



UNIVERSIDAD  
DE GUANAJUATO

Campus Guanajuato  
División de Ingenierías



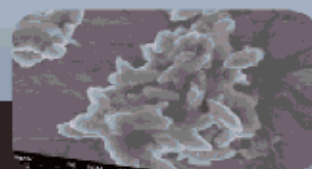
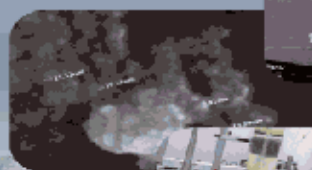
# 2do. Simposio Internacional de Bioingeniería Ambiental - SIBA

24 al 26 de septiembre del 2014

**SIBA**, el ambiente de discusión y de intercambio de conocimiento entre expertos, profesores e estudiantes, en el área de procesos aplicados en la Ingeniería Ambiental.



- Metodologías Innovadoras aplicadas a Bioprocesos
- Tratamiento de Residuos
- Tecnologías Anaerobias y Aerobias
- Energía
- Bioprocesos
- Nanotecnología
- Bioremediación
- Biotecnología
- Tratamiento de Agua



**Organización:**

Cuerpo Académico de  
Bioingeniería, Biotecnología y  
Gestión Ambiental

Departamento de Ingeniería Civil  
División de Ingenierías  
Campus Guanajuato

[www.ugto.mx](http://www.ugto.mx)

<http://www.di.ugto.mx/SIBA>



# “BIOINGENIERÍA AMBIENTAL”

ISBN: 978-607-441-330-4



DR. © 2014 Universidad de Guanajuato

Memorias del Segundo Simposio Internacional de Bioingeniería Ambiental,  
organizado por el “Grupo de Investigación de Bioingeniería, Biotecnología y  
Gestión Ambiental”

Guanajuato, Guanajuato. México

24 al 26 de Septiembre de 2014

**“BIOINGENIERÍA AMBIENTAL”**

Primera edición 2014

D.R.© 2014 Universidad de Guanajuato  
Lascaraín de Retana 5, Zona Centro.  
Guanajuato, Gto. CP. 36000

Edición: Grupo de Investigación “Bioingeniería, Biotecnología y Gestión Ambiental”

Arodí Bernal Martínez  
Germán Cuevas Rodríguez  
Sergio Antonio Silva Muñoz  
Elcia M. Souza Brito

ISBN: 978-607-441-330-4

## ÍNDICE

### LA PARTICIPACIÓN DE LA UNIVERSIDAD PÚBLICA EN EL DESARROLLO COMUNITARIO

Felipe Macías Gloria, Patricia Campos Rodríguez y Eloy Juárez Sandoval..... 1

### BIOSORPTION OF CU (II) AND PB (II) IN AQUEOUS SOLUTIONS USING PACKED COLUMNS WITH BIOSOLIDS (B) AND PYROLYSIS DERIVED BIOCHAR (BC)

Ortiz-Prieto Jorge A.<sup>1,2</sup>, Acosta-Slane Damaris<sup>1</sup>, Lozoya-Márquez Luis A.<sup>1</sup>, Gómez-Vargas  
Ramón<sup>1</sup>, González-Sánchez Guillermo<sup>1</sup>..... 14

### CARACTERIZACIÓN DE UN DESECHO AGROINDUSTRIAL MEXICANO PARA SU EMPLEO COMO MATERIAL PUZOLÁNICO

Víctor Jiménez-Quero<sup>□</sup>, Pedro Montes-García..... 23

### DESARROLLO DE UN BIOPROCESO ANAEROBIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA Y LA GENERACIÓN DE BIOGÁS

Luz Brenda Montserrat Crespo, Arodí Bernal Martínez y Germán Cuevas Rodríguez ..... 30

### REMOCIÓN DE HIERRO DISUELTU EN AGUA UTILIZANDO PET MODIFICADO QUÍMICAMENTE COMO AGENTE ADSORBENTE

T. V. Cervantes Melesio<sup>3</sup>, F. A. Horta Rangel<sup>3</sup>, M. A. Ramírez Morales<sup>1</sup>, G. Cruz Jiménez<sup>1</sup>,  
R. Navarro Mendoza<sup>2</sup> U. Morales Álvarez<sup>3</sup> <sup>□</sup>..... 37

### SECADO DE BIOMASA ALGAL EN SECADOR SOLAR

Moreno Funes José Saul, Davalos Navarrete Siikmine, Valle Moreno Andrés, Cervantes  
Torre-Marín Gemma\* ..... 44

### ESTIMACIÓN RESPIROMÉTRICA DEL RENDIMIENTO HETERÓTROFO DEL MODELO ASM1 PARA UNA PTAR EN CHIAPAS

Valeria Zuarth Coutiño<sup>1</sup>, Cristina Blanco González<sup>1</sup>, Josué Chanona Soto<sup>1</sup> y Gustavo Yáñez  
Ocampo<sup>1</sup>..... 52

### CARACTERIZACIÓN DE CEPAS BACTERIANAS NATIVAS DE UN RESIDUO INDUSTRIAL HIPERSALINO E HIPERALCALINO, CON ALTO CONTENIDO DE CROMO Y OTROS METALES

Jesús Fernando López Vázquez<sup>1</sup>, Pamela Romo Rodríguez<sup>1</sup>, J. Felix Gutiérrez Corona<sup>1</sup> ... 57

### MODELADO MATEMÁTICO DE UN PROCESO DE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

Javier Ulises Hernández-Beltrán<sup>1</sup>, Ivette Michelle Navarro-Gutierrez<sup>1</sup>, Karla Cervantes-  
Quintero<sup>1</sup>, Héctor Hernández-Escoto<sup>1</sup> <sup>□</sup>..... 63

ELABORACIÓN DE CELDAS SOLARES TIPO GRÄTZEL EMPLEANDO  
SENSIBILIZADORES DE DIFERENTE PROCEDENCIA

Mónica Cedillo Alaniz<sup>1□</sup>, Juan Carlos Baltazar Vera<sup>2</sup>, Rosalba Fuentes Ramírez<sup>3</sup> ..... 69

CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LA UNIDAD  
PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA DEL IPN

Andrés Valle Moreno, Miguel Ángel Tapia Bustos, Cristina Ortega Nonoal, Gemma  
Cervantes Torre-Marín\* ..... 74

CONCRETE WITH RAW POLYETHYLENE TEREPHTHALATE

Luis Elias Chavez Valencia<sup>1</sup>, Claudia Hernandez Barriga<sup>2</sup>, Miguel Angel Manrique Ibarra<sup>3</sup>,  
Antonio Castro Lozano<sup>4</sup> ..... 83

BIOCOMPATIBILIDAD DE COMPOSITOS ÓSEOS - OSTEOLASTOS HUMANOS

M. Sabanero López<sup>1□</sup>, L. L. Flores Villavicencio<sup>1</sup>, Z. Miranda Rodríguez<sup>1</sup>, G. Barbosa  
Sabanero<sup>2</sup>, C. Piña Barba<sup>3</sup> ..... 86

COMPARACIÓN ENTRE UNA MEMBRANA PLANA Y UNA MEMBRANA DE FIBRA  
HUECA EN LA ELIMINACIÓN DE MACRONUTRIENTES PRESENTES EN AGUA  
RESIDUAL SINTÉTICA EN UN BIORREACTOR HÍBRIDO

Marco A. Silva, Germán Cuevas<sup>□</sup> ..... 90

ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA  
TEXTIL EN LA REGIÓN SUR DEL ESTADO DE GUANAJUATO

J. Merced Martínez Rosales<sup>1</sup>, Miriam Rocío Contreras García<sup>1</sup>, Antonio Pérez Nieto<sup>2</sup> y  
Gabriela Arroyo Figueroa<sup>2</sup> ..... 97

PET MODIFICADO QUÍMICAMENTE COMO AGENTE ADSORBENTE DE MN(II) EN  
MEDIO ACUOSO

M. M. Marmolejo Lara<sup>2</sup>, L. Arroyo Álvarez<sup>1</sup>, F. A. Horta Rangel<sup>2</sup>, M. A. Ramírez Morales<sup>1</sup>, G.  
Cruz Jiménez<sup>1</sup>, U. Morales Álvarez<sup>2□</sup> ..... 102

RECICLAJE DE CELULARES POR SOLVÓLISIS PARA RECUPERAR METALES

Lorena Eugenia Sánchez Cadena<sup>1\*</sup>, Zeferino Gamiño Arroyo<sup>2</sup>, Mario Alberto González Lara<sup>3</sup>,  
Demetrio Quiroz Q.<sup>4</sup>, Oscar Coreño A.<sup>5</sup> ..... 109

REMOCIÓN DE CR(VI) EN BAJAS CONCENTRACIONES PRESENTE EN AGUA  
MEDIANTE EL EMPLEO DE BIOMASA DE ORIGEN NATURAL

Pablo Carmona Medina<sup>1</sup>, Juan Jesús Serafín Muñoz<sup>1</sup>, Francisco Agustín Vidó García<sup>1</sup>,  
Francisco Javier Acevedo Aguilar<sup>2</sup>, Leticia López Martínez<sup>2</sup> ..... 115

CARACTERIZACIÓN DE CEPAS BACTERIANAS NATIVAS DE RESIDUOS  
INDUSTRIALES CON ALTO CONTENIDO DE METALES

Chávez Elías Amelia Fabiola<sup>1</sup>, Romo Rodríguez Pamela<sup>1</sup>, Gutiérrez Corona J. Félix<sup>1□</sup> ..... 121

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Brett González <sup>1</sup> , Alejandra Cruz <sup>1</sup> .....	128
EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE <i>TRAMETES VERSICOLOR</i> EN PRESENCIA DE FURADAN®, BOSCALID (CANTUS)® Y QUINTACENO® Fátima Ojeda-Rodríguez <sup>1</sup> , Héctor G. Nuñez <sup>2</sup> , Blanca E. Gómez <sup>3</sup> , Noé Saldaña <sup>4</sup> , ..... Graciela M. L. Ruiz-Aguilar <sup>1*</sup> .....	134
TRATAMIENTO VÍA FENTON DE AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA Paola Abigail Martínez Aldape <sup>1</sup> , Carlos J. Escudero S. <sup>2</sup> .....	139
EFFECT OF THE WALNUT SHELL PECANERA IN GYPSUM Luis Elías Chávez Valencia <sup>1</sup> , Claudia Hernández Barriga <sup>2</sup> , Martín Alejandro Moreno Hernández <sup>3</sup> , Cesar Leonardo Ruiz Jaime <sup>4</sup> .....	144
ISOLATION OF SULFATE-REDUCING BACTERIA FOR POTENTIAL BIOREMEDIATION OF METAL-CONTAMINATED EFFLUENTS María Fernanda Pérez Bernal <sup>1*</sup> , Jéssica Jazmín Gómez Marmolejo <sup>1</sup> , Elcia M.S. Brito <sup>1</sup> , Germán Cuevas Rodríguez <sup>1</sup> .....	148
EVALUACIÓN DE UN CONSORCIO BACTERIANO Y UN EFLUENTE DE BIODIGESTOR ANAEROBIO PARA LA PRODUCCIÓN DE LOMBRICOMPOSTA Elsa A. Guerrero, Héctor G. Nuñez, Víctor Olalde-Portugal, Vicente J. Álvarez, Rafael Veloz Graciela M. L. Ruiz-Aguilar* .....	153
APLICACION OF MICROCULTURE FOR BACTERIAL ISOLATION FROM INDUSTRIAL RESIDUE CONTAMINATED BY HEXAVALENT CHROMIUM Mariana Pérez Medina <sup>1□</sup> , Carolina Alejandra Martínez Gutierrez <sup>2□</sup> , Reyna Edith Padilla-Hernández <sup>3</sup> , Julio Cesar Valerdi Negreros <sup>1</sup> , Germán Cuevas Rodríguez <sup>4</sup> , Elcia M.S. Brito <sup>4□</sup> .....	158
AISLAMIENTO DE BACTERIAS ANAEROBIAS DEL LAGO ALKALINO DEL CRÁTER DEL RINCÓN DE PARANGUEO Rivera Martínez, Laura Guadalupe <sup>1□</sup> , Cuevas-Rodríguez, Germán <sup>2</sup> , Malm Olaf <sup>3</sup> , Brito Elcia M. S. <sup>2</sup> .....	163
USING TILLANDSIA <i>USNEOIDES</i> AS BIOMARKER OF HEAVY METALS IN THE ATMOSPHERE: GUANAJUATO TUNELS Pedro Antonio Zárate-Santoyo <sup>1</sup> , Elcia M.S. Brito <sup>1</sup> , Adan Lino <sup>2</sup> , Rodrigo Meire <sup>2</sup> , Olaf Malm <sup>2</sup> , Joao P.M. Torres <sup>2</sup> , Germán Cuevas-Rodríguez <sup>1</sup> .....	169
ANAEROBIC BIOTRANSFORMATION OF HEXAVALENT CHROMIUM IN BATCH REACTORS Alba América Moreno González, Sergio Antonio Silva Muñoz, Elcia Souza Brito, Germán Cuevas Rodríguez, Arodí Bernal Martínez .....	175

## USING *TILLANDSIA USNEOIDES* AS BIOMARKER OF HEAVY METALS IN THE ATMOSPHERE: GUANAJUATO TUNELS

*Pedro Antonio Zárate-Santoyo*<sup>1</sup>, *Elcia M.S. Brito*<sup>1</sup>, *Adan Lino*<sup>2</sup>, *Rodrigo Meiré*<sup>2</sup>, *Olaf Malm*<sup>2</sup>, *Joao P.M. Torres*<sup>2</sup>, *Gérman Cuevas-Rodríguez*<sup>1</sup>

Dept. Ing. Civil – Ing. Ambiental, D.I., Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México, <sup>2</sup>Alnst. Biofisica Carlos Chagas Filho, (LREPF-IBCCF-UFRJ), Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: [santoyo.pedro@hotmail.com](mailto:santoyo.pedro@hotmail.com), [emsbrito@gmail.com](mailto:emsbrito@gmail.com)

### ABSTRACT

We use *Tillandsia usneoides* as a biomonitor of metal atmospheric pollution because it is well adapted to dry and hot regions, and is usually used as a bioindicator in tropical areas [1]. *Tillandsia usneoides*, also known as "Spanish moss", is an aerial epiphytic bromeliad that lives on trees or other kinds of inert substrates, absorbing water and nutrients directly from the environment. Due to its morphological and physiological characteristics this species accumulates the pollutants present in the atmosphere, become very efficient as air pollution biomonitors. They have no contact with soil, taking out nutrients from the atmosphere, and their tissue content largely reflects atmospheric contamination. In general, they are excellent accumulator biomonitors. The *Tillandsia usneoides* was installed on the Guanajuato network tunnels on December of 2011. The plastic passive sampler was made (sphere of 10 cm of diameter) containing 50g of *T. usneoides*, and exposed to the air during 45 days. At total were installed 21 samplers. The *T. usneoides* was collected on Santa Rosa, a site theoretically free of atmospheric input contamination, which was also used as a control. After the exposition, the plants were cut on small pieces of 1 mm, the metals (Cd, Fe, Zn, Cr, Cu and Hg) were extracted with acid, and then determined by absorption atomic flame (Varian AAS – AA240FS or FIMS 400). The metal concentrations vary of 264 - 1512  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  Fe, 3.87 – 9.28  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  Cu, 1.55 – 292.70  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  Zn, 0.56 – 4.20  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  Cr and 0.20 – 2.72  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  Hg. The biomonitoring showed that the atmosphere in the studied areas had significantly higher metal concentrations than the control sites.

### INTRODUCCION

La ciudad de Guanajuato empezó su expansión con el descubrimiento de oro en 1558, con la mina de rayas y muy pronto fue considerada la ciudad más rica de la nueva España. Dicha expansión se refleja en su población que pasa de 4 mil habitantes al final del siglo XVI y para 18 mil habitantes, en la mitad del siglo XVIII. A lo largo de su historia ha tenido problemas de inundaciones lo que llevó a los gobernantes a desviar el cauce del río Guanajuato, transformando dicho río en la calle Miguel Hidalgo y Costilla. Al final de los años 60 el gobierno local ordena una remodelación del centro histórico, y el lecho del río se convierte en la subterránea. Y varios otros túneles son construidos, creando un laberinto de calles, que sirvieron en ese momento para desviar el tráfico y desahogar el centro histórico. Actualmente, dichos túneles enlazan de manera corta y directa varios puntos de la ciudad y por eso son utilizados también por los peatones. [1, 2].

Los túneles de Guanajuato hacen parte un patrimonio histórico y cultural de la ciudad, sin embargo no poseen una ventilación adecuada y el intenso tráfico vehicular produce una contaminación atmosférica local que aún no ha sido estudiada. Aunado a esto los peatones están expuestos a dichos contaminantes por eso en este trabajo se postula estudiar parte de estos contaminantes, utilizando un bioindicador. Varios trabajos han utilizado una especie de bromelia como bioindicador de contaminación atmosférica, la *Tillandsia usneoides*. Las especies de *Tillandsia* realizan el metabolismo del ácido crasuláceo (CAM) lo que las posibilita de sobrevivir a condiciones de

extremas de sequía. Respecto a la especie de *T. usneoides*, esta es una bromelia epífita que no posee raíces y tiene su tallo y hojas cubiertas por tricomas. Dichos tricomas la posibilita absorber vapores de agua y nutrientes directamente del aire, características que explica el amplio uso de ésta especie como bioindicador de contaminación atmosférica [3]: por ejemplo, Pereira y col., la utilizaron para evaluar los contaminantes orgánicos persistentes (PCBs, HPA, dioxinas, DDTs); Malm y col., han utilizado esta especie como trazador de mercurio atmosférico en la Amazonia y Rio de Janeiro, estudiando específicamente el aire *in-door* de sitios de quema de oro y en empresas de cloro-álcali [4]. Es una especie ampliamente utilizada para estudiar metales pesados en el aire: en el parque Nacional de Itatiaia Brasil [5], en la ciudad de Sao Paulo [6], en varios puntos de Argentina [7.], en Perú [8] y col. y en Florida [9]. Los metales pesados son de interés ambiental debido a su elevada toxicidad, además su principal fuente son debido a actividades humanas. Ellos pueden ser introducidos a la atmósfera por actividades industriales, por la quema de combustibles fósiles y lubricantes, y vía la erosión de distintas actividades [5]. La concentración de estos elementos en los tejidos de la planta refleja largamente la concentración de estos poluentes atmosféricos ya que ella no posee contacto con el suelo y por eso se destaca como excelente bioindicador atmosférico. Se puede definir un buen bioindicador el organismo o parte del organismo capaz de acumular un xenobiótico y que éste contaminante no cause efecto dañoso al bioindicador en el periodo estudiado [6].

El principal objetivo de este trabajo es la utilización de la *T. usneoides* como bioindicador para evaluar la contaminación por metales y metaloides, utilizando como estudio de caso los túneles de la ciudad de Guanajuato.

## METODOLOGIA

*Muestreador de aire y pre-tratamiento del bioindicador* – Se construyeron los muestreadores del aire a partir de cestas plásticas formando una pequeña esfera de 15 cm de diámetro. En estas cestas se colocaron 50 g del bioindicador. Para impedir que la planta se mojara en la parte superior de esa esfera se instaló un disco de 40 cm de diámetro (Figura 1). Se seleccionó un sitio en la Sierra de Santa Rosa (Guanajuato), donde aparentemente no posee fuente de los contaminantes atmosféricos estudiados, para la colecta de los bioindicadores. Únicamente se utilizó partes visualmente verdes y no secas de la planta. Estas fueron lavadas con agua y secas al aire, antes de pesar. En cada soporte se puso 50 g del bioindicador.

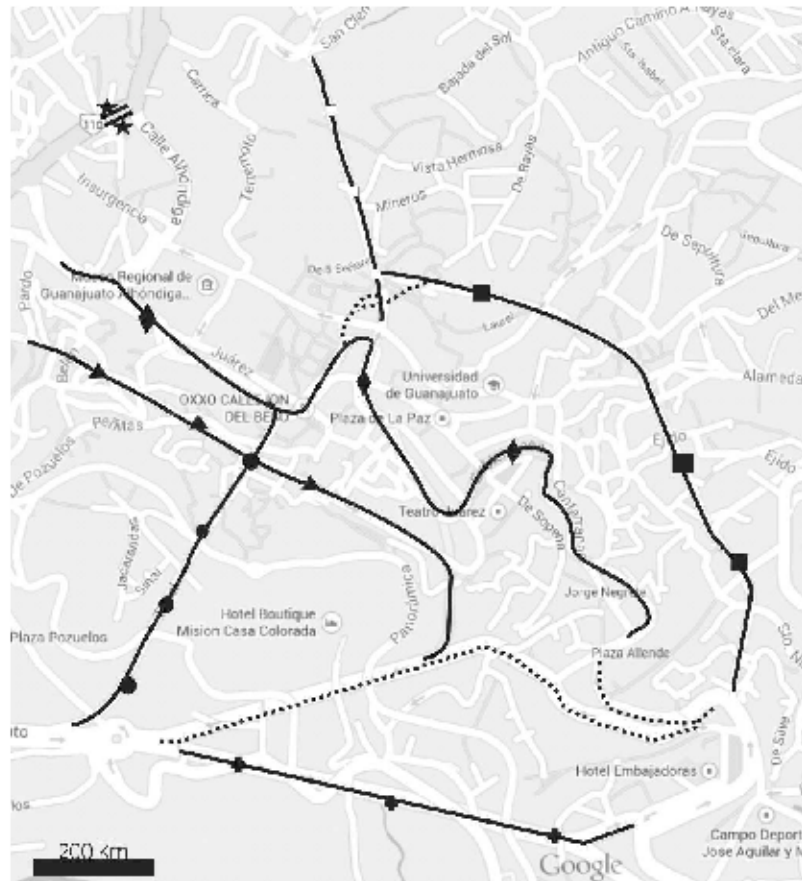


Figura 1. Muestreador y foto del bioindicador.

*Sitios de muestreo* – En la selección de los puntos de muestreo se llevó en consideración (a) la utilización por el tráfico vehicular, (b) la utilización peatonal, (c) la longitud del túnel (d) puntos donde había cruce de dos o más túneles. Se instalaron entre 2 a 4 muestreadores por túnel, y en la



parte más elevada de estos. La distribución de estos está ilustrada en la Figura 2. Dichos soportes se quedaron expuestos por 45 días, entre diciembre de 2011 y enero de 2012. En el día de la recolección de bioindicadores, se abrió los muestreadores en el sitio de muestreo, se almacenó la planta en bolsa ziploc individuales, y se envolvió cada bolsa con hojas de papel aluminio para evitar en contacto con la luz u otro agente externo. Estas bolsas se almacenaron en refrigeración (4 °C) hasta su procesamiento. La instalación y recolección de los muestreadores se realizó con el apoyo de Tránsito Municipal y la dirección de Alumbrado Público de la ciudad de Guanajuato.



- ◆ Túnel Boulevard Guanajuato-embajadoras
- Túnel Los Angeles
- Túnel Ponciano Aguilar
- Túnel Tiburcio Alvarez
- ★ Túnel Tamazuca
- ▲ Túnel Juan Valle
- ◆ Túnel Miguel Hidalgo y Costilla

Figura 2 – Localización de los muestreadores en la malla de túneles de la ciudad de Guanajuato.

*Determinación de metales* - Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Radioisótopos

Eduardo Pena Franca de la Universidade Federal do Rio de Janeiro (LREFP/IBCCF/UFRJ), Brasil. En el laboratorio se cortaron las muestras de *Tillandsia* en pequeños trozos menores que 1mm. Las muestras se procesaron en triplicado.

Para la extracción del mercurio total se utilizó la metodología descrita en Bastos y col. [10] que se describe resumidamente a continuación: a 0,1 g de muestra se le agregó 5 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado, 1 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, y se digirió en baño-maría a 100°C durante 1h; se enfrió en baño de hielo y se le agregó 4 mL de KMnO<sub>4</sub> 5%, y después se digirió (en baño-maría a 100°C) por más 30 min. Se dejó en reposo a temperatura ambiente 18h, y se neutralizó la solución con 1.5 mL de clorhidrato de hidroxilamina, 12%. Se aforó a 10 mL con agua Milli-Q, y se determinó el Hg Total en el FIMS 400. Para la extracción de los metales se utilizó la metodología descrita en Malm y col. [11].

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se presentan en la Tabla 1. Estudios han mostrado que hay una correlación lineal ( $r=0.99$ ;  $p<0.05$ ) entre la concentración del Hg atmosférico medido con muestreadores de aire tradicionales (que miden en  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  de aire) con las medidas con la *T. usneoides* (que se miden en  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de planta). Además afirman que esta relación es aún más verdadera para los ambientes cerrados que los abiertos [Fonseca 2007]. Basados en esa premisa, inferimos la contaminación atmosférica directamente con el valor acumulado en el bioindicador utilizado. Adicionalmente comparamos estos datos con de otros trabajos utilizando la *T. Usneoides* también como un bioindicador de contaminantes atmosféricos.

La concentración de los metales variaron de 264 - 1512  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  Fe, 3.87 - 9.28  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  Cu, 1.55 - 292.70  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  Zn, 0.56 - 4.20  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  Cr and 0.20 - 2.72  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  Hg. La organización mundial de salud (WHO) ha establecido los límites para la exposición ocupacional al Hg<sup>0</sup> (a largos periodos) de 50  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  in el aire [Fonseca 2007], y aparentemente el aire de los túneles está por debajo de ese límite, y no presenta peligro a los peatones que transitan estos túneles. Respecto a los otros metales, los datos obtenidos en la *Tillandsia* se compararon con los observados en dos ciudades metropolitanas conocidas por su pésima calidad del aire, las ciudades de Sao Paulo (SP), Brasil y la ciudad de México (DF), México. Se seleccionaron estos datos porque para estos se utilizaron también la *Tillandsia* como un bioindicador de la cualidad del aire. Se puede observar que los túneles de Guanajuato poseen elevados contenidos de Cr y de Fe comparados a los observados en SP y en el DF. Algunos túneles, tal como el Ponciano Aguilar y el Tamazuca, tuvieron concentraciones de Zn muy superiores a SP y del DF. En los túneles de Los Ángeles y la subterránea (túnel Boulevard Guanajuato-Embajadoras) los valores para el Cu fueron mucho más que los observados en dichas ciudades (56  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  y 48  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  para SP y el DF respectivamente, comparados a los 12.000 y 13.000  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  para los túneles Los Ángeles y la subterránea, respectivamente). Por otro lado, las concentraciones de Cd y del Fe, estuvieron bajo los valores detectados en SP y DF.

Segundo Simposio Internacional de Bioingeniería Ambiental 24, 25 y 26 de Septiembre 2014

Tabla 1. Metales totales determinados en la *Tillandsia usneoides*. Las muestras fueron analizadas en duplicados y están expresos en  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de planta digerida.

Túnel/Metal	Hg	Cr	Cd	Zn	Fe	Cu
<b>Los Angeles</b>	3,212±0,02	3,867±0,719	0,149±0,0	28,668±0,4	1170,5±10,1	8,322±0,032
	2,917±0,0001	3,782±0,874	0,145±0,0	26,836±1,2	1158,1±104,4	7,292±0,664
	2,025±0,370	4,950±1,151	0,098±0,0	35,554±0,4	1443,2±22,3	12,222±0,232
<b>Boulevard Guanajuato-Embajadoras</b>	2,025±0,01	3,119±0,061	0,207±0,1	31,732±1,8	1545,8±138,5	13,295±1,223
	0,181±0,005	2,134±0,015	0,274±0,0	38,845±0,6	816,2±3,0	3,848±0,015
<b>Juan Valle</b>	0,213±0,0159	1,713±0,093	0,602±0,1	33,569±0,3	831,2±94,1	
	0,222±0,0264	1,550±0,191	0,421±0,1	29,441±2,1	619,4±83,4	
	0,244±0,0193	2,098±0,203	0,341±0,2	87,333±14,9	896,1±103,5	
<b>Miguel Hidalgo y Costilla</b>	0,234±0,0162	2,383±0,062	0,195±0,0	31,454±0,12	893,8±25,6	4,745±0,045
	0,162±0,1569	2,925±0,184	0,233±0,0	40,029±0,2	1063,3±0,6	9,772±0,427
	0,200±0,0179	2,123±0,367	0,152±0,0	31,4314±0,4	1080,5±434,3	3,493±0,604
	0,202±0,0028	1,703±0,049	0,156±0,0	35,046±0,8	1098,7±30,4	6,166±0,141
<b>Ponciano Aguilar</b>	0,366±0,0022	3,303±0,228	0,165±0,0	304,69±1,6	1105,7±12,4	5,016±0,0195
	0,259±0,0359	2,600±0,062	0,250±0,1	35,272±0,4	885,5±52,5	3,421±0,147
	0,217±0,0226	1,646±0,037	0,113±0,0	27,042±0,4	781,8±4,0	3,764±0,046
<b>Tamazuca</b>	0,309±0,0246	3,054±0,094	0,213±0,0	296,18±2,9	868,5±6,1	4,326±0,041
	0,228±0,0006	2,436±0,168	0,333±0,2	289,208±3,6	819,6±22,8	3,419±0,235
<b>Tiburcio Álvarez</b>	0,168±0,0012	0,562±1,023	0,342±0,2	12,55±19,3	284,7±374,3	
	2,327±0,0604	2,409±0,173	0,185±0,0	28,287±0,2	1178,7±9,5	
	0,272±0,0011	1,467±0,085	0,318±0,1	30,386±1,1	542,0±6,9	
	0,249±0,0132	1,889±0,076		35,800±0,2	872,1±2,2	
<b>Dados de referencia</b>		1,3 -3,7 (a)		42 -102 (a)	650 - 1189 (a)	2,7 - 56 (a)
		0,8-40,4 (b)	0,9-6,5 (b)	3,7-192 (b)	401-4368 (b)	2 - 48,4 (b)

(a) Sao Paulo [6] , (b) T. Recurvata ,Mezquiral Valley, México [10],

## CONCLUSIONES

La utilización de la *Tillandsia usneoides* puede ser muy útil en la evaluación de la calidad del aire, sobre todo para los metales: Es una planta endémica en México lo que torna un método económico, y no requiere energía para ponerse en marcha. Además, se puede poner varios mostradores para realizar un análisis estadístico. Por no poseer valor económico agregado si pierden muy pocos mostradores. La comparación de los datos con de lo de la literatura hace validar la técnica.

La calidad del aire en los túneles de Guanajuato es comparable con el aire de dos grandes metrópolis, las Ciudad de Sao Paulo y el DF México, y tránsito de los peatones puede ser peligroso a la salud de estos. Sin embargo, sería muy interesante realizar este estudio temporalmente, es decir, haciendo colectas a lo largo del año.

## AGRADECIMENTOS

Ese trabajo recibió el financiamiento de CONACyT y del CNPq (proyecto de cooperación internacional Brasil-México).

## REFERENCIAS

- [1] Clark, Dean. "Teaching (and learning) in Guanajuato." *The Leading Edge* 5.7 (1986): 15-
  - [2] Bower, D., & Bower, C. (2006). Guanajuato, Mexico. Universal-Publishers.
  - [3] Vianna, N. A., Gonçalves, D., Brandão, F., de Barros, R. P., Amado Filho, G. M., Meire, R. O., . & Andrade, L. R. (2011). Assessment of heavy metals in the particulate matter of two Brazilian metropolitan areas by using *Tillandsia usneoides* as atmospheric biomonitor. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(3), 416-427.
  - [4] Calasans, C. F., & Malm, O. (1997). Elemental mercury contamination survey in a chlor-alkali plant by the use of transplanted Spanish moss, *Tillandsia usneoides* (L.). *Science of the total environment*, 208(3), 165-177.
  - [5] de Souza Pereira, M., Heitmann, D., Reifenhäuser, W., Meire, R. O., Santos, L. S., Torres, J. P. M., ... & Körner, W. (2007). Persistent organic pollutants in atmospheric deposition and biomonitoring with *Tillandsia usneoides* (L.) in an industrialized area in Rio de Janeiro state, southeast Brazil—Part II: PCB and PAH. *Chemosphere*, 67(9), 1736-1745.
  - [6] Figueiredo, A. M. G., Nogueira, C. A., Saiki, M., Milian, F. M., & Domingos, M. (2007). Assessment of atmospheric metallic pollution in the metropolitan region of São Paulo, Brazil, employing *Tillandsia usneoides* L. as biomonitor. *Environmental Pollution*, 145(1), 279-292.
  - [7] Wannaz, E. D., Carreras, H. A., Pérez, C. A., & Pignata, M. L. (2006). Assessment of heavy metal accumulation in two species of *Tillandsia* in relation to atmospheric emission sources in Argentina. *Science of the Total Environment*, 361(1), 267-278.
  - [8] Bedregal, P., Mendoza, P., Ubillús, M., Torres, B., Hurtado, J., Maza, I., & Espinoza, R. (2009). El uso de *Usnea* sp. y *Tillandsia capillaris*, como biomonitores de la contaminación ambiental en la ciudad de Lima, Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 75(4), 479-487.
  - [9] Husk, G. J., Weishampel, J. F., & Schlesinger, W. H. (2004). Mineral dynamics in Spanish moss, *Tillandsia usneoides* (Bromeliaceae), from Central Florida, USA. *Science of the total environment*, 321(1), 165-172.
  - [10] Zambrano García, A., Medina Coyotzin, C., Rojas Amaro, A., López Veneroni, D., Chang Martínez, L., & Sosa Iglesias, G. (2009). Distribution and sources of bioaccumulative air pollutants at Mezquital Valley, Mexico, as reflected by the atmospheric plant *Tillandsia recurvata* L. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(17), 6479-6494.
- Fonseca, M. F., Bastos, W. R., Pinto, F. N., Rebelo, M. D. E. F., Torres, J. P. M., Guimarães, J. R. D., ... & Malm, O. (2007). Can the Biomonitor *Tillandsia usneoides* Be Used to Estimate Occupational and Environmental Mercury Levels in the Air?. *J. Braz. Soc. Ecotoxicol*, 2(2), 129-137.