

Presencia de metales en polvos foliares: evaluación en dos especies urbanas de la Ciudad de México

Claudia Adriana Martínez Reyes, Laura Melissa Peralta Morales, Oscar Hernández Castillo, Ángeles De Anda Santos, Catalina Silva Arrazola, Violeta Mugica Álvarez*.

Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Av. San Pablo 420 Col. Nueva El Rosario Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México 02128, México.

* Autor de correspondencia: vma@azc.uam.mx

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18475928>

Resumen

Recibido:

18/09/25

Aceptado:

19/12/25

Keywords:

Biomonitores.

Metales.

Polvo foliar.

Las plantas pueden captar las partículas que se encuentran en el aire en la superficie de sus hojas, acumulan lo que se conoce como polvo foliar, el cual puede servir como indicador de la calidad del aire. En este estudio se evaluaron las concentraciones de metales presentes en el polvo foliar de dos especies arbóreas comunes en la Ciudad de México Boj (*Buxus sempervirens*) y Piracanto chino (*Pyracantha coccinea*), con el fin de validar su uso como bioindicadores de contaminación atmosférica. Se realizó un muestreo de hojas en dos zonas de la ciudad (UAM y Merced) durante un año. En el Boj, las mayores concentraciones de metales se registraron en la Merced (Cr:184.71; Zn:1070.09; Cu:354.32 mg/kg), seguido de la UAM (Cr:117; Zn:555.63; Cu:148.60 mg/kg). La temporada seca-fría presentó niveles significativamente más altos en comparación con las demás estaciones, sugiriendo un vínculo con factores climáticos o emisiones locales.

Abstract

Plants can capture particles found in the air on the surface of their leaves, accumulating what is known as leaf dust, which can serve as an indicator of air quality. This study evaluated the concentrations of metals present in the leaf dust of two common tree species in Mexico City, boxwood (*Buxus sempervirens*) and Chinese firethorn (*Pyracantha coccinea*), to validate their use as bioindicators of air pollution. Leaves were sampled in two areas of the city (UAM and Merced) over a period of one year. In boxwood, the highest metal concentrations were recorded in Merced (Cr: 184.71; Zn: 1070.09; Cu: 354.32 mg/kg), followed by UAM (Cr: 117; Zn: 555.63; Cu: 148.60 mg/kg). The dry-cold season showed significantly higher levels compared to the other seasons, suggesting a link to climatic factors or local emissions.

1. Introducción

La urbanización de las grandes ciudades ha generado niveles alarmantes de contaminación atmosférica [1]. Las partículas atmosféricas, portadoras de metales, pueden transportarse a larga distancias, lo que agrava su impacto en diversos ecosistemas y provoca un riesgo para la salud pública [2]. Por ello, es fundamental identificar y cuantificar los metales presentes en estas partículas para una evaluación precisa de los riesgos y una mejora efectiva de la calidad del aire [3]. Las

principales fuentes de emisión de las partículas son las actividades industriales y el tráfico vehicular. Entre los metales más relevantes que componen estas partículas se encuentran el cadmio (Cd), plomo (Pb), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), vanadio (V) y zinc (Zn) [4]. Las plantas pueden captar partículas atmosféricas en la superficie de sus hojas, formando un depósito conocido como polvo foliar. Dado que este polvo

acumula contaminantes presentes en el aire, se puede utilizar como un monitor ambiental [5].

1.1. Factor de enriquecimiento

Los metales presentes en el polvo foliar pueden provenir de fuentes antropogénicas y uno de los métodos más utilizados es el cálculo del factor de enriquecimiento (FE). Donde se utilizan valores reportados en la literatura de algunos elementos de referencia como el Fe, Si, Ti y Al, debido a que se encuentran en mayor abundancia de manera natural en la tierra. El factor de enriquecimiento se determina mediante la ecuación (1) [6].

$$FE = \frac{\left(\frac{M_{muestra}}{Fe_{muestra}}\right)}{\left(\frac{M_{referencia}}{Fe_{referencia}}\right)} \quad (1)$$

Donde $M_{muestra}$ es la concentración del metal “x” analizado en la muestra, $Fe_{muestra}$ es la concentración del metal de referencia en la muestra analizada, $M_{referencia}$ es la concentración del metal “x” analizado en el medio de referencia y $Fe_{referencia}$ es la concentración del metal de referencia. El metal de referencia que se utilizó fue el Fe, ya que es uno de los metales que se encuentra en mayor abundancia de manera natural. Cuando el valor de FE menor a 10 indica origen asociado a la corteza terrestre, FE entre 10 y 500 se consideran como enriquecidos es decir que interviene otra fuente además de la corteza terrestre y un FE mayor a 500 indica un alto enriquecimiento, es decir, hay una contaminación severa debido a actividades humanas [7].

2. Metodología

El muestreo de polvo foliar se realizó en dos sitios de la Ciudad de México con características ambientales contrastantes: la UAM Azcapotzalco (zona Industrial) y la Merced (zona comercial – residencial) durante las tres temporadas del año 2023-2024 (seca-fría, seca-caliente y lluvias). En cada sitio se recolectaron aproximadamente 20 gr de muestras de hojas para cada una de las dos especies arbóreas: Boj (*Buxus*

sempervirens) y Piracanto chino (*Pyracantha coccinea*). Las muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas ziploc y se llevaron al laboratorio de Nanotecnología y Calidad ambiental ubicado en el edificio G de la UAM Azcapotzalco. Las hojas con el polvo foliar se pesaron para calcular la masa de polvo foliar obtenida en la muestra de hojas mediante gravimetría, después se lavaron las hojas con agua desionizada y la suspensión resultante fue filtrada y mediante un ciclón de superficie se obtuvo el polvo foliar para el análisis de metales (Figura 1).



Figura 1. Lavado de hojas y obtención de polvo foliar mediante un ciclón de superficie.

La determinación de metales se realizó mediante una digestión ácida, de acuerdo con el método EPA 3051A. Para ello, se tomó 0.5 g de polvo foliar, los cuales se digirieron con HNO_3 concentrado utilizando un horno de digestión. Los extractos resultantes se analizaron mediante espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Todos los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Nanotecnología y Calidad Ambiental de la UAM-Azcapotzalco (Figura 2).



Figura 2. Extracción y análisis de metales presentes en el polvo foliar.

3. Resultados y análisis

Las concentraciones de metales presentes en el polvo foliar se encuentran representados en la Figura 3 y Figura 4. Durante las tres temporadas evaluadas, los metales con mayor concentración, en orden descendente, fueron: Fe > Zn > Cu > Cr > V > Ni > Pb > Cd. Cabe mencionar que la especie que tuvo mayores concentraciones de metales en el polvo foliar fue el Boj en comparación con el Piracanto chino.

Durante la temporada seca-fría, para la especie Boj, en el sitio UAM, se observaron concentraciones de Zn (555.63 mg/kg), Cu (148.60 mg/kg) y Cr (117 mg/kg) mientras que para la Merced Zn (1,070.09 mg/kg), Cu (354.32 mg/kg) y Cr (184.71 mg/kg). Mientras que el Piracanto chino en el sitio UAM, se observaron concentraciones de Zn (519.51 mg/kg), Cu (139.41 mg/kg) y Cr (142.65 mg/kg) mientras que para la Merced Zn (566.76 mg/kg), Cu (221.31 mg/kg) y Cr (130.20 mg/kg).

En la temporada seca-caliente, en el sitio UAM, se observaron concentraciones máximas de Zn (583.92 mg/kg), Cu (198.78 mg/kg) y Cr (111.29 mg/kg) mientras que para la Merced Zn (942.82 mg/kg), Cu

(337.61 mg/kg) y Cr (198.70 mg/kg). Mientras que el Piracanto chino en el sitio UAM, se observaron concentraciones de Zn (384.66 mg/kg), Cu (119.79 mg/kg) y Cr (99.02 mg/kg) mientras que para la Merced Zn (248 mg/kg), Cu (107.57 mg/kg) y Cr (61.37 mg/kg).

Y para la temporada de lluvia, en el sitio UAM, se observaron concentraciones máximas de Zn (600.44 mg/kg), Cu (200.59 mg/kg) y Cr (98.82 mg/kg) mientras que para la Merced Zn (964.04 mg/kg), Cu (287.88 mg/kg) y Cr (114.95 mg/kg). Mientras que el Piracanto chino en el sitio UAM, se observaron concentraciones de Zn (421.45 mg/kg), Cu (145.107 mg/kg) y Cr (61.53 mg/kg) mientras que para la Merced Zn (431.09 mg/kg), Cu (152.33 mg/kg) y Cr (69.37 mg/kg).

Estos metales pueden ser adsorbidos fácilmente en las partículas atmosféricas y luego se retienen en las hojas de las plantas, lo que da lugar a concentraciones significativas altas de metales en el polvo foliar. Dado que el polvo foliar se forma principalmente por la deposición directa de partículas atmosféricas, es el reflejo más directo y exacto de la calidad del aire y de la concentración del metal en comparación con el suelo y los tejidos vegetales [8].

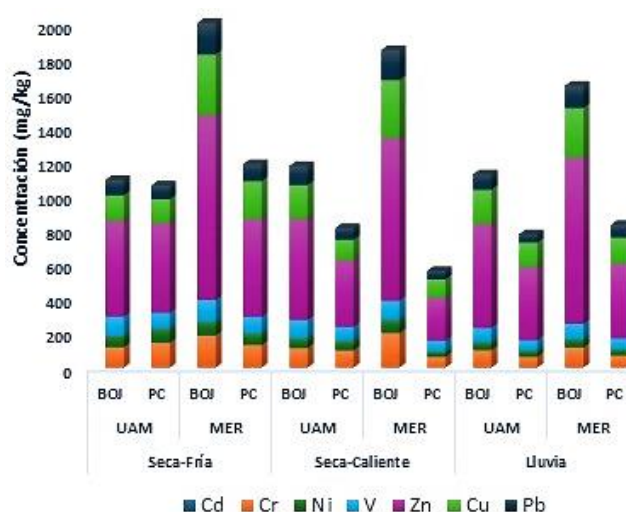


Figura 3. Concentraciones de metales en el polvo foliar en dos sitios de la Ciudad de México durante un año.

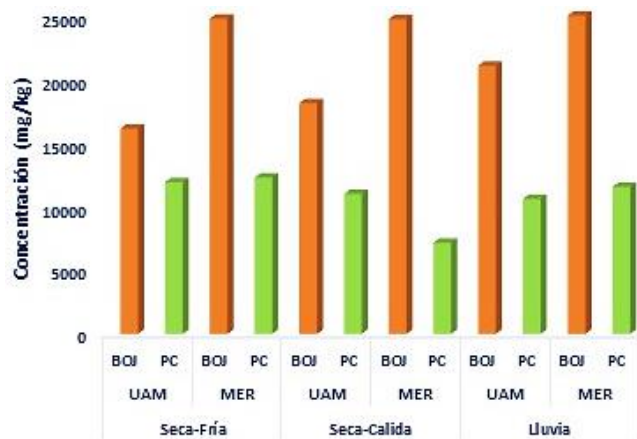


Figura 4. Concentraciones de Fe en el polvo foliar en dos sitios de la Ciudad de México durante un año.

Se calculó el factor de enriquecimiento (FE) para cada uno de los metales con la finalidad de saber si estos contaminantes provienen de origen natural (corteza terrestre o de fuentes antropogénicas. De acuerdo con la Tabla 1, se puede observar los metales con base a su FE. Los metales con un FE menor a 10 (Cr y V) se consideran de origen natural, los metales con un FE entre 10 y 500 (Ni, Zn, Cu, Pb y Cd) son considerados enriquecidos ya que interviene otra fuente además de la de origen natural [7].

Tabla 1. Factor de enriquecimiento de metales en el polvo foliar (unidades adimensionales). Las temporadas son: Seca fría (SF), Seca caliente (SC) y la de Lluvia.

	Sitio	Especie	Cd	Cr	Ni	V	Zn	Cu	Pb
SF	UAM	BOJ	380	4	15	3	28	9	22
		PC	504	7	26	4	35	11	27
	MER	BOJ	279	4	12	2	35	13	30
		PC	436	6	21	4	37	17	32
SC	UAM	BOJ	340	3	12	3	26	10	24
		PC	433	5	19	3	28	10	25
	MER	BOJ	273	4	12	2	31	13	28
		PC	459	5	17	4	28	14	28
Lluvia	UAM	BOJ	273	3	9	2	23	9	17
		PC	453	3	13	3	32	13	18
	MER	BOJ	262	3	7	2	31	11	21
		PC	335	3	12	3	30	12	26

Cabe mencionar que algunas de las fuentes de emisión de estos contaminantes provienen del tráfico vehiculares y de procesos industriales. Ambos sitios presentan una gran influencia vehicular además que en el sitio UAM es una zona industrial.

4. Conclusiones

La evidencia multisitio y multiespecie presentada en este estudio demuestra la idoneidad del polvo foliar como biomonitor de la contaminación atmosférica. En comparación con los muestreadores de alto volumen, el polvo foliar surge como una alternativa eficaz para evaluar la calidad del aire en localidades de reducido tamaño donde la instalación de instrumentación compleja resulta difícil.

El factor de enriquecimiento (FE) es una herramienta fundamental que nos permite distinguir entre el origen natural y el origen antropogénico de los metales presentes en el polvo foliar tomando como referencia el Fe ya que es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre. A pesar de que las concentraciones de algunos metales como el Cd se encuentran en concentraciones muy pequeñas en el polvo foliar, presentan un FE extremadamente alto, lo que indica que proviene directamente de una fuente antropogénica como lo es las emisiones de vehículos.

La temporada que tuvo mayores concentraciones de metales fue en la seca-fría, ya que, esta temporada es denominada como “temporada de partículas” se caracteriza por condiciones meteorológicas que favorecen la acumulación de contaminantes atmosféricos. En este periodo son frecuentes los fenómenos de inversión térmica, los cuales limitan el intercambio vertical de masas de aire y dificultan la dispersión de partículas en suspensión. Esta situación propicia una mayor concentración de contaminantes en la capa superficial de la atmósfera, lo cual representa un riesgo potencial para la calidad del aire y la salud pública.

5. Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada a lo largo del doctorado. A la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco por el uso de sus instalaciones y el laboratorio de Nanotecnología y Calidad Ambiental.

6. Referencias

- [1] X. Zhang, X. Gu, C. Cheng, D. Yang, *Science of the Total Environment* **744** (2020) 140925.
- [2] J. Cai, Y. Zhao, J. Kan, R. Chen, R. Martin, A. Donkelaar, J., J. Zhang, H. Kan, J. Hua, *Science of the Total Environment* **54** (2020) 14494–14501.
- [3] H. Li, X. Qian, Q. G. Wang, *Science of the Total Environment* **47** (2013) 13210–13211.
- [4] J. Xie, L. Jin, J. Cui, X. Luo, J. Li, G. Zhang, X. Li, *Science of the Total Environment* **262** (2020) 114655.
- [5] P. K. Rai, L. L. S. Panda, *Atmosphere & Health* **7** (2014) 93–101.
- [6] C. W. Chen, C. M. Kao, C. F. Chen, C. Dong, *Chemosphere* **66** (2007) 1431–1440.
- [7] F. Çevik, M. Z. L. Göksu, O. B. Derici, Ö. Findik, *Environmental monitoring and assessment* **152** (2009) 309–317.
- [8] R. Popek, A. Lukowski, C. Bates, J. Oleksyn, *International journal of phytoremediation* **19** (2017) 1134–1141.