

CONTRIBUCIONES AL CONOCIMIENTO DE LA ECOTOXICOLOGÍA Y QUÍMICA AMBIENTAL EN MÉXICO

YOLANDA PICA GRANADOS
PATRICIA RAMÍREZ ROMERO



**CONTRIBUCIONES AL
CONOCIMIENTO DE LA
ECOTOXICOLOGÍA Y QUÍMICA
AMBIENTAL EN MÉXICO**

**Yolanda Pica Granados
Patricia Ramírez Romero**

Noviembre, 2012

571.950972 Pica Granados, Yolanda
P58 Contribuciones al conocimiento de la ecotoxicología y química
 ambiental en México / Yolanda Pica Granados, Patricia Ramírez
 Romero. -- Jiutepec, Mor. : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,
 ©2012.

484 p.

ISBN: 978-607-7563-54-9

1. Ecotoxicología 2. Química ambiental 3. México

Coordinación editorial:

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua

Coordinación de Comunicación,
Participación e Información.

Subcoordinación de Vinculación, Comercialización
y Servicios Editoriales.

Diseño editorial de la serie *Avances del Conocimiento*:
Gema Alín Martínez Ocampo.

Portada: Oscar Alonso Barrón.

Primera edición: 2012.

D.R. © Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532
62550 Progreso, Jiutepec, Morelos
MÉXICO
ISBN 978-607-7563-54-9

Impreso en México – *Printed in Mexico*

Índice

ECOTOXICOLOGÍA

- Cianobacterias y cianotoxinas dulceacuícolas en ambientes tropicales:
una revisión de la problemática.
S. Nandini y S.S. S. Sarma 13
- Evaluación de la toxicidad de extractos acuosos de cianobacterias
mediante el ensayo con semillas de lechuga.
Galindo-Alcazar O., Martínez- Jerónimo, F., Olvera-Ramírez, R, 33
- Inhibición del crecimiento de microalgas y cianobacterias
por metabolitos producidos por cianobacterias.
Águila-Maldonado I, Martínez-Jerónimo F., Olvera-Ramírez R. 42
- Modificaciones en la conducta de escape de *Poeciliopsis gracilis* por efecto del zinc.
*García Batalla N., Venegas Hernández E., Molina Arroyo H.,
Galicia Isasmendi S., Zumaquero Ríos J. L., Mangas-Ramírez E.* 51
- Aplicación de la prueba de campo abierto en toxicología acuática.
*Venegas Hernández. E., García Batalla., N, Molina Arroyo H.,
Galicia Isasmendi I. S., Zumaquero Ríos J. L., Mangas-Ramírez E.* 60
- Prospectiva de la ecotoxicología de la subcuenca de San Antón,
en Cuernavaca, Morelos.
*Pica-Granados Y. Trujillo Domínguez G., Hernández Salgado H.,
Ruíz-López A. J.* 73
- Sensibilidad al cadmio, cromo y niveles bajos de oxígeno
de tres poblaciones mexicanas del anfípodo
Hyalella azteca. *Guzmán-Martínez M. C. y P. Ramírez-Romero.* 89

MONITOREO AMBIENTAL

- Evaluación ambiental del estado trófico y toxicidad en el embalse Zimapán, México.
Bravo-Inclán L., Saldaña-Fabela M. P., Sánchez-Chávez J. J. 103
- La contaminación de recursos naturales en el estado de Hidalgo, México.
Peña Betancourt S. D., Vidal Gaona M. G., Córdova I. A. 114
- Evaluación de la calidad ambiental en playas de uso recreativo (Acapulco, Gro.).
Flores Mejía M. A., Flores Hernández M., Ríos Miranda M. L. 127
- Evaluación de la contaminación puntual y difusa en la bahía de Acapulco, Guerrero.
*Arellano Franco H. E., Saldaña-Fabela M. P.,
Ruiz López A. J., Izurieta Dávila J. L.* 137

Biomonitoreo de la contaminación metálica atmosférica con <i>Tillandsia usneoides</i> L., en Tlaxcoapan, Hidalgo. <i>Calvario-Rivera C. I., Beltrán-Hernández R. I., Del Razo-Jiménez L. M., Vázquez-Rodríguez G. A., Lucho-Constantino C. A.</i>	150
Captación de metales en hongos del género <i>Lycoperdon</i> del Valle de México. Guerrero. <i>Gutiérrez, P., Ramos-Bello, R., Hernández-Quiroz M.</i>	162
Contaminación microbiológica en un lago urbano eutrófico del Estado de México. <i>Gómez Q. L., Salamanca Quevedo E., Torres-Alvarado M. R., Sepúlveda Jaúregui A., Calva Benítez L. G., Hoyos Santillán J., Thalasso Siret F.</i>	175
Evaluación periódica de cianobacterias toxigénicas en florecimientos de un lago urbano en la Ciudad de México. <i>Martínez-García C, Medina-Jaritz N., Pineda-Mendoza R., Olvera-Ramírez R.</i>	185
Monitoreo de microcistina en el lago de Pátzcuaro, México, por un método de ELISA. <i>Tomasini-Ortíz A. C., Sánchez-Chávez J., Bravo-Inclán L. A.</i>	195
EVALUACIÓN DE RIESGO	
Relaciones ambiente-salud: los vínculos que nos mantienen como miembros del ecosistema. <i>Montero R., Arellano O., Belmont J., Dávila V., Serrano L.</i>	209
<i>Salmonella spp.</i> como bioindicador bacteriológico alternativo de la contaminación fecal en agua. <i>Basulto-Solis Y. Y., Pacheco Ávila J., Ponce-Caballero C., Quintal-Franco C.</i>	220
Evaluación del Riesgo a la Salud por la fumigación aérea con malatión en Hidalgo, Tamaulipas. <i>Heyer-Rodríguez L, Arroyo-Díaz R. N., Varela-Fuentes S., Guevara-García N., Ramos-García O. G.</i>	234
Mercurio Total en Huachinango de las Costas Mexicanas. <i>Ramírez-Romero P, Solórzano-Ochoa G., Ramírez-Islas M.E., de la Rosa-Pérez A., Ortuño-Arzate T., Padilla-Torres J. E., Trejo-Ramírez J. G.</i>	246
Genotoxicidad asociada al índice de masa corporal, evaluada mediante la prueba de micronúcleos en mucosa bucal. <i>Torres Bugarín O, Esparza- Méndez G., Torres Mendoza B. M., Zavala Aguirre J. L.</i>	256

Disminución de la genotoxicidad y citotoxicidad asociada a la obesidad. <i>Basulto-Martínez M., Rosales González M. H., Serratos- Guízar A., Torres-Bugarín O.</i>	261
Genotoxicidad de la sibutramina en células de la mucosa bucal de personas con IMC mayor o igual a 27 kg/m ² . <i>Torres-Bugarín O., Serratos-Guízar A., Torres-Mendoza B.</i>	266
QUÍMICA AMBIENTAL	
Degradación de los PCBs 101 y 138 mediante el sistema fotoelectro-Fenton. <i>Gutiérrez-Hernández, R., Cruz-Ornelas R., Peralta-Hernández J., Hernández-Ramírez A., Geissen V, Malo-Rivera E., Bello-Mendoza R.</i>	277
Oxidación Anódica de residuos farmacéuticos. <i>Cruz-Ornelas R., Gutiérrez-Hernández R., F., Castro-Chan R. A., Malo-Rivera E. A., Bello-Mendoza R.</i>	288
Tratamiento de lixiviados aplicando en método Fenton. <i>Amador Cruz M., Tapia Cruz R. M., Pineda Flores G.</i>	298
Evaluación de la toxicidad por respirometría en lodos activados que procesan agua residual industrial compleja. <i>Tovar-León, F., Sánchez-Meza, J. C., Pacheco-Salazar, V. F., Pavón-Silva, T. B., Guerrero-García P, Venables B.</i>	305
Caracterización de la materia orgánica en suelos acondicionados con lodos residuales. <i>Ferniza García F, Lugo de la Fuente J, Vaca Paulín R.</i>	315
Mineralización del carbón en vermicomposta empleando lodo residual y residuos orgánicos. <i>Del Águila P, Lugo J, Vaca R., González C.</i>	329
Estabilización de vermicomposta con lodo residual mediante la determinación de CO ₂ . <i>Téllez L. M. L., Del Águila J. P., Lugo de la Fuente, J. A., R. Vaca P. y E. García V.</i>	342
Efecto de la adición de lodos residuales en la actividad microbiana del suelo. <i>Carrasco Salero F, Lugo de la Fuente J. A., Vaca Paulin R.</i>	353
Aplicación del lodo residual sobre el crecimiento del cultivo de maíz. <i>Armenta R., Lugo J, Vaca R.</i>	363

Evaluación de coagulantes naturales para la decoloración de aguas residuales. <i>Capilla Piedras J. N., Salgado Juárez L.,</i>	
<i>López Olgún J. F., Zayas Pérez M. T.</i>	378
El sistema del CO ₂ en el sur del Golfo de México. <i>Vázquez G. F., Díaz de León H. L. M., Alexander M. V. H.</i>	390
Estimación de la salinidad del Lago de Xochimilco considerando ciertos parámetros químicos (aniones y cationes). <i>Arcos Ramos R., Cruz Martínez P., Díaz Hernández I. S.</i>	408
Índice de calidad del agua residual industrial generada en la Ciudad de México. <i>Flores-Jacinto P., Meléndez-Estrada J., Amezcua Allieri M. A.</i>	419
Evaluación de la distribución de dos plaguicidas organofosforados. <i>Herrera- Cárdenas J. A., Navarro Frómata A. E., Tamariz Flores V,</i> <i>Mangas Ramírez E., Bonilla y Fernández M. N.</i>	434
BIOMARCADORES	
Alteraciones tisulares en el hígado del bagre de Tecolutla, Veracruz. <i>Matadamas-Guzmán M., Guzmán-García X., López-Vite S.,</i> <i>Becerra-Amezcua M. P., González Rebollar S., Hernández-Calderas I.</i>	445
Inhibición de colinesterasa plasmática en Rana Leopardo (<i>Lithobates berlandieri</i>) por exposición a organofosforados. <i>Baquedano-Bustillos A., Cobos-Gasca V.,</i> <i>Gutiérrez-Ruiz E., Aranda-Cirerol P.</i>	455
Evaluación de la contaminación genotóxica de la laguna “La Alberca” Villamar, Michoacán, mediante eritrocitos micronucleados y anormalidades nucleares en peces. <i>Montes-Rosas A., Zavala-Aguirre J. L., García-Ulloa Gómez M.,</i> <i>Buelna-Osben H. R., Torres-Bugarín O..</i>	468
Establecimiento de las condiciones adecuadas de mantenimiento del ostión <i>Crassostrea virginica</i> (Gmelin), previas a la realización de bioensayos. <i>Barrera Escorcia G. e I. Wong Chang</i>	478
Variación de biomasa bacteriana en dos estaciones en suelos contaminados por hidrocarburos. <i>Perea-Cantero R.A., Sánchez-Ríos J. L., Rodríguez-Salazar R. B.,</i> <i>Iniesta-Mejía C., Barrera-Jiménez I.</i>	493
Estudio de contaminación microbiana del agua utilizada en las clínicas dentales. <i>Perea-Cantero R. A., Sánchez-Ríos J. L., Rodríguez-Salazar R. B.,</i> <i>Iniesta-Mejía C., Barrera-Jiménez I.</i>	501

P R E S E N T A C I Ó N

El libro contiene una amplia diversidad de trabajos y se manifiesta como un diálogo entre los autores como reflejo de la dinámica de colaboración y apoyo mutuo que se genera en el seno de la La Asociación Mesoamericana de Ecotoxicología y Química Ambiental (AMEQA), también Capítulo México de la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), para fomentar el trabajo transdisciplinario e interinstitucional, el apoyo, retroalimentación y estímulo a los estudiantes, quienes participan de la producción de gran parte de las contribuciones de este libro, y para incentivar el crecimiento de las líneas de trabajo que alimentan las temáticas de interés para la asociación ampliando sus alcances y trascendencia en la toma de decisiones

El contenido refleja una creciente tendencia hacia la apertura y diversificación de las aplicaciones metodológicas antes cautivas de ciertos usos y ahora experimentadas en diversas líneas de la investigación con fines de evidenciar nuevos procesos para discernir la compleja problemática que aqueja al ambiente, o promover desarrollos tecnológicos que permitan atenderlos y resolverlos. Todas ellas, desde sus diversos enfoques, contribuyen al desarrollo de la Ecotoxicología y Química Ambiental; en ocasiones con propuestas muy creativas y planteamientos que pretenden orientar la atención a los problemas ambientales de importancias para México y para la región de Mesoamérica, con iniciativas innovadoras y aportando elementos de utilidad en la toma de decisiones para el manejo ambiental.

El libro es insistente en la generación de propuestas, en la búsqueda de estrategias para que los conocimientos logren una aplicación objetiva que fomente la mejora, tanto de la calidad del entorno natural, como del nivel de vida de las sociedades en la región de Mesoamérica.

**BIOMONITOREO DE LA CONTAMINACIÓN METÁLICA
ATMOSFÉRICA CON *Tillandsia usneoides* L.
EN TLAXCOAPAN, HIDALGO**

Calvario-Rivera C. I.¹, Beltrán-Hernández R. I.¹, Del Razo-Jiménez L. M.²,
Vázquez-Rodríguez G. A.¹ y Lucho-Constantino C. A.³.

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. ²Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN. ³Universidad Politécnica de Pachuca.

calvario78@yahoo.com.mx; rosa@uaeh.edu.mx, ldelrazo@cinvestav.mx,
gvazquez@uaeh.edu.mx, a_lucho@yahoo.com.mx

Palabras claves: Biomonitorio, contaminación metálica, *Tillandsia usneoides*.

RESUMEN

Tillandsia usneoides L. es una bromelia epífita aérea que cubre sus requerimientos nutrimentales directamente del aire, por lo que ha mostrado ser muy útil en el biomonitorio de contaminantes atmosféricos. Debido a lo anterior, se le seleccionó para evaluar la depositación metálica atmosférica en Tlaxcoapan, Hgo. Con la finalidad de evaluar los contaminantes en el aire, se colocaron unidades de monitoreo atmosférico (minivol, Arimetrics) y biomonitores (*T. usneoides* L.) durante los meses de febrero a abril de 2008. Posteriormente, se analizó la concentración de Ca, Cu, Mn, Pb, Fe y Zn en los filtros de los minivols y en el biomonitor; en este último también se analizaron las concentraciones de clorofilas y malondialdehído (MDA; indicador de daño oxidativo) con el propósito de observar si existe correlación entre la absorción metálica y ambos parámetros biológicos. El biomonitor mostró preferencia por la bioacumulación de Pb y Ca (concentraciones máximas de 51.2 y 20,566 mg/kg de peso seco, respectivamente), además los factores de enriquecimiento calculados, tanto en los filtros como en el biomonitor, indican que *T. usneoides* refleja en gran medida el Pb presente en el aire ambiente. Por otra parte, se observó una correlación significativa entre las concentraciones de MDA, Ca, Pb y Zn, y el contenido de clorofilas totales. *T. usneoides* mostró ser un biomonitor adecuado para Pb y Ca y aunque a nivel macroscópico la planta no sufrió daños

visibles debido a la depositación atmosférica, la correlación entre los parámetros biológicos medidos podría indicar un posible estrés metálico.

Palabras clave: Biomonitor, contaminación metálica atmosférica, estrés oxidativo, clorofila.

INTRODUCCIÓN

Los metales están clasificados entre los grupos de contaminantes antropogénicos más peligrosos debido a su toxicidad y persistencia en el ambiente, por lo que la evaluación de la depositación metálica atmosférica es de vital importancia. Desde el 2004, el Consejo Estatal de Ecología en el estado de Hidalgo se encarga de monitorear contaminantes criterio (PM, SO₂, CO, CO₂, NO_x) en la región de Tula-Tepeji y otros poblados cercanos mediante una red de monitoreo. Sin embargo, el riesgo potencial que representan esos contaminantes, se calcula solamente como una función de su concentración en la fase del vapor, sin tomar en consideración el tiempo de exposición, biodisponibilidad y, efectos antagonísticos y/o sinérgicos (Lowry, 1995). En contraste con los métodos físicos y químicos convencionales, los métodos biológicos permiten la evaluación directa del potencial tóxico de los contaminantes del aire, de manera que los datos biológicos pueden ser usados para estimar el impacto ambiental sobre otros organismos incluyendo humanos (Carreras *et al.*, 2008). Por ello, el biomonitoreo es una alternativa competitiva, la cual consiste en la observación continua de un área con la ayuda de biomonitores (Kettrup y Marth, 1998; De Temmerman *et al.*, 2004). Los biomonitores pueden ser muy útiles debido a su alta sensibilidad a un amplio espectro de sustancias o a su tolerancia a altos niveles de una sustancia acumulada en sus tejidos durante cierto período de tiempo. Además, debido a su bajo costo de mantenimiento y cultivo, es posible usarlos para monitorear grandes áreas (De Temmerman *et al.*, 2004). Entre las especies comúnmente empleadas como bioindicadores de los contaminantes atmosféricos, se encuentra *Tillandsia usneoides* L. la cual es una bromeliácea epífita aérea, que vive sobre árboles u otros tipos de estratos inertes, absorbiendo agua y nutrientes directamente del aire y tiene la capacidad de acumular en sus tejidos concentraciones relativamente altas de metales y otros elementos tóxicos (Brighigna *et al.*, 1997; Pignata *et al.*, 2002). El presente trabajo, pretende evaluar la relación entre la acumulación de elementos metálicos atmosféricos y la respuesta fisiológica

CONTRIBUCIONES AL CONOCIMIENTO DE LA ECOTOXICOLOGÍA Y QUÍMICA AMBIENTAL EN MÉXICO

en el biomonitor *Tiillandsia usneoides* L. expuesto en Tlaxcoapan ubicado dentro del corredor industrial Tula-Vito-Apasco, el cual es considerado como zona crítica debido a que existe una intensa actividad industrial y comercial que continuamente está emitiendo desechos al ecosistema (NOM-043-SEMARNAT-1993).

METODOLOGÍA

Sitio de muestreo

Tlaxcoapan (N 20° 05.509', O 99° 13. 671') es un pequeño poblado (20,000 habitantes) ubicado al suroeste del estado de Hidalgo (figura 1). En sus cercanías se encuentran diversas industrias, entre las que destacan una refinería, una termoeléctrica, extractoras de materiales pétreos, cementeras, entre otras (Periódico Oficial, 2002; INEGI 2005).

Muestreo y análisis de materia particulada PM₁₀

Para el análisis de la concentración elemental en el material particulado de los aerosoles, en Tlaxcoapan se colocó una unidad de monitoreo atmosférico (minivol)



Figura 1. Localización geográfica del municipio de Tlaxcoapan

durante la época de estiaje (febrero a abril) de 2008. La captación del material particulado se realizó en filtros de policarbonato de 47 mm, los cuales se analizaron para determinar la concentración de elementos traza utilizando el método del PIXE (*Proton Induced X-Ray*) de acuerdo a la metodología propuesta por la EPA, (1999), el NIST, (2005) y Skov *et al.* (2006).

Muestreo y análisis de plantas

De forma paralela al monitoreo de PM_{10} y empleando la técnica del biomonitoreo activo se colocaron plantas de prueba de *Tillandsia usneoides* L. a una altura de 6 m utilizando soportes semejantes a los árboles (figura 2). El muestreo se realizó semanalmente recolectando 3 muestras al azar durante 12 semanas.



Figura 2. Soporte empleado en el biomonitoreo con *T. usneoides*

Análisis de metales

Para el análisis de metales, se colocaron aproximadamente 300 mg de planta (peso seco) y 10 mL de HNO₃ en vasos de teflón. Posteriormente, las muestras se llevaron a digestión en un horno de microondas (CEM, E.U.A.) de acuerdo al método 3052 de la EPA. La determinación de cada uno de los metales se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica (VARIAN, Australia).

Determinación de clorofilas

Se colocaron 200 mg de planta fresca, previamente lavada, en frascos de vidrio y se adicionaron 5 mL de dimetilformamida (DMF) concentrada. Dichos recipientes se taparon, se mantuvieron en oscuridad y se refrigeraron. Después de 48 h se determinó la absorbancia de las muestras a tres longitudes de onda: 618, 647 y 665 nm empleando un espectrofotómetro (Thermo Scientific, E.U.A.). Las concentraciones de las clorofilas (a, b y totales) se determinaron empleando las ecuaciones de Lambert Beer descritas por Inskeep y Bloom (1985).

Determinación de MDA

El contenido de MDA se determinó de acuerdo al método basado en Buege y Aust (1978). Se obtuvo un extracto empleando 300 mg de planta fresca y 10 mL de TCA (ácido tricloroacético) al 2.5%. El extracto se centrifugó a 4000 rpm durante 20 minutos. Se tomó 1 mL del sobrenadante y se le adicionaron 2 mL de TBA (ácido tiobarbitúrico) al 0.5% y 5 µL de BHT (hidroxitolueno butilado) al 3.75%. Posteriormente, la muestra se calentó durante 30 minutos a baño María. Al final de dicho tiempo, la muestra se introdujo en hielo para detener la reacción. La absorbancia de las muestras se determinó a 532 y 600 nm empleando un espectrofotómetro (Thermo Scientific, E.U.A.). La concentración de MDA se calculó empleando el coeficiente de extinción molar 155 mM⁻¹.cm⁻¹.

Factores de enriquecimiento

El cálculo del factor de enriquecimiento se realizó de acuerdo a Szczepaniak y Biziuk (2003), quienes indican que es necesario normalizar las concentraciones obtenidas empleando uno de los elementos mayoritarios presentes en los suelos de la zona. Los elementos más frecuentemente utilizados como referencia son Sc, Mn, Al, Fe, Si y Ti (Loska *et al.*, 1995; Szczepaniak y Biziuk, 2003; Zambrano *et al.*, 2009). Las

concentraciones fueron normalizadas con base en la abundancia de Ca en el suelo y de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$FE = \left(\frac{X_m}{Ca} \right)_{\text{Biomonitor}} / \left(\frac{X_m}{Ca} \right)_{\text{Suelo}} \quad \text{Ec. (1)}$$

donde: FE es el factor de enriquecimiento; X_m es la concentración del elemento examinado; $()_{\text{Biomonitor}}$ se refiere a la cantidad del elemento en *T. usneoides*; $()_{\text{Suelo}}$ se refiere a la cantidad del elemento en el suelo. Las concentraciones elementales en el suelo corresponden a las reportadas por Lozano y Bernal (2005).

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestra un resumen de las concentraciones medidas en el biomonitor (mg/kg de peso seco). C_i corresponde a la concentración del elemento en la muestra no expuesta, mientras que C_m corresponde a la concentración del elemento en el biomonitor expuesto. *T. usneoides* mostró preferencia por la bioacumulación de Ca y Pb, alcanzado valores máximos de 20,566 y 51.2 mg/kg de peso seco, respectivamente. En el caso del Zn la tendencia observada fue decreciente, mientras que para el Fe y el Mn, las tendencias fueron variables.

Por otra parte, empleando las concentraciones elementales obtenidas del monitoreo de materia particulada (datos no mostrados), se calcularon los FE para cada elemento en los filtros. De forma similar, empleando las concentraciones elementales en *T. usneoides*, se calcularon los FE para cada elemento en el biomonitor (tabla 2).

En las figuras 3 y 4, se muestran las dinámicas de MDA, Pb y clorofilas (a, b y totales) en *T. usneoides* expuesta en el poblado de Tlaxcoapan. Las concentraciones de Pb y MDA (daño oxidativo) incrementaron de forma simultánea, al final del periodo de estudio se observó el valor máximo de MDA (33.0 nmol de MDA/kg de peso fresco). Se observó que al mismo tiempo que incrementaba el periodo de exposición, la concentración de Pb y de MDA, disminuían las concentraciones de clorofilas en la planta.

Con el objetivo de encontrar relaciones estadísticamente significativas entre los parámetros biológicos medidos y la mayoría de los metales analizados, se calcularon las correlaciones de Pearson para cada par de variables (tabla 3).

**CONTRIBUCIONES AL CONOCIMIENTO DE LA ECOTOXICOLOGÍA Y
QUÍMICA AMBIENTAL EN MÉXICO**

Tabla 1. Concentraciones medidas en *T. usneoides* (mg/kg de peso seco) expuesta durante la temporada de estiaje de 2008 en el municipio de Tlaxcoapan.

METAL	C_i ± SD	C_m
Ca	8483 ± 467	
Mínima		14950 ± 357
Promedio		17705 ± 1958
Máxima		20566 ± 293
Cu	7.5 ± 0.4	
Mínima		1.4 ± 0.1
Promedio		4.0 ± 1.5
Máxima		7.5 ± 0.4
Fe	614 ± 32.2	
Mínima		503 ± 22.0
Promedio		598 ± 46.8
Máxima		679 ± 31
Mn	36.9 ± 0.4	
Mínima		41.7 ± 1.1
Promedio		48.3 ± 4.9
Máxima		56.1 ± 1.8
Pb	0.30 ± 8x10 ⁻⁵	
Mínima		9.9 ± 0.2
Promedio		36.5 ± 12.9
Máxima		51.2 ± 1.1
Zn	28.16 ± 0.54	
Mínima		6.0 ± 0.2
Promedio		10.9 ± 3.4
Máxima		28.2 ± 0.5

MONITOREO AMBIENTAL

Tabla 2. Factores de enriquecimiento (FE) para cada uno de los elementos analizados en *T. usneoides* y en el material particulado (PM₁₀) durante la temporada de estiaje de 2008 en el municipio de Tlaxcoapan.

METAL	FE	
	Biomonitor	Filtro
Esenciales		
Ca	2.00	1.00
Cu	26.49	213.62
Fe	171.20	690.37
Mn	9.07	9.52
Zn	58.08	619.50
No esenciales		
Pb	224.00	256.35

Tabla 3. Análisis de correlaciones de Pearson entre las concentraciones de metales encontradas en *T. usneoides* y los parámetros biológicos medidos.

	Cha	Chb	Cht	MDA	Pb	Ca	Mn	Fe
Cha	-	-	-	-	-	-	-	-
Chb	0.604	-	-	-	-	-	-	-
Cht	0.761	0.657	-	-	-	-	-	-
MDA	-0.864	-0.601	-0.811	-	-	-	-	-
Pb	-0.719	-0.741	-0.633	0.769	-	-	-	-
Ca	-0.797	-0.778	-0.759	0.781	0.829	-	-	-
Mn	ns	ns	-0.613	ns	ns	ns	-	-
Zn	0.685	0.664	0.751	-0.811	-0.804	-0.873	ns	ns
Cu	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.598

ns: no significativa

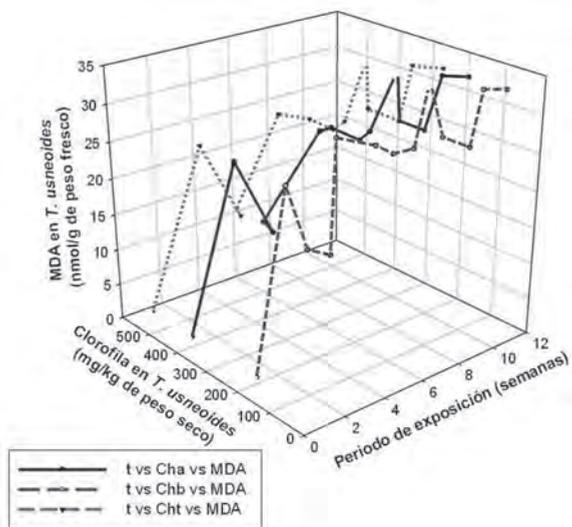


Figura 3. Dinámicas de MDA, clorofilas a (cha), b (chb) y totales (cht) en *T. usneoides* expuesta en el municipio de Tlaxcoapan durante la temporada de estiaje de 2008.

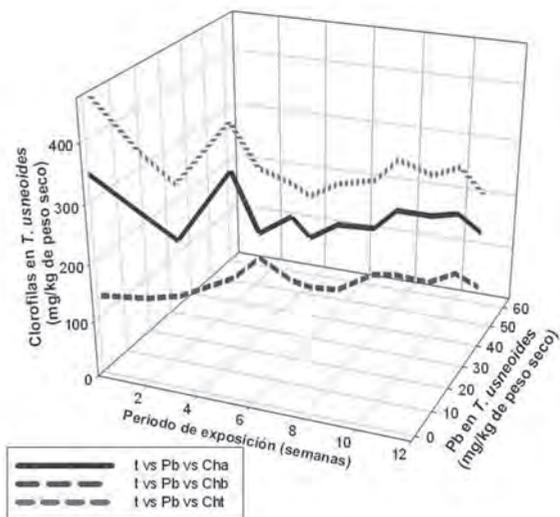


Figura 4. Dinámicas de Pb y clorofilas a (cha), b (chb) y totales (cht) en *T. usneoides* expuesta en el municipio de Tlaxcoapan durante la temporada de estiaje de 2008.

DISCUSIÓN

Aunque las concentraciones de Pb medidas en *T. usneoides* fueron relativamente altas, las muestras permanecieron verdes e incluso se observaron pequeños brotes durante ambos periodos de estudio. Esto indica que la planta fue fisiológica y metabólicamente hábil para acumular los elementos presentes en la atmósfera. Por otra parte, ciertos estudios han mostrado que el Ca juega un papel muy importante en la capacidad de las plantas para tolerar metales tóxicos como el Pb y aunque en la actualidad no se conoce del todo la ruta mediante la cual el Pb es absorbido por las plantas, a nivel molecular no se espera que las células de las plantas posean transportadores específicos para Pb y otros elementos no esenciales, más bien se presume el uso de unos ya existentes. Por lo tanto, es posible que el Pb^{2+} pueda ser transportado a través de la ruta del Ca^{2+} . También, es posible que la ruta del Ca sea usada por los iones de Pb para cruzar la membrana celular debido a la alta afinidad del Pb a los sitios enlazantes del Ca en las estructuras biológicas (Habermann *et al*, 1983; Vijverberg *et al*. 1994; Antosiewicz, 2005).

T. usneoides mostró ser un biomonitor adecuado para Pb y Ca, sobre todo para el primero, ya que de acuerdo a los FE calculados, la planta refleja más del 80% del Pb en el aire ambiente. Aunado a lo anterior, *T. usneoides* no sufrió daños visibles debido a la depositación atmosférica aún cuando hubo alcanzado las máximas concentraciones de ambos elementos.

Ciertas investigaciones han relacionado el contenido de clorofilas con diversos tipos de estrés en las plantas y la senescencia. Es bien conocido que el contenido de clorofila en las plantas es un importante parámetro para evaluar el estatus de las mismas. Por ejemplo, el contenido de clorofilas, puede ser usado como un índice del potencial fotosintético así como de la productividad de una planta. Además, la concentración de clorofila proporciona una estimación indirecta del estatus nutrimental de la planta debido a que la mayor parte del N, sobre todo en las hojas, se encuentra en las clorofilas (Goericke y Repeta, 1993). Con base en lo anterior y los valores de las correlaciones altamente significativas entre las concentraciones de MDA, Cha, Chb, Ca, Pb y Zn, el daño oxidativo generado en *T. usneoides* podría ser atribuido a un posible estrés metálico.

CONCLUSIONES

T. usneoides mostró ser un biomonitor adecuado para Ca y Pb. La depositación metálica en *T. usneoides* no afectó el crecimiento de la planta, ya que se observaron brotes, aún cuando se alcanzó la concentración máxima de Pb.

El incremento en la concentración de MDA en el biomonitor expuesto, así como la disminución en el contenido de clorofilas, puede ser atribuido a un posible estrés metálico por el aumento en las concentraciones de Pb y Ca en los tejidos de la planta.

Aunque estos resultados son preliminares, proporcionan una idea del impacto que puede tener la exposición prolongada de un organismo en los sitios estudiados.

BIBLIOGRAFÍA

- Antosiewicz D.M., 2005. Study of calcium-dependent lead-tolerance on plants differing in their level of Ca-deficiency tolerance. *Environ. Pollut.* 134: 23-34.
- Goericke R. y Repeta D.J., 1993. Chlorophylls a and b and divinyl chlorophylls a and b in the open subtropical North Atlantic Ocean *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 101: 307-313.
- Brighigna L., Ravanelli M., Minelli A. y Ercoli L., 1997. The use of an epiphyte (*Tillandsia caput medusae morren*) as bioindicator of air pollution in Costa Rica. *Sci Total Environ.* 198: 175-180.
- Buege J.A. y Aust S.D., 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Meth. Enzym.* 52: 302-310.
- Carreras H.A., Wannaz E.D. y Pignata M.L., 2008. Assessment of human health risk related to metals by the use of biomonitors in the province of Córdoba, Argentina. *Environ. Pollut.* 157: 117-122.
- De Temmerman L., Bell J.N.B., Garrec J.P., Klumpp A., Krause G.H.M. y Tonneijck A.E.G., 2004. Biomonitoring of air pollution with plants-considerations for the future. In: Klumpp A., Ansel W. y Klumpp G. (Eds.), *Urban Air Pollution, Bioindication and Environmental Awareness*. Cuvillier Verlag, Göttingen, pp. 337-373.
- EPA. Environmental Protection Agency, 1999. Determination of metals in ambient particulate matter using proton induced X-ray emission (PIXE) spectroscopy. Compendium of methods for the determination of inorganic compounds in ambient air. 1-20.
- EPA. 3052. Environmental Protection Agency, 2009. Microwave assisted digestion of siliceous and organically based matrices, available at: <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/3052.pdf>.
- Habermann E., Crowell K. y Janicki P., 1983. Lead and other metals can substitute for Ca²⁺

- in calmodulin. *Arch. Toxicol.* 54: 61-70.
- INEGI, 2005. II Censo de Población y Vivienda 2005 del Estado de Hidalgo, México. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=10215>. Última fecha de consulta: septiembre de 2009.
- Inskeep W.P. y Bloom P.R., 1985. Extinction coefficients of chlorophyll a and b in N,N-dimethylformamide and 80% acetone. *Plant Physiol.* 77: 483-485.
- Kettrup A. y Marth P., 1998. Specimen banking as an environmental surveillance tool. En: Schuurman G. y Market B. (Eds.), *Ecotoxicology: Ecological Fundamentals, Chemical Exposure and Biological Effects*, John Wiley & Sons Inc., Nueva York, pp. 413-436.
- Loska K., Cebula J., Pelczar J., Wiechula D. y Kwapulinski J., 1995. Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland. *Water, Air, and Soil Pollut.* 93: 347-365.
- Lozano R. y Bernal J.P., 2005. Characterization of a new set of eight geochemical reference materials for XRF major and trace element analysis. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.* 22 (3): 329-344.
- Lowry L.K., 1995. Role of biomarkers of exposure in the assessment of health risks. *Toxicol Lett.* 77: 31-38.
- NIST. National Institute of Standards & Technology, 2005. Air particulate on filter media. Certificate of analysis, standard reference material 2783. Disponible en: https://srms.nist.gov/certificates/view_cert2gif.cfm?certificate=2783. Última fecha de consulta: noviembre de 2009.
- NOM-043-ECOL-1993. Norma Oficial Mexicana. Disponible en: http://www.sma.df.gob.mx/simat/emisiones/emi_con_atm_043.pdf. última fecha de consulta: mayo de 2010.
- Periódico Oficial de Hidalgo, 2002. Ordenamiento Ecológico Territorial. Región Tula-Tepeji. Publicado el 10 de junio de 2002. Tomo CXXXV, No. 24.
- Pignata M.L., Gudinó G.L., Wannaz E.D., Plá R.R., González C.M., Carreras H.A. y Orellana L., 2002. Atmospheric quality and distribution of heavy metals in Argentina employing *Tillandsia capillaris* as a biomonitor. *Environ. Pollut.* 120: 59-68.
- Skov H., Wahlin P., Christensen J., Heidam N.Z. y Petersen D., 2006. Measurements of elements, sulphate and SO₂ in Nuuk Greenland. *Atmosph. Environ.* 40: 4775-4781.
- Szczepaniak K. y Biziuk M., 2003. Aspects of the biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution. *Environ. Res.* 93: 221-230.
- Vijverberg H.P.M., Oortgiesen M., Leinders T. y van Kleef R.G.D.M., 1994. Metal interactions with voltage and receptor activated ion channels. *Environ. Health Perspect.* 102: 153-158.
- Zambrano G.A., Medina C.C., Rojas A.A., López V.D., Chang M.L. y Sosa I.G., 2009. Distribution and sources of bioaccumulative air pollutants at Mezquital Valley, Mexico, as reflected by the atmospheric plant *Tillandsia recurvata* L. *Atmos. Chem. Phys.* 9: 6479-6494.