.

Se colocaron seis frascos, tres de ellos en el influente y los tres restantes en el efluente de la planta tratadora de la UAA. Durante el transcurso del experimento se colocaron en los mismos puntos seleccionados. Para las pruebas se colocaron diez organismos neonatos del cladóceros *Daphnia magna* por frasco. Posteriormente, se expusieron durante 48 horas en contacto con el agua para proceder al conteo de los organismos vivos y determinar la mortalidad. Esta metodología se realizó quincenalmente durante todo un ciclo anual empezando en febrero del 2007 y terminando en enero del 2008. En caso de obtener valores de concentración letal media ( $CL_{50}$ ) se procedía a realizar las diluciones de 50%, 25%, 12.5%, 6.25%, de acuerdo a la NMX-AA-087-SCFI-2010 (2010).

**Pruebas *ex situ* para *Lecane quadridentata*.** Se empleó el protocolo de Pérez-Legaspi y Rico-Martínez (2001) con breves modificaciones que se mencionan a continuación. En una placa de 24 pozas de poliestireno se separaron huevos partenogénicos 24 h antes del experimento. Al día siguiente, se tomaron los neonatos de menos de 24 h y se realizaron tres réplicas de diez organismos por poza, exponiéndolos a 1 mL de muestra. Se incubaron durante 48 h a 25 °C con un fotoperiodo de 16:8, L:O en ausencia de alimento. Después se contó el número de organismos muertos o inmóviles con la ayuda de un microscopio estereoscópico y se determinó el porcentaje de mortandad. En caso de presentar  $CL_{50}$ , se realizaron las diluciones de 50%, 25%, 12.5%, y 6.25%.

**Análisis de los resultados.** El análisis de los resultados se realizó con base en una regresión lineal (Statsoft, Inc., 2001) para establecer el valor de  $CL_{50}$  en porcentaje. Posteriormente, mediante la fórmula  $100/CL_{50}$ , se obtuvo el valor de unidades de toxicidad (U.T.) aguda para establecer las muestras que presentaron mayor nivel de toxicidad aguda.

Para la colección de parámetros fisicoquímicos, como pH, potencial de óxido-reducción (POR), temperatura, oxígeno disuelto (OD), conductividad y total de sólidos disueltos (TSD), para las pruebas *in situ* y *ex situ* se empleó la sonda Yellow Spring Instruments Modelo 556 MPS.

### RESULTADOS

Los promedios de los parámetros fisicoquímicos para el efluente se encuentran dentro de las normas que establece la NOM-003-SEMARNAT-1997 (1997), mientras que para el influente en el caso de oxígeno disuelto y del potencial óxido reducción rebasa los niveles marcados por la norma.

Los valores de la Tabla 1 evidencian el funcionamiento de la planta tratadora por medio de los valores en los parámetros fisicoquímicos de llegada y de salida. Los niveles de temperatura, conductividad y TSD bajan, y por el contrario los niveles de OD aumentan. El pH se basicifica y el POR aumenta, indicando una mejoría en la calidad del agua después del tratamiento.

Los análisis de CL<sub>50</sub>, así como los de U.T. aguda en *D. magna* y *L. quadridentata* demostraron una disminución de la toxicidad del agua después del tratamiento de la misma (Tablas 2-3).

La Tabla 2 muestra los valores de CL<sub>50</sub> y las U.T. aguda que se obtuvieron quincenalmente durante todo el ciclo anual, desde febrero del 2007 hasta enero del 2008, así como el promedio anual. También se resalta que los meses de octubre, noviembre y diciembre fueron los que presentaron los valores más bajos en U.T. aguda.

La Tabla 2 muestra los valores de CL<sub>50</sub> y las U.T. aguda que se obtuvieron quincenalmente durante todo el ciclo anual (febrero del 2007-enero del 2008), así como el promedio anual. Se observaron niveles bajos de toxicidad aguda en los meses de noviembre, diciembre y enero.

La Figura 1 muestra una correlación negativa sobre los valores de toxicidad del agua respecto al volumen de agua tratado que se procesó al mes. Se observó una correlación negativa entre los valores de toxicidad

aguda contra el volumen de agua obtenido por mes, es decir, a mayor volumen de agua tratada, mayores fueron los valores de toxicidad.

La Tabla 3 muestra los valores de CL<sub>50</sub> y las U.T. aguda que se obtuvieron quincenalmente durante todo el ciclo anual, a partir de febrero del 2007 hasta enero del 2008, así como el promedio anual. El efluente mostró que la toxicidad aumenta cuando los niveles de temperatura hacen que se evapore el agua y disminuya el volumen de la misma concentrando más los tóxicos que pudieran estar en la columna de agua.

### DISCUSIÓN

La planta de tratamiento de aguas residuales de la UAA cumple con los valores permisibles establecidos por la NOM-003-SEMARNAT-1997 (1997) para los parámetros fisicoquímicos medidos.

En este trabajo los valores de temperatura fluctuaron entre 15 y 28 °C dependiendo de la época del año. La temperatura es una variable que determina la rapidez con la que se puede degradar la materia orgánica en un cuerpo de agua. De acuerdo con Romero (2004), la tasa de crecimiento microbial se duplica a 10 °C y continua así hasta una temperatura máxima de 35 a 38 °C, por otro lado la Comisión Nacional del Agua (1996) añade que a temperaturas mayores de 20 °C la eficiencia bacterial para la remoción de materia orgánica alcanza su valor máximo con 60% de remoción, además, Esparza (1995) establece que los rangos para la temperatura del efluente de una planta tratadora con funcionamiento de reutilización en el riego y contacto físico deben estar dentro de 15.5 °C y 35 °C, por lo que se puede concluir que la temperatura del agua de la planta tratadora se encuentra en rangos óptimos para la salud del cuerpo de agua en el efluente.

Tabla 1. Promedio de los parámetros físicos y químicos del efluente e influente planta tratadora de agua de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, medidos con la sonda Yellow Spring Instruments Modelo 556 MPS.

Lugar de muestreo	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	TSD (g/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	pH	POR
Influente	24.3	1231.714	0.799	3.64	7.89	-159.01
Efluente	22.6	971.857	0.639	8.02	7.84	41.762

TSD = Sólidos Totales Disueltos. POR= Potencial Óxido Reducción.

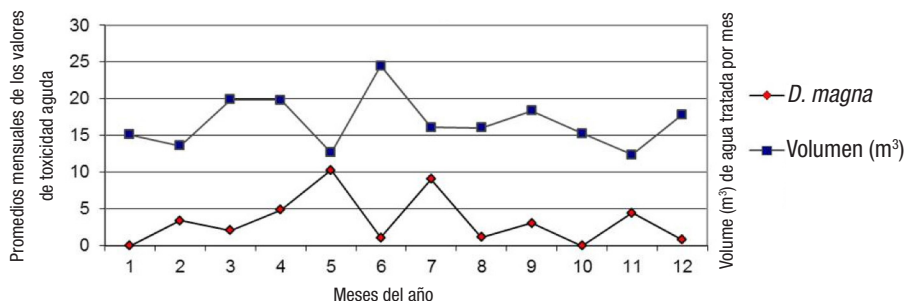


Figura 1. Correlación inversa entre Unidades de Toxicidad (U.T.) aguda (promedio mensual) y volumen total de agua tratada por mes de la planta tratadora de agua de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, usando el cladócero *D. magna* en el influente.

Tabla 2. Valores quincenales de Concentración Media Letal (CL50) en porcentaje y en Unidades de Toxicidad (U.T.) aguda del influente de la planta tratadora de agua de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, así como el promedio anual para el cladóceros *D. magna* y el rotífero *L. quadridentata*.

Fecha de muestreo	<i>Daphnia magna</i>		<i>Lecane quadridentata</i>	
	CL50 (%)	U.T. aguda (100/CL50)	CL50	U.T. aguda (100/CL50)
1. 26/02/07	24.7	4.048	14.36	6.963
2. 07/03/07	35.35	2.828	47.78	2.092
3. 13/03/07	0	0	24.41	4.096
4. 27/03/07	23.86	4.191	16.7	5.988
5. 18/04/07	56.74	1.762	25.98	3.849
6. 23/05/07	12.41	8.058	25.1	3.984
7. 30/05/07	5.94	16.83	21	4.761
8. 04/07/07	26.54	3.767	26.93	3.713
9. 24/07/07	45.49	2.198	29.85	3.350
10. 08/08/07	0	0	41.69	2.398
11. 24/08/07	10.76	9.293	17.1	5.847
12. 04/09/07	11.25	8.888	26.27	3.806
13. 24/09/07	43.68	2.289	21.07	4.746
14. 03/10/07	0	0	18.824	5.312
15. 23/10/07	76.35	1.309	44.075	2.268
16. 05/11/07	20.72	4.825	0	0
17. 20/11/07	0	0	0	0
18. 05/12/07	0	0	0	0
19. 18/12/07	16.77	5.963	12.566	7.957
20. 09/01/08	33.622	2.974	0	0
21. 25/01/08	60.098	1.663	23.533	4.249
Promedio	31.51	3.17	25.71	3.88

NOTA: En sombreado se señala el periodo donde se presentó la menor toxicidad durante el ciclo anual 2007-2008.

Los valores de conductividad se mantienen estables hasta el periodo de septiembre - noviembre donde alcanza valores de 1400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para el influente y 1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para el efluente, a pesar de ello los límites máximos permisibles son de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; este rango ya tiene significancia y suele causar problemas para la vida acuática (Esparza, 1995).

En el caso del TSD, el valor más alto fue de 0.945 g/L para el influente, el cual no supera 1 g/L, que es el límite permisible por la NOM-003-SEMARNAT-1997. Sin embargo, para el efluente los valores promedio se encontraron en 0.639 g/L, cuando deberían ser menores a 0.500 g/L para cuerpos de agua naturales de acuerdo con WHO (2003) y para Esparza (1995), menores a 0.300 g/L después de ser tratada el agua. A pesar de tener un valor promedio fuera de norma, los valores de OD por encima de 7 mg/L, sugieren que los valores altos en estiaje no son consecuencia de un mal proceso en las aguas residuales, sino que después de ser tratada el agua, el bordo aporta materia orgánica que incrementa los valores de TDS, ya que a valores altos de OD los TDS necesariamente tienen que disminuir.

El oxígeno disuelto es un parámetro que se ve afectado por la elevación, temperatura, profundidad y sólidos disueltos (Esparza, 1995;

Anónimo, 2008), también es una variable que determina en gran medida la supervivencia de la microfauna acuática. A pesar de las variaciones durante el ciclo anual, la Tabla 1 demuestra la eficiencia de remoción de sólidos disueltos, decremento de la temperatura y conductividad, así como aumento en el potencial óxido reducción; estos parámetros afectarán directamente en el incremento del oxígeno disuelto en la parte del efluente, en donde de tener valores de 3.64 mg/L se estabiliza en el efluente con valores de 8.026 mg/L, estos resultados se encuentra por encima de 4.0 mg/L que es el valor de cuerpos de agua con problemas de eutrofización (Goyenola, 2007).

El pH es un parámetro que afecta directamente en la salud de los microorganismos acuáticos pudiendo causar su muerte, aunque los rangos que se obtuvieron para el efluente como influente se encuentran entre siete y ocho, dentro del rango de tolerancia que es entre 6.6 a 8.5 de acuerdo con Jiménez y Ramos (1997).

Para el potencial óxido reducción, sólo se destacan los valores negativos que se muestran en la Tabla 1, estos indican que tiene una propiedad reductora, es decir, que existe poco oxígeno disuelto y que posterior al procesamiento del agua aumenta el oxígeno disuelto significativamente.

Tabla 3. Valores quincenales de Concentración Media Letal (CL50) en porcentaje y en Unidades de Toxicidad (U. T.) aguda del efluente de la planta tratadora de agua de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, así como el promedio anual para el rotífero *L. quadridentata*.

Fecha de muestreo	CL50	U.T. aguda (100/CL50)
1. 26/02/07	0	0
2. 07/03/07	76.11	1.313
3. 13/03/07	28.69	3.485
4. 27/03/07	59.41	1.683
5. 18/04/07	99.37	1.006
6. 23/05/07	19.26	5.192
7. 30/05/07	0	0
8. 04/07/07	0	0
9. 24/07/07	81.47	1.227
10. 08/08/07	0	0
11. 24/08/07	0	0
12. 04/09/07	0	0
13. 24/09/07	0	0
14. 03/10/07	0	0
15. 23/10/07	0	0
16. 05/11/07	0	0
17. 20/11/07	0	0
18. 05/12/07	0	0
19. 18/12/07	0	0
20. 09/01/08	0	0
21. 25/01/08	0	0
Promedio	60.71	1.64

NOTA: En el sombreado se señala el periodo donde se presentó la mayor toxicidad durante el ciclo anual 2007-2008.

El análisis para determinar los niveles normales en los parámetros también ayudó para corroborar que la mortalidad de los organismos se debió a los compuestos tóxicos que se encontraban en el agua, y no por valores extremos en el pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y total de sólidos disueltos. Aunque es necesario señalar que los rotíferos y algunas especies de cladóceros pueden vivir en condiciones donde haya poco oxígeno disuelto (Nogrady *et al.*, 1993; Pennak, 1989), por otro lado el cladóceros *D. magna* puede soportar rangos de 4 a 10 en pH según Thorp y Covich (2010) y el rotífero *L. quadridentata* de 6.5 a 8.5 de pH (Nogrady *et al.*, 1993), por tanto los resultados obtenidos por las pruebas de toxicidad sugieren que la muerte de los organismos en los bioensayos de toxicidad de CL<sub>50</sub> son causa de los componentes tóxicos del agua.

Los experimentos de toxicidad aguda con *D. magna* y *L. quadridentata* se realizaron *in situ* y *ex situ* con el fin observar las afectaciones en una simulación lo más allegada a un hábitat natural, sin embargo, para el rotífero *L. quadridentata* sólo se pudo realizar la prueba de forma *ex situ* ya que el tamaño del organismo complicaba el conteo de los organismos muertos para las pruebas de CL<sub>50</sub> y U.T.

Los resultados de los valores del influente durante el ciclo anual mostraron que los valores de toxicidad más bajos fueron en los meses de noviembre a enero para *L. quadridentata*, mientras que para *D. magna* los valores más bajos se registraron de octubre a diciembre (Tablas 1-2). Estos resultados se explican por la sedimentación de los compuestos tóxicos por un decremento en la temperatura. Aunque los valores ligeramente menores en el CL<sub>50</sub> y mayores en las U.T para estos meses en *D. magna* son explicados por medio del contexto metodológico, ya que en *L. quadridentata* se realizaron las pruebas *ex situ* y en *D. magna* fueron pruebas *in situ*. Por lo cual, en las pruebas *ex situ* se tomaba el agua del influente y se exponían a los organismos durante 48 horas, rango de tiempo en el cual los compuestos se pueden sedimentar, mientras que en *D. magna* fueron expuestos al cauce del influente, por lo que el flujo de agua los ponía en constante exposición con los tóxicos. Además, si se observa la Figura 1, es claro que el volumen del agua tratada por la planta tratadora influye directamente con los valores de toxicidad, un ejemplo claro es la comparación entre el volumen de agua tratado contra los valores de toxicidad obtenidos para el mes de noviembre (Fig. 1).

Por otro lado, el efluente no presentó valores de CL<sub>50</sub> ni U.T. con respecto al cladóceros *D. magna*, de hecho los organismos expuestos al cauce del efluente mostraban mayor talla y su tasa de reproducción era mayor comparada con los cultivos controlados en el laboratorio, por lo tanto el efluente cumplió con lo establecido por la NMX-AA-087-SCFI-2010(2010), asimismo, con estos resultados obtenidos se abre el panorama para la posible implementación de técnicas de producción en masa de cladóceros como comida para peces mediante la utilización de aguas residuales. Cabe destacar, que sería pertinente establecer experimentos subletales para medir repercusiones crónicas. Paralelamente, en el periodo de marzo a mayo, en las pruebas *ex situ* con *L. quadridentata*, si se presentaron valores de CL<sub>50</sub> y U.T. (Ver Tabla 3). A pesar de ello el rotífero *L. quadridentata* no es un organismo tomado en cuenta por la NMX-AA-087-SCFI-2010 (2010) como referencia metodológica, aunque de acuerdo con Pérez-Legaspi y Rico-Martínez (2001) es un organismo con mayor sensibilidad para la medición de compuestos tóxicos comparado con el cladóceros *D. magna*, por lo que en un futuro podrían hacerse adecuaciones sobre el tipo de organismos usados en ensayos de toxicidad con el fin tener veredictos más confiables y rigurosos. Después de comparar los valores de los parámetros fisicoquímicos entre el influente y efluente, se observó que los valores que estaban fuera de los rangos permisibles por la NOM-003-SEMARNAT-1997, se restablecen dentro del rango permisible para la norma.

El aumento en los valores de CL<sub>50</sub> y la disminución en las U.T. para *L. quadridentata*, además de un CL<sub>50</sub> nulo para *D. magna* en el efluente de la planta tratadora de la UAA, lleva a la conclusión de que el proceso de remoción de partículas tóxicas que se aplicó para el agua residual durante el periodo 2007-2008 fue el adecuado.

## AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece de manera especial la ayuda del biólogo Zurriel Espínola y también a la M. en C. Susana Saucedo por su ayuda técnica.

## REFERENCIAS

- ANÓNIMO. 2008. TDS y conductividad eléctrica. Compañía Lenntech. Disponible en: [http://www.lenntech.com/espanol/TDSyconductividad\\_el%C3%A9ctrica.htm](http://www.lenntech.com/espanol/TDSyconductividad_el%C3%A9ctrica.htm). (consultado el 28 de noviembre 2014).
- CHAPPIE D. & A. BURTON. 1997. Optimization of *in situ* bioassays with *hyalellaazteca* and *Chironomustentans*. *Environmental Toxicology* 16: 559-564. DOI:10.1002/etc.5620160323
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. 1996. *Diseño de lagunas de estabilización*. Comisión Nacional del Agua. Manual. México. 290 p.
- EPA (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 1985. Methods for measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine organisms. In: H. Peltier & Weber, C. I. (Eds.). *EPA-600/485-013*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- ESPARZA, M. L. 1995. *Parámetros Físicos, Carga Orgánica y Nutrientes*. Programa de Control de Calidad de Desarrollo de Laboratorios. Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias del Medio Ambiente (CEPIS). 79 p.
- GOYENOLA, G. 2007. *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras – Oxígeno Disuelto*. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. RED MAPSA. Versión 1.0. 3 p.
- JARAMILLO, J. F., S. A. RINCÓN & R. RICO-MARTÍNEZ. 2009. *Toxicología Ambiental*. 1a. Edición. Departamento Editorial de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. México. 395 p.
- JIMÉNEZ, C. B. & H. J. G. RAMOS. 1997. *Revisión de los criterios ecológicos de calidad del agua para uso agrícola, elaborado para la Comisión Nacional del Agua*. Instituto de Ingeniería, UNAM. 181 p.
- NMX-AA-087-SCFI-2010. 2010. Análisis de Agua – Evaluación de toxicidad aguda con *Daphnia magna* Straus (Crustacea-Cladocera) – Método de Prueba (cancela a la NMX-AA-087-ECFI-1995).
- NOGRADY, T., R. L. WALLACE & T. W. SNELL. 1993. *Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental Waters of the World. 4 Rotifera*. Holanda. 142 p.
- PENNAK, R. W. 1989. *Freshwater Invertebrates of the United States. Protozoa to Mollusca*. 3a Ed. John Wiley and Sons, Inc. U.S.A. 628 p.
- PÉREZ-LEGASPI, I. A. & R. RICO-MARTÍNEZ. 2001. Acute toxicity tests on three species of the genus *Lecane* (Rotifera: Monogononta). *Hydrobiologia* 446/447: 375-381. DOI:10.1007/978-94-010-0756-6\_48
- RICO-MARTÍNEZ, R. 2000. *Desarrollo de bioensayos toxicológicos y su aplicación en programas de monitoreo de la calidad de pozos y tomas de agua del municipio de Aguascalientes*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México. Cuaderno de Trabajo. 35 p.
- RICO-MARTÍNEZ, R., C. A. VELÁZQUEZ-ROJAS, I.A. PÉREZ-LEGASPI & G.E. SANTOS-MEDRANO. 2000. The use of aquatic invertebrate toxicity tests and invertebrate enzyme biomarkers to assess toxicity in the states of Aguascalientes and Jalisco, México. In: F. M. Butterworth, A. Gunatilake, y M. E. Gosebatt Bonaparte (Eds.) *Biomonitoring and Biomarkers as indicators of Environmental Change, Volume 2*. Plenum-Press, New York, EE.UU. pp. 427-438.
- ROMERO, J. A. 2004. *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería. 3ª Ed. Alfaomega. Bogotá, Colombia, 1232 p.
- SANTOS-MEDRANO, G. E., E. M. RAMÍREZ-LÓPEZ, S. HERNÁNDEZ-FLORES, P. M. AZUARA-MEDINA & R. RICO-MARTÍNEZ. 2007. Determination of Toxicity Levels in the San Pedro River Watershed, Aguascalientes, Mexico. *Journal of Environmental Science and Health part A*. 42: 1403-1410. DOI: 10.1080/10934520701480557
- SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). 1997. *Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997*. Diario Oficial de la Federación (DOF), miércoles 14 de enero de 1998.
- STATSOFT, INC. (2001). STATISTICA (Data Analysis Software System), versión 6. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)
- THORP, J. H. & A. COVICH. 2010. *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. U.S.A. 3rd Ed. Academic Press. 967 p.
- WELCH, E. B., J. M., JACOBY, & C. W. MAY. 1998. Stream quality. In: Naiman, R. J. & R. E. Bilby (Eds.). *River Ecology and Management: Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer-Verlag. New York, U.S.A. pp. 69-94.
- WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). 1996. Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Vol. 2. *Health criteria and other supporting information*. World Health Organization, Geneva, 1996. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/2edvol2p1.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/2edvol2p1.pdf)