

**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y  
AGROPECUARIAS



**ACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES EN ESPECIES VEGETALES EN LA  
ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN LA MODALIDAD DE  
TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA  
PAULINA BEATRIZ GUTIÉRREZ MARTÍNEZ

DIRECTOR(A): BLANCA CATALINA RAMÍREZ HERNÁNDEZ

ASESOR(A): JULIA ZAÑUDO HERNÁNDEZ

Las Agujas, Zapopan, Jal., Abril 2013



**Universidad de Guadalajara**

**Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias**

*Coordinación de Carrera de la Licenciatura en Biología*

COORD-BIO-148/2012

**C. PAULINA BEATRIZ GUTIÉRREZ MARTÍNEZ  
PRESENTE**

Manifestamos a usted, que con esta fecha, ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de **TESIS E INFORMES** opción: **TESIS**, con el título **“ACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES EN ESPECIES VEGETALES EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA”**, para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos, que ha sido aceptado como director(a) de dicho trabajo a la **Dra. Blanca Catalina Ramírez Hernández**, y asesora a la **Dra. Julia Zañudo Hernández**.

Sin más por el momento, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"PIENSA Y TRABAJA"

Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jal., 22 de agosto, del 2012.



**DRA. TERESA DE JESUS ACEVES ESQUIVIAS  
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN**

*Verónica Palomera Gtv.*

**M.C. VERÓNICA PALOMERA AVALOS  
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN**

Dra. Teresa de Jesús Aceves Esquivias.  
 Presidente del Comité de Titulación.  
 Licenciatura en Biología.  
 CUCBA.  
 Presente

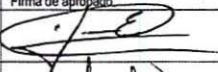
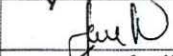
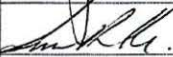
Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad TESIS E INFORMES, opción TESIS con el título: "ACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES EN ESPECIES VEGETALES EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA" que realizó el/la pasante PAULINA BEATRIZ GUTIÉRREZ MARTÍNEZ con número de código 303534081 consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

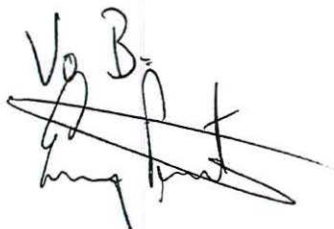
Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

Atentamente  
 Las Agujas, Zapopan, Jal., 26 de Febrero del 2013

*Blanca C. Ramírez*  
 Blanca Catalina Ramírez Hernández  
 Director/a del trabajo

*23/10*  
 Julia Zañudo Hernández  
 Asesor(es)

Nombre completo de los Sinodales asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobado	Fecha de aprobación
M. en C. Javier Eugenio García de Alba Verduzco		27/02/2013
Dra. América Loza Llamas		27/02/2013
M. en C. Aurora Rosas Ramírez		27/02/2013
Supl. Dra. Julia Zañudo Hernández	<i>23/10</i>	27/02/2013

*Vg B.*  


Proyecto financiado por CONACYT: "Acumulación de contaminantes en especies vegetales en la zona metropolitana de Guadalajara" No. Proyecto 118977.

Proyecto financiado por la Universidad de Guadalajara a través de proyecto P3E.

Agradecemos el apoyo y facilidades otorgadas por el Patronato Bosque los Colomos para realizar este trabajo de investigación.

## AGRADECIMIENTOS

A mi directora la Dra. Blanca Catalina Ramírez Hernández y mi asesora la Dra. Julia Zañudo Hernández por su gran apoyo en todo momento y sus consejos para la realización de este trabajo.

Al Dr. Javier García Velazco por apoyo en la culminación de los análisis foliares.

Al M. en C. Javier E. García de Alba Verduzco por ayudarme en la realización de este trabajo.

Lic. en Biol. Ismael Sotelo por el apoyo brindado para realizar los trámites ante el patronato del bosque los Colomos.

Al M. en C. Sergio Honorio Contreras Rodríguez por apoyarme en el uso de los equipos del Laboratorio Ambiental y de Abonos Orgánicos para la realización de los análisis.

Al Ing. Isaías Pedroza Rangel por su gran apoyo y enseñanzas en las metodologías utilizadas para los análisis. A Alejandro Sánchez Sánchez por su apoyo en todos los análisis que se realizaron para este trabajo.

## **DEDICATORIA**

A mi hija Camila Isabel por ser mi mayor impulso y fortaleza día a día.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional.

A mis amigos(as) que estuvieron conmigo en todo momento.

## INDICE

INDICE DE TABLAS, GRAFICAS Y FIGURAS.....	ii
RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
ANTECEDENTES .....	5
JUSTIFICACION.....	8
HIPOTESIS .....	9
OBJETIVOS.....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos Particulares .....	10
DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	11
Zona Metropolitana de Guadalajara .....	11
Bosque los Colomos .....	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
Medición de contaminantes ambientales .....	14
Análisis de metales pesados en las hojas.....	16
Determinación de Nitrógeno.....	17
RESULTADOS .....	18
Mediciones microambientales.....	18
Mediciones de Primavera.....	18
Mediciones de verano.....	19
Mediciones de otoño .....	21
Mediciones de invierno.....	22
Análisis foliar.....	24
Nitrógeno total .....	40
Análisis estadístico.....	42
DISCUSIÓN.....	49
CONCLUSIONES.....	52
LITERATURA CITADA.....	54

## INDICE DE TABLAS, GRÁFICAS Y FIGURAS

Fig. 1 Mapa de la Zona Metropolitana de Guadalajara .....	12
Fig. 2. Mapa del Bosque los Colomos.....	13
Fig. 3. Mapa de la ZMG donde se especifican los puntos conflictivos de tránsito.....	15
Gráfica 1. Medición Bosque Colomos, primavera.....	18
Gráfica 2. Datos SEMADES, primavera.....	18
Gráfica 3. Medición ZMG, primavera.....	19
Gráfica 4. Datos SEMADES, primavera.....	19
Gráfica 5. Medición Bosque los Colomos, verano.....	20
Gráfica 6. . Datos SEMADES, verano.....	20
Gráfica 7 Medición ZMG, verano.....	20
Gráfica 8. Datos SEMADES, verano.....	20
Gráfica 9. Medición Bosque los Colomos, otoño.....	21
Gráfica 10. Datos SEMADES, otoño.....	21
Gráfica 11. Medición ZMG, otoño.....	22
Gráfica 12. Datos SEMADES, otoño.....	22
Gráfica 13. Medición Bosque los Colomos, invierno.....	23
Gráfica 14. Datos SEMADES, invierno.....	23
Gráfica 15. Medición ZMG, invierno.....	23
Gráfica 16. Datos SEMADES, invierno.....	23
Gráficas 17 y 18. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la superficie foliar de <i>C. aurantium</i> , <i>Ficus benjamina</i> y <i>Fraxinus uhdei</i> colectadas en la estación de primavera en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal.....	24



Gráficas 19 y 20. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de verano en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal. .... 25

Gráficas 21 y 22. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de otoño en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal. .... 26

Gráficas 23 y 24. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de invierno en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal. .... 27

Gráficas 25 y 26. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en tejido foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de primavera en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal. .... 28

Gráficas 27 y 28. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en tejido foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de verano en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal. .... 29

Gráficas 29 y 30. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en tejido foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de otoño en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal. .... 30

Gráficas 31 y 32. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de invierno en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal. .... 31

Gráficas 33 y 34. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de primavera en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal. .... 32

Gráficas 35 y 36. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de verano en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal. .... 33

Gráficas 37 y 38. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb (mg kg<sup>-1</sup>) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de otoño en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal. .... 34

Gráficas 39 y 40. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb (mg kg<sup>-1</sup>) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de invierno en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal. .... 35

Gráficas 41 y 42. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb (mg kg<sup>-1</sup>) en tejido foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de primavera en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal. .... 36

Gráficas 43 y 44. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb (mg kg<sup>-1</sup>) en tejido foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de verano en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal. .... 37

Gráficas 45 y 46. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb (mg kg<sup>-1</sup>) en tejido foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de otoño en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal. .... 38

Gráficas 47 y 48. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb (mg kg<sup>-1</sup>) en tejido foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de invierno en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal. .... 39

Gráfica 49. Porcentaje de Nitrógeno en las hojas no lavadas del Bosque los Colomos. 40

Gráfica 50. Porcentaje de Nitrógeno en las hojas lavadas del Bosque los Colomos. .... 40

Gráfica 51. Porcentaje de Nitrógeno en las hojas no lavadas de la ZMG ..... 41

Gráfica 52. Porcentaje de Nitrógeno en las hojas lavadas de la ZMG ..... 41

Tabla 1. Valores promedio de los elementos determinados en mg kg<sup>-1</sup> de peso seco en las hojas de *Citrus aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei*. .... 43

Tabla 2. Valores promedio de los elementos determinados en mg kg<sup>-1</sup> de peso seco respecto al sitio de muestro, en las hojas de *Citrus aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei*. 45

Tabla 3. Valores promedio de los elementos determinados en  $\text{mg kg}^{-1}$  de peso seco respecto a la estación del año, en las hojas de *Citrus aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei*. ..... 46

Tabla 4. Valores promedio de los elementos determinados en  $\text{mg kg}^{-1}$  de peso seco respecto al lavado de las hojas de *Citrus aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei*. ..... 47

## RESUMEN

Se ha demostrado que las plantas son efectivas en la capacidad de acumular metales pesados. Por tal motivo surge la necesidad de incrementar y mantener en buen estado las áreas verdes urbanas en las ciudades ya que el arbolado urbano contribuye a la remoción de la contaminación del aire. Debido a esto se realizó un estudio sobre la acumulación de metales pesados en tres especies de la Zona Metropolitana de Guadalajara (*Ficus benjamina* L., *Fraxinus uhdei* (Wenz) L., y *Citrus aurantium* L.) empleadas en la reforestación de parques, jardines, banquetas y camellones de la ciudad. Se realizaron evaluaciones en cada una de las estaciones del año en dos ambientes uno con alto grado de contaminación y otro con bajo grado de contaminación. Además se realizaron dos tratamientos en las hojas, unas fueron lavadas con agua deionizada y otras se dejaron sin lavar. Se determinaron las concentraciones de metales pesados: Aluminio, Cadmio, Cobre, Hierro, Manganeso, Níquel, Plomo y Zinc (Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn). En los resultados obtenidos se observa que la especie *C. aurantium* acumula de manera significativa los siguientes elementos: Al, Cd, Fe, siendo superior en comparación con *F. benjamina* y *F. uhdei*, destacando que *C. aurantium* es la especie con mayor acumulación de estos contaminantes durante todo el año. Respecto al sitio de muestreo se observa que en el sitio no contaminado *F. benjamina* acumula mayor cantidad de Mn durante el verano y el invierno. En cuanto a las estaciones del año *C. aurantium* acumula mayor cantidad de Cu durante la primavera, otoño e invierno en el sitio contaminado. Entre las hojas no lavadas y lavadas existen diferencias significativas con el Al en ambos sitios, en *C. aurantium*, *F. benjamina* y *F. uhdei*, presentándose concentraciones mayores en las hojas no lavadas que en las lavadas.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos decenios, la contaminación del aire se ha convertido en un problema para la salud pública en el mundo (Beckett *et al.*, 2000) particularmente en las grandes ciudades de los países en desarrollo (Yang *et al.*, 2005). La mayor contaminación se relaciona principalmente con la actividad antrópica (Perelman *et al.*, 2007) experimentado una progresiva degradación de la calidad del aire (Chauhan & Johsi, 2010). El uso de combustibles fósiles ha sido identificado como la principal fuente de contaminación atmosférica, liberando cantidades significativas de dióxido de azufre, dióxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, plomo y partículas suspendidas (Naveed *et al.*, 2010) representando un peligro directo y grave para los seres vivos (Gratani & Varone, 2006) así como daños a la vegetación y pérdidas del rendimiento de los cultivos (Seyyednejad & Koochak, 2011). Además de los efectos locales, los contaminantes del aire pueden viajar a largas distancias y causar impactos lejos de su origen (Agrawal, 2005). La Zona Metropolitana de Guadalajara no es ajena a esta problemática ambiental, su alta densidad demográfica y vehicular y su gran actividad industrial se han reflejado recientemente en los niveles de contaminación (Davydova *et al.*, 1999). Se han estimado 1.3 millones de vehículos circulando por la ZMG que recientemente se ha demostrado que las emisiones son de alrededor de 1'389,047 de toneladas al año de diversos contaminantes procedentes del sector del transporte (Saldarriaga-Noreña *et al.*, 2011). Como consecuencia de estas emisiones en los últimos años se han registrado problemas de contingencia ambiental en estaciones del año en que era poco común que se presentaran, y el porcentaje de días por año en los que se rebasa la norma es cercano al 40% (SEMADES, 2008). Las partículas finas o PM<sub>2.5</sub>, son uno de los contaminantes que han generado mayor preocupación en la ZMG, la fracción de los metales pesados en las partículas, aunque por lo general es muy bajo en términos de masa, podría representar una parte sustancial de la toxicidad de las partículas suspendidas (Saldarriaga-Noreña *et al.*, 2011). Se ha demostrado que las plantas son efectivas en la capacidad de acumular metales pesados de manera natural en pequeñas y altas cantidades, ya sea como producto de sus requerimientos funcionales o como mecanismos de defensa para sobrevivir a este tipo de ambientes (Lerma, 2006). Debido

a su área foliar, proporcionan una superficie para la deposición, absorción y acumulación de los contaminantes (Chauhan & Johsi, 2010) interceptando partículas transportadas por el aire en sus estructuras superficiales asociadas (como la pubescencia); algunas son absorbidas dentro del árbol y otras son retenidas en la superficie de las hojas (Gobierno del Distrito Federal, 2000). Las plantas se han utilizado con éxito como acumuladores (Kurteva, 2009) siendo el recurso más adecuado para abatir los daños por la contaminación ambiental, utilizando especies resistentes que soporten las condiciones ambientales adversas y de esta manera poder ser utilizadas en el establecimiento de programas de reforestación que mitiguen el problema, ya que para el desarrollo de áreas verdes es necesario que la planta seleccionada sea tolerante a la contaminación atmosférica (Amini *et al.*, 2011) obteniendo numerosos beneficios ecológicos, ambientales, psicosociales, culturales y económicos considerados invaluable (Gobierno del Distrito Federal, 2000), que no se perciben de manera precisa y directa, pero que juegan un papel importante en el bienestar de la población (Alanís-Flores, 2005) además de que contrarrestan la intensidad de las islas de calor y reducen la temperatura del aire (Nowak *et al.*, 2007). La ZMG a pesar de la fama que posee en el país como ciudad arbolada, arrastra un déficit de más de 70% de vegetación mínima necesaria para cumplir con los requisitos marcados por la Organización Mundial de la Salud: 9 m<sup>2</sup> por habitante teniendo 3.26 m<sup>2</sup> por habitante (Chávez, 2009). En la ZMG se hace la reforestación por "modas": hubo la época de los Tabachines y Jacarandas, junto con los Fresnos; luego hubo incursiones hacia los Pirules, las Galeanas y las Casuarinas, posteriormente se presentó la fiebre por los Alamillos, después fue la época de los Ficus. Con frecuencia la vegetación se ha estado manejando no por estudio de necesidades, sino por existencia en los viveros.

Debido a esta problemática el presente estudio se realizó con la finalidad de identificar las especies que contengan una mayor eficiencia en la acumulación de contaminantes atmosféricos. Se realizaron análisis foliares de tres especies (*Ficus benjamina* L., *Fraxinus uhdei* (Wenz) L., y *Citrus aurantium* L.) que se emplean para la reforestación de banquetas, parques y jardines de la ZMG. Las evaluaciones se realizaron en cada una de las estaciones del año en ambientes con alto y bajo grado de contaminación, se determinaron las concentraciones de metales pesados (Al, Cd, Cu, Fe,

Mn, Ni, Pb, Ni y Zn) que acumulan las especies seleccionadas en tejido foliar, así como la determinación de Nitrógeno total. Además se realizaron mediciones microambientales de contaminantes atmosféricos (CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>).

## ANTECEDENTES

Algunas especies han sido estudiadas para asociar los niveles de contaminación urbana por metales pesados (Alcalá *et al.*, 2009). Una de las soluciones a esta problemática se ha encaminado a la identificación de especies vegetales en espacios urbanos que toleran o resisten a la contaminación atmosférica (Amini *et al.*, 2011). Se ha encontrado relación entre la deposición atmosférica de metales pesados y la concentración de metales pesados en pastos (Tomašević *et al.*, 2004). Sharma y Bluttler (1973) reportaron que las plantas que están constantemente expuestas a contaminantes ambientales absorben estos acumulándolos e integrándolos en sus tejidos (Agbaire y Esiefarienhre, 2009). Dalamasso *et al.*, (1997) analizaron el total de partículas en suspensión depositado sobre el follaje de ocho especies (*Acacia caven*, *Celtis tala*, *Eucalyptus camaldulensis*, *E. viminalis*, *Geoffroea decorticans*, *Prosopis nigra*, *Aspidosperma quebracho* y *Schinus molle*) en Malagueño-La Calera, Córdoba, donde señalaron que *Acacia caven*, *Geoffroea decorticans* y *Prosopis nigra* son las especies que presentaron una mejor capacidad de retener en su follaje el polvo atmosférico. Kabata-Pendias y Krakowiak (1997) realizaron un estudio con *Taraxacum officinale*, donde determinaron las concentraciones de Cd, Zn, Pb, Cu, Mn y Fe, en Polonia. Señalan que esta planta cumple la mayoría de los requerimientos para reducir las concentraciones por metales pesados. Askoy y Şahin (1999) utilizaron las hojas de *Eleagnus angustifolia* como un posible bioindicador de la contaminación atmosférica, determinando las concentraciones de Pb, Cd y Zn, en la ciudad de Kayseri, Turquía. En el 2000 (Askoy *et al.*) reportaron las concentraciones de Pb, Cd, Cu y Zn en hojas lavadas y sin lavar de *Robinia pseudo-acacia* en sitios con diferentes grados de contaminación por metales, en la ciudad de Kayseri, Turquía. Al igual que Kabata-Pendias y Krakowiak (1997) Czarnowska & Milewska (2000) analizaron el contenido de Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni y Cd en el follaje de *Taraxacum officinale* de la zona metropolitana de Varsovia, donde sugieren una gran acumulación de Fe, Zn, Pb y Cd, como consecuencia del impacto del tráfico vehicular. Por otro lado Askoy y Demirezen (2005) reportan las concentraciones de Pb, Cd, Cu, Zn, Ni y Cr en hojas de *Fraxinus excelsior*, en hojas lavadas y sin lavar, de ocho sitios con diferente grado de



contaminación en la ciudad de Kayseri, Turquía. Yilmaz *et al.*, (2006) estudiaron las concentraciones de Pb, Cd, Zn y Cu en las hojas y la corteza de *Aesculus hippocastanum* sobre los bordes de la carretera urbana, en el centro de la ciudad y los sitios suburbanos, en la región de Tracia, Turquía. Luitlo y Othman (2006) realizaron un estudio sobre la concentración de Plomo en *Cynodon dactylon*, sobre los bordes de las carreteras de la ciudad de Dar es Salaam, Tanzania. Akgüç *et al.*, (2008) midieron las concentraciones de Cd, Pb y Zn en hojas lavadas y sin lavar de *Pyracantha coccinea* Roem. en la provincia de Mugla, Turquía. Alcalá *et al.*, (2009) realizaron análisis foliares determinando las concentraciones de Fe, Mn y Mg de cinco especies arbóreas con mayor representatividad urbana (*Melia azedarach*, *Fraxinus sp.*, *Cupressus arizonica*, *Morus sp.*, y *Plantanus occidentalis*) en la ciudad de Chihuahua, México durante las temporadas de otoño, primavera y verano. Naveed *et al.*, (2010) reportan las concentraciones de plomo de tres especies: *Albergia sissoo* Roxb., *Prosopis juliflora* L. y *Eucalyptus sp.*, en las temporadas de invierno y verano en Sargoha, Pakistán. Por otro lado Amini *et al.*, (2011) estimaron las concentraciones de Cu, Fe, Mn y Zn en las hojas de cuatro especies: *Morus alba*, *Fraxinus excelsior*, *Cupressus sempervirens* y *Ligustrum ovalifolium*; e identificaron las especies que absorben mejor metales pesados de la atmósfera. Askoy *et al.*, (2012) demuestran las concentraciones de Pb, Cu, Cd y Zn, en *Parietaria judica* L. en tres sitios con diferente grado de contaminación, en la ciudad de Estambul Turquía.

En la ZMG no existe un censo sobre el número y las especies que se utilizan para la reforestación en la ciudad, sin embargo Zohn (1995) junto con el H. Ayuntamiento de Guadalajara realizaron un manual de la vegetación urbana para Guadalajara describiendo de manera minuciosa 101 especies de árboles, hierbas y arbustos, detallando tanto el tamaño que alcanzan así como su rapidez de crecimiento, enfermedades a las que son susceptibles, podas y su resistencia a la contaminación atmosférica. Para así determinar que especie es la más adecuada para cada necesidad, evitando los problemas cotidianos de banquetas levantadas, árboles caídos y podados por el peligro que representan para el cableado de luz y teléfono.

Chávez *et al.*, (2010) realizaron un censo forestal urbano en la Colonia Chapalita en el municipio de Zapopan, Jalisco, en dicho estudio se censaron 58 especies y un total de 1778 individuos: encontrándose un 6 % de *C. aurantium* (113 individuos), un 10 % de *Ficus benjamina* (174 individuos) y 7 % de *Fraxinus uhdei* (121 individuos) del total de las especies encontradas, siendo estas tres de las más dominantes en la Colonia Chapalita.

## JUSTIFICACION

Debido a que la gran mayoría de los efectos de los contaminantes sobre la vegetación se han realizado en experimentos con condiciones controladas y generalmente con muy altas concentraciones (Jarma *et al.*, 2012) esta aproximación pretende realizar un estudio del efecto de dos ambientes urbanos en condiciones naturales con diferente grado de contaminación para ver el efecto de acumulación de elementos traza, por lo que sería uno de los primeros trabajos en la ciudad con este enfoque.

Debido a que en la Zona Metropolitana de Guadalajara se emplean más de 120 especies para la reforestación, el conocimiento que se genere permitirá identificar las especies que tengan una mayor eficiencia para la acumulación de contaminantes atmosféricos; de esta manera se podrán emplear algunas especies vegetales que reúnan las características adecuadas para reducir la contaminación, ya que el poder de retención por las hojas varía con la especie y las características morfo-anatómicas de la hoja (Dalamasso, 1997).

## **HIPOTESIS**

La identificación de las especies seleccionadas que contengan una mayor capacidad de fijación de metales pesados en el tejido foliar, tendrá la finalidad de proponer un diseño que sea útil en la reforestación urbana: esto contribuirá a disminuir la contaminación y al mejoramiento de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Determinar la fijación de metales pesados en tejido foliar de tres especies vegetales representativas, empleadas en la reforestación urbana en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

### Objetivos Particulares

- 1) Evaluar la acumulación de metales pesados en la superficie de las hojas y en tejido foliar de especies vegetales (*Citrus aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei*) en la Zona Metropolitana de Guadalajara en ambientes con alto y bajo grado de contaminación.
- 2) Realizar mediciones microambientales de contaminantes atmosféricos en la Zona Metropolitana de Guadalajara en ambientes con alto y bajo grado de contaminación.

## DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para el presente trabajo se estudiaron dos zonas, una con alto grado de contaminación y otro con bajo grado: La Zona Metropolitana de Guadalajara y el Bosque los Colomos respectivamente.

**Zona Metropolitana de Guadalajara:** es la región resultante de la fusión del municipio de Guadalajara con otros siete municipios. El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan, los otros dos municipios son: Juanacatlán e Ixtlahuacán de los Membrillos (Fig.1) que son considerados como municipios exteriores pertenecientes a la zona metropolitana pero que no forman parte de su mancha urbana. Abarca una extensión territorial de 2.734 km<sup>2</sup> donde habita una población de 4'095.853 habitantes (Gobierno del estado de Jalisco 2011). Se ubica en una región geográfica cuyas coordenadas son latitud 20°41' N. longitud 103°20'W. altitud 1578 msnm. Se sitúa principalmente sobre el valle de Atemajac. Un factor importante para la dinámica local de los contaminantes en la ZMG son los complejos montañosos, al suroeste se encuentran cerros de altura importante como el del Cuatro, de las Juntas, Santa María de Tequepexpan y del Tesoro, al oeste se limita por la sierra de la Venta del Astillero, esta cadena rodea el valle en forma de U que constituye una barrera física natural importante para la dinámica local de los contaminantes atmosféricos (Davydova *et al.*, 1999). Un segundo factor son las inversiones térmicas y la ocurrencia de vientos débiles durante casi todo el año (Montaño *et al.*, 2009).

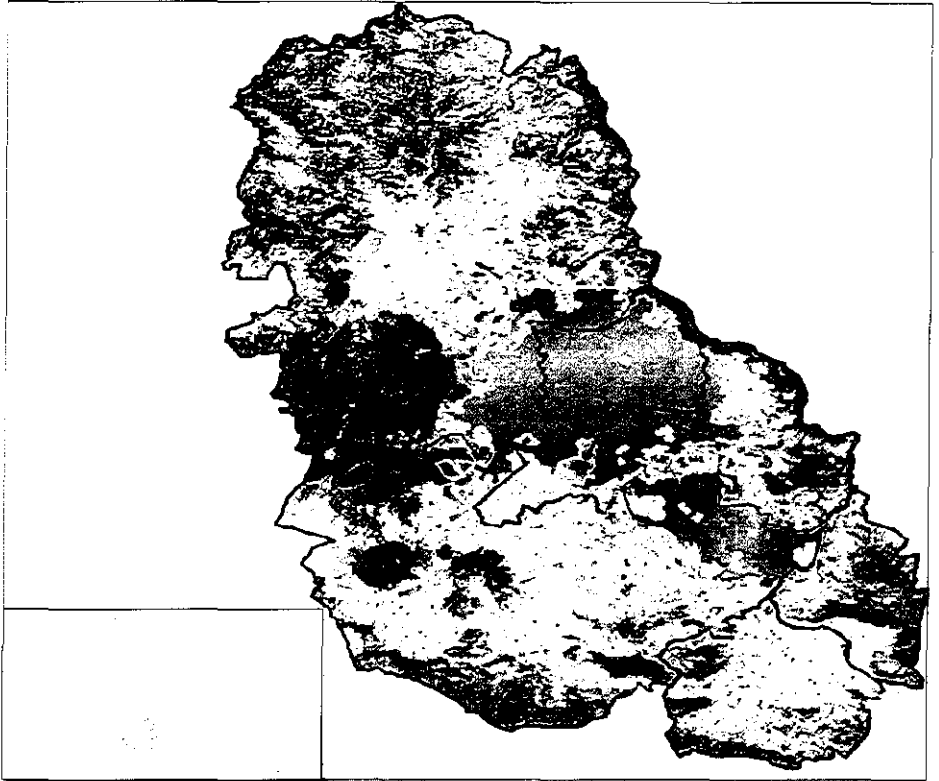


Fig. 1 Mapa de la Zona Metropolitana de Guadalajara  
Fuente: INEGI y CEA JALISCO (2013)

**Bosque los Colomos:** tiene una superficie aproximada de 110.17 ha y se localiza en el noroeste del municipio de Guadalajara, Jalisco. Ocupa una porción territorial de la microcuenca de Atemajac, se encuentra delimitado por calles de la ciudad de Guadalajara tales como avenida Patria, calle Alberta, calle El Chaco y calle Nueva Escocia. Muy cerca del cruce de la Avenida Patria con la Avenida Américas. Dentro de la Colonia Providencia, en Guadalajara. (Informe Técnico, 2006).

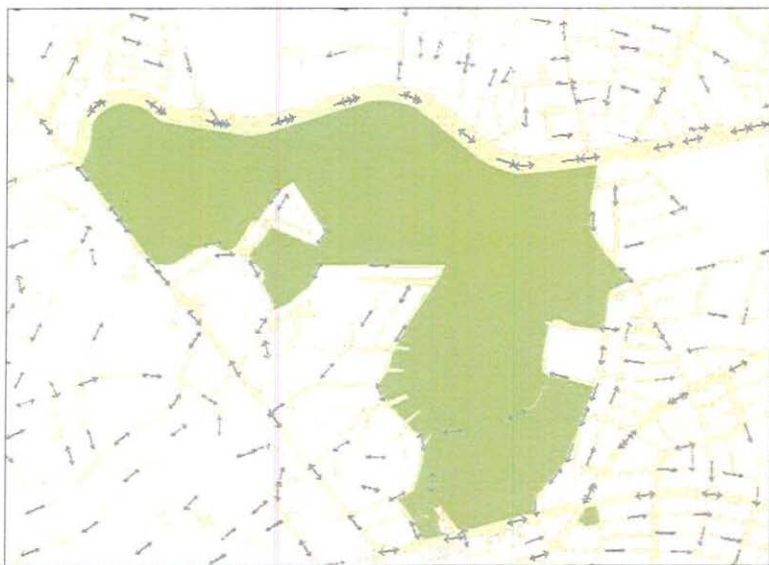


Fig. 2. Mapa del Bosque los Colomos  
Fuente: INEGI. Mapa Digital de México (2013)



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Medición de contaminantes ambientales

El registro de contaminantes ambientales de CO, SO<sub>2</sub>, y NO<sub>2</sub> se realizaron en los dos sitios seleccionados. Para la medición del sitio con alto grado de contaminación se establecieron rutas dentro de la ZMG donde se encuentran los puntos más conflictivos y/o con mayor tránsito vehicular (Fig.2). Las mediciones para CO y SO<sub>2</sub> se realizaron con el equipo MSA ALTAIR 5 y para las mediciones de NO<sub>2</sub> con el equipo MSA ALTAIR PRO.

Para las mediciones en el Parque los Colomos en cada una de las estaciones del año se realizaron cada 10 minutos de las 8 horas hasta las 15 horas. De igual manera en cada estación del año, en la ZMG se realizaron de manera itinerante cada minuto desde las 8 horas a las 18 horas. Asimismo, se tomaron los datos de monitoreo ambiental generados por la SEMADES Jalisco (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO).



## **Análisis de metales pesados en las hojas**

En cada una de las estaciones del año se colectaron hojas de las especies seleccionadas en los mismos puntos donde se realizaron las mediciones microambientales. Las muestras fueron guardadas en bolsas tipo Ziploc para su posterior tratamiento. Las hojas fueron cortadas a la mitad de manera axial: una mitad se dejó sin lavar y la otra mitad se lavó ligeramente con agua corriente y finalmente se lavó tres veces con agua deionizada (Ye *et al.*, 1997), debido a que ha sido señalado por algunos autores (Wyttenbach y Tobler, 1998), que existe una diferencia significativa entre las concentraciones de metales pesados en las hojas lavadas y sin lavar (Tomašević *et al.*, 2004).

Las muestras se colocaron en una estufa para ser secadas a 80° C hasta obtener un peso constante (Ye *et al.*, 1997). Se molieron hasta quedar completamente trituradas. Para la medición de los metales se utilizó el procedimiento de digestión ácida se pesó 0.8 g de la muestra seca y molida en un crisol de porcelana. Se calcinó la muestra en una mufla desde 100 °C ascendiendo lentamente la temperatura hasta 550 °C, durante dos horas.

Las cenizas se solubilizaron utilizando 12 mL de ácido clorhídrico (HCL) y 4 mL de ácido nítrico concentrado (HNO<sub>3</sub>). La mezcla se colocó en una plancha de calentamiento a una temperatura de 95°C durante 3 horas. Posterior a la digestión las muestras fueron filtradas con papel filtro Whatman No. 42 en un matraz volumétrico de 100 mL. Terminada la filtración la muestra se aforó (Helrich, 1990). Las concentraciones de los metales pesados (Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn) se determinaron mediante el espectrofotómetro de absorción atómica marca VARIAN modelo AA240FS previamente calibrado con soluciones estándares para optimizar la lectura de las muestras: según las especificaciones requeridas para el equipo.

## Determinación de Nitrógeno

Para la determinación de Nitrógeno total se utilizo la técnica Kjeldahl (Helrich, 1990), procediendo de la siguiente forma: Se pesaron 0.300 gramos de las muestras previamente molidas, añadiendo una cucharada de mezcla selénica reactiva y 15 ml de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), se colocó en el digestor a una temperatura de 410 °C hasta que la muestra en digestión tomó un color verde esmeralda límpido. Las muestras fueron destiladas con hidróxido de sodio (NaOH) al 40 %. El destilado se recibió en un matraz Erlenmeyer de 250 mL que contenía 50 mL de ácido bórico al 2 % y 3 gotas de indicador universal. Se tituló con HCL 0.1 N y se anotó el gasto. El cálculo se hizo mediante la siguiente fórmula:

$$\% N = \frac{(G) (N) (Meq) (100)}{gM}$$

Donde:

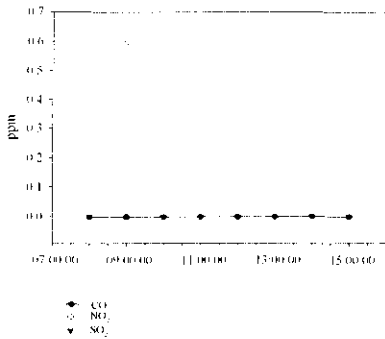
- G = Gasto de Ácido Clorhídrico
- N = Normalidad del Ácido
- Meq = Miliequivalente del Nitrógeno 0.014
- 100 = Para referir al porciento
- gM = Gramos de muestra

## RESULTADOS

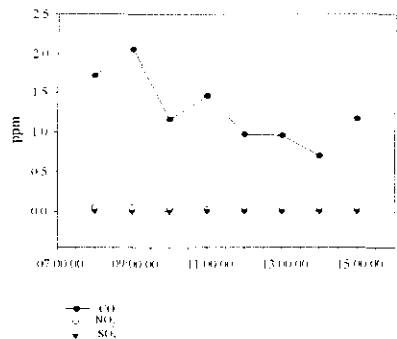
### Mediciones microambientales

#### Mediciones de Primavera

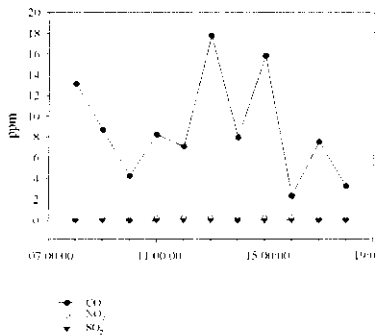
Las concentraciones microambientales de CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> (Gráficas 1- 4) indican que las concentraciones de NO<sub>2</sub> en el ambiente con menor grado de contaminación tienen un registro máximo de 0.6 ppm hacia las nueve de la mañana, mientras que el resto no presentan datos significativos. Por el contrario el NO<sub>2</sub> en la ZMG presentó una variación a lo largo del día con un promedio de 0.09 ppm. Sin embargo los datos obtenidos por las estaciones fijas de la SEMADES indican que los valores promedio registrados son superiores presentando un promedio de 1.27 ppm de CO, 0.02 ppm de NO<sub>2</sub> y 0.004 de SO<sub>2</sub>, donde se registran los valores más altos a las nueve de la mañana con 2.06 ppm de CO y 0.05 de NO<sub>2</sub>, por el contrario el SO<sub>2</sub> se registra el valor más alto a las seis de la tarde con un valor de 0.004 ppm.



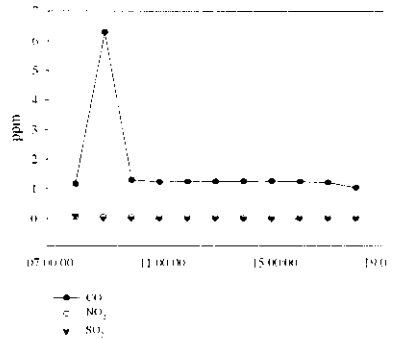
Gráfica 1. Medición Bosque Colomos, primavera.



Gráfica 2. Datos SEMADES, primavera.



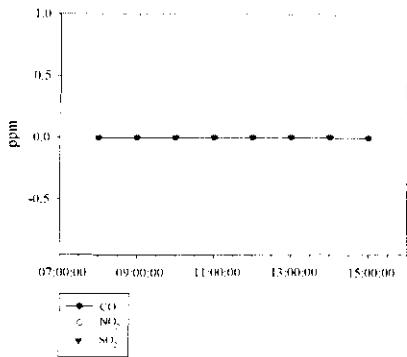
Gráfica 3. Medición ZMG, primavera



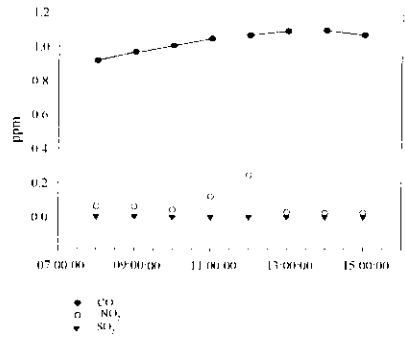
Gráfica 4. Datos SEMADES, primavera

### Mediciones de verano

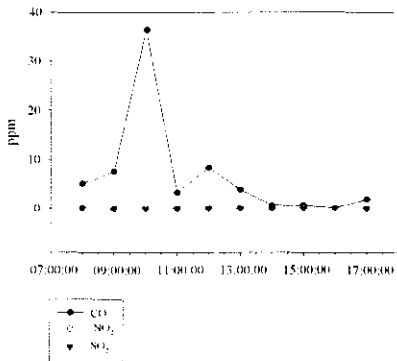
En las mediciones microambientales realizadas en el verano (Gráficas 5-8) el sitio con bajo grado de contaminación no presenta valores, mientras en el sitio con alto grado de contaminación presenta un promedio de 6.11 ppm de CO, 0.01 de NO<sub>2</sub> y de SO<sub>2</sub> no presenta ningún valor: los registros más altos se registra a las diez de la mañana con 36.47 ppm de CO y 0.13 ppm de NO<sub>2</sub>. En los datos obtenidos de la SEMADES se registra un promedio de 1.03 ppm de CO, 0.06 ppm de NO<sub>2</sub>, donde los valores más altos se registran a la una y dos de la tarde de CO con un valor de 1.09 ppm, a las doce de la tarde con un valor de 0.24 de NO<sub>2</sub> y de SO<sub>2</sub> de las ocho de la mañana hasta las tres de la tarde siendo constante con un valor de 0.004 ppm.



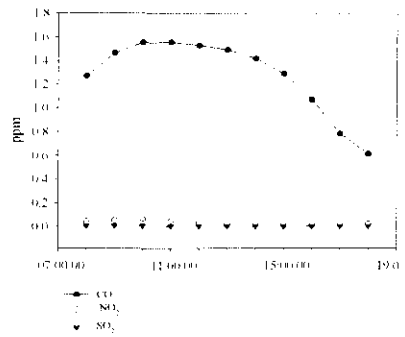
Gráfica 5. Medición Bosque los Colomos, verano



Gráfica 6. Datos SEMADES, verano



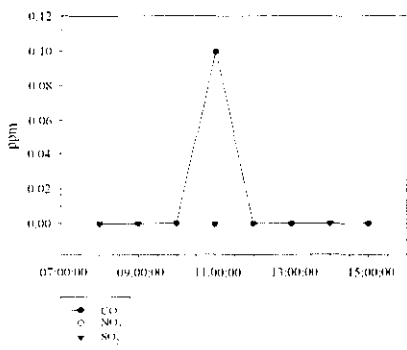
Gráfica 7 Medición ZMG, verano.



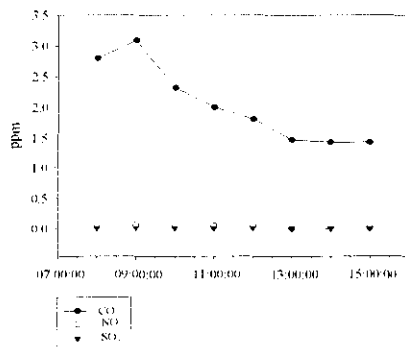
Gráfica 8. Datos SEMADES, verano.

## Mediciones de otoño

De las mediciones realizadas en el otoño (Gráficas 9-12) en el sitio con bajo grado de contaminación se registra una concentración de 0.1 ppm de CO a las once de la mañana: de los datos de la SEMADES se presenta una concentración promedio de 1.83 ppm de CO, 0.04 ppm de NO<sub>2</sub>, donde los valores más altos registrados son a las nueve de la mañana de CO con 3.08 ppm, 0.063 ppm de NO<sub>2</sub> y de SO<sub>2</sub> se registra 0.01 de las ocho a las diez de la mañana. En el sitio con alto grado de contaminación se presenta una concentración promedio de 5.12 ppm de CO y los valores registrados más altos a las once de la mañana con 8.90 ppm y a las seis de la tarde con 7.74 ppm, de NO<sub>2</sub> a las tres y cuatro de la tarde con 0.36 ppm y 0.49 ppm respectivamente y de SO<sub>2</sub> no se registra ningún valor: en los datos de la SEMADES se registran las concentraciones más altas de CO entre las ocho y diez de la mañana siendo 1.37, 1.51 y 1.62 ppm, con un promedio de 0.90 ppm, de NO<sub>2</sub> se presentan a las ocho y nueve siendo de 0.02 ppm y de SO<sub>2</sub> entre las nueve y diez de la mañana con 0.002 ppm.

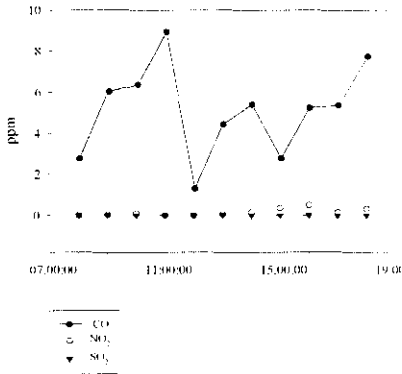


Gráfica 9. Medición Bosque los Colomos, otoño

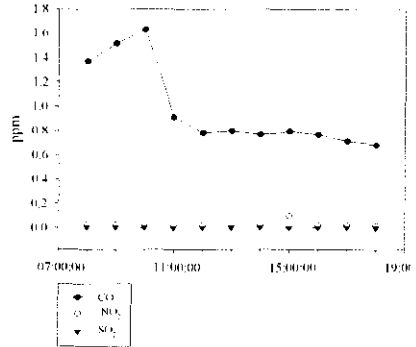


Gráfica 10. Datos SEMADES, otoño





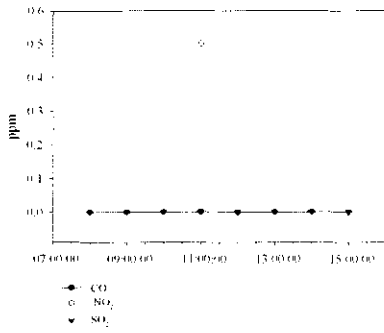
Gráfica 11. Medición ZMG, otoño



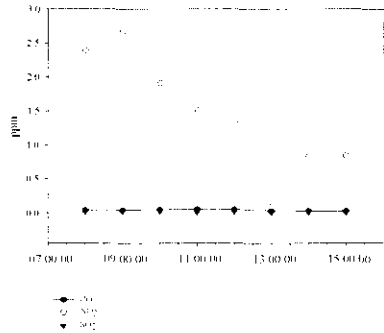
Gráfica 12. Datos SEMADES, otoño

### Mediciones de invierno

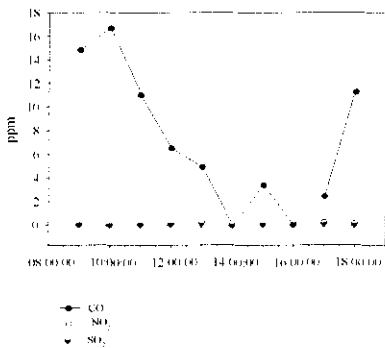
Las concentraciones microambientales de CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> (Gráficas 13-16) indican que las concentraciones de NO<sub>2</sub> en el ambiente con menor grado de contaminación tienen un registro máximo de 0.5 ppm durante las diez de la mañana, mientras que de CO y SO<sub>2</sub> no se presentan valores significativos, mientras que en los datos obtenidos de la SEMADES se registra un promedio de 1.44 ppm de CO, 0.02 de NO<sub>2</sub>, en donde las concentraciones registradas más altas son a las nueve de la mañana con un valor de 2.67 ppm de CO, 0.04 ppm de NO<sub>2</sub> y 0.015 ppm de SO<sub>2</sub>. En el ambiente con alto grado de contaminación se presenta una concentración promedio de CO de 6.45 ppm siendo la concentración más alta de 16.71 a las diez de la mañana, de NO<sub>2</sub> de 0.21 ppm a la una de la tarde y de SO<sub>2</sub> se registra la concentración más alta con un valor de 0.006 ppm a las cinco de la tarde, mientras que los datos de la SEMADES se registra un valor promedio de 1.19 ppm de CO y 0.25 ppm de NO<sub>2</sub> donde las concentraciones más altas de CO son a las nueve de la mañana con un valor de 1.88 ppm, de NO<sub>2</sub> durante las nueve de la mañana y las doce de la tarde teniendo un valor constante de 0.33 ppm y de SO<sub>2</sub> se registra una concentración constante de 0.005 ppm de las doce de la tarde hasta las tres.



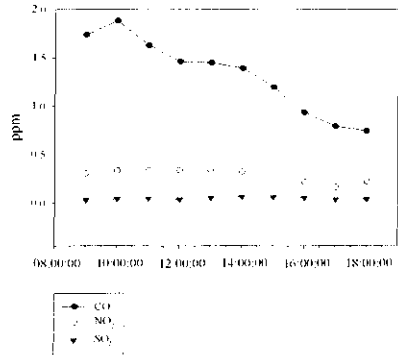
Gráfica 13. Medición Bosque los Colomos, invierno



Gráfica 14. Datos SEMADES, invierno



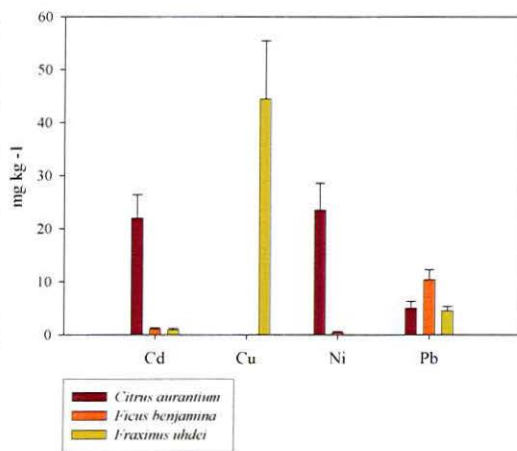
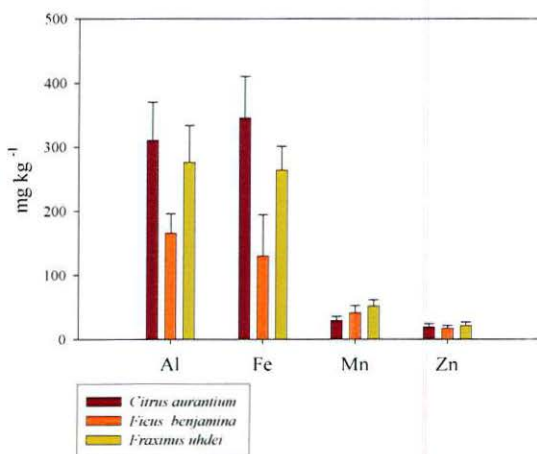
Gráfica 15. Medición ZMG, invierno



Gráfica 16. Datos SEMADES, invierno

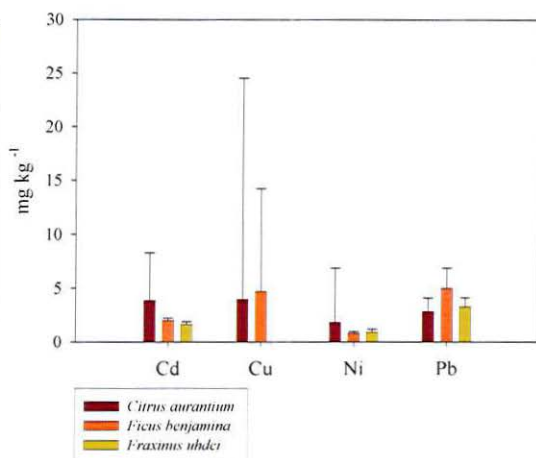
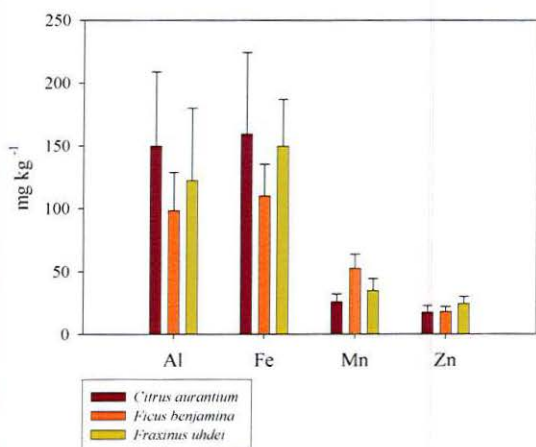
## Análisis foliar

Los análisis de elementos realizados en las hojas colectadas en los sitios de estudio revelan que en el tratamiento con hojas no lavadas se reportan los contaminantes retenidos en la superficie de las hojas y en los tejidos; en el Bosque los Colomos en la temporada de Primavera *Citrus aurantium* retiene la mayor concentración de Al ( $310.83 \pm 58.96 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cd ( $21.99 \pm 4.41 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Fe ( $345.55 \pm 64.82 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Ni ( $23.51 \pm 5.05 \text{ mg kg}^{-1}$ ); *Ficus benjamina* retiene la mayor cantidad de Pb ( $10.39 \pm 1.88 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y *Fraxinus uhdei* retiene mayor concentración de Cu ( $44.42 \pm 10.99 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Mn ( $51.37 \pm 9.57 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Zn ( $20.85 \pm 5.54 \text{ mg kg}^{-1}$ ).



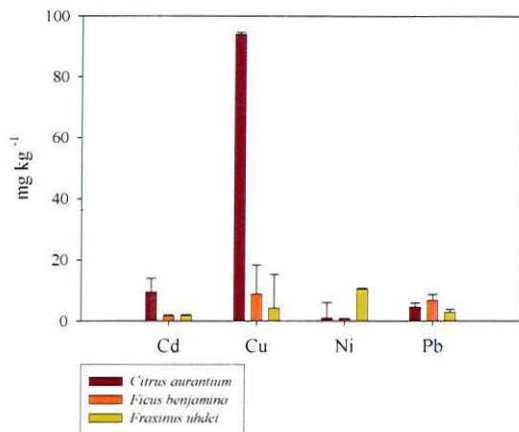
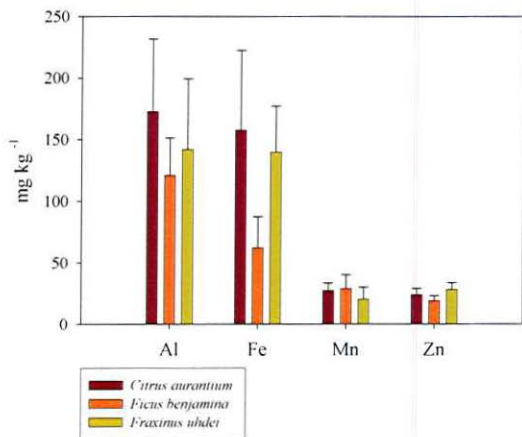
Gráficas 17 y 18. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de primavera en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal.

En el verano *C. aurantium* retiene mayores concentraciones de Al, Cd y Fe (149.84 ± 58.96 mg kg<sup>-1</sup>, 3.87 ± 4.41 mg kg<sup>-1</sup> y 159.50 ± 64.82 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente); *Ficus benjamina* la mayor concentración de Cu (4.71 ± 9.52 mg kg<sup>-1</sup>), Mn (52.46 ± 11.28 mg kg<sup>-1</sup>) y Pb (4.99 ± 1.88 mg kg<sup>-1</sup>) y *Fraxinus uhdei* retiene mayor concentración de Zn (24.64 ± 5.54 mg kg<sup>-1</sup>). El Cu no fue detectado en *Fraxinus uhdei*.



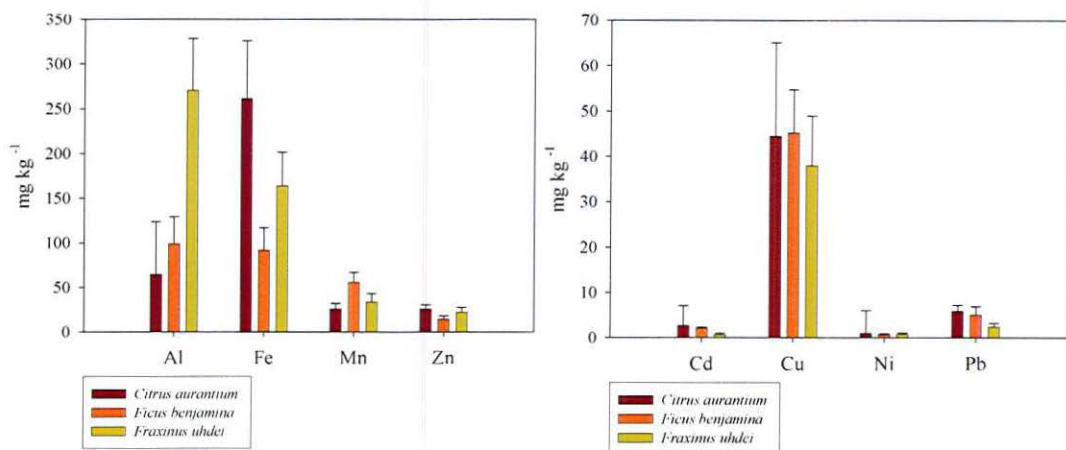
Gráficas 19 y 20. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb (mg kg<sup>-1</sup>) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de verano en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal.

En el otoño *C. aurantium* presenta las concentraciones más altas de Al (172.99 ± 58.96 mg kg<sup>-1</sup>), Cd (9.51 ± 4.41 mg kg<sup>-1</sup>), Cu (94.10 ± 0.59 mg kg<sup>-1</sup>) y Fe (157.45 ± 64.82 mg kg<sup>-1</sup>); las mayores concentraciones de Mn y Pb son en *Ficus benjamina* (28.86 ± 11.28 mg kg<sup>-1</sup> y 6.82 ± 1.88 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente). En Ni y el Zn fueron mayormente retenidos por *Fraxinus uhdei* (1.05 ± 0.25 y 28.12 ± 5.54 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente).



Gráficas 21 y 22. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn; Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de otoño en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal.

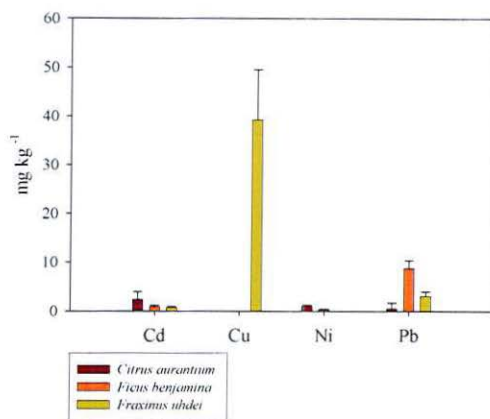
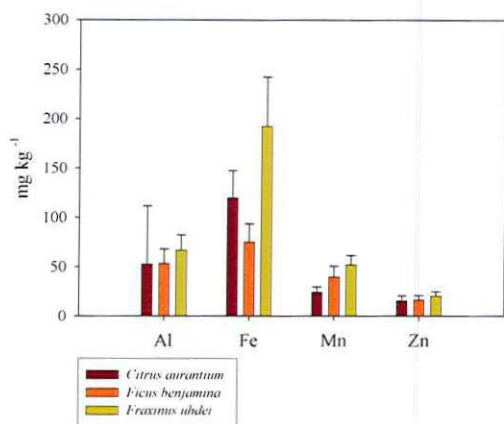
En invierno *C. aurantium* retuvo mayores concentraciones de Cd ( $2.70 \pm 4.41 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Ni ( $1.03 \pm 5.05 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Pb ( $5.95 \pm 1.27 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Zn ( $25.77 \pm 5.11 \text{ mg kg}^{-1}$ ); *Ficus benjamina* retuvo mayormente Cu ( $45.19 \pm 9.52 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Mn ( $55.87 \pm 11.28 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y *Fraxinus uhdei* Al ( $270.84 \pm 57.63 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Fe ( $163.97 \pm 37.44 \text{ mg kg}^{-1}$ ).



Gráficas 23 y 24. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de invierno en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal.

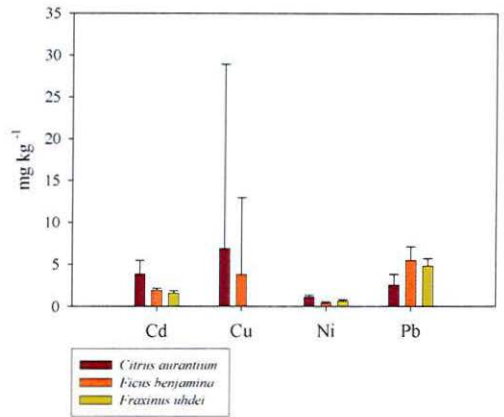
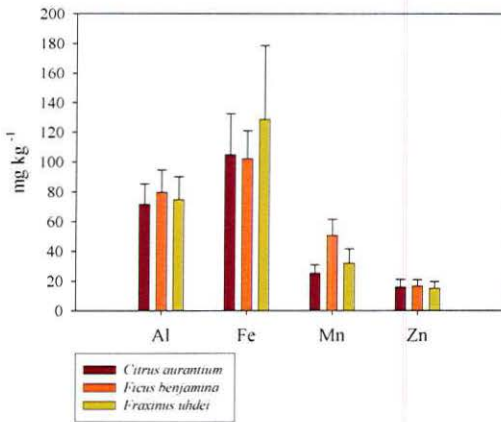
*C. aurantium* es la especie que retiene mayor cantidad de Al y Fe en las temporadas de primavera, verano y otoño, en primavera e invierno retiene mayor cantidad de Ni, en el otoño Cu, en invierno Pb y Zn, el Cd lo retiene todo el año. La especie que retiene mayor concentración de Pb en primavera, verano y otoño es *Ficus benjamina*, en el verano, otoño e invierno retiene mayor concentración de Mn y en las temporadas de verano e invierno el Cu; *Fraxinus uhdei* presenta las mayores concentraciones de Mn y Cu durante la primavera, el Zn en primavera, verano y otoño, Ni en el otoño y el Al y Fe durante el invierno. En las hojas lavadas se reportan los contaminantes acumulados en tejido foliar: en el Bosque los Colomos en la temporada de primavera *Citrus aurantium* acumuló mayor cantidad de Cd ( $2.42 \pm 1.60 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Ni ( $1.07 \pm 5.55 \text{ mg kg}^{-1}$ ); *Ficus benjamina* fue la especie que acumuló más Pb ( $8.81 \pm 1.61 \text{ mg kg}^{-1}$ ); *Fraxinus uhdei* presenta las mayores concentraciones de Al ( $66.94 \pm$

15.47 mg kg<sup>-1</sup>), Cu (39.28 ± 10.28 mg kg<sup>-1</sup>), Fe (192.48 ± 49.91 mg kg<sup>-1</sup>), Mn (52.08 ± 9.51 mg kg<sup>-1</sup>) y Zn (20.62 ± 4.23 mg kg<sup>-1</sup>).



Gráficas 25 y 26. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb (mg kg<sup>-1</sup>) en tejido foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de primavera en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal.

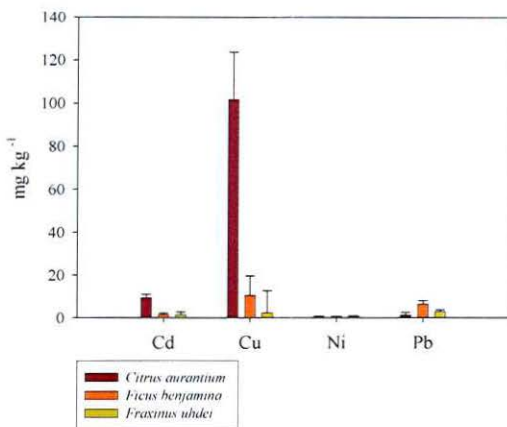
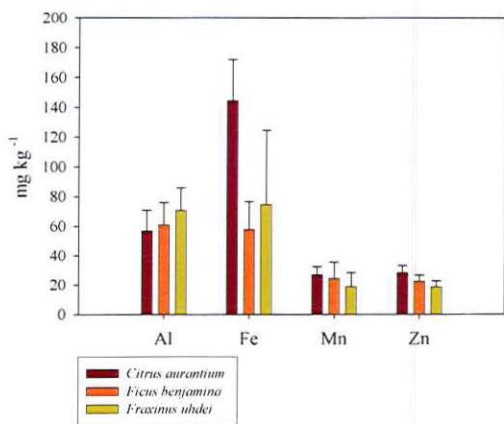
En el verano las mayores concentraciones de Cd, Cu y Ni se presentan en *C. aurantium* (3.86 ± 1.60, 6.88 ± 22.07 y 1.12 ± 0.23 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente). *Ficus benjamina* acumula mayor cantidad de Al (79.77 ± 14.80 mg kg<sup>-1</sup>), Mn (50.52 ± 10.89 mg kg<sup>-1</sup>), Pb (5.49 ± 1.61 mg kg<sup>-1</sup>) y Zn (16.66 ± 4.18 mg kg<sup>-1</sup>) y *Fraxinus uhdei* acumula mayormente Fe (128.73 ± 49.91 mg kg<sup>-1</sup>).



Gráficas 27 y 28. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn; Cd, Cu, Ni y Pb (mg kg<sup>-1</sup>) en tejido foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de verano en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal.

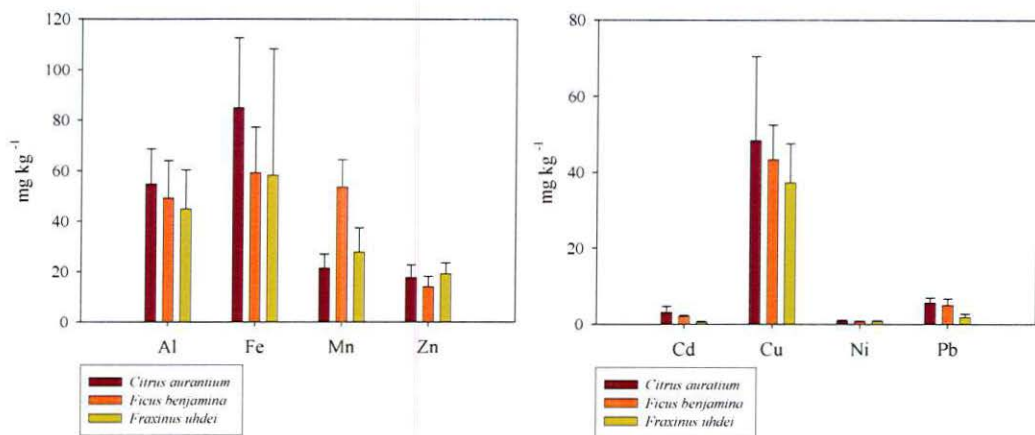
Durante el otoño *C. aurantium* acumula mayormente Cd ( $9.46 \pm 1.60$  mg kg<sup>-1</sup>), Cu ( $101.65 \pm 22.07$  mg kg<sup>-1</sup>), Fe ( $144.20 \pm 27.58$  mg kg<sup>-1</sup>), Mn ( $26.86 \pm 5.55$  mg kg<sup>-1</sup>) y Zn ( $28.06 \pm 5.02$  mg kg<sup>-1</sup>); *Ficus benjamina* presenta mayores concentraciones de Al ( $60.90 \pm 14.80$  mg kg<sup>-1</sup>) y Pb ( $6.44 \pm 1.61$  mg kg<sup>-1</sup>) y *Fraxinus uhdei* acumula Ni ( $0.71 \pm 0.19$  mg kg<sup>-1</sup>).





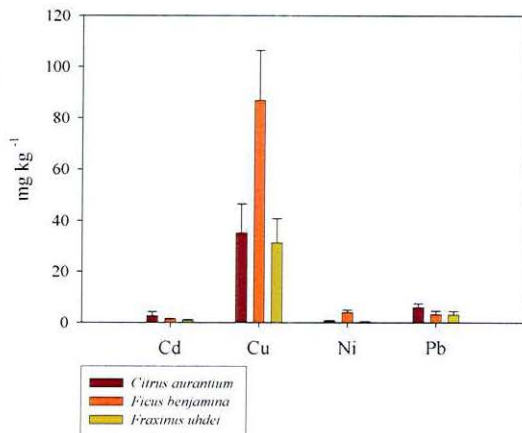
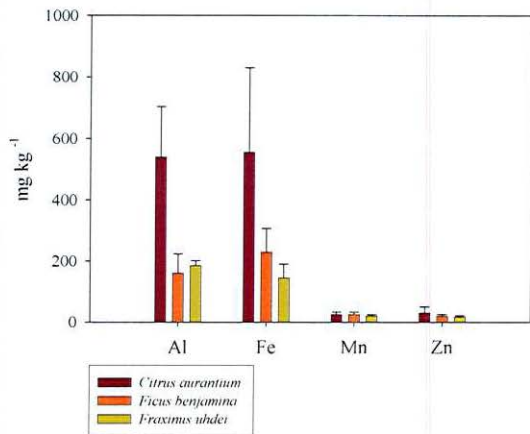
Gráficas 29 y 30. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn; Cd, Cu, Ni y Pb (mg kg<sup>-1</sup>) en tejido foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de otoño en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal.

En la temporada de invierno *C. aurantium* es la especie que acumula mayor cantidad de contaminantes: Al ( $54.78 \pm 13.83$  mg kg<sup>-1</sup>), Cd ( $3.17 \pm 1.60$  mg kg<sup>-1</sup>), Cu ( $48.39 \pm 22.07$  mg kg<sup>-1</sup>), Fe ( $85.03 \pm 27.58$  mg kg<sup>-1</sup>), Ni ( $0.91 \pm 0.23$  mg kg<sup>-1</sup>) y Pb ( $5.72 \pm 1.21$  mg kg<sup>-1</sup>). El Mn es acumula en mayor concentración por *Ficus benjamina* ( $53.45 \pm 10.89$  mg kg<sup>-1</sup>) y el Zn por *Fraxinus uhdei* ( $19.20 \pm 4.23$  mg kg<sup>-1</sup>).



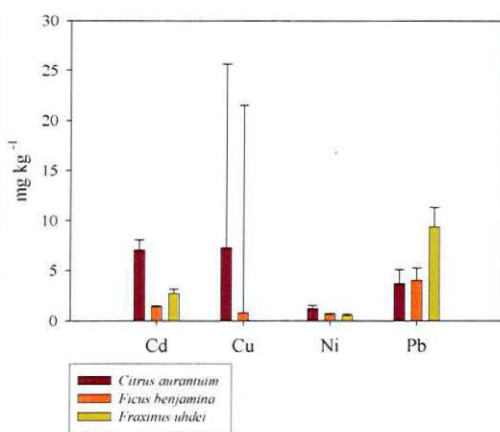
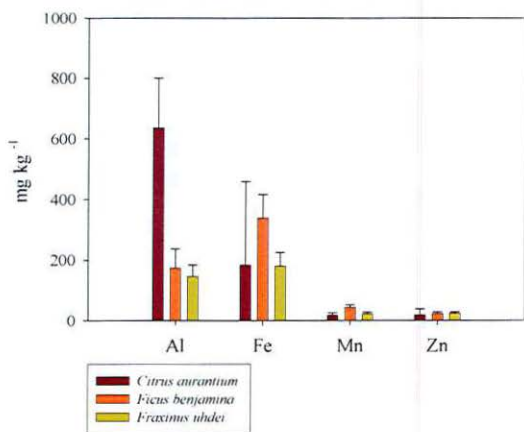
Gráficas 31 y 32. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn; Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de invierno en el Bosque los Colomos, Guadalajara, Jal.

Durante todo el año *C. aurantium* acumula Cd en mayores cantidades: durante primavera, verano e invierno acumula mayormente Ni, en el verano, otoño e invierno acumula Cu, durante el otoño e invierno Fe, en el otoño Mn y Zn y en el invierno Pb. *Ficus benjamina* acumula Pb en casi todo el año (primavera, verano y otoño). *Fraxinus uhdei* acumula Fe durante primavera y verano, el Zn en primavera e invierno. Al igual que en las hojas no lavadas *Fraxinus uhdei* acumula la mayor cantidad de Ni durante el otoño y en el invierno solo acumula Zn. Las concentraciones de metales pesados en las especies de la Zona Metropolitana de Guadalajara de las hojas sin lavar de la temporada de primavera presentan una alta concentración de Al, Cd, Fe, Pb y Zn en *C. aurantium* ( $538.49 \pm 165.35$ ,  $2.88 \pm 0.99$ ,  $554.81 \pm 276.18$ ,  $7.20 \pm 1.40$  y  $29.90 \pm 19.95 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente); *Ficus benjamina* retiene mayor cantidad de Cu ( $68.18 \pm 18.33 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Mn ( $24.58 \pm 8.24 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Ni ( $3.27 \pm 0.64 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y *Fraxinus uhdei* en esta temporada presenta las concentraciones más bajas de todos los contaminantes.



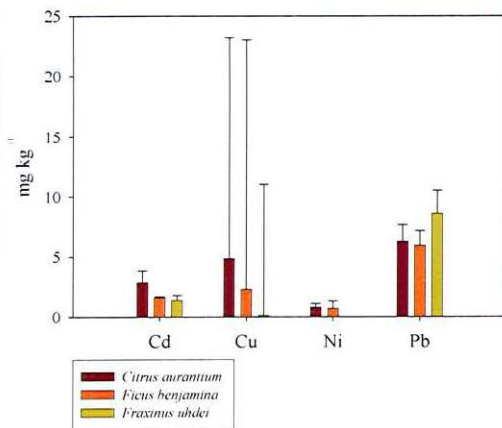
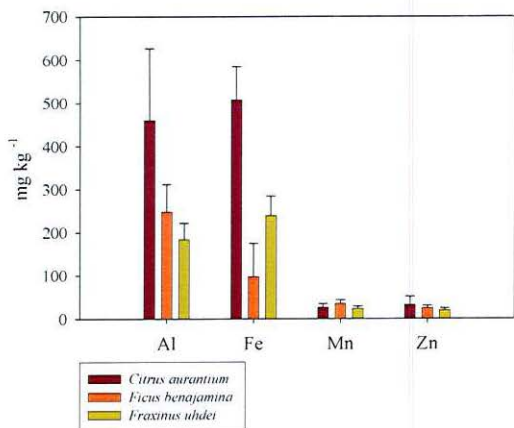
Gráficas 33 y 34. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn; Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de primavera en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal.

En el verano *C. aurantium* presenta las más altas concentraciones de Al ( $635.66 \pm 165.35 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cd ( $7.08 \pm 0.99 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cu ( $7.30 \pm 18.33 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Ni ( $1.20 \pm 0.30 \text{ mg kg}^{-1}$ ); *Ficus benjamina* acumula mayormente Fe ( $339.16 \pm 77.29 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Mn ( $43.62 \pm 8.24 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y *Fraxinus uhdei* Pb ( $9.34 \pm 1.92 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Zn ( $23.43 \pm 4.68 \text{ mg kg}^{-1}$ ).



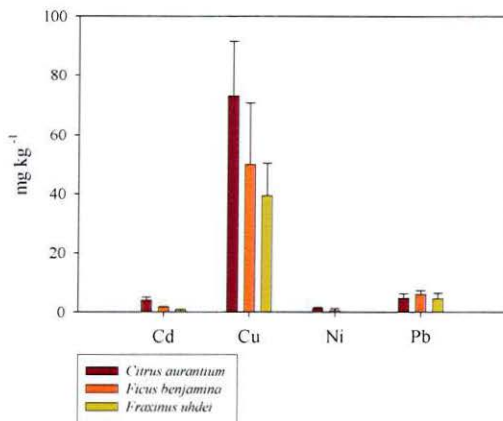
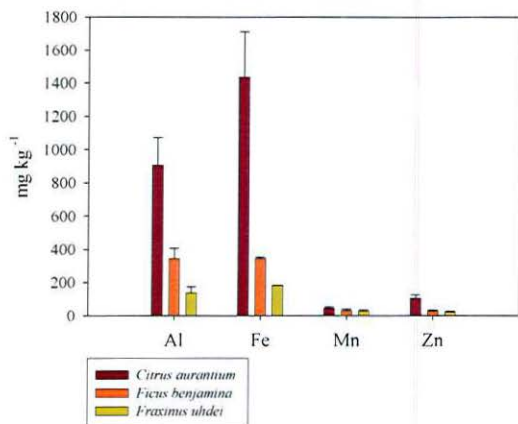
Gráficas 35 y 36. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn; Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de verano en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal.

Durante el otoño *C. aurantium* retiene mayor cantidad de Al ( $460.56 \pm 165.35 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cd ( $2.86 \pm 0.99 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cu ( $4.87 \pm 18.53 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Fe ( $507.69 \pm 76.18 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Ni ( $0.79 \pm 0.30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Zn ( $31.49 \pm 19.95 \text{ mg kg}^{-1}$ ); *Ficus benjamina* solo acumuló Mn en esta temporada ( $34.59 \pm 8.24 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y *Fraxinus uhdei* Pb ( $8.62 \pm 1.92 \text{ mg kg}^{-1}$ ).



Gráficas 37 y 38. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn; Cd, Cu, Ni y Pb (mg kg<sup>-1</sup>) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de otoño en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal.

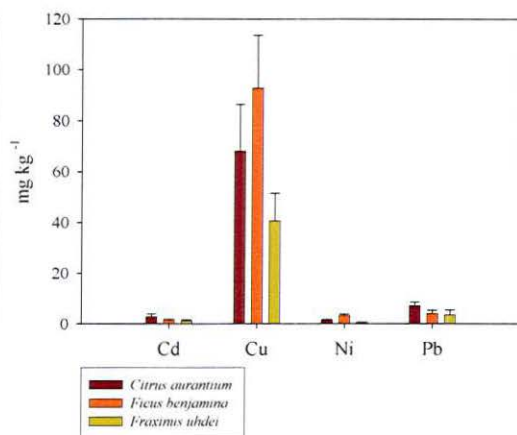
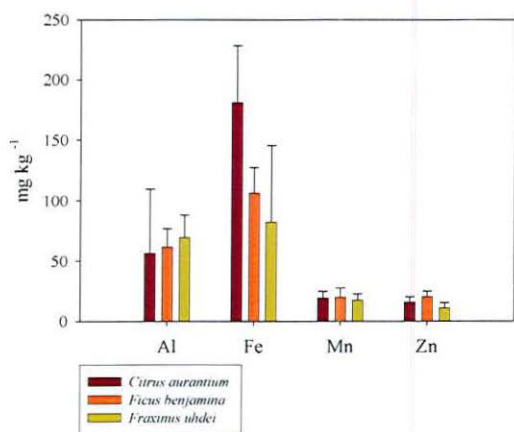
En el invierno *C. aurantium* presenta la mayor concentración de Al (907.93 ± 165.35 mg kg<sup>-1</sup>), Cd (4.08 ± 0.99 mg kg<sup>-1</sup>), Cu (73.30 ± 18.33 mg kg<sup>-1</sup>), Fe (1434.56 ± 276.18 mg kg<sup>-1</sup>), Mn (44.54 ± 8.04 mg kg<sup>-1</sup>), Ni (1.28 ± 0.30 mg kg<sup>-1</sup>) y Zn (104.57 ± 19.95 mg kg<sup>-1</sup>); *Ficus benjamina* retiene la mayor concentración de Pb (6.05 ± 1.22 mg kg<sup>-1</sup>) y *Fraxinus uhdei* tiene las concentraciones más bajas que *C. aurantium* y *Ficus benjamina*.



Gráficas 39 y 40. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn; Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la superficie foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de invierno en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal.

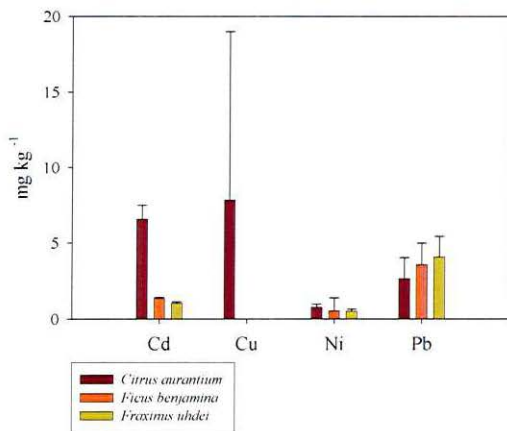
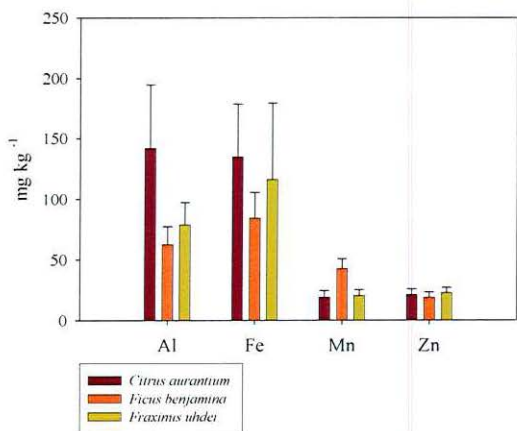
En la ZMG el Al y Cd es retenido por *C. aurantium* durante todo el año, el Fe y Zn en las temporadas de primavera, otoño e invierno, el Cu y Ni durante el verano, otoño e invierno y el Pb solo en primavera. *Ficus benjamina* retiene Mn en casi todo el año durante las temporadas de primavera, verano y otoño. La especie *Fraxinus uhdei* retiene Pb durante el verano y el otoño.

Las hojas lavadas de la ZMG en la temporada primavera la especie *C. aurantium* acumuló las mayores concentraciones de Cd ( $2.86 \pm 1.60 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Fe ( $181.36 \pm 46.63 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Pb ( $6.07 \pm 1.38 \text{ mg kg}^{-1}$ ); *Ficus benjamina* acumuló mayor cantidad de Cu ( $35.21 \pm 11.15 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Mn ( $19.70 \pm 7.80 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Ni ( $4.12 \pm 0.84 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y *Fraxinus uhdei* presenta una mayor acumulación de Al ( $69.71 \pm 18.37 \text{ mg kg}^{-1}$ ).



Gráficas 41 y 42. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn; Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en tejido foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de primavera en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal.

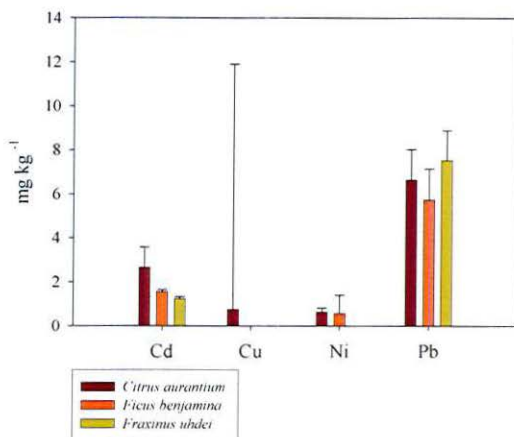
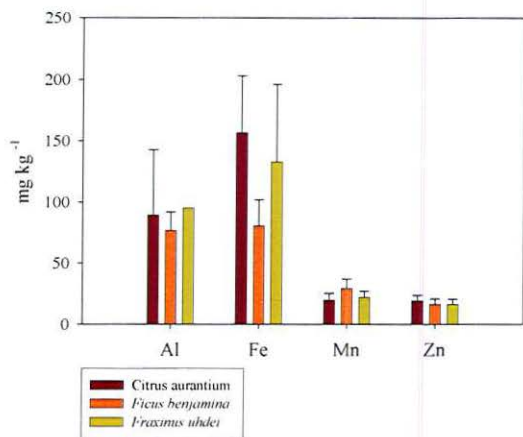
En el verano *C. aurantium* acumuló mayormente Al ( $141.72 \pm 53.11 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cd ( $6.58 \pm 11.15 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Fe ( $134.77 \pm 43.63 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Ni ( $0.77 \pm 0.18 \text{ mg kg}^{-1}$ ); *Ficus benjamina* solo presentó una alta concentración de Mn ( $42.71 \pm 7.80 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y *Fraxinus uhdei* acumuló Pb y Zn ( $4.07 \pm 1.35$  y  $22.61 \pm 4.45 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente).



Gráficas 43 y 44. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn; Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en tejido foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de verano en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal.

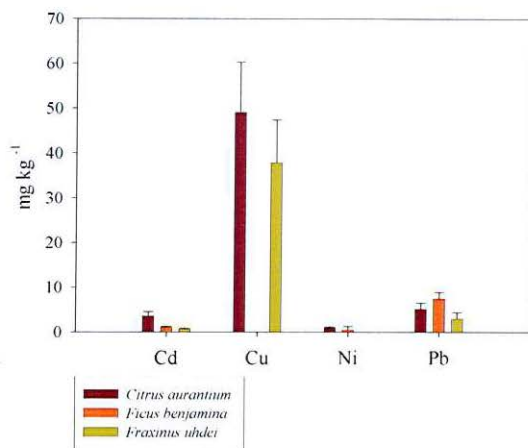
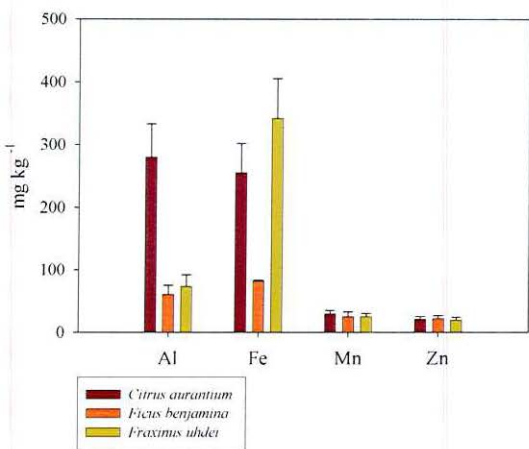
Durante el otoño las mayores concentraciones de Cd, Cu, Fe, Ni y Zn se presentaron en *C. aurantium* ( $2.67 \pm 0.92$ ,  $0.75 \pm 11.15$ ,  $156.51 \pm 46.63$ ,  $0.64 \pm 0.18$  y  $19.39 \pm 4.45 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente); *Ficus benjamina* solo presento una alta concentración de Mn ( $29.41 \pm 7.80$ ) y *Fraxinus uhdei* acumuló mayormente Al ( $95.15 \pm 18.37 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Pb ( $7.53 \pm 1.35 \text{ mg kg}^{-1}$ ). El Cu no fue detectado en *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* así como el Ni.





Gráficas 45 y 46. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn: Cd, Cu, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en tejido foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de otoño en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal.

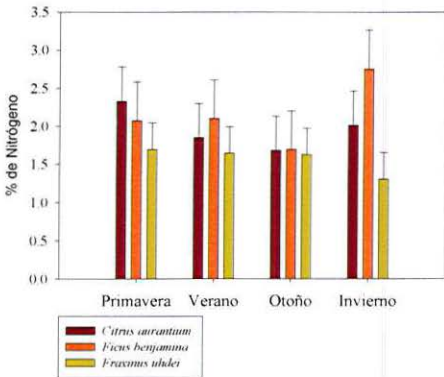
En el invierno *C. aurantium* presentó concentraciones altas de Al ( $279.72 \pm 53.11 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cd ( $3.58 \pm 0.92 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cu ( $49.14 \pm 11.15 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Mn ( $29.56 \pm 5.38 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Ni ( $0.99 \pm 0.18 \text{ mg kg}^{-1}$ ); *Ficus benjamina* mayormente acumuló Pb ( $7.47 \pm 1.41 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Zn ( $22.26 \pm 4.49 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y *Fraxinus uhdei* obtuvo una mayor concentración de Fe ( $342.03 \pm 63.36 \text{ mg kg}^{-1}$ ).



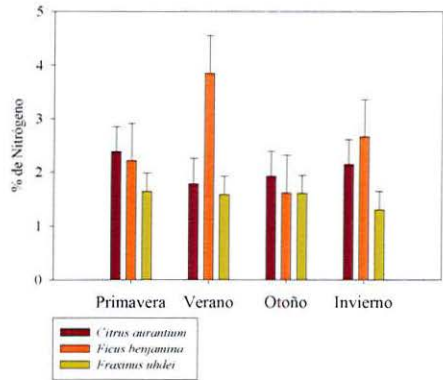
Gráficas 47 y 48. Concentraciones de Al, Fe, Mn, Zn; Cd, Cu, Ni y Pb (mg kg<sup>-1</sup>) en tejido foliar de *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* colectadas en la estación de invierno en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal.

## Nitrógeno total

El porcentaje de Nitrógeno de las especies del Bosque los Colomos en las hojas no lavadas *C. aurantium* presenta mayor porcentaje durante la primavera ( $2.33 \pm 0.45$ ), mientras que *Ficus benjamina* tiene mayor porcentaje durante el verano, otoño e invierno ( $2.10 \pm 0.51$ ,  $1.69 \pm 0.51$  y  $2.75 \pm 0.51$  respectivamente) mientras que *Fraxinus uhdei* presenta el menor porcentaje durante todo el año. En las hojas lavadas *C. aurantium* presenta el mayor porcentaje en la primavera y el otoño ( $2.38 \pm 0.47$  y  $1.92 \pm 0.47$  respectivamente) y *Ficus benjamina* durante el verano y el invierno ( $3.85 \pm 0.70$  y  $2.66 \pm 0.70$  respectivamente).

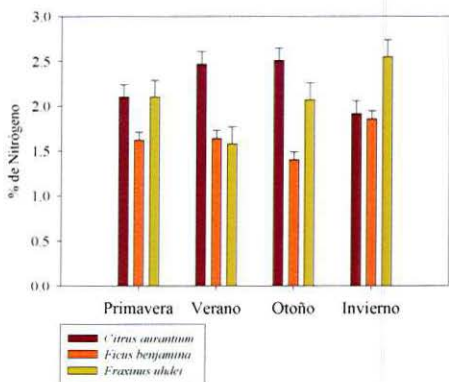


Gráfica 49. Porcentaje de Nitrógeno en las hojas no lavadas del Bosque Colomos.

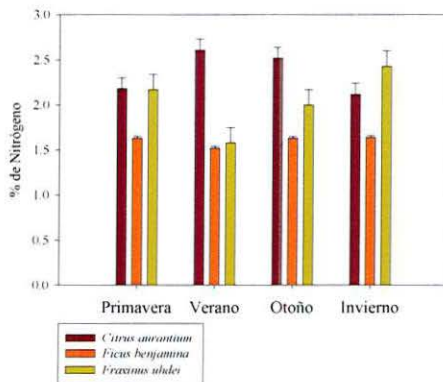


Gráfica 50. Porcentaje de Nitrógeno en las hojas lavadas del Bosque los Colomos

En la Zona Metropolitana las hojas no lavadas de *C. aurantium* y *Fraxinus uhdei* presentan el mismo porcentaje (2.10) en la temporada de primavera y en el verano, otoño e invierno *C. aurantium* tiene el mayor porcentaje de Nitrógeno ( $2.47 \pm 0.14$ ,  $2.51 \pm 0.14$  y  $1.92 \pm 0.14$  respectivamente). En las hojas lavadas *C. aurantium* tiene los porcentajes durante la primavera ( $2.18 \pm 0.12$ ), verano ( $2.61 \pm 0.12$ ) y otoño ( $2.52 \pm 0.12$ ) y en el invierno *Fraxinus uhdei*  $2.43 \pm 0.17$  siendo el más alto durante esta temporada.



Gráfica 51. Porcentaje de Nitrógeno en las hojas no lavadas en la ZMG.



Gráfica 52. Porcentaje de Nitrógeno en las hojas lavadas en la ZMG

## **Análisis Estadístico**

El proceso de datos se realizó, de primera instancia, elaborando una base de datos en el programa SPSS versión 20.0. Determinando como variables independientes: la especie de árbol, el sitio de muestreo, estación del año y lavado del material foliar. Como variables de respuesta se tomaron los niveles de los metales contaminantes examinados (Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn). En este mismo programa, para los datos de escala de intervalo se calcularon media aritmética y desviación estándar como medidas descriptivas de resumen y de variabilidad y como medidas inferenciales se aplicó análisis de varianza. Previa determinación de normalidad, mediante las pruebas de Cramer-von Mises y Shapiro Milk.

En el caso de los datos categóricos para su descripción, se obtuvieron frecuencias absolutas y relativas (porcentajes), y como medidas inferenciales se aplicó la Ji cuadrada normal; o con corrección de Yates, o la prueba exacta de Fisher, de acuerdo al número de elementos que se ubicaran en las casillas de los cuadros de análisis. Para el contraste de porcentajes se aplicó la prueba binomial. Al determinar diferencias estadísticas, en todos los casos se consideró significativa una "p" menor o igual a 0.05.

Tabla 1. Valores promedio de los elementos determinados en  $\text{mg kg}^{-1}$  de peso seco en las hojas de *Citrus aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei*.

ESPECIE	Al	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
<i>Citrus aurantium</i>	252.95± 256.12 a	5.59 ± 4.97a	34.13 ± 35.36 a	299.14± 332.42a	25.41 ± 6.31a	2.44± 5.36a	4.44 ± 1.97a	26.57 ± 21.41a
<i>Ficus benjamina</i>	119.58 ± 82.04 b	1.60 ± 0.35b	21.83 ± 31.85 a	128.22 ± 92.64b	37.47 ± 11.48a	0.97 ± 1.08a	5.82 ± 1.89a	19.50 ± 3.92a
<i>Fraxinus uhdei</i>	127.31 ± 71.18 c	1.22 ± 0.55c	19.68 ± 19.67 a	151.88 ± 73.12c	27.98 ± 10.69a	0.48 ± 0.34a	4.35 ± 2.22a	19.96 ± 4.07a
Anova (F de Snedecor)	3.48	11.25	1.14	3.16	6.78	1.51	2.63	1.52
p	<b>0.038</b>	<b>0.000095</b>	0.32	<b>0.051</b>	<b>0.002</b>	0.22	0.08	0.22

\*Las diferencias significativas entre las especies se indican con letras diferentes.

Con los resultados obtenidos en el presente estudio podemos decir que las especies estudiadas tienen diferente capacidad de acumulación de elementos considerados como contaminantes, de esta manera podemos decir de manera general *C. aurantium* tiende a acumular de manera significativa los siguientes elementos: Al, Cd, Fe, y si bien no se encontraron diferencias significativas en cuanto al Ni, y Zn, si fue superior en comparación de *F. benjamina* y *F. uhdei*. Existen diferencias significativas entre las especies (*Citrus aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei*) y la acumulación de Al ( $p < 0.038$ ), Cd ( $p < 0.000095$ ), Fe ( $p < 0.051$ ) y Mn ( $p < 0.002$ ), destacando que *C. aurantium* es la especie con mayor acumulación de Al, Cd y Fe durante todo el año. En el caso del Al, *C. aurantium* del sitio no contaminado acumula una mayor concentración durante la temporada de primavera con un valor de  $310.83 \text{ mg kg}^{-1}$  en las hojas no lavadas, en el sitio contaminado acumula durante las temporadas de verano e invierno con valores de  $635.66 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $907.93 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente; el Cd fue mayormente acumulado en las temporadas de primavera y verano en el sitio no contaminado con valores de  $21.99 \text{ mg kg}^{-1}$ , y  $9.46 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente, en el sitio contaminado acumuló mayor concentración durante el verano con un valor de  $7.08 \text{ mg kg}^{-1}$  y el invierno con  $4.08 \text{ mg kg}^{-1}$ ; con respecto al Fe en el sitio no contaminado presenta concentraciones altas durante la primavera con  $345.55 \text{ mg kg}^{-1}$  y el invierno con  $261.36 \text{ mg kg}^{-1}$  y en el sitio contaminado durante el invierno se reporta un valor de

1434.56 mg kg<sup>-1</sup> siendo este el más alto en ambos sitios durante todo el año en *C. aurantium*. *Ficus benjamina* es la especie que acumula mayor concentración de Mn con concentraciones arriba de los 50 mg kg<sup>-1</sup> en el sitio no contaminado en las temporadas de verano e invierno tanto en hojas no lavadas como en las lavadas y *Fraxinus uhdei* acumula en la temporada de primavera en el sitio no contaminado concentraciones similares a *Ficus benjamina*.

Con respecto al Cu, Ni, Pb y Zn no se encontraron diferencias significativas sin embargo con el Cobre se obtuvo el valor más alto en la temporada de otoño en el sitio no contaminado con *C. aurantium* en las hojas lavadas con un valor de 101.65 mg kg<sup>-1</sup>, el Ni tuvo la concentración más alta en la temporada de primavera en el sitio no contaminado de las hojas no lavadas de *C. aurantium* con un valor de 23.51 mg kg<sup>-1</sup>, en el caso del Pb se reportó la concentración más alta en la temporada de primavera en el sitio no contaminado con *Ficus benjamina* en las hojas no lavadas con un valor 10.39 mg kg<sup>-1</sup> y por último el Zn se reporta la concentración más alta en el sitio no contaminado en la temporada de invierno en *C. aurantium* de las hojas que no se lavaron con un valor de 104.57 mg kg<sup>-1</sup>. Si bien no existen diferencias significativas con el Cu, Ni, Pb y Zn se puede observar que *C. aurantium* tuvo las mayores concentraciones de Cu, Ni y Zn. *Ficus benjamina* de Pb; *Fraxinus uhdei* es la especie que menos contaminantes retiene en ambos sitios y en todas las estaciones del año.

Tabla 2. Valores promedio de los elementos determinados en mg kg<sup>-1</sup> de peso seco respecto al sitio de muestreo, en las hojas de *Citrus aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei*.

SITIO	Al	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
<b>No contaminado</b>	113.84 ± 76.67a	3.34 ± 4.60a	24.22 ± 29.50a	134.83 ± 72.29a	34.40 ± 11.98a	1.69 ± 4.66a	4.48 ± 2.28a	19.64 ± 4.10a
<b>Contaminado</b>	219.45 ± 215.80a	2.27 ± 1.67a	26.21 ± 30.68a	257.99 ± 281.83a	26.17 ± 8.08b	0.90 ± 0.94a	5.27 ± 1.87a	24.39 ± 17.69a
<b>T</b>	1.84	0.87	0.03	1.74	8.02	0.66	1.15	1.05
<b>p</b>	0.19	0.36	0.85	0.20	<b>0.007</b>	0.42	0.20	0.32

\*Las diferencias significativas entre las especies se indican con letras diferentes.

Respecto a el factor sitio de muestreo se destaca una diferencia significativa en el Manganeseo con ( $p < 0.007$ ), en el sitio no contaminado *Ficus benjamina* acumula durante el verano y el invierno: en el verano se presentaron valores de 55.87 mg kg<sup>-1</sup> en las hojas no lavadas y 53.45 mg kg<sup>-1</sup> en las hojas lavadas, en el invierno las hojas no lavadas tienen un valor de 52.46 mg kg<sup>-1</sup> y de las hojas lavadas de 50.52 mg kg<sup>-1</sup>; *Fraxinus uhdei* presenta las mayores concentraciones de Mn en la temporada de primavera con valores de 51.37 mg kg<sup>-1</sup> en las hojas no lavadas y de 52.08 mg kg<sup>-1</sup> en las hojas lavadas. En el sitio contaminado se presentan las mayores concentraciones en las temporadas de verano e invierno, siendo en *Ficus benjamina* en el verano concentraciones de 43.62 mg kg<sup>-1</sup> en las hojas no lavadas y de 42.71 mg kg<sup>-1</sup> en las hojas lavadas y por último *C. aurantium* en el invierno en las hojas no lavadas con un valor de 44.54 mg kg<sup>-1</sup>.

No se presentan diferencias significativas en los contaminantes Al, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn respecto a los sitios de muestreo sin embargo se presenta la mayor concentración de Al en el sitio contaminado en la temporada de invierno con un valor de 907.93 mg kg<sup>-1</sup> en *C. aurantium*, de Cd se presenta en el sitio no contaminado en la temporada de primavera con la especie *C. aurantium* con un valor de 21.99 mg kg<sup>-1</sup>, en el caso de Cu se tiene la concentración más alta en el sitio no contaminado en la



temporada de otoño con un valor de 101.65 mg kg<sup>-1</sup> en *C. aurantium*, para el Fe se presenta en el sitio no contaminado en *C. aurantium* con 1434.56 mg kg<sup>-1</sup>, el Ni presenta la mayor concentración en el sitio no contaminado en la temporada de primavera en *C. aurantium* con un valor de 23.51 mg kg<sup>-1</sup>, en el caso del Pb se encuentra la concentración más alta en el sitio no contaminado en *Ficus benjamina* con 10.39 mg kg<sup>-1</sup> y con respecto al Zn se presenta en el sitio contaminado en *C. aurantium* con 104.57 mg kg<sup>-1</sup>.

Tabla 3. Valores promedio de los elementos determinados en mg kg<sup>-1</sup> de peso seco respecto a la estación del año, en las hojas de *Citrus aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei*.

ESTACION	Al	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
<b>Primavera</b>	166.46 ± 147.63 <sup>a</sup>	3.26 ± 5.95 a	36.57 ± 33.26 a	202.22 ± 136.49 a	30.22 ± 12.61 a	3.0 + 6.59 a	4.98 ± 2.73 a	18.55 ± 4.54 a
<b>Verano</b>	152.88 ± 156.48 a	2.92 ± 2.05 a	2.94 ± 2.18b	149.35 ± 67.37 a	23.15 ± 12.52 a	0.83 ± 0.40 a	4.28 ± 1.84 a	19.62 ± 3.19 a
<b>Otoño</b>	148.33 ± 114.05 a	3.08 ± 3.03 a	19.13 ± 36.97c	154.10 ± 122.78 a	25.33 ± 4.61 a	0.67 ± 0.20 a	5.48 ± 2.13 a	22.32 ± 4.94 a
<b>Invierno</b>	198.91 ± 246.64 a	1.96 ± 1.22 a	42.22 ± 16.46d	280.18 ± 378.45 a	33.43 ± 11.49 a	0.69 ± 0.39 a	4.72 ± 1.62 a	27.56 ± 24.61 a
<b>Anova (F de Snedecor)</b>	0.28	0.43	7.37	1.30	1.72	1.89	0.90	0.02
<b>p</b>	0.84	0.73	<b>0.000257</b>	0.28	0.17	0.14	0.44	0.99

\*Las diferencias significativas entre las especies se indican con letras diferentes.

Existen diferencias significativas entre las estaciones del año con respecto al Cu ( $p < 0.0002$ ) en donde *C. aurantium* acumula durante la primavera, otoño e invierno en el sitio contaminado; en primavera las hojas no lavadas presentan un valor de 68.18 mg kg<sup>-1</sup> y en las hojas lavadas 35.21 mg kg<sup>-1</sup>, en el otoño las hojas no lavadas presentan 7.30 mg kg<sup>-1</sup> y las hojas lavadas 7.80 mg kg<sup>-1</sup> y durante el invierno se acumula 4.87 mg kg<sup>-1</sup> en las hojas no lavadas y 0.75 mg kg<sup>-1</sup> en las hojas lavadas. *Ficus benjamina* acumula durante las temporadas de primavera en el sitio no contaminado con un valor de 92.82 mg kg<sup>-1</sup> en las hojas no lavadas y 86.96 mg kg<sup>-1</sup> en las hojas no lavadas y durante

el invierno en el sitio contaminado con 73.30 mg kg<sup>-1</sup> en las hojas no lavadas y 49.14 mg kg<sup>-1</sup> en las hojas lavadas. Con respecto a *Fraxinus uhdei* al igual que el *Ficus* acumula también durante las temporadas de primavera e invierno en ambos sitios con valores entre 30 y 40 mg kg<sup>-1</sup>. Los contaminantes Al, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn no presentan diferencias significativas entre las estaciones del año.

Tabla 4. Valores promedio de los elementos determinados en mg kg<sup>-1</sup> de peso seco respecto al lavado de las hojas de *Citrus aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei*.

LAVADO	Al	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
<b>Hoja no lavada</b>	254.77 ± 199.59 a	3.32 ± 4-46 a	27.83 ± 31.13 a	269.63 ± 277.37 a	31.88 ± 10.90 a	1.85 ± 4.66 a	5.30 ± 2.04 a	25.46 ± 17.45 a
<b>Hoja lavada</b>	78.52 ± 47.14 b	2.29 ± 2.02 a	22.60 ± 28.82 a	123.19 ± 66.57 a	28.69 ± 10.96 a	0.74 ± 0.77 a	4.45 ± 2.12 a	18.57 ± 3.52 a
<b>T</b>	3.52	0.84	0.24	2.05	0.42	0.94	1.34	1.55
<b>P</b>	0.08	0.36	0.62	0.17	0.52	0.34	0.25	0.23

\*Las diferencias significativas entre las especies se indican con letras diferentes.

Entre las hojas no lavadas y lavadas existen diferencias significativas con el Al en ambos sitios, en el sitio no contaminado en la temporada de primavera en *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei* se presentan concentraciones de las hojas no lavadas con valores de 310.83 mg kg<sup>-1</sup>, 165.51 mg kg<sup>-1</sup> y 276.24 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente y de las hojas lavadas *C. aurantium* 52.69 mg kg<sup>-1</sup>, *Ficus benjamina* 53.24 mg kg<sup>-1</sup> y *Fraxinus uhdei* 66.94 mg kg<sup>-1</sup>. En el verano en *C. aurantium* en las hojas no lavadas tuvo una concentración de 149.84 mg kg<sup>-1</sup> y en las hojas lavadas de 71.55 mg kg<sup>-1</sup>, en *Ficus benjamina* las hojas no lavadas presentaron una concentración de 98.35 mg kg<sup>-1</sup> y las hojas lavadas de 79.77 mg kg<sup>-1</sup> y por último *F. uhdei* en las hojas no lavadas fue de 122.24 mg kg<sup>-1</sup> y las hojas lavadas con 74.16 mg kg<sup>-1</sup>. En la temporada de otoño *C. aurantium*, *F. benjamina* y *F. uhdei* presentaron valores en las hojas no lavadas de 172.99 mg kg<sup>-1</sup>, 120.97 mg kg<sup>-1</sup> y 141.72 mg kg<sup>-1</sup>

respectivamente y en las hojas lavadas  $59.67 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $60.90 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $70.41 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente. Por último las concentraciones en el invierno en las hojas no lavadas y lavadas de *C. aurantium* fueron de  $64.75 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $54.78 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente, de *F. benjamina* fueron de  $99.06 \text{ mg kg}^{-1}$  para las hojas no lavadas y de  $49.17 \text{ mg kg}^{-1}$  en las hojas lavadas, por último en *F. uhdei* las concentraciones de las hojas no lavadas fueron de  $270.84 \text{ mg kg}^{-1}$  y de las hojas lavadas de  $44.94 \text{ mg kg}^{-1}$ .

En el sitio con alto grado de contaminación se registraron concentraciones mayores en las hojas sin lavar, en la temporada de primavera en la especie *C. aurantium* se presentaron concentraciones de  $530.49 \text{ mg kg}^{-1}$  en las hojas no lavadas y de  $56.55 \text{ mg kg}^{-1}$  en las hojas lavadas, en *F. benjamina* fueron de  $160.21 \text{ mg kg}^{-1}$  en las hojas no lavadas y de  $61.80 \text{ mg kg}^{-1}$  en las hojas lavadas, en *F. uhdei* la concentración para las hojas no lavadas fue de  $185.21 \text{ mg kg}^{-1}$  y en las hojas no lavadas fue de  $69.71 \text{ mg kg}^{-1}$ . Las concentraciones de verano en *C. aurantium*, *F. benjamina* y *F. uhdei* de las hojas no lavadas fue de  $635.66 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $173.77 \text{ mg kg}^{-1}$  y de  $145.83 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente, y en las hojas lavadas las concentraciones fueron de  $141.72 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $62.51 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $78.72 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente. Durante la temporada de otoño las concentraciones de *C. aurantium* fueron de  $460.56 \text{ mg kg}^{-1}$  en las hojas no lavadas y de  $89.43 \text{ mg kg}^{-1}$  en las hojas lavadas, en *F. benjamina* fueron de  $248.17 \text{ mg kg}^{-1}$  en las hojas no lavadas y de  $765.75 \text{ mg kg}^{-1}$  en las hojas lavadas, en *F. uhdei*  $\text{mg kg}^{-1}$  la concentración para las hojas no lavadas fue de  $183.26 \text{ mg kg}^{-1}$  y en las hojas no lavadas fue de  $95.15 \text{ mg kg}^{-1}$ . En la temporada de invierno las concentraciones de *C. aurantium* de las hojas no lavadas fue de  $907.93 \text{ mg kg}^{-1}$  y de las hojas lavadas fue de  $279.72 \text{ mg kg}^{-1}$ , en *F. benjamina* las hojas no lavadas tuvieron un valor de  $344.34 \text{ mg kg}^{-1}$  y de las hojas lavadas de  $60.31 \text{ mg kg}^{-1}$ , en la especie *F. uhdei* las concentraciones de las hojas no lavadas fue de  $137.73 \text{ mg kg}^{-1}$  y en las hojas lavadas  $73.37 \text{ mg kg}^{-1}$ .

## DISCUSIÓN

En las zonas urbanas con intenso tráfico vehicular, la principal fuente de exposición al plomo resulta de la inhalación de partículas extremadamente pequeñas que persisten en el aire durante algunas semanas antes de sedimentarse y que son emitidas por los autotransportes que consumen gasolinas que contienen tetraetilo de plomo: se ha visto que el plomo es el principal contaminante metálico en la atmósfera (SEMARNAT, 2013), lo que nos lleva a remarcar las repercusiones que en materia de salud tiene la identificación de especies vegetales que fijan de forma eficiente este metal pesado. En este trabajo, los análisis de los elementos asociados a la contaminación atmosférica nos indican que las especies estudiadas tienen la capacidad para fijar elementos que tienen consecuencias en la salud humana como el Pb.

En el presente estudio *F. benjamina* fue la especie que con mayor capacidad para fijar este elemento a lo largo de un periodo mayor (un año). Por otro lado Yilmaz y col. (2006) confirman lo anteriormente expuesto ya que mencionan que la presencia de Pb en el suelo (y por ende en la planta) ocurre en sitios con mayor tráfico vehicular, aunque estos autores encontraron valores menores de Pb en *Aesculus hippocastanum* ( $0.119 \mu\text{g g}^{-1}$ ), aunque para *Phoenix dactylifera* se reportan datos más altos ( $24.37 \mu\text{g g}^{-1}$ ) (Aksoy y Ozturk, 1996), lo mismo sucede con otros trabajos, como el de Kabata-Pendias y Krakowiak (1997) en el que reportan valores para Pb de entre 0.5 y 3  $\text{mg Kg}^{-1}$  (con una media de 1.2  $\text{mg Kg}^{-1}$ ) los datos obtenidos en este trabajo para las especies estudiadas son mayores para *Ficus* (5.82  $\text{mg Kg}^{-1}$ ), *Citrus* (4.44  $\text{mg Kg}^{-1}$ ) y para *Fraxinus* (4.35  $\text{mg Kg}^{-1}$ ), estos valores son consistentes (aunque no de forma significativa) cuando se realizan los estudios entre los dos sitios estudiados.

Lo anteriormente expuesto nos lleva a decir que las especies vegetales en áreas urbanas tienen que ser seleccionadas cuidadosamente acorde al índice de tolerancia de contaminación, para lo cual, entre otros factores, se deben considerar parámetros bioquímicos, este dicho se apoya en lo reportado por diversos autores, entre ellos Amini y cols. (1997) cuando mencionan que para metales pesados como Fe, Zn y Cu *Morus alba*, *Fraxinus excelsior*, *Cupressus sempervivens* y *Ligustrum ovalifolium*. En este trabajo

se reportan datos superiores en las especies estudiadas lo cual es consistente con lo encontrado en *Taraxacum officinale* en Polonia (Kabata-Pendias y Krakowiak, 1997) ya que se refieren concentraciones altas pero inferiores a las obtenidas en este estudio para Cd, Cu, Mn, Pb, pero no para Zn o Ni y Fe especialmente en estos dos últimos elementos en el sitio no contaminado.

Con respecto a la acumulación de elementos considerados como contaminantes en la superficie de la hoja y dentro del mesófilo es clara la diferencia, particularmente en Al donde se encontraron diferencias significativas. Los datos registrados del material lavado en este estudio son ligeramente inferiores a los publicados por Czarnowska y Milewska (2000) y Diez y col. (2002). Las tendencias de acumulación en esta investigación fueron invariablemente mayores en hojas no lavadas en comparación con las lavadas, pero Yilmaz y col. (2006) encontraron mayor acumulación de Zn en hojas no lavadas en *Aesculus hippocastanum*, lo cual indica que no todas las especies son capaces de fijar agentes contaminantes del ambiente. En el contenido de Mn se registraron datos dentro de los normales acorde a Legaz y col. (1995, reportado por Alcalá *et al.*, 2009). Con respecto al contenido de Fe se encontraron valores superiores en las hojas no lavadas de las tres especies en conjunto ( $269 \text{ mg Kg}^{-1}$ ), a los considerados dentro de los parámetros normales ( $250 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) (Alcalá *et al.*, 2009), lo cual nos lleva a suponer que las especies estudiadas se presentan como una opción para considerarlas como fitoindicadores de contaminación atmosférica en un área urbana.

Si bien se han reportado numerosos estudios en los que los contaminantes atmosféricos provocan una alteración en los sistemas antioxidantes de las plantas (e.g.  $\text{SO}_2$ ) se ha visto que puede existir un efecto acumulado a la exposición continua, pero este efecto es menor en hojas jóvenes, aunque en la literatura no hay consenso en cuanto a la acumulación de elementos –i.e. metales pesados– en hojas jóvenes y maduras ya que se refiere como una característica de la especie (Campos y Gallo, 1997). Este último punto es consistente con lo encontrado en este trabajo, ya que al analizar la acumulación de contaminantes por sitio (contaminado y no contaminado) independientemente de la especie no se encontraron diferencias significativas (excepto para Mn), lo que nos lleva a sugerir que algunas especies en un ambiente contaminado como lo es la ZMG pueden

amortiguar el efecto de la contaminación al renovar las hojas y de esta manera poder aminorar el efecto fotooxidativo en el aparato fotosintético, ya que se ha demostrado que concentraciones altas de  $\text{SO}_2$  tienen un efecto negativo en la concentración de pigmentos fotosintéticos (Bermandinger, 1990) aunque a través de las deficiencias nutricionales, particularmente de Mg (Köstner *et al.*, 1990) y N (Wedler *et al.*, 1995). Lo que indica que si bien la planta está expuesta de forma prolongada a gases de efecto invernadero como  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$ , la renovación de las hojas le permite desarrollarse de manera favorable en un ambiente contaminado como la ZMG. Este hecho nos permite suponer que estas plantas tienen un efecto favorable en la fijación de contaminantes.

Este estudio es uno de los primeros que se realizan en la Zona Metropolitana de Guadalajara en el que se evalúan *in situ* diferentes especies expuestas a dos ambientes con diferente grado de contaminación. Acorde a la literatura debemos de tomar en cuenta diversos factores que influyen en la deposición de elementos considerados como contaminantes ambientales y no sólo la especie vegetal, podemos decir que este es un primer acercamiento para la toma de decisiones de las especies elegidas para ser plantadas en espacios urbanos con la finalidad de retener material particulado y sustancias gaseosas que pueden ser potencialmente perjudiciales para la salud.

## CONCLUSIONES

1. Los contaminantes microambientales más importantes presentes en la ZMG son el CO y presenta una mayor concentración durante la primavera y el verano.
2. La especie *C. aurantium* es la especie con mayor capacidad de fijación de Al, Cd y Fe, en el sitio no contaminado durante la temporada de primavera, en el sitio contaminado acumula durante las temporadas de verano e invierno; el Cd fue mayormente acumulado en las temporadas de primavera y verano en el sitio no contaminado, en el sitio contaminado acumuló mayor concentración durante el verano, con respecto al Fe en el sitio no contaminado presenta concentraciones altas durante la el invierno. Esta misma especie acumula mayor cantidad de Cu durante la primavera, el otoño y el invierno en el sitio contaminado.
3. *Ficus benjamina* es la especie que acumula mayor concentración de Mn en el sitio no contaminado en las temporadas de verano e invierno y *Fraxinus uhdei* acumula en la temporada de primavera en el sitio no contaminado.
4. En cuanto al lavado de las hojas se observa que se encuentra muy marcado las concentraciones de Al entre las hojas no lavadas y lavadas en *C. aurantium*, *Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei*.
5. La captación de los contaminantes por las hojas depende del tipo de contaminante y de la estructura de la vegetación
6. En cada temporada puede variar las concentraciones debido a los procesos fisiológicos de los árboles, donde el efecto de la temporada podría ser un determinante.

7. La vegetación de la ZMG se desarrolla en un ambiente contaminado pero es capaz de amortiguar el efecto negativo de la contaminación debido a su capacidad de fijar en la superficie foliar estos contaminantes, así como en el mesófilo.

Es necesario evaluar más especies dentro de la Zona Metropolitana de Guadalajara para tener un criterio más amplio. de esta manera mejorar las decisiones cuando se realicen las reforestaciones ya que con frecuencia la vegetación en la ZMG se ha ido manejando no por estudio, sino por existencia en los viveros y/o por gusto sobre quienes toman las decisiones del arbolado urbano. De esta manera se contribuye a la mejora de la calidad atmosférica reduciendo la contaminación ambiental y con ello la calidad de vida de la población.



## LITERATURA CITADA

- Agbaire, P.O. y Esiefarienhre E. 2009. Air pollution tolerance indices (APTI) of some around Otorgun Gas Plants in Delta State, Nígeria. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* 13 (1): 11-14.
- Agrawal M. Agrawal SB. 2005. Effects of air pollution on plant diversity. In: Agrawal SB, Agrawal M. eds. Environmental pollution and responses, United States of America: CRC Press LLC, 137-152.
- Alanís-Flores G. J. 2005. El arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey. *Ciencia UANL*, vol. VIII, Número 001, pp. 20-32. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México.
- Alcalá J., M. Rosa, M. Moreno, J.C. Rodríguez, C. Loredó, J. L. Lara y J. Tapia. 2009. Concentraciones de Fe, Mn y Mg en material foliar de cinco especies arbóreas indicadoras de la contaminación urbana en la ciudad de Chihuahua, México. *Multequina*, vol. 18, n.1, pp.37-51.
- Akgüç N., Ilker I. y Yarci C. 2008. *Pyracantha coccinea* roem. (Rosaceae) as a biomonitor for Cd, Pb and Zn in Mugla Provincece (Turkey). *Pak. J. Bot.*, 40(4):1767-1776.
- Amini H., M. Hoodaji., P. Nafaji y S. Kar. 2011. Evaluation of some trees species for heavy metals biomonitoring and pollution tolerance index in urban zone in Isfahan. *African Journal of Biotechnology*, 10 (84): 53-56.
- Askoy A. and Sahin U. 1999. *Elaeagnus angustifolia* L. as a biomonitor of heavy metal pollution. *Turkey Journal of Botany.*, 23 : 83-97.
- Askoy A., U. Sahun and F. Duman. 2000. *Robina pseudo-acacia* L. as a possible biomonitor of heavy metal pollution in Kayseri. *Turkey Journal Botany.*, 24:279-284.
- Askoy A. and Demirezen D. 2006. *Fraxinus excelsior* as a biomonitor of heavy metal pollution. *Polish Journal of Environmental Studies.*, 15 (1): 27-33
- Askoy A., E. Osama y Z. Leblebleci. 2012. Spreading pellitory (*Parietaria judaica* L.): a possible biomonitor of heavy metal pollution. *Pak J. Bot.*, 44:123-127.

Becket KP, 2000. Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Global change biology*, 6:995-1003

Chauhan A. & P. C. Joshi. 2010. Effect of ambient air pollutants on wheat and mustard crops growing in the vicinity of urban and industrial areas. *New York Science Journal*, 3(2): 52-60.

Chávez-Anaya J. M. 2009. Descripción y comportamiento microclimático de especies arbóreas del área metropolitana de Guadalajara. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Departamento de Producción Forestal.

Chávez A., M., R. Villavicencio G., A. L. Santiago P., S. L. Toledo y J. J. Godínez H. 2010. Arbolado de Chapalita: estudio y valor. Universidad de Guadalajara.

Czarnowska K. & A. Milewska. 2000. The content of Heavy Metals in an Indicator Plant (*Taraxacum officinale*) in Warsaw. *Polish Journal of Environmental Studies* 9(2): 125-128.

Davydova V., Skiba Y.N., Bulgakov S. N. y Martínez A. 1999. Modelación matemática de los niveles de contaminación en la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. Parte I. Microclima y monitoreo de la contaminación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 15 (002): 103-111.

Dalamasso A. D., R. Candia y J. Llera. 1997. La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. *Mutelquinia*. 006: 85-91.

Gratani L. & L. Varone. 2006. Carbon sequestration by *Quercus ilex* L. and *Quercus pubescens*. And their contribution to decreasing air temperature in Rome. *Urban Ecosyst*. 9:27-37.

Gobierno del Estado de Jalisco. 2011. <http://www.jalisco.gob.mx/wps/portal/pj/jalisco/amg!/ut/p/c5/04>

Helrich K. 1990. Official Methods of analysis. Association of official analytical chemists. USA.

INEGI, MAPA DIGITAL DE MEXICO. <http://gaia.inegi.org.mx/mdm5/viewer.html>

Informe Técnico. Estudios Técnicos Justificativos para declarar Área Natural Protegida el Bosque los Colomos. Guadalajara, Jalisco, México. 2006.

Jarma O., A., C. Cardona A. y H. Araméndiz T. 2012. Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 15 (1): 63 – 76.

Kabata-Pendias A. y Krakowiak A. 1997. Useful phytoindicator (Dandelion) for trace metal pollution. The 5<sup>th</sup> International conference proceedings: transport, fate and effects of silver in the environment. Ecology and Natural Resources Collection. 145-150.

Kurteva Maya K. 2009. Comparative study on *Plantago major* and *P. lanceolata* (Plantaginaceae) as bioindicators of the pollution in the region of the Asarel Copper Dressing Works. *Phytologia Balcanica*. 15(2):261-271.

Lerma Reyes Marjorie. 2006. Evaluacion de suelos y especies vegetales con potencial de acumulaci3n de metales pesados. Tesis parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias.

Luilo G. B. and O. C. Othman. 2006. Lead pollution in urban roadside environments of Dar es Salaam City. *Tanz. J. Sci.*, 32(2) 61-67.

Manual T3cnico para el establecimiento y manejo integral de las 3reas verdes urbanas del Distrito Federal. Tomo I. 2000. Gobierno del Distrito Federal, Banco Interamericano de Desarrollo, Secretar3a del Medio Ambiente.

Mapa de las zonas m3s transitadas de la Zona Metropolitana de Guadalajara. [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Calles\\_GDL.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Calles_GDL.svg)

Monta3o-Figueroa A., C. Garibay-L3pez, P. Guti3rrez-Gonz3lez. 2009. Aplicaci3n del an3lisis discriminante a los datos de calidad del aire de la Zona Metropolitana de Guadalajara. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 5 (2): 58-64.

Naveed Naima Huma, Aima Iram Batool, Fayyaz Ur Rehman and Uzma Hameed. 2010. Leaves of roadside plants as bioindicator of traffic related lead pollution during different seasons in Sargodha, Pakistan. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(11): 770-774.

Nowak, D.J., J.F. Dwyer and G. Childs. 1997. Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. En: Krishnamurthy L. y J. Rente Nascimento, (Eds.). 3reas Verdes Urbanas en Latinoam3rica y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo. Impreso en M3xico. 17 - 38 pp.

Perelman, P., E. Mart3nez Carretero, G. Moreno, M.A. Castro y A. Faggi. 2007. El uso de corteza de mora (*Morus alba*) como biomonitor para detectar contaminaci3n en la ciudad de Mendoza. *HOLOGRAM3TICA - Facultad de Ciencias Sociales UNLZ*. A3o VI, N3mero 7, VI, pp.135-144

Saldarriaga-Nore3a H., L. Hern3ndez-Mena, M. Murillo-Tovar, A. L3pez-L3pez y M. Ram3rez-Mu3iz. 2011. Elemental Contribution to the Mass of PM<sub>2.5</sub> in Guadalajara City, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol* 86:490-494.

Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, Gobierno de Jalisco Poder Ejecutivo. 2008. Informe de Calidad del aire. Reporte del período enero-marzo. 2008.

Seyyednejad S. M. and H. Koochak. 2011. A study on air pollution effects on *Eucalyptus Camaldulensis* *International Conference on Environmental, Biomedical and Biotechnology*. Vol. 16 pp. 98-101.

Seyyednjad M. K. Majdian, H. Koochak and M. Niknejad. 2011. Air pollution Tolerance Indices of Some Plants Around Industrial Zone in South of Iran. *Asian Journal of Biological Sciences*. 4 (3): 300-305.

Tomašević M., S. Rajšić, D. Đorđević, M. Tasić, J. Krstić and V. Novaković. 2004. Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas. *Environmental Chemistry Letters*. 2(3):151-154.

Yang, J., J. McBride, J. Zhou and Z. Sun, 2005. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry & Urban Greening* 3(2):65-78.

Ye, A., J.M. Baker, M. H. Wong and A. J. Willis. 1997. Zinc, lead and cadmium tolerance, uptake and accumulation by *Typha latifolia*. *New Phytol*. 136. 469-480.

Yilmaz R., S. Sakcali, C. Yarci, A. Askoy and M. Oztruk, 2006. Use of *Aesculus hippocastanum* L. as a biomonitor of heavy metal pollution. *Park. Journal Botany.*, 38(5): 1519-1527.

Zohn Alejandro. 1995. Manual de vegetación urbana para Guadalajara. Jalisco. Ayuntamiento de Guadalajara. banca promex. Editorial Agata. 1995.

**TESIS/CUCBA**