

DETERMINACIÓN DE LA TOXICIDAD DE LOS LODOS GENERADOS POR UNA PLANTA POTABILIZADORA, UTILIZANDO BIOENSAYOS

Onia Castañeda Sarabia

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) Av. Delfín Madrigal No. 665, Sto. Domingo Coyoacán, CP. 04360, México, D.F. Tel. 56069520 Ext. 17109, Fax 56061608, correo electrónico oniacast@yahoo.com

RESUMEN

Se evalúa de manera particular la toxicidad de los lodos que genera la planta potabilizadora "Los Berros" del Sistema Cutzamala. Aplicándose en este estudio la prueba de toxicidad aguda con *Daphnia magna* (pulga de agua), prueba de toxicidad crónica con *Panagrellus redivivus* (nemátodo de sedimento) y prueba de toxicidad sobre la elongación de raíz con *Lactuca sativa* (Lechuga romana). Se llevaron a cabo un total de nueve muestreos obteniéndose 45 muestras de agua cruda, agua tratada, lodo homogéneo, lodo espesado sin polímero y lodo espesado con polímero, dichas muestras se obtuvieron durante el periodo de estiaje y lluvias comprendido entre julio de 1998 y abril de 1999. Los resultados parciales obtenidos hasta el momento señalan que los lodos generados por la planta potabilizadora presentan una toxicidad baja, lo cual es indicio de la atención que se le debe poner al manejo y disposición de dichos lodos.

INTRODUCCION

Para llevar a cabo una evaluación completa de la contaminación del agua, los estudios referentes a la toxicidad son necesarios, ya que las pruebas físicas y químicas no resultan suficientes para la valoración de los efectos potenciales sobre la vida acuática y terrestre, es por ello que se pretende evaluar los efectos tóxicos inherentes a la descarga de los lodos originados a partir de una planta potabilizadora en la cual se generan lodos con alta concentración de aluminio. Éste proviene de los procesos de coagulación que se llevan a cabo dentro de dicha planta.

Estas plantas al realizar los procesos de coagulación utilizan principalmente sulfato de aluminio como coagulante, y dicho compuesto es desechado junto con los lodos, los cuales generalmente son vertidos en los suelos, posteriormente alcanzan a los ríos corriente abajo sin ningún proceso posterior para remoción de contaminantes, ya que según las normas actuales se consideran no tóxicos para el medio ambiente.

Dentro de la ingeniería ambiental ha sido necesario implantar técnicas para el análisis de las aguas superficiales con referencia a los contaminantes, y existe actualmente en el ámbito internacional la tendencia de combinar y complementar los análisis fisicoquímicos con pruebas biológicas o bioensayos de toxicidad, por lo que se han desarrollado un amplio número de investigaciones en diversos países, pero en México los ensayos con organismos son poco conocidos y las publicaciones son escasas (Mendoza y Cortés, 1994).

En México, desgraciadamente la evaluación de la toxicidad de los contaminantes en el ambiente, está enfocada únicamente a los parámetros fisicoquímicos, determinándose sólo de manera cualitativa, y en contadas ocasiones de manera cuantitativa, dado que esta información sólo puede ser generada a partir de pruebas de toxicidad específicas, las cuales pueden cubrir y complementar algunos aspectos desventajosos de los análisis fisicoquímicos. Estas pruebas nos permiten obtener respuestas del daño a la biota y a los ecosistemas de manera rápida, aún cuando las miles de sustancias químicas potencialmente tóxicas contenidas en los efluentes puedan o no ser detectadas por los análisis rutinarios, ya que la gran diversidad, extensión y complejidad de los mismos hacen casi imposible su caracterización completa. Asimismo, ayudan a monitorear el ambiente incluso cuando es difícil predecir el efecto conjunto que se produce con la interacción de las sustancias o de los factores como el pH, la dureza, el carbono orgánico disuelto, etc. (Gherardi, 1983).

Por lo anterior, el presente trabajo pretende fomentar el uso y promover la valoración de los bioensayos de toxicidad como una herramienta complementaria a las técnicas tradicionales de evaluación de contaminantes, al evaluar el caso particular de los lodos generados por una planta potabilizadora y como batería de pruebas una serie de tres bioensayos utilizando al organismo acuático *Daphnia magna*, el nemátodo *Panagrellus redivivus* y la semilla de lechuga *Lactuca sativa*.

Planta Potabilizadora Los Berros

En México, existen aproximadamente 256 plantas potabilizadoras (CNA, 1997); sin embargo, solo operan 205 (80%), las cuales en conjunto tratan alrededor de 73.6 m³/s de agua. De éstas, 165 plantas utilizan algún tipo de coagulante para eliminar los sólidos suspendidos que contiene el agua, siendo el sulfato de aluminio el más utilizado. Considerando un valor medio de producción de lodos del 0.7 % del agua tratada, en el país se generan alrededor de 0.52 m³/s o 44,755 m³/día de lodos, que deben ser manejados y dispuestos en algún lugar.

En la planta potabilizadora Los Berros del Sistema Cutzamala se utiliza sulfato de aluminio como coagulante, el cual produce un gran volumen de lodos. Actualmente, la planta cuenta con una laguna de secado, la cual se encuentra totalmente saturada, lo que origina un desbordamiento de lodos hacia otras áreas y por lo tanto la deshidratación de los lodos es ineficiente.

Estos lodos están compuestos de materiales que son removidos del agua cruda, tales como: arcilla, sustancias húmicas, microorganismos y productos de la coagulación química. Contienen entre 93 al 99.5% de agua, así como sólidos inicialmente presentes en el agua o generados durante el tratamiento. La característica común de estos lodos es que constituyen un residuo extremadamente líquido, de valor escaso o nulo, relativamente inerte y predominantemente inorgánico (Wang *et al*; 1992).

Las características del lodo dependen del origen del agua cruda, así como de los sistemas usados como tratamiento del agua y del lodo. Diferentes procesos de tratamiento generan variados tipos y volúmenes de lodo. En una planta en particular, las características pueden variar anual, estacional o diariamente debido a las fluctuaciones tanto de la composición del agua como de la cantidad de reactivos utilizados durante el tratamiento (AWWA, 1990; Cornwell y Koppers, 1990).

La planta potabilizadora Los Berros lleva a cabo un tratamiento convencional para la obtención de agua potable, el cual es descrito en la Figura 1, siendo el flujo de agua distribuido en cinco módulos denominados B, C, D, E y F, cada uno de los cuales está a su vez constituido por dos floculadores, cuatro sedimentadores y ocho filtros. Además, los sedimentadores cuentan con equipos de recolección en continuo de los lodos que se generan en los mismos.

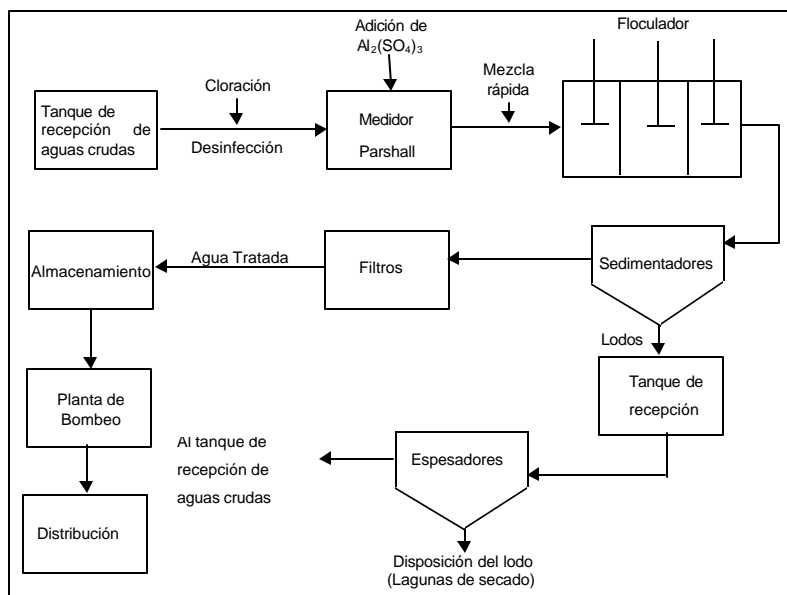


Figura 1. Tren de tratamiento de la planta potabilizadora

Sistema Cutzamala

El Sistema Cutzamala es la mayor obra hidráulica para abastecimiento de agua potable de nuestro país, con la que se atiende el incremento de la demanda, provocada por el crecimiento de la población de la Zona Metropolitana de la Cd. de México (CNA, 1997). Este sistema tiene capacidad para suministrar a la Cd. de México hasta 19 m³/s de agua potable, aprovechando las aguas de la cuenca alta del río Cutzamala, provenientes de las presas Tuxpan y El Bosque, en el Estado de México, que anteriormente formaban parte del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, así como de la presa Chilesdo, que fue necesario construir para aprovechar las aguas del río Malacatepec.

Se integra también por un acueducto de 140 km que incluye 19 km de túneles y 7.5 km de canal; una planta potabilizadora con capacidad de 24 m³/s y seis plantas de bombeo. Estas plantas de bombeo en conjunto vencen un desnivel de 1,366 metros. Asimismo, dispone de importantes obras de seguridad, como un vaso de regulación horaria para el envío de agua a la planta potabilizadora, un tanque de almacenamiento de agua potable y dos líneas de conducción alternas al canal abierto y 24 km de túneles dentro

de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México que corresponden a los Ramales Norte y Sur, de 12.5 y 11.5 km respectivamente, para la distribución del agua a los municipios conurbados del Estado de México y del Distrito Federal (CNA, 1997 y DGCOH, 1988).

Aluminio y ambiente

Una gran cantidad de los lodos originados por descargas de plantas de tratamiento es desechada en ríos y lagos, por ejemplo, en 1984 un mínimo de 605,074 ton (548,820 ton métricas) de lodos, fueron desechados en las aguas superficiales de Estados Unidos (AWWA, 1986). En su mayoría lodos conteniendo sales de aluminio, ya que son uno de los principales coagulantes utilizados en el mundo (Hundt, 1986). El nivel de aluminio en el agua varía mucho, en algunos casos puede exceder de 10 mg/l en la vecindad de las plantas donde es elaborado.

Históricamente estos residuos han tenido una significancia ambiental pequeña y por ello se ha dudado en controlar estas descargas (Novak, 1979; Vicory y Weaver, 1984). Sin embargo, cuando el aluminio se moviliza en lagos y ríos, se ha demostrado que es tóxico para la vida acuática (Freeman y Everhart, 1971; Burrows, 1977; Baker y Schofield, 1982; Schofield y Trojnar, 1980; Havas y Hutchinson, 1982; Havas, 1985).

La química acuosa del aluminio es extremadamente compleja, las formas moleculares (especies) y concentraciones de cada una de las especies dependen del pH, complejos y ligandos y con un menor efecto la temperatura y la duración de la exposición. Además de que forma complejos incoloros por lo que no es visible y sólo mediante análisis químico se revela su abundancia y formas químicas. Estos factores hacen extremadamente difícil evaluar el riesgo del aluminio en la integridad ecológica debido a la variada toxicidad de cada una de las especies y a su concentración (USEPA, 1988).

MÉTODO

Durante cada muestreo se tomaron 5 muestras simples, en las que se evaluaron los siguientes parámetros: *a)* pH, *b)* temperatura, *c)* conductividad, *d)* oxígeno disuelto, *e)* dureza total, *f)* dureza de calcio, *g)* turbiedad, *h)* color, *i)* alcalinidad y *j)* acidez.

Se realizaron análisis de cinco tipos diferentes de muestras, es decir: Agua cruda, Agua tratada, Lodo homogéneo, Lodo espesado sin polímero y Lodo espesado con polímero.

Se realizó el análisis de un total de 9 muestreos que consistieron en 5 muestras de agua cruda, agua tratada, lodo homogéneo, lodo espesado sin polímero y lodo espesado con polímero, las cuales fueron obtenidas durante el periodo de secas y lluvias comprendido entre julio de 1998 y abril de 1999.

De cada una de estas muestras se realizaron pruebas de toxicidad aguda, crónica y de elongación de raíz, para establecer los niveles de confianza en los cuales estas muestras causan efectos tóxicos.

Pruebas de Toxicidad

La toxicidad es la capacidad inherente de un agente químico de producir un efecto nocivo sobre los organismos vivos, siendo la resultante de la concentración y del tiempo de exposición, modificado por variables como la temperatura, formas químicas y disponibilidad (APHA, 1989).

Toxicidad aguda: efecto letal u otro efecto producido en un tiempo relativamente corto, por lo general dentro de los cuatro días para peces o macrovertebrados y periodos más cortos (2 días) para organismos de menor tamaño (APHA, 1989).

Toxicidad crónica: efectos a largo plazo que pueden estar relacionados con cambios en apetito, crecimiento, metabolismo, y aun mutaciones o muerte (APHA, 1989).

Prueba de Toxicidad Aguda con *Daphnia magna*

Se determinó el uso del cladóceros de agua dulce, *Daphnia magna*, conocida comúnmente como pulga de agua, ya que este organismo se utiliza frecuentemente para bioensayos de toxicidad, siendo sus resultados comparables, debido a su fácil manejo además de que en general *Daphnia* es menos tolerante que los peces a las sustancias tóxicas.

Las hembras múltiparas se aislaron 24 horas antes de las pruebas y se utilizaron los neonatos producidos.

Las pruebas de bioensayos se realizaron por triplicado en vasos de precipitado de 150 ml conteniendo 100 ml de cada dilución de prueba más 10 organismos neonatos. Los vasos se cubrieron para reducir la evaporación de las diluciones de prueba y evitar que se depositaran polvo u otros materiales contaminantes.

Se realizó la cuantificación de organismos a 1, 24 y 48 horas determinándose su muerte como ausencia de movimiento. Se efectuaron mediciones de control durante la prueba como pH, oxígeno disuelto, conductividad y dureza total, la temperatura se mantuvo dentro del intervalo de 20-25 °C. El agua de dilución utilizada para todas las pruebas fue la misma que se utilizó para aclimatar y mantener el cultivo (NMX-AA-087-1995-SCFI, 1995) (Figura 2).

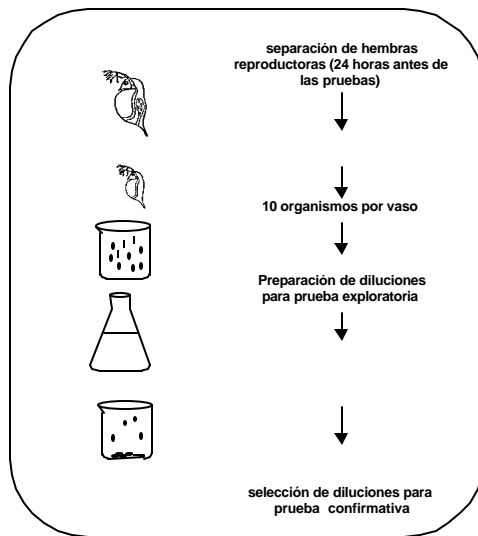


Figura 2. Diagrama esquemático de la prueba de toxicidad aguda con *Daphnia magna*.

Prueba de Toxicidad Crónica con *Panagrellus redivivus*

Los nemátodos de la especie *Panagrellus redivivus* son de vida libre y viven en los sedimentos del agua dulce, son ovovivíparos y presentan cuatro estadios de desarrollo (J₁, J₂, J₃, J₄) antes de llegar a la edad adulta, donde presentan un pequeño dimorfismo sexual el cual consiste en que las hembras son más robustas y lentas por la alta

cantidad de huevecillos que concentran en la parte ventral de su cuerpo, donde se observa una mayor coloración debido a la multitud de huevecillos, mientras que el macho es más delgado, pequeño y presenta movimientos más rápidos.

El bioensayo de toxicidad crónica con el nemátodo *Panagrellus redivivus* consistió en el monitoreo de una población de 100 organismos de la fase J₂ durante un periodo de 96 horas, con la finalidad de observar los efectos letales (reducción del número de animales en la población) y subletales (número de animales que se quedan en la fase J₂, J₃ ó J₄ que no alcanzan el estado adulto) de la muestra prueba, en comparación con la población control (Samoiloff, 1990) (Figura 3).

En estos cuatro estadios se requiere poca actividad genética, mientras que en el adulto se lleva a cabo una excesiva actividad genética como es la síntesis de ADN, ARN o producción de gónadas, es por ello que en esta etapa se puede evaluar genotoxicidad y mutagenicidad.

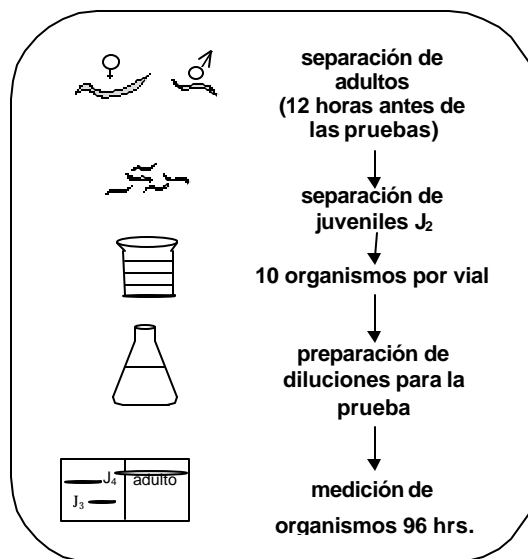


Figura 3. Diagrama esquemático de la prueba de toxicidad crónica con *Panagrellus redivivus*

Prueba de Toxicidad sobre Elongación de Raíz de *Lactuca sativa*

Los bioensayos con plantas en la actualidad son autorizados por Canadá y los países europeos para evaluar la toxicidad de residuos sólidos, líquidos y afluentes, esto debido a que a veces no resultan ser tóxicos para los peces, crustáceos y dáfnidos, que son los organismos más utilizados para la determinación de la toxicidad, pero sí pueden ser tóxicos para la vegetación terrestre y acuática. Los residuos afectan a las plantas, ocasionando grandes cambios en el ecosistema, como puede ser una baja de oxígeno, un decremento en la producción primaria y un incremento de la erosión del suelo.

Los bioensayos con plantas se pueden desarrollar en un sinnúmero de especies pero son de mayor importancia aquellos que involucren a especies de importancia comercial y rápido crecimiento, de tal forma que fue determinado el uso de la semilla de la lechuga romana (*Lactuca sativa*) al cumplir con estas características y estar estandarizada como semilla de prueba.

Se prepararon diluciones con agua destilada de la sustancia de prueba (20%, 40%, 60%, 80% y 100%) en alícuotas de 20 ml), las cuales se agregaron al papel filtro previamente colocado sobre cajas petri, hasta humedecer completamente y sobre el cual se colocaron un total de 20 semillas por caja o concentración, acomodándolas de forma distribuida, es decir, en cuatro hileras de 5 semillas cada una o viceversa, esto mismo se realizó con la muestra control, la cual únicamente contenía agua destilada. Posteriormente se taparon dichas cajas y se introdujeron a una incubadora húmeda a 24°C por 120 horas (Figura 4).

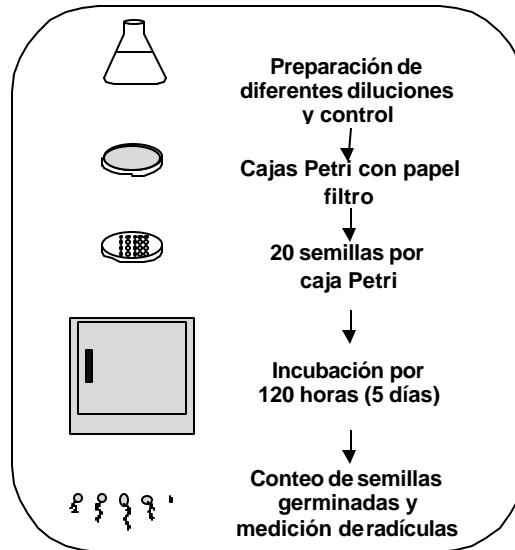


Figura 4. Diagrama esquemático de la prueba de toxicidad con elongación de raíz con *Lactuca sativa*

RESULTADOS

Pruebas con *Daphnia magna*

Cada especie biológica posee una fisiología particular que la hace más o menos vulnerable a los cambios que se producen en el medio en el que vive. Por esta razón, no todos los organismos reaccionan de la misma manera ante un agente tóxico o un conjunto de ellos. En el caso particular de este estudio *Daphnia magna* resultó ser la especie menos sensible, mostrando una respuesta determinante solo en el caso de las muestras de la laguna de desecación y las muestras de lodo sin polímero del 2 de julio, cuyas unidades de toxicidad fueron superiores a 1.0 como se observa en la Figura 5. Este hecho significa que en dichos puntos el agua resulta letal para más del 50% de las daphnias. Entendiéndose como unidad de toxicidad el inverso de la CL_{50} (Concentración Letal 50), multiplicado por 100.

En la bibliografía *Daphnia magna* figura como una especie de muy alta sensibilidad a tóxicos ambientales (Gherardi, 1983), pero en este tipo de muestras el rango de detección de *Daphnia magna* fue limitada para demostrar la presencia de sustancias tóxicas, al ser la prueba de toxicidad de tipo agudo, la respuesta observada es categórica, es decir el organismo muere o no.

Por otra parte, dentro de los parámetros ambientales medidos no se encontró ningún indicio de la presencia de algún factor limitante para la supervivencia de los organismos, y en el caso particular de las muestras que rebasaron el valor de 1.0 en Unidades de Toxicidad, se considera esta toxicidad ocasionada por el contenido de Aluminio u otros elementos aún no determinados.

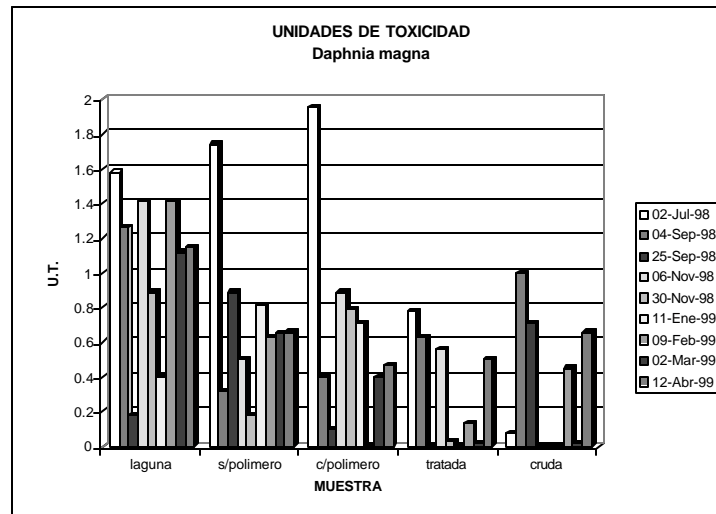


Figura 5. Unidades de Toxicidad de los lodos y agua provenientes de la Planta Potabilizadora Los Berros mediante el bioensayo con *Daphnia magna*

Pruebas con *Panagrellus redivivus*

Los estudios con *P. redivivus* son muy poco conocidos en nuestro país, a la fecha sólo se ha utilizado en el Laboratorio de Bioensayos del CENICA (Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, dependencia del Instituto Nacional de Ecología), en donde se han obtenido resultados que indican que es un organismo con muy alta sensibilidad. Es reportado también por Dutka *et al.*, (1990) como un organismo con mayor sensibilidad incluso que el *Microtox*^{MR}.

En el presente trabajo se observó que tiene un rango de detección más amplio que *Daphnia magna* y *Lactuca sativa*. Al ser una prueba crónica permite tener un espectro más amplio de respuesta, esto es, tiene diferentes tipos de efecto, afectando sobrevivencia, maduración, crecimiento y/o adaptabilidad.

Como se aprecia en las Figuras 6 y 7 los resultados de los bioensayos realizados con *P. redivivus* revelaron que la sensibilidad de esta especie a la toxicidad de estas muestras es elevada.

Observando estas gráficas se puede apreciar que en su conjunto las muestras de los diferentes tipos de agua y lodo no generaron gran mortandad entre las poblaciones de nemátodos, ya que de manera general alcanzaron de un 96 a un 102% de sobrevivencia con referencia al testigo, no así, las muestras de septiembre correspondientes a lodos de la laguna o sin polímero, las cuales tuvieron un menor porcentaje de sobrevivencia, al obtener un valor de 87% y 82% respectivamente.

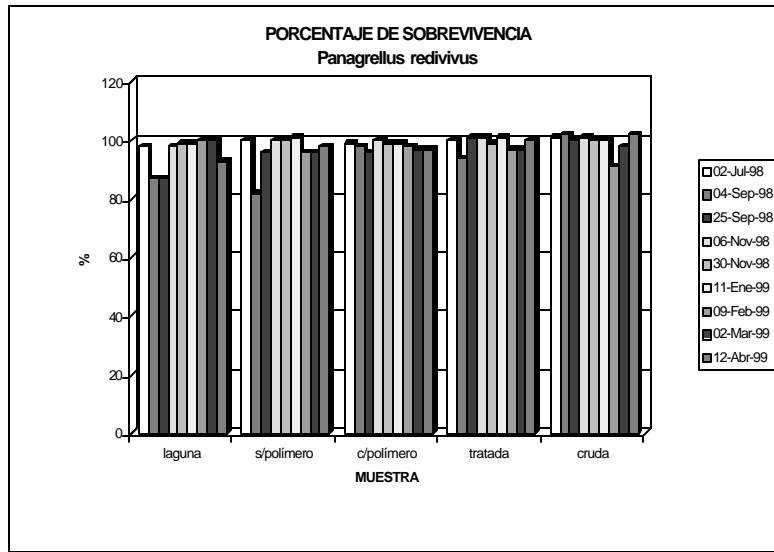


Figura 6. Sobrevivencia del nemátodo *Panagrellus redivivus* por efecto de los lodos y agua provenientes de la Planta Potabilizadora Los Berros

Por el contrario, al analizar los resultados obtenidos en la prueba subletal representada por daños genotóxicos y reflejada en la maduración de los organismos, se observa principalmente afectada en el caso de los lodos de la laguna y en menor medida los lodos con polímero y sin polímero, obteniéndose en estos casos valores muy por debajo del 100 % de maduración. Es importante observar que todas las poblaciones analizadas fueron afectadas en menor o mayor grado a nivel genotóxico, es decir, no alcanzaron el estadio adulto después de las 96 horas que duran los bioensayos, mostrando un daño genético. (Figura 7).

Desde el punto de vista ecológico estos resultados representan una problemática grave a largo plazo y difícil de resolver. Así por ejemplo, si las sustancias contaminantes ocasionaran la muerte de un gran número de individuos de una población, en un momento dado los organismos sobrevivientes podrían reproducirse y restablecer el tamaño original de dicha población cuando los contaminantes hayan sido controlados. Sin embargo, si los organismos no llegan a morir y sobreviven heredando el daño genético a sus descendientes, el deterioro ecológico persistiría por un gran número de generaciones aun cuando los agentes tóxicos hayan sido erradicados.

Durante el desarrollo de estos bioensayos se observaron otros efectos que, aunque no fueron cuantificados, no dejan de ser importantes, al advertirse que el cuerpo de los nemátodos adultos, aunque con la talla normal, se observó mucho más delgado y en algunos casos de menor tamaño que los adultos de la población control, indicando la presencia de algunas sustancias que provocaron este desarrollo poco común.

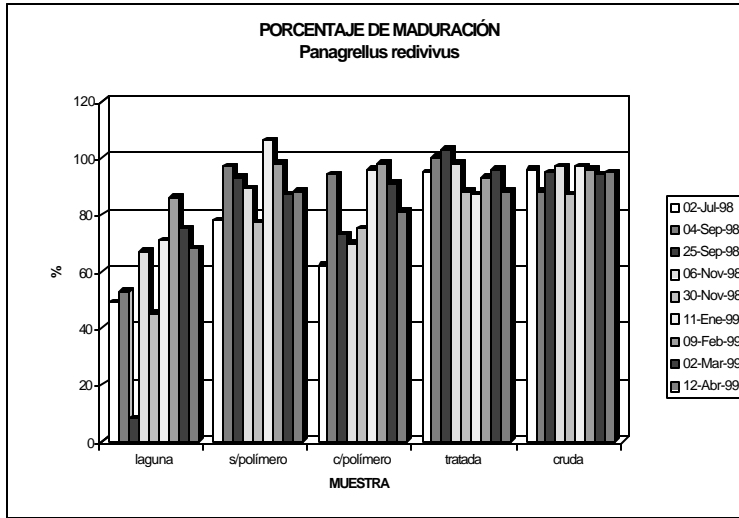


Figura 7. Maduración del nemátodo *Panagrellus redivivus* por efecto de los lodos y agua provenientes de la Planta Potabilizadora Los Berros

Toxicidad Total

Al analizar los resultados en conjunto de la prueba crónica tomando en cuenta sobrevivencia, crecimiento, maduración y adaptabilidad se determinan los rangos de toxicidad observada en una población a prueba, en el caso de los nemátodos estudiados, es evidente al observar la Figura 8 que tanto las muestras de agua cruda como de agua tratada tuvieron una toxicidad no detectada a nivel poblacional, no así en el caso de las muestras de lodo sin polímero, donde se observa una variación, ya que se presentaron 2 casos de toxicidad ligera y 1 de toxicidad moderada, para los lodos sin polímero se observaron 4 casos de toxicidad ligera y por último, las muestras de lodos de la laguna dieron por resultado 5 casos de toxicidad ligera, 3 de toxicidad leve y sólo un caso en el cual no se detectó toxicidad, evidenciando de esta manera la presencia de toxicidad de estas muestras.

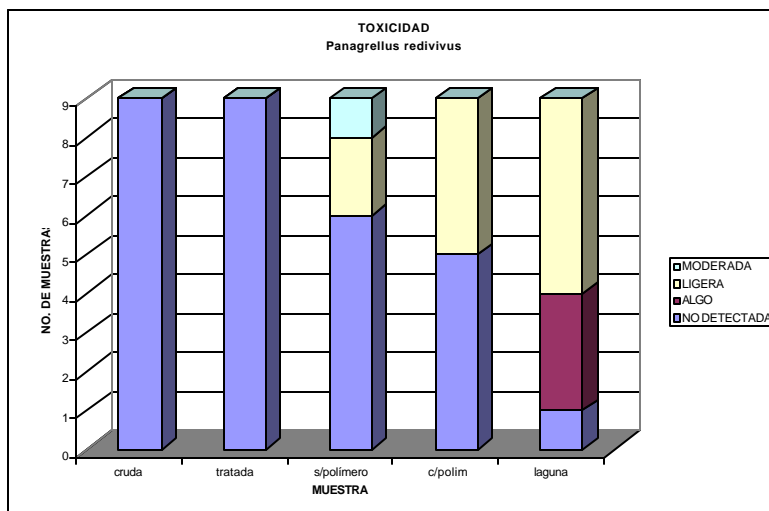


Figura 8. Toxicidad total del nemátodo *Panagrellus redivivus* por efecto de los lodos y agua provenientes de la Planta Potabilizadora Los Berros

Pruebas con *Lactuca sativa*

Los resultados obtenidos con la prueba de toxicidad en elongación de raíz no fueron determinantes, debido a la gran variabilidad que se presenta en el crecimiento normal de una planta; sin embargo, es importante mencionar que estos resultados podrían variar de manera negativa si la prueba realizada fuera de tipo crónico, o únicamente se tomara en cuenta el crecimiento radicular, ya que hay evidencia bibliográfica que así lo asevera.

En el caso del crecimiento radicular fue notoria la concordancia entre las radículas control y las sometidas a agua cruda, ya que todas las muestras de agua cruda presentaron un porcentaje de longitud verdadera igual o cercano a 100, lo que significa su igualdad con la longitud obtenida con el testigo.

De las demás muestras la gran mayoría presentó un efecto desfavorable con relación al testigo, ya que el 75% de las muestras presentaron un decremento en la longitud de sus radículas y el restante 25% un incremento hasta del 30% con relación al testigo (Figura 9).

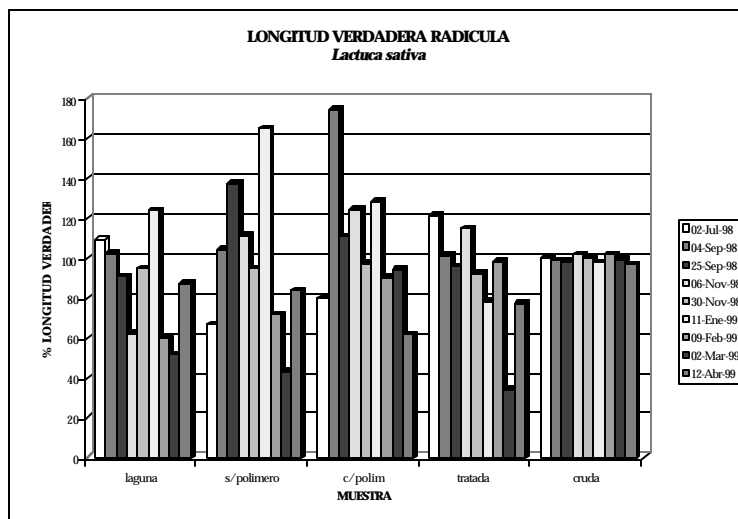


Figura 9. Longitud verdadera de la radícula de *Lactuca sativa* originada por de los lodos y agua provenientes de la Planta Potabilizadora Los Berros

Analizando los resultados obtenidos al hacer la medición de toda la plántula en su conjunto, se observa que aproximadamente el 50% de las muestras causaron decremento en la longitud de la plántula, siendo esto más evidente en el caso de las muestras de lodos de la laguna de desecación (Figura 10).

La variación en estos resultados puede ser explicada por varios motivos, en primer lugar la variabilidad inherente a las mismas plantas; que los sedimentos contenidos en los lodos pueden ser nutrientes adecuados para la planta o bien, que la toxicidad de las muestras está enmascarada por los efectos favorables ocasionados por estos nutrientes.

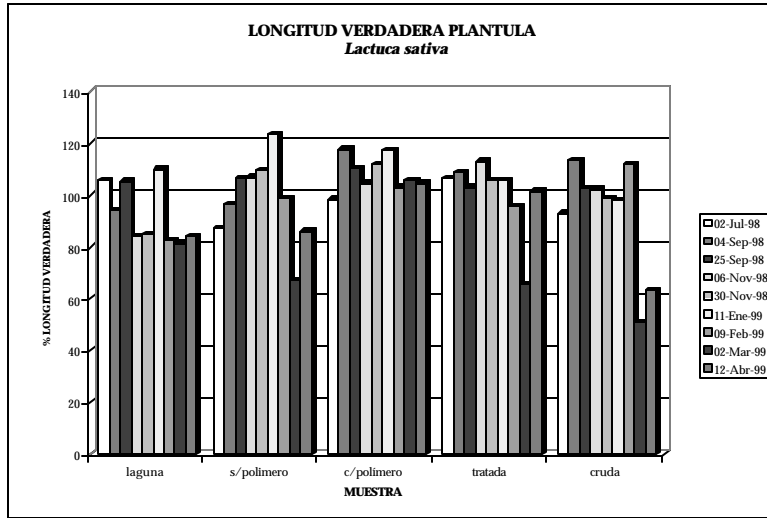


Figura 10. Longitud verdadera de la plantula de *Lactuca sativa* originada por de los lodos y agua provenientes de la Planta Potabilizadora Los Berros

Toxicidad Ponderada

Actualmente la legislación nacional no ha establecido un límite máximo permisible o un estándar de calidad con base en la prueba de *Daphnia magna* publicada (NMX-AA-087-1995-SCFI), lo que dificulta en cierta medida determinar el grado de afectación ocasionado. Por lo tanto, se optó por utilizar el sistema de ponderación desarrollado por Dutka *et al.*, (1990) en donde no se determina un grado de afectación, sino que se pondera la respuesta de los bioensayos al proporcionarle un valor numérico a cada uno de ellos, dando el valor más grande a las muestras en las cuales se obtuvo la mayor respuesta y dejando sin valor numérico a las muestras en donde no la hubo. Desgraciadamente esto solo es aplicable en el caso de *Daphnia magna* y *Panagrellus redivivus*.

En la Figura 11 es evidente que todos los tipos de agua y lodo causan una respuesta adversa por parte de los organismos, siendo esto patente en el caso de las muestras de lodos, principalmente en los lodos de la laguna.

Lo cual es indicio de la atención que se debe poner al manejo y disposición de dichos lodos, ya que los resultados parciales obtenidos hasta el momento señalan que los lodos generados por la planta potabilizadora son nocivos para organismos representativos y básicos del ecosistema, como son un organismo acuático base de la cadena trófica acuática y un organismo del sedimento.

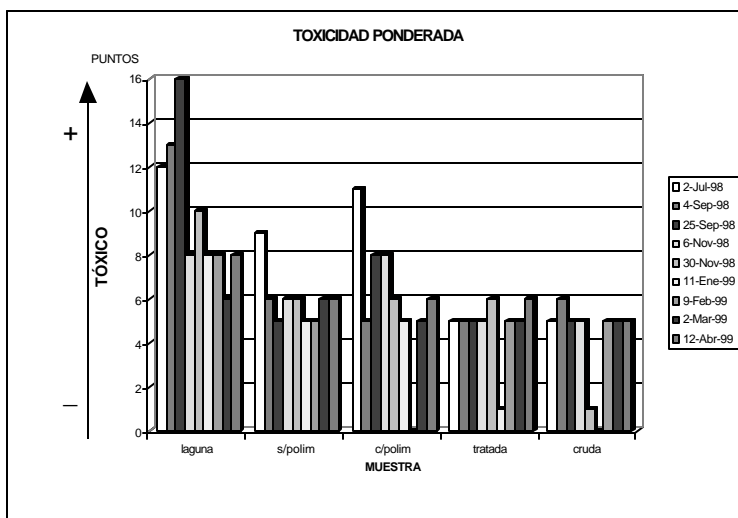


Figura 11. Toxicidad ponderada de los lodos y agua provenientes de la Planta Potabilizadora Los Berros. Clasificación tomada de Dutka *et al.*, 1990.

CONCLUSIONES

- El organismo acuático *Daphnia magna* resultó ser la especie menos sensible, al mostrar indicios de toxicidad únicamente en el caso de las muestras de lodos de la laguna de desecación, como parte de la prueba de toxicidad aguda.
- En la prueba de toxicidad crónica, el nemátodo de sedimento *Panagrellus redivivus* resultó ser la especie más sensible, al presentar efectos adversos tanto en maduración como sobrevivencia.
- Las muestras de agua cruda y tratada no tuvieron efecto nocivo a nivel poblacional sobre *Panagrellus redivivus*.
- La semilla de lechuga *Lactuca sativa* no presentó una respuesta determinante a la adición de las muestras, y solo ocasionó decremento radicular en un 75% de las muestras analizadas.
- La toxicidad ponderada de *Daphnia magna* y *Panagrellus redivivus* hace patente el efecto nocivo de este tipo de muestras.
- Los 3 tipos de pruebas realizadas mostraron efectos adversos en distinta medida sobre organismos representantes de la biota.
- Los resultados obtenidos señalan que los lodos generados por la planta potabilizadora presentan una toxicidad baja, lo cual es indicio de la atención que se le debe poner al manejo y disposición de dichos lodos.
- Los bioensayos mostraron ser una herramienta útil en el estudio de la contaminación ambiental de los productos generados por una planta potabilizadora.
- Es necesario combinar y complementar los análisis fisicoquímicos con pruebas biológicas o bioensayos de toxicidad para dar un panorama general de la respuesta de la biota y los ecosistemas de manera rápida, aun cuando las miles de sustancias químicas potencialmente tóxicas contenidas en los efluentes pueden o no ser detectadas por los análisis rutinarios.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) el cual proporcionó los recursos económicos necesarios para la realización del presente trabajo, y al Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA-INE) quien proporcionó los organismos de prueba, instalaciones y equipo para efectuar los bioensayos, así como a su personal por la asesoría y apoyo brindado durante la realización del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA, AWWA, WPCF, (1989). Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Port City Press, Baltimore, Maryland, 10- 200 p. + láminas.
- AWWA (American Water Works Association), (1986). 1984 Water Utility Operating Data. AWWA, Denver CO.
- AWWA (American Water Works Association), (1990). Sludge: Handling and disposal. 154 pp.
- Baes, C.F. and R.E. Mesmer, 1976. The hidrolysis of cations. John Wiley and Sons, New York.
- Baker, J.P. and C.L. Schofield, (1982). Aluminum Toxicity to fish in acidic waters. Water,Air, and Soil Poll., 18:289-309.
- Burrows, W.D., (1977). Aquatic Aluminum: Chemistry, toxicology, and environmental prevalence. CRC Critical Reviews in Environmental Control. CRC Press, Boca Raton, FL, June, 167-216 pp.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). (1997). Sistema Cutzamala. Una magna obra para atender una gran demanda, Vertientes, vol. 2, núm. 14, ene. 1997. 18-20 pp.
- Cornwell, D. y H. Koppers, (1990). Slib, schlamm, sludge. Handling and disposal. American Water Works Association Research Foundation. Cooperative Research Report. 105 pp.
- DGCOH (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica), (1988). Plan Maestro de Agua Potable. Secretaria General de Obras; DDF. Departamento del Distrito Federal. Ciudad de México. Noviembre. *In*: Castañeda-Rodriguez, C. 1993. Desarrollo de un plan para atención de emergencias en sistemas de abastecimiento de agua potable y su aplicación al sistema Cutzamala. Tesis de Licenciatura. Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería UNAM.
- Freeman, R.A., y W.H. Everhart, (1971). Toxicity of Aluminum hidroxide complexes in neutral and basic media to Rainbow Trout. Trans. Am. Fish. Soc., 100:644.
- Gherardi, G.E. (1983). Avaliçao da Toxicidade dos Principais Despejos Industriaia da Região de ERQ-Suzano a través de Ensaio Biologicos. DAE. No. 132. pp. 42-47. Brasil.
- Havas,M. y T.C. Hutchinson, (1982). Aquatic invertebrates from the smoking Hills, N.W.T. : Effects of pH and metals on mortality. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39:890-903.
- Havas, M., (1985). Aluminum bioaccumulation and toxicity to Daphnia magna in soft water at low pH. Can.J.Fish. Aquat. Sci., 42:1418-1748.

- Hundt, T.R. (1986). Aluminum-Fulvic acid interactions: mechanics and applications. AWWA Proceedings of Annual Conference, Denver, CO, June 22-26 pp. 1199-1201.
- Mendoza, C.A. y Cortés M.G. (1994). Caracterización fisicoquímica y evaluación toxicológica utilizando bioensayos en agua, suelo y sedimento del Distrito de Desarrollo Rural 063, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Biología, Campus Iztacala, UNAM, 153 pp.
- NMX-AA-087-1995-SCFI. (1995). Norma Mexicana. Análisis de Agua- Evaluación de Toxicidad Aguda con *Daphnia magna* Straus (Crustacea – Cladocera) Método de prueba.
- Novak, J.T., (1979). Historical and technical perspective of sludge treatment and disposal. In Proc. of the AWWA Seminar: Recent advances in sludge treatment and disposal. American Water Works association, Denver, CO.
- Samoiloff, M. (1990). The Nematode Toxicity Assay. Using *Panagrellus redivivus*. Toxicity Assessment: An International Journal, Vol. 5, 309-318 pp.
- Schoefield, C. y J.R. Trojnar, (1980). Aluminum toxicity to Brook Trout (*Salvelinus fontinalis*) in acidified waters. In Toribara, T.Y., M.W. Miller, y P.E. Morrow, eds., Polluted Rain. Plenum Press, New York, 341-363 pp.
- Vicory, A.H., y L. Weaver, (1984). Controlling discharges of water plant waste to the Ohio River. AWWA J., 57:85-96.
- USEPA, 1988. Ambient water quality criteria for aluminum. EPA-440/5-5-86-008. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Wang, M.C.; J.Q. Hull; M. Jao; B.A. Dempsey and D.A. Cornwell, (1992). Engineering behavior of water treatment sludge. Journal of Environmental Engineering. Vol. 118, No. 6, 848-864 pp.

[**REGRESAR A CONTENIDO**](#)