



uaim

RA XIMHAI

Volumen 12 Número 4 Edición Especial

Enero – Junio 2016

43-55

ANÁLISIS DE METALES PESADOS EN PARQUE ESTATAL “FLOR DEL BOSQUE”

ANALYSIS OF HEAVY METALS IN STATE PARK “FLOR DEL BOSQUE”

José Carlos **Mendoza-Hernández**^{1*}; Janette **Arriola-Morales**¹; Gabriela **Pérez-Osorio**¹; Ángel **Silveti-Loeza**¹; Miriam **Vega-Hernández**¹; Ana Lilia **Portillo-Zapotitla**¹; Olimpia **Jaramillo-Hernández**¹ y Ricardo **Morales-Juárez**²

¹Benemérita Universidad autónoma de Puebla. ¹Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.

²Instituto Tecnológico de Puebla. *correo electrónico: josecarlos.mendoza@correo.buap.mx

RESUMEN

Dada la importancia de conservar las aéreas naturales protegidas, y considerando que las actividades antropogénicas pueden afectar a los vegetales y el y suelo en el Parque Estatal “Flor del Bosque”, se propuso como objetivo del trabajo analizar la concentración de seis metales pesados tóxicos (Cr, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb), en hojas de ocho especies vegetales (*Quercus mexicana*, *Quercus rugosa*, *Juniperus deppeana*, *Juniperus fláccida*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus globulus*, *Mimosa malacophylla* y *Euforbiáceas*) y muestras de suelo agrupadas en cuatro zonas diferentes (pino, encino, eucalipto y pastizales) dentro del área de estudio, para lo cual se colectaron muestras de vegetales durante un año y de suelo en época de lluvias y de estiaje. Las muestras se trataron bajo lo establecido por la normatividad mexicana para cuantificar metales. Cabe destacar que los seis metales analizados (Cr, Cd, Cu, Hg, Ni y Pb), se encontraron en todas especies de vegetales y en la fracción total del suelo, mientras que en la fracción disponible del suelo el Cr no fue detectable en ninguna zona, indicando que no será fácilmente adquirible por las plantas mediante las raíces. Se encontró una elevada correlación entre Cr-Cu en la mayoría de los vegetales indicando una fuente común. Las concentraciones de los metales están dentro de los límites permisibles para no causar una fitotoxicidad, pero estos se pueden seguir acumulando en raíz, tallo, hojas y causar un daño a vegetales y un deterioro del área natural protegida “Flor del Bosque Puebla”.

Palabras clave: área protegida, metales en vegetales, contaminación.

SUMMARY

Given the importance of conserving protected areas, and considering that human activities can affect plants and the soil and the "Flower Forest" State Park set a target of work analyzing the concentration six toxic heavy metals (Cr, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb) in sheets of eight plant species (*Quercus Mexico*, *Quercus rugosa*, *deppeana Juniperus*, *Juniperus flaccid*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus globulus*, *Mimosa malacophylla* and *Euforbiáceas*) and soil samples grouped into four different areas (pine, oak, eucalyptus and pastures) within the study area, for which vegetable samples were collected for a year and land in rainy and dry season. The samples were treated under the provisions of Mexican law to quantify metals. It notes that the six metals tested (Cr, Cd, Cu, Hg, Ni and Pb), were found in all plant species and the total fraction of the soil while the soil available in the Cr fraction was not detectable in any area, indicating that there be readily available to plants through the roots. A high correlation between Cr-Cu was found in most vegetable indicating a common source. The concentrations of metals are within permissible limits not to cause chemical injury, but they can continue to accumulate in root, stem, leaves and cause plant damage and deterioration of the protected area "Flor del Bosque Puebla."

Key words: protected area, metal plant, pollution.

INTRODUCCIÓN

El proceso de la industrialización y la urbanización rápida, durante los últimos años, dieron lugar a un aumento en la contaminación de la atmósfera y esto es debido a diferentes compuestos como óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, plaguicidas partículas suspendidas y metales pesados. La actividad industrial y el tráfico automotor cumplen un rol importante en la formación de partículas y participan directa e indirectamente en la formación de aerosoles secundarios; en consecuencia, la concentración de partículas en áreas urbanas es alta comparada con áreas no urbanas (Saskia 1998, Fernández *et al.* 2000). Los metales pesados, se emiten a la atmósfera mediante fuentes industriales y otras antropogénicas (Cayir, *et al.*, 2007, Das *et al.*, 2007). La exposición a los metales pesados, es un problema significativo de la toxicología ambiental; su contaminación, ha aumentado considerablemente desde la década de 1900. Se sabe que los ambientes cercanos a las carreteras son contaminados por metales pesados emitidos de la combustión de los motores de los vehículos. Estos metales, se están depositando constantemente en pequeñas cantidades durante periodos largos de tiempo, acumulándose en el ambiente y pueden ser un peligro para los ecosistemas y la salud humana. (Srinivas *et al.*, 2009; Affum *et al.*, 2008, Gutiérrez-Ruíz *et al.*, 2007). Actualmente existe una gran preocupación a nivel mundial con relación a la contaminación por transporte atmosférico de los metales pesados a gran escala debido a su capacidad de asociación a masas de aire, por efectos de recirculación de los vientos, dichos metales tienden a depositarse en áreas alejadas a su fuente de origen (Machado *et al.*, 2008). La deposición atmosférica se ha identificado como la fuente principal de metales pesados en las plantas y el suelo, especialmente alrededor de áreas urbano-industriales. Los aerosoles del metal depositados sobre el suelo, se pueden absorber a través de la raíz o depositar en las hojas y el fruto y absorber directamente. (Pandey *et al.*, 2009; Srinivas *et al.*, 2009, Wu *et al.*, 2008). Algunos oligoelementos, son esenciales en la nutrición de la planta, pero las plantas que crecen en un ambiente contaminado, pueden acumular los oligoelementos en altas concentraciones, causando un riesgo serio a la salud humana. (Srinivas *et al.*, 2009; Gharaibeh *et al.*, 2010). El uso de plantas como monitores de la contaminación atmosférica, se ha estudiado históricamente, pues las plantas, son los aceptadores iniciales de la contaminación atmosférica, pues actúan como limpiadores para muchas macropartículas y aerotransportadas a través de la atmósfera. La demanda de medios de transporte rápidos ha aumentado durante las últimas décadas debido a la explosión demográfica. Esto ha llevado de manera paralela a un enorme aumento en el número de diversos tipos de vehículos, que ahora se ha convertido en una fuente importante de contaminación atmosférica a nivel global. El uso de automóviles, está creciendo rápidamente y la contaminación que estos generan es mayor que la causada por la emisión del polvo y de los gases venenosos. Los vehículos de motor de combustión interna de gasolina y diésel, originan un 60-70% de la contaminación generada en ambientes urbanos (Joshi and Swami, 2009; Mohd *et al.*, 2009).

Los metales pesados, se pueden nombrar como “elementos potencialmente tóxicos”, los cuales, de acuerdo a la lista de contaminantes prioritarios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), incluyen a los siguientes elementos: arsénico, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, plata, cadmio, mercurio, titanio, selenio y plomo (INECC).

En condiciones normales, la mayoría de los compuestos de los metales potencialmente tóxicos, se encuentran en cantidades fijadas por consideraciones de orden geológico y en formas químicas bastante insolubles, por lo tanto, no representan un peligro potencial para la biota. No obstante, como consecuencia de las diversas actividades humanas, principalmente la industrial, esta situación ha cambiado radicalmente, debido a que en los suelos, diversos compuestos de estos

elementos se presentan en grandes cantidades y/o en formas solubles, rompiendo el equilibrio natural y causando la contaminación de acuíferos y en ocasiones, la introducción de estos elementos en la red trófica. Dos factores esenciales que contribuyen a los efectos perjudiciales de los metales pesados son: 1) Los metales no son destruidos a través de la degradación biológica como es el caso de diversos contaminantes orgánicos y 2) Los metales tienden a acumularse en el medio ambiente y a asociarse a la materia orgánica e inorgánica mediante procesos de adsorción, de formación de complejos y combinaciones químicas (Alloway, 1990).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se realizaron muestreos de vegetales mensualmente entre el período de enero a diciembre del 2012 en el Parque Estatal Lázaro Cárdenas "Flor del Bosque" (Figura 1). Los sitios fueron elegidos en base a las diferencias de vegetación y cada una considerada como una zona de estudio (pino o zona 1, encino o zona 2, eucalipto o zona 3 y pastizales o zona 4).

Para las muestras de suelo se realizó un muestreo en época de sequía, alrededor de los vegetales en estudio, considerando las cuatro zonas de estudio. Las muestras de suelo fueron de 0 a 30 cm.

Análisis de metales

En cada una de las zonas se realizó una recolección de hojas de las diferentes especies de vegetales encontradas en cada una (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus globulus*, *Juniperus deppeana*, *Quercus mexicana*, *Euforbiáceas*, *Quercus rugosa*, *Mimosa malacophylla*, *Juniperus fláccida*). Las hojas se secaron en el horno Riossa H-41 a 60 °C durante 24 horas. Para el análisis de los metales (Cr, Cd, Cu, Hg, Ni y Pb), las hojas de los diferentes vegetales que se recolectaron se mezclaron y se trituraron, de esta mezcla se realizó una digestión ácida en el horno de microondas SEV DIG-1 con 0.5 g de muestra, 5 mL de HCl, 10 mL de HNO₃ y 2 mL de H₂O₂, y se determinó su concentración mediante el equipo de absorción atómica Perkin Elmer Analyst 400 (EPA 3052).

El suelo recolectado, se preparó como lo indica la determinación AS-01 de la NOM-021- RECNAT-2000, y posteriormente se eliminó la materia orgánica en una mufla a 400 °C, se procedió a realizar la digestión con 10 mL de HNO₃, 5 mL de HCl y 2 mL de H₂O₂ concentrado respectivamente, se realizó la digestión en el horno de microondas, para la determinación los metales totales.

Para los metales disponibles el tratamiento es: agitar 20 g de suelo con 40 mL de solución DTPA-TEA-CaCl₂ durante 2 hr a 480 rpm, filtrar las muestras y aforar a 50 mL con agua desionizada (NMX-AA-051-SCFI-2001; NOM-021-RECNAT-2000).

Tanto los metales totales como solubles fueron medidos en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer Analyst 400.

Cuadro 1.- Distribución de las especies vegetales en cada zona

Nombre Científico	Nombre Común	ZN1	ZN2	ZN3	ZN4
<i>Quercus mexicana</i>	Encino	x	x	x	
<i>Quercus rugosa</i>	Encino	x	x	x	
<i>Juniperus deppeana</i>	Pino	x	x	x	x
<i>Juniperus fláccida</i>	Pino	x	x	x	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto		x	x	x
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto		x	x	
<i>Mimosa malacophylla</i>	Uña de Gato	x	x		
<i>Euforbiáceas</i>	Cola de Zorra	x		x	

ZN1: Zona pino, ZN2: Zona encino, ZN3: Zona eucalipto, ZN4: Zona pastizales



Figura 1.- Distribución de las zonas de muestreo en el parque “Flor del Bosque”.

Región	Tipo de Vegetal
Zona 1	Pino
Zona 2	Encino
Zona 3	Eucalipto
Zona 4	Pastizales

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores promedio de los metales Cr, Cd, Cu, Hg, Ni y Pb obtenidos de un año en mg Kg^{-1} presentes en ocho especies de vegetales (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus globulus*, *Juniperus deppeana*, *Quercus mexicana*, *Euforbiáceas*, *Quercus rugosa*, *Mimosa malacophylla*, *Juniperus fláccida*) y en suelo de las cuatro zonas de estudio del parque estatal “Lázaro Cárdenas, Flor del Bosque”, fueron estudiados para conocer las posibles afectaciones a un área protegida y que representa uno de los pulmones de la Ciudad de Puebla.

De acuerdo a las concentraciones obtenidas de metales en *Eucalyptus camaldulensis* (Cuadro 1) los valores mayores corresponden al Cr (2.527 mg kg^{-1}) y Pb (3.286 mg kg^{-1}) en la zona 3 y los más bajos a Cd (0.131 mg kg^{-1}) en la zona 1. El estudio por zona indica que la zona 3 está más contaminada que las demás. En el análisis estadístico se encontró una diferencia significativa ($p < 0.05$) en el Cu entre la zona 2 y 4, siendo mucho más elevada en la zona 4, y una correlación entre el Cr-Cu de 0.617.

Cuadro 2.- Concentraciones promedio de los metales (mg kg^{-1}) en *Eucalyptus camaldulensis*

Elemento	Concentración mínima			Periodo Total		
	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Cr	0.401	1.526	1.209	1.128 ± 0.534	2.527 ± 0.857	2.384 ± 0.786
Cd	0.092	0.126	0.103	0.131 ± 0.061	0.159 ± 0.051	0.141 ± 0.063
Cu	0.169	0.248	0.347	0.236 ± 0.106	0.561 ± 0.192	0.681 ± 0.255
Hg	0.039	0.465	0.425	0.226 ± 0.119	1.024 ± 0.434	0.191 ± 0.067
Ni	0.405	0.223	0.047	0.970 ± 0.316	0.832 ± 0.362	0.248 ± 0.011
Pb	0.136	1.287	0.530	1.063 ± 0.458	3.286 ± 0.719	1.512 ± 0.346

Para *Eucalyptus globulus* los metales que presentaron mayor concentración corresponde a Cr (2.239 mg kg^{-1}) y Pb (1.257 mg kg^{-1}) en la zona 3 y los de menor concentración a Cd (0.164 mg kg^{-1}) en la zona 2. Para la mayoría de los metales las concentraciones son más altas en la zona 3 y en el análisis no se encontraron ni diferencias significativas ni correlaciones entre los metales analizados (Cuadro 3).

Cuadro 3.- Concentraciones promedio de los metales (mg kg⁻¹) en *Eucalyptus globulus*

Elemento	Concentración mínima		Periodo Total	
	Zona 2	Zona 3	Zona 2	Zona 3
Cr	0.437	0.657	1.301 ± 0.505	2.239 ± 0.877
Cd	0.012	0.031	0.028 ± 0.005	0.164 ± 0.041
Cu	0.032	0.213	0.182 ± 0.051	0.634 ± 0.046
Hg	0.215	0.023	0.572 ± 0.016	0.247 ± 0.017
Ni	0.033	0.649	0.247 ± 0.029	2.866 ± 0.361
Pb	0.476	0.362	1.152 ± 0.147	1.257 ± 0.132

Las concentraciones de los metales en *Juniperus deppeana* en donde se observa que los valores más elevados corresponden a Pb (3.9181 mg kg⁻¹) y Cr (2.7623 mg kg⁻¹) en la zona 3 mientras que los valores más bajos corresponden a Cd (0.1546 mg kg⁻¹) en la zona 4. Los valores más elevados para los diferentes metales se encontraron en la zona 3 excepto para el Hg, que fue más elevado en la zona 1, mientras que en la zona 4 se presentaron los valores más bajos. No se encontraron diferencias significativas en ninguno de los metales, pero si hay una correlación entre Cr-Cu de 0.523 y Hg-Ni de 0.538 (Cuadro 4).

Cuadro 4.- Concentraciones promedio de los metales (mg kg⁻¹) en *Juniperus deppeana*

Elemento	Concentración mínima				Periodo Total			
	Zona1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Cr	1.553	1.3826	1.5878	0.9435	2.524 ± 0.967	2.4510 ± 0.865	2.7623 ± 0.923	2.0402 ± 0.814
Cd	0.1184	0.1276	0.1397	0.1230	0.1546 ± 0.732	0.1604 ± 0.093	0.1752 ± 0.033	0.1619 ± 0.096
Cu	0.2582	0.2637	0.1885	0.3223	0.6739 ± 0.988	0.6123 ± 0.220	0.5244 ± 0.293	0.6634 ± 0.016
Hg	0.7635	0.0345	0.2884	0.1120	2.0825 ±1.319	0.1471 ± 0.086	0.5124 ± 0.224	0.3173 ± 0.022
Ni	0.0492	0.0475	0.0587	0.4642	0.9376 ± 0.883	0.3023 ± 0.025	1.0447 ± 0.586	2.2234 ± 0.722
Pb	1.1243	0.5815	0.1097	0.5236	1.9806 ± 1.007	1.6573 ± 0.359	3.9181 ± 0.986	1.6042 ± 0.430

Las concentraciones de metales en *Quercus mexicana*, nos establece que los valores más altos corresponden a Pb (5.5414 mg kg⁻¹) y Cr (2.9489 mg kg⁻¹) en las tres zonas, y los valores más bajos corresponden a Cd (0.1366 mg kg⁻¹), sin encontrarse diferencias significativas en ninguno de los metales; sin embargo hay una correlación entre Cr-Cu de 0.520; Cr-Pb de 0.512; Cu-Pb de 0.688 (Cuadro 5).

Cuadro 5.- Concentraciones promedio de los metales (mg kg^{-1}) en *Quercus mexicana*

Elemento	Concentración mínima			Periodo Total		
	Zona1	Zona 2	Zona 3	Zona1	Zona 2	Zona 3
Cr	2.0499	1.4535	1.7789	2.7347 ± 0.865	2.4062 ± 0.642	2.9489 ± 0.842
Cd	0.1037	0.1111	0.1288	0.1366 ± 0.026	0.1491 ± 0.305	0.1546 ± 0.062
Cu	0.3202	0.2032	0.2931	0.6496 ± 0.053	0.4780 ± 0.039	0.5951 ± 0.059
Hg	0.1075	0.0347	0.0175	0.3579 ± 0.078	0.2283 ± 0.081	0.6327 ± 0.058
Ni	0.5373	0.5352	0.5220	1.7146 ± 0.241	2.8133 ± 1.178	1.7948 ± 0.405
Pb	0.9527	0.6196	0.2514	3.9998 ± 0.369	4.7965 ± 1.495	5.5414 ± 0.778

En *Euforbiáceas* los metales con mayor concentración fueron Pb ($9.3531 \text{ mg kg}^{-1}$) y Cr ($2.7626 \text{ mg kg}^{-1}$) y el más bajo Cd ($0.0285 \text{ mg kg}^{-1}$), y los valores más altos corresponden a la zona 3, encontrándose diferencias significativas en el Cr entre la zona 2 y 3 y en el Cd entre la zona 1 y 2, y una correlación entre Cr-Cu de 0.677 (*Cuadro 6*).

Cuadro 6.- Concentraciones promedio de los metales (mg kg^{-1}) en *Euforbiáceas*

Elemento	Concentración mínima			Periodo Total		
	Zona1	Zona 2	Zona 3	Zona1	Zona 2	Zona 3
Cr	1.4739	0.2394	1.76	2.4556 ± 0.045	0.9965 ± 0.331	2.7626 ± 0.729
Cd	0.0824	0.0023	0.1315	0.1159 ± 0.930	0.0285 ± 0.009	0.1647 ± 0.089
Cu	0.1025	0.1429	0.2761	0.4354 ± 0.882	0.1825 ± 0.083	0.6344 ± 0.244
Hg	0.0609	0.5643	0.0983	0.3415 ± 1.483	0.1469 ± 0.068	0.3385 ± 0.099
Ni	0.3286	0.0100	0.2327	0.7997 ± 0.927	0.9883 ± 0.289	1.3462 ± 0.901
Pb	0.0953	0.0500	6.1786	0.9312 ± 1.634	0.0417 ± 0.016	9.3531 ± 1.553

En *Quercus rugosa* los metales con mayor concentración son Pb ($5.2568 \text{ mg kg}^{-1}$) y Cr ($2.8159 \text{ mg kg}^{-1}$), y el de menor concentración corresponde a Cd ($0.1298 \text{ mg kg}^{-1}$); siendo en la zona 2 en la que presentaron los valores más altos, sin encontrarse diferencia significativa en los metales en ninguna de las zonas pero si una correlación entre Cu-Hg de 0.701 y Cu-Ni de 0.608 (*Cuadro 7*).

Cuadro 7.- Concentraciones promedio de los metales (mg kg^{-1}) en *Quercus rugosa*

Elemento	Concentración mínima			Periodo Total		
	Zona1	Zona 2	Zona 3	Zona1	Zona 2	Zona 3
Cr	1.7768	1.2734	1.2289	2.8159 ± 1.253	2.4848 ± 0.825	2.2965 ± 0.981
Cd	0.0853	0.0782	0.1071	0.1342 ± 0.569	0.1298 ± 0.069	0.1484 ± 0.099
Cu	0.1717	0.134	0.0956	0.4876 ± 0.922	0.4652 ± 0.049	0.4257 ± 0.145
Hg	0.0531	0.1985	0.5278	0.6035 ± 0.893	0.4231 ± 0.188	1.6328 ± 0.728
Ni	0.8606	0.4808	0.0749	1.9551 ± 1.205	1.6391 ± 0.323	0.6165 ± 0.323
Pb	1.3242	3.1194	0.5491	5.0757 ± 1.89	5.2568 ± 1.637	2.3553 ± 0.906

En los vegetales de *Mimosa malacophylla* los tres metales que presentaron la mayor concentración fueron Pb (11.0072 mg kg⁻¹), Cr (3.0645 mg kg⁻¹) y Ni (2.3342 mg kg⁻¹) y el de menor concentración fue Cd (0.1393 mg kg⁻¹). La zona 2 fue la que tiene los valores más elevados, no se encontraron diferencias significativas entre las zonas en ninguno de los metales pero si una correlación entre Cr-Cu de 0.725 (*Cuadro 8*).

Cuadro 8.- Concentraciones promedio de los metales (mg kg⁻¹) en *Mimosa malacophylla*

Elemento	Concentración mínima		Periodo Total	
	Zona 2	Zona 3	Zona 2	Zona 3
Cr	2.04	0.02	3.0645 ± 0.817	2.5145 ± 0.876
Cd	0.02	0.02	0.1393 ± 0.021	0.1448 ± 0.012
Cu	0.17	0.20	0.8176 ± 0.132	0.5763 ± 0.123
Hg	0.51	0.58	0.1736 ± 0.012	0.1902 ± 0.032
Ni	6.34	8.24	0.7988 ± 0.134	2.3342 ± 0.876
Pb	116.92	4.03	11.0072 ± 1.29	1.4510 ± 0.564

En *Juniperus flaccida* los metales con mayor concentración son Cr (2.7373 mg kg⁻¹), Pb (1.4393 mg kg⁻¹) Ni y Hg (1.2404 mg kg⁻¹), mientras que el de menor concentración es Cd (0.1217 mg kg⁻¹). La zona 3 es la que presenta los valores más altos. El análisis estadístico indica que no hay diferencias significativas, pero si correlaciones entre Cr-Cu de 0.545; Cr-Hg de 0.702; y Cr-Ni de 0.548 (*Cuadro 9*).

Cuadro 9.- Concentraciones promedio de los metales (mg kg⁻¹) en *Juniperus flaccida*

Elemento	Concentración mínima			Periodo Total		
	Zona1	Zona 2	Zona 3	Zona1	Zona 2	Zona 3
Cr	1.1685	1.1042	1.3314	2.7373 ± 0.743	1.9460 ± 0.796	2.1974 ± 0.762
Cd	0.0858	0.0797	0.1159	0.1217 ± 0.315	0.1297 ± 0.033	0.1613 ± 0.077
Cu	0.0886	0.1092	0.2120	0.4203 ± 0.065	0.4360 ± 0.163	0.5024 ± 0.182
Hg	0.127	0.0814	0.0227	0.6388 ± 0.127	0.2536 ± 0.083	1.2404 ± 0.681
Ni	0.0131	0.0299	0.2374	0.5764 ± 0.196	0.5835 ± 0.121	1.2404 ± 0.498
Pb	0.5774	0.367	0.4180	1.4393 ± 0.958	1.2653 ± 0.796	1.2995 ± 0.263

Las concentraciones de metales totales en suelo en las diferentes zonas analizadas, en orden descendente los metales se comportaron de la siguiente manera Cr>Pb>Cu>Ni>Hg y Cd. La zona 4 fue la que presentó los valores más elevados. En el análisis estadístico se encontró una diferencia significativa p<0.05 en todos los metales entre la zona 4 y la zona 1 y 2 y una correlación entre Cu-Ni 0.969, Hg-Ni 0.954, Cu-Hg 0.953, Hg-Pb 0.936, Cr-Ni 0.920, Cr-Cu 0.891, Ni-Pb 0.872, Cu-Pb 0.864, Cr-Hg 0.858, Cd-Hg 0.764, Cd-Cu 0.757, Cr-Pb 0.741, Cd-Ni 0.723, Cr-Cd 0.659 y Cd-Pb 0.654 (*Cuadro 10*).

Cuadro 10.- Concentraciones promedio de metales (mg kg⁻¹) totales en suelo

Elemento	Concentración mínima				Periodo Total			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Cr	20.50	13.00	28.51	32.30	23.1086± 1.91089	18.6743± 3.49218	29.5400± 0.62624	33.7171± 0.57677
Cd	0.40	0.71	0.90	0.93	0.6629± 0.16461	0.7829± 0.04333	1.0046± 0.12030	1.0846± .10902
Cu	5.40	4.00	11.50	18.70	8.5080± 2.03601	6.4286± 1.73922	13.1343± 1.85395	19.8240± 1.03414
Hg	0.38	0.30	1.80	4.49	0.4060± 0.02741	0.4411± 0.10851	2.0966± 0.2936	4.8632± 0.28827
Ni	7.10	4.10	10.90	16.00	7.9171± 0.60596	6.1291± 1.68961	11.6434± 0.50046	17.0314± 0.79256
Pb	4.09	5.80	7.60	25.03	4.9103± 0.60039	6.4006± 0.51889	8.5571± 0.67768	30.4166± 4.88018

Para metales extractables las concentraciones mayores fueron para Pb seguidas de Ni, Cu, Cd y Hg, y para el Cr los valores no fueron detectables. La zona 4 fue la que presentó los valores más elevados en comparación con las demás. Se encontraron diferencias significativas en los metales de Cd, Cu y Ni entre la zona 4 y la zona 1 y 2, así como correlaciones entre Cd-Ni 0.823, Cu-Pb 0.759, Cd-Cu 0.756, Cu-Ni 0.721, Ni-Pb 0.692, Cd-Pb 0.555 (*Cuadro 11*).

Cuadro 11.- Concentraciones promedio de metales extractables (mg kg⁻¹) en suelo

Elemento	Concentración mínima				Periodo Total			
	Zona1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Cr	nd	nd	nd	nd	Nd	nd	Nd	nd
Cd	0.0425	0.0423	0.0375	0.1236	0.0455± 0.0041	0.048± 0.0054	0.042± 0.0051	0.1343± 0.0106
Cu	0.1200	0.1205	0.2450	0.3375	0.2405± 0.0982	0.2380± 0.0969	0.3195± 0.085	0.5817± 0.1746
Hg	2.30E-05	1.19E-04	8.75E-05	8.75E-05	1.15E-04± 7.62E-05	1.53E-04± 4.23E-05	1.37E-04± 4.06E-05	1.36E-04± 4.09E-05
Ni	0.1800	0.2100	0.2800	0.6025	0.2270± 0.0441	0.2440± 0.0270	0.4600± 0.1160	0.7505± 0.1199
Pb	1.0600	1.1600	1.2450	1.3025	1.1080± 0.0408	1.2270± 0.0751	1.3830± 0.1540	1.5620± 0.2884

Los datos recopilados, a partir del año 2000, por la estación de Monitoreo del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua “México 68” indican que las direcciones del viento predominan desde la zona norte hacia el sureste de la ciudad durante todo el año. (Figura 2) Esta dirección del viento influye en el transporte de partículas y por consiguiente en la deposición de las mismas que pueden provenir de los parques industriales “Puebla 2000” y “Chachapa”, así como, desde zonas con una alta densidad demográfica ubicadas al nororiente de la ciudad de Puebla.

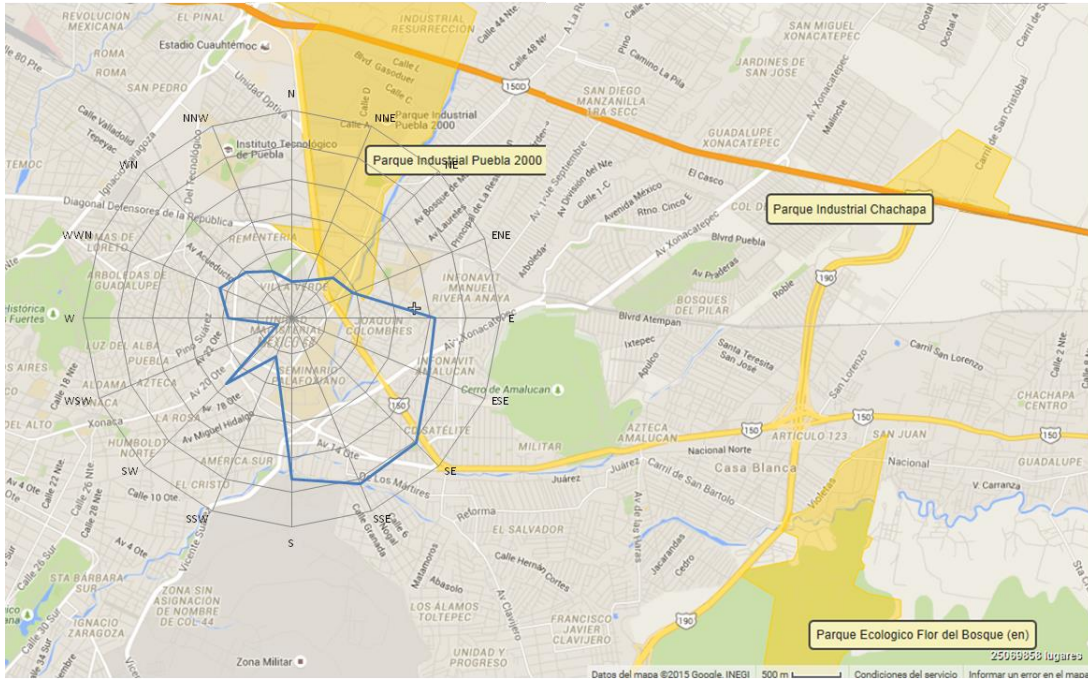


Figura 2.- Mapa que indica la dirección de los vientos dominantes promedio anual que influyen en la zona de estudio.

La presencia de los metales tóxicos Hg, Pb, Cr, Cd y Cu en los vegetales y suelos provenientes del medio ambiente pueden ejercer una acción tóxica inhibiendo principalmente el crecimiento de las plantas (Baderna *et al.*, 2015), ocasionando una disminución de los vegetales en tiempos moderadamente cortos. La vía por la cual los metales pueden causar una fitotoxicidad es mediante la alteración del crecimiento y la germinación siendo dependiente del compuesto químico del metal (Duan *et al.*, 2015, Baderna *et al.*, 2015). La inhibición de la germinación de las semillas y la elongación de la raíz son el principal efecto tóxico por los metales pesados, y dependen de las especies de las plantas y de las concentraciones de los metales. Pueden causar efectos directos e indirectos sobre el crecimiento de las plantas y alterar muchas funciones fisiológicas por la formación de complejos con O, N y S. Estos interfieren con la captación de minerales, el metabolismo proteico, funcionamiento de la membrana celular, la captación de agua, inhibición de la fotosíntesis (Hasan *et al.*, 2009, Patra *et al.*, 2004, Baderna *et al.*, 2015). Aunque las concentraciones de los metales encontradas en los vegetales y la fracción extractable en el suelo no representan un riesgo fitotóxico directo ya que el Pb debe tener valores mayores a 20 mg Kg^{-1} , el Hg 5 mg Kg^{-1} , el Cd 10 mg Kg^{-1} , el Cu 30 mg Kg^{-1} , de acuerdo a lo reportado por Patra *et al.*, 2004, Aiman *et al.*, 2016, Duan *et al.*, 2015, las plantas pueden seguir absorbiéndolos y acumularlos en las raíces, tallo, nódulos radiculares y semillas por el incremento de las concentraciones externas, y causar alteraciones como las antes mencionadas fundamentalmente en *Mimosa* y *Juniperus*

fláccida que son los vegetales que presentaron las concentraciones más elevadas de los metales. Las poblaciones de *Eucalyptus* se pueden ver afectadas por la presencia de Cd, Cr y Pb principalmente por alteraciones en la clorofila como lo sucedido en la región de Sonora México que las poblaciones de *Eucalyptus* disminuyeron considerablemente por la contaminación atmosférica como lo reporta García-Rico *et al.*, 2010.

La correlación que se presentó en seis de las ocho especies de vegetales (*Mimosa malacophylla*, *Euforbiáceas*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Juniperus fláccida*, *Juniperus deppeana* y *Quercus mexicana*) y en la fracción total y extractable correspondió a Cr-Cu con valores en un intervalo de 0.520 a 0.725, de ahí las correlaciones que solamente se presentaron en alguna de las especies de vegetales son Cr-Pb, Cu-Pb, Cu-Hg, Cu-Ni, Cr-Hg, Cr-Ni y Hg-Ni. Estas correlaciones encontradas indican una fuente común y pueden deberse a diversas actividades industriales como metalúrgicas, de producción de pinturas, de generación de autopartes y cromado de las mismas, las cuales se llevan a cabo en el parque Industrial Chachapa, localizado a unos kilómetros del parque Estatal Flor del Bosque, y que debido a la influencia de la dirección del viento determinadas influyen en la deposición de los metales en los vegetales, lo cual concuerda con lo encontrado por Parizanganeh *et al.*, 2010 y Duan *et al.*, 2015, que cerca de zonas industriales aumentan considerablemente las concentraciones de los metales y existen correlaciones positivas mayores a 0.6 entre Pb-Ni, Cr-Cu, Cr-Pb, Zn-Pb. Estas correlaciones se pueden utilizar para explicar la distribución espacial de los metales (Duan *et al.*, 2015) y establecer una posible influencia de las actividades industriales que se realizan cerca de esta área natural protegida.

CONCLUSIONES

Los resultados del análisis de los metales tóxicos Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, efectuados indican la presencia de éstos en todos los vegetales *Mimosa malacophylla*, *Euforbiáceas*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Juniperus fláccida*, *Juniperus deppeana*, *Quercus mexicana*, *Quercus rugosa* y *Eucalyptus globulus*, debido presumiblemente a las actividades industriales ya que el análisis espacial indica que la zona 3 recibe las corrientes de aire, y mostro claramente mayor incidencia en la concentración de metales, no así los puntos de zona 1 y zona 2 que se encuentran posterior a este y en una zona más baja, al igual que la zona 4 que se ubica a una menor altitud del área natural protegida. La correlación entre Cr-Cu fue la que se encontró en seis de las ocho especies vegetales estudiados indicado una fuente común y que posiblemente sean los metales que más puedan bioacumularse. Otras correlaciones que también son importantes de considerarse por que incluyen elementos que no tienen actividad biológica conocida son Cu-Hg, Cr-Hg, Cu-Pb, Cr-Pb. Las concentraciones de metales encontradas, no presentan fitotoxicidad en este periodo, sin embargo las posibilidades de incrementar las concentraciones por el aumento de la emisión de contaminantes y por la bioacumulación ponen en riesgo los vegetales del pulmón más importante de la Ciudad de Puebla, ya que en el corto plazo pueden presentar afectaciones, por lo que es necesario que se establezcan medidas de protección para esta área natural protegida, ya que su seguridad se está viendo amenazada al seguir extendiéndose las actividades industriales, y los desarrollos habitacionales hacia esta zona.

AGRADECIMIENTOS

A FOMIX-CONACYT Gobierno del Estado de Puebla, a PRODEP y a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por el financiamiento otorgado para la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Aiman, U., Mahmood, A., Waheed, S. y Malik, R. N. (2016). Enrichment, geo-accumulation and risk surveillance of toxic metals for different environmental compartments from Mehmoos Booti dumping site, Lahore city, Pakistan. *Chemosphere*. 114:2229-2237.
- Affum, H. A., Oduro, A. K., Nartey, V. K., Adomako, D., Nyarko, B. J. B. (2008). Biomonitoring of airborne heavy metals along a major road in Accra, Ghana. *Environ Monit Assess*. 137:15–24.
- Alloway, B. J. (1990). Heavy metals in soils. New York, Blackie Glasgow and London. Halstod Press John Wiley & Sons. Inc. pp. 339.
- Baderna, D., Lomazzi, E., Pogliaghi, A., Ciaccia, G., Lodi, M. y Benfenati, E. (2015). Acute phytotoxicity of seven metals alone and in mixture: Are Italian soil threshold concentrations suitable for plant protection?. *Environmental research*. 140:102-111.
- Cayir, A., Coskun, M., Coskun, M. (2007). Determination of Atmospheric Heavy Metal Pollution in Canakkale and Balikesir Provinces Using Lichen (*Cladonia rangiformis*) as a Bioindicator. *Bull Environ Contam Toxicol*. 79:367–370.
- Das, M., y Kumar, M. S. (2007). Metal accumulation in 5 native plants growing on abandoned cu-tailings ponds. *Applied ecology and environmental research* 5(1):27-35.
- Duan, X., Zhang, G., Rong, L., Fang, H., He D., y Feng, D. (2015). Spatial distribution and environmental factors of catchment-scale soil heavy metal contamination in the dry-hot valley of Upper Red River in Southwestern China. *Catena* 135:59-69.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). (1992). Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization. Vol 1: metals. Washington.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). (1996). METHOD 3052. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices.
- García, R. I., Tejeda, V. L. y Burgos, H. A. (2010). Seasonal Variations in the Concentrations of Metals in *Crassostrea corteziensis* from Sonora, México. *Bull Environmental Contamination Toxicology*. 85:209-213.
- Gharaibeh, A. A., Abdul, W. O., y El-Rjoob, H. M. K. (2010). Determination of selected heavy metals in air samples from the northern part of Jordan. *Environ Monit Assess*. 160:425–429.

- Gutiérrez, R. M., Romero, F. M. y González, H. G. (2007). Suelos y sedimentos afectados por la dispersión de jales inactivos de sulfuros metálicos en la zona minera de Santa Bárbara, Chihuahua. México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24(2), 170-184.
- Hasan, S. A., Fariduddin, Q., Ali, B., Hayat, S., Ahmad, A. (2009). Cadmium: Toxicity and tolerance in plants. *Journal of Environmental Biology*. 30(2): 165-174.
- Joshi, P. C., y Swami, A. (2009). Air pollution induced changes in the photosynthetic pigments of selected plant species. *J. Environ. Biol.* 30(2): 295-298.
- Mohd, T. N., Poh, S. C., Suratman, S., Ariffin, M. M., Shazali, N. A. M., y Yunus, K. (2009). Determination of Trace Metals in Airborne Particulate Matter of Kuala Terengganu, Malaysia. *Bull Environ Contam Toxicol.* 83:199–203.
- Pandey, J. y Pandey, U. (2009). Accumulation of heavy metals in dietary vegetables and cultivated soil horizon in organic farming system in relation to atmospheric deposition in a seasonally dry tropical region of India. *Environ Monit Assess.* 148:61–74.
- Pandey, J., Pandey, R., y Shubhashish, K. (2009). Air-Borne Heavy Metal Contamination to Dietary Vegetables: A Case Study from India. *Bull Environ Contam Toxicol.* 83:931–936.
- Parizanganeh, A., Hajisoltani, P. y Zamani, A. (2010). Concentration, Distribution and Comparison of Total and Bioavailable Metals in Top Soils and Plants Accumulation in Zanjan Zinc Industrial Town-Iran. *Procedia Environmental Sciences.* 2:167-174.
- Patra, M., Bhowmik, N., Bandopadhyay, B., y Sharma, A. (2004). Compararison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and development of genetic tolerance. *Environmental and experimental Botany.* 52:199-223.
- NMX-AA-051-SCFI-2001. (2001). Análisis de agua - Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México. 47 p.
- NOM-021-RECNAT-2000. (2000). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 73 p.
- Srinivas, N., Ramakrishna, R. S., y Suresh, k. K. (2009). Trace metal accumulation in vegetables grown in industrial and semi-urban areas a case study. *Applied ecology and environmental research* 7(2):131-139.
- Wu, Y. F., Liu, C. Q., y Tu, C. L. (2008). Atmospheric Deposition of Metals in TSP of Guiyang, PR China. *Bull Environ Contam Toxicol.* 80:465–468. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales>.