

Relationship between the concentration of particulate matter and the efficiency of atmospheric phytoremediation in urban spaces

Sheyla Chelsea Alcedo Meza¹, Noelia Tahis Ruiz Lalupu¹, and Magda Velásquez Marin, Mtr¹
Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, chelseasam2793@gmail.com, noelia.tahis.r@gmail.com, mvelasquezm@cip.org.pe

*Abstract– This research aims to establish the relationship between particulate matter and the efficiency of atmospheric phytoremediation in urban spaces, the study has a quantitative approach, non-experimental design, correlational type and descriptive depth-correlative. The correlation was low positive for fine and coarse particulate matter. At laboratory level, gravimetric analysis and washing with deionised water and chloroform were the most used methods by the authors, it is concluded that the species studied are mostly trees and have deciduous leaves highlighting the species *Sabina chinensis* (275.10 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) that adsorbs higher $\text{PM}_{2.5}$, *Pinus sylvestris* L. (417.50 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) adsorbs higher amount of PM_{10} .*

Keywords- Atmospheric phytoremediation, particulate matter, air pollution, efficiency, urban spaces.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.270>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Relación entre la concentración de material particulado y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica en espacios urbanos

Sheyla Chelsea Alcedo Meza¹, Noelia Tahis Ruiz Lalupu¹, and Magda Velásquez Marin, Mtr¹

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, chelseasam2793@gmail.com, noelia.tahis.r@gmail.com, mvelasquezm@cip.org.pe

Resumen– La presente investigación tiene como objetivo establecer la relación entre el material particulado y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica en espacios urbanos, el estudio tiene un enfoque cuantitativo, diseño no experimental, tipo correlacional y de profundidad descriptiva-correlacional. La correlación fue positiva baja para material particulado fino y grueso. A nivel laboratorio el análisis gravimétrico y lavado con agua desionizada y cloroformo, fueron los métodos más utilizados por los autores, se concluye que las especies estudiadas en su mayoría son árboles y poseen hojas caducifolias destacando la especie *Sabina chinensis* ($275.10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) que adsorbe mayor $\text{PM}_{2.5}$, *Pinus sylvestris* L. ($417.50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) adsorbe mayor cantidad de PM_{10} .

Palabras Clave-- Fitorremediación atmosférica, material particulado, contaminación atmosférica, eficiencia, espacios urbanos.

Abstract– This research aims to establish the relationship between particulate matter and the efficiency of atmospheric phytoremediation in urban spaces, the study has a quantitative approach, non-experimental design, correlational type and descriptive depth-correlative. The correlation was low positive for fine and coarse particulate matter. At laboratory level, gravimetric analysis and washing with deionised water and chloroform were the most used methods by the authors, it is concluded that the species studied are mostly trees and have deciduous leaves highlighting the species *Sabina chinensis* ($275.10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) that adsorbs higher $\text{PM}_{2.5}$, *Pinus sylvestris* L. ($417.50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) adsorbs higher amount of PM_{10} .

Keywords-- Atmospheric phytoremediation, particulate matter, air pollution, efficiency, urban spaces.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica impacta en la salud humana, especialmente en los países industrializados, donde se evidencia un deterioro a la salud pública debido a la gran exposición a diversos contaminantes de origen natural y antrópico como el material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos, dióxido de azufre, ozono, compuestos orgánicos volátiles biogénicos [1]. El material particulado trasladado por el aire se clasifica según su diámetro aerodinámico (densidad de $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$), forma y tamaño irregular, así mismo presenta la misma velocidad de sedimentación en el aire. [2]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) afirma que puede provocar enfermedades

respiratorias y cardiovasculares, cáncer e incluso la muerte, en 2016 se estimó que el 58% de las enfermedades prematuras se debieron a cardiopatía isquémica y accidente cerebrovascular, el 18% se deben a enfermedades crónicas enfermedad pulmonar obstructiva e infección respiratoria aguda y el 6% se debe a cáncer de pulmón [3].

La situación no es indiferente en Latinoamérica y el Caribe, ya que en el mismo año solo 117 ciudades contenían información oficial sobre el control de contaminantes atmosféricos, sumado a ello la mayoría de ciudades no presenta información sobre $\text{PM}_{2.5}$ [4] a pesar de que dicho contaminante es inhalable a mayor profundidad por nuestro tracto respiratorio (en especial alveolar) en comparación al PM_{10} [2].

En el Perú especialmente en la capital a pesar de los esfuerzos que hace el gobierno, se sigue observando concentraciones elevadas por material particulado proveniente del parque automotor. Como es el caso de Lima centro en la avenida Abancay que presenta gran afluencia vehicular a lo largo de sus once cuadras o Lima Norte, en especial en la Av. Túpac Amaru donde aproximadamente circulan 6 229 vehículos; siendo la carretera Panamericana (Lima Este) la que tiene el mayor nivel de contaminación que oscilan entre 20 y $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$ [5].

Constituyendo la contaminación por material particulado un gran problema para las urbes, la fitorremediación surge como una alternativa por su potencial para mitigar diversos contaminantes en el aire, tanto en ambientes exteriores como en interiores; además es sostenible, económico y eco amigable [6]. La fitorremediación de material particulado tiene como parámetro físico su ingente superficie bioactiva destacando los árboles frondosos y coníferas. Asimismo, los principales contribuyentes a esta superficie son las ramas jóvenes, las agujas y las hojas; poseen características y estructuras tales como: pliegues, pelos (pubertad), tricomas y las capas cerosas, juegan un papel particular en la captación de material particulado [7].

En ese sentido, la investigación tiene como objetivo principal establecer la relación entre el material particulado y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica. Asimismo, los objetivos específicos a tomar en consideración son describir y caracterizar las principales plantas fitorremediadoras y conocer la adsorción de material particulado ($\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10})

por fitorremediación atmosférica con base a diversas metodologías y utilizar la que tenga mayor cantidad de datos para la correlación.

II. METODOLOGÍA

La investigación comprendió de 3 etapas, las cuales se describen a continuación:

A. Etapa 1: Búsqueda especializada y análisis documental

Se recopilaron investigaciones utilizando palabras claves como “contaminación atmosférica” (atmospheric pollution), “contaminación de partículas” (particles pollution), “fitorremediación” (phytoremediation), “ácido ascórbico” (ascorbic acid), “bioindicador” (bioindicador), “plantas y contaminación de aire” (plants an air pollutions), “plantas de aire” (air plants) y “fitorremediación en aire” (phytoremediation in air), con la finalidad de conocer las especies fitorremediadoras más estudiadas y las diversas metodologías que utilizan varios autores. Para ello se tomó en cuenta los siguientes criterios:

TABLA I
CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Criterio	Inclusión	Descarte
Año de publicación	2006 -2021	Menos a 2006
Idioma	Español e inglés	Otro
Tipo de documento	Artículos científicos, tesis de maestría y doctorado	Otro
Disponibilidad	En línea	Otro
Tipo de contaminante	Material Paticulado	Otro contaminante
Especies de plantas	Más de 5 especies	Menos de 5 especies

Luego se empleó una ficha de registro para tener mejor organización y análisis, tomando en cuenta el autor, año de publicación, revista donde se publicó, título, tipo de documento, base de datos en la que se encontró, objetivo, metodología y porque se acepta la publicación.

Por consiguiente, se obtuvieron 37 investigaciones que cumplen con lo solicitado, de las cuales el 89% fueron artículos científicos, el 8% tesis de maestría y el 3% tesis doctoral, la base de datos que destacó fue Scienedirect (15 artículos), Scopus (9 artículos), Pubmed (4 artículos), Repositorio ALICIA (3 artículos), Redalyc (2 artículos) y Scielo (4 artículos).

Al realizar el análisis documental, se examinó en la figura 1 que la mayoría de investigaciones que ocupan mayor importancia fueron en el continente Europeo (Polonia) y Asiático (China).

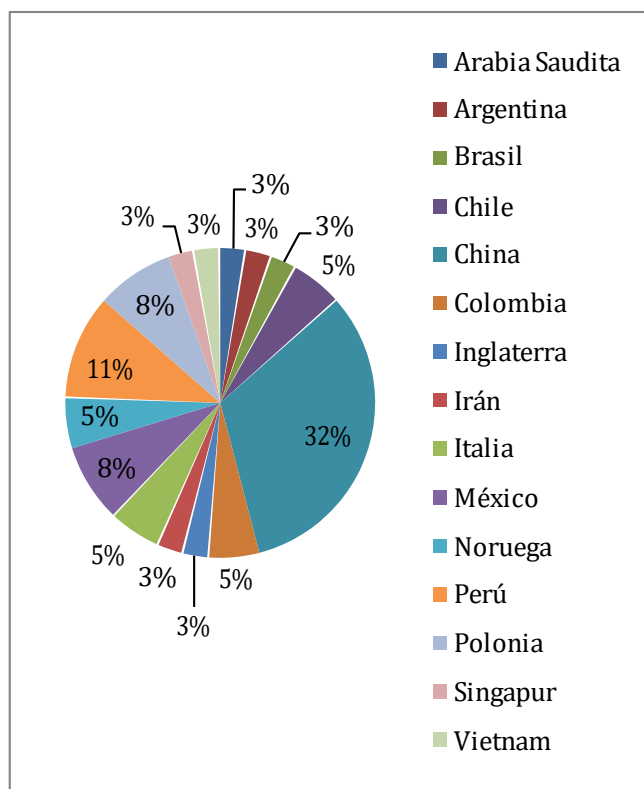


Fig. 1. Países en donde se desarrollan las investigaciones

B. Etapa 2: Tratamiento de datos

Para el tratamiento de los datos referidos en cada estudio se identificaron las principales especies de plantas que tienen como escenario espacios urbanos, estas evidencian adsorción de material particulado, así como sus características; en consecuencia se elaboró una tabla en el programa microsoft Excel asignando una codificación y un valor determinado a cada especie fitorremediadora que adsorba material particulado, luego con ayuda del programa MINITAB se crearon gráficos para evidenciar la cantidad de material particulado grueso (PM_{10}) y fino ($PM_{2.5}$) captado por área foliar.

TABLA II
CODIFICACIÓN PARA PROGRAMA SPSS

Variable	1	2	3
Hábito de vida	Trepadora	Arbusto	Arbol
Permanencia de Follaje	Caducifolia	Semicaducifolia	Perennifolia
Forma foliar	Elíptica	Lanceolada	Palmeada lobulada
Cantidad de PM (ug/cm^2)	0-41	42-123	124 -363

C. Etapa 3: Correlación entre variables

Se utilizó el programa IBM SPSS para hallar la correlación entre la concentración de material particulado y la eficiencia de la fitorremediación en urbes, donde se realizó una prueba de normalidad (Kolgomorov Smimof), con el que se evaluó el grado de concordancia, el valor que arroja la

prueba para $PM_{2.5}$ fue $p,0041$, de igual forma para el PM_{10} el valor que se obtuvo fue $p,0047$.

La distribución de prueba es no paramétrica, por ende, corresponde el estadístico Rho de Spearman, asimismo para el procesamiento en el SPSS las variables involucradas se agrupan en 2 variables y se codifican de la siguiente manera:

- Variable 1 (FA_{TOTAL}): Hábito de vida (FA_1) + Permanencia de Follaje (FA_2) + Forma Foliar (FA_3)
- Variable 2 (PM_{TOTAL}): Cantidad total de $PM_{2.5}$ / PM_{10}

Luego con ayuda del programa IBM SPSS se crearon gráficos (ver apartado resultados), los cuales detallan los porcentajes obtenidos de las tablas cruzadas con información de las dimensiones y su respectiva codificación (hábito de vida, permanencia de follaje y forma foliar) para $PM_{2.5}$ y PM_{10}

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Características de las principales plantas fitorremediadoras en espacios urbanos

La Tabla III contiene información referida a las plantas estudiadas por los diversos autores dichas especies fueron seleccionadas según su capacidad para adsorber el $PM_{2.5}$ y PM_{10} en el área foliar.

Por consiguiente, se obtuvo 99 géneros de plantas de las cuales 21 especies se repiten en 15 estudios, a continuación, se muestran las especies más representativas:

<i>Hedera helix</i>	Varsovia y Noruega	Trepadora conocida como hiedra común que llevan hojas alternas, pecioladas.	[16], [21], [22]
<i>Sabina Chinesis</i>	Vietnam y Beijing	Árbol de hojas perennes en forma de escamas (0,015-0,3 cm de longitud) y con una altura de 4,1m.	[9], [23]
<i>Pinus sylvestris L.</i>	Polonia y Noruega	Árbol que puede alcanzar 40 m de talla, con la corteza gruesa que se desprende en placas amarillo-verdosas o rojizas, papiráceas.	[17], [22]
<i>Ulmus pumila</i>	Beijing	Árbol que puede alcanzar los 25 m de altura de hojas caducas, ovaladas, tienen el limbo poco asimétrico, con cierto aspecto romboidal, de margen serrado y son más gruesas y suaves al tacto que las otras especies de olmos.	[9], [12]

De los 99 géneros de plantas examinamos que 83 especies absorben $PM_{2.5}$, de este grupo el hábito de vida más representativo son los árboles (52), permanencia de follaje de tipo caducifolio (54) y forma foliar de tipo elíptica (26). Mientras que de 71 especies que adsorben PM_{10} las que presentan un hábito de vida más representativo son los árboles (33), permanencia de follaje de tipo caducifolio (33) y forma foliar de tipo elíptica (14).

TABLA III
CARACTERÍSTICAS DE LAS PRINCIPALES PLANTAS FITORREMIADORAS DE AIRE EN ESPACIOS URBANOS

Plantas fitorremediadoras	Lugar de estudio	Características de la planta	Referencia
<i>Sophora japonica</i>	Beijing, China	Árbol leguminoso, las hojas son compuestas imparipinadas de 4 a 10 folíolos de cada lado del raquis y un folíolo apical terminal	[8], [9], [10], [11], [12]
<i>Euonymus japonicus</i>	Beijing, China	Árbol de hoja perennes con forma ovada (5 a 10 cm de longitud), con altura de 2,1 m.	[8], [9], [13], [14]
Betula pendula	Polonia, Noruega y Varsovia	Árbol caducifolio de hasta 30 m de altura con copa irregular más o menos redondeada, su corteza es blanda y oscurece poco con la edad.	[15], [16], [17]
Pinus tabulaeformis	Beijing, China	Árbol de tipo conífera de 4,8m de altura de hojas perennes agujas de 6 a 15 cm de longitud, 1,0 a 1,5 mm de diámetro.	[8], [9], [14], [18]
Ginkgo biloba	Universidad Forestal de Beijing, China	Árbol, caducifolio más antiguo y sus hojas son ampliamente utilizadas para una amplia variedad de enfermedades, por lo que es una eficiente medicina.	[9], [12], [19]
<i>Platanus occidentalis</i>	Universidad Forestal de Beijing, China	Especie arbórea que pertenece a la familia Platanaceae, puede llegar a alcanzar treinta metros de altura y treinta metros de anchura que posee hojas caducas.	[12], [19], [20]

B. Adsorción de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) por fitorremediación atmosférica con base a diversas metodologías

Basado en las investigaciones experimentales realizadas por los autores, se observa que utilizaron distintas metodologías (análisis gravimétrico, método de lavado y pesaje, magnetización remanente isotérmica de saturación y microscopía electrónica por barrido) para hallar la adsorción de material particulado.

Por ello para conocer la adsorción de material particulado se han agrupado las plantas fitorremediadoras de acuerdo a la metodología utilizada, donde se halló que la más utilizada es el análisis gravimétrico y lavado con agua desionizada y cloroformo.

En la Figura 2a y 2b sintetizamos los resultados de las investigaciones de los diferentes autores quienes analizaron a nivel laboratorio técnicas como el análisis gravimétrico y lavado con agua desionizada y cloroformo.

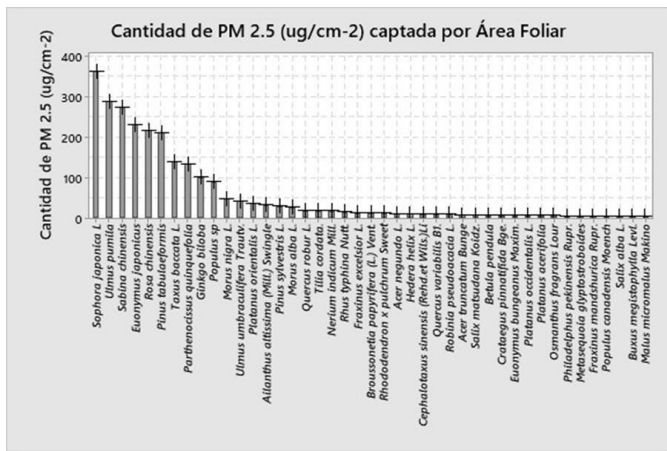


Fig. 2a PM_{2.5} (µg/cm⁻²) captado por el área foliar de cada especie.

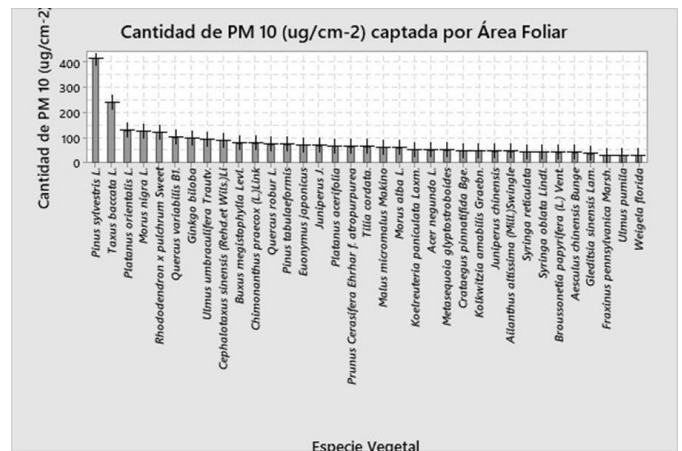


Fig. 3a PM₁₀ (µg/cm⁻²) captado por el área foliar de cada especie.

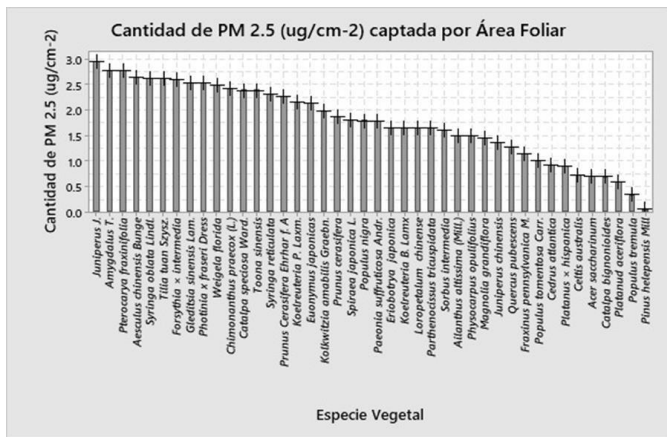


Fig. 2b PM_{2.5} (µg/cm⁻²) captado por el área foliar de cada especie.

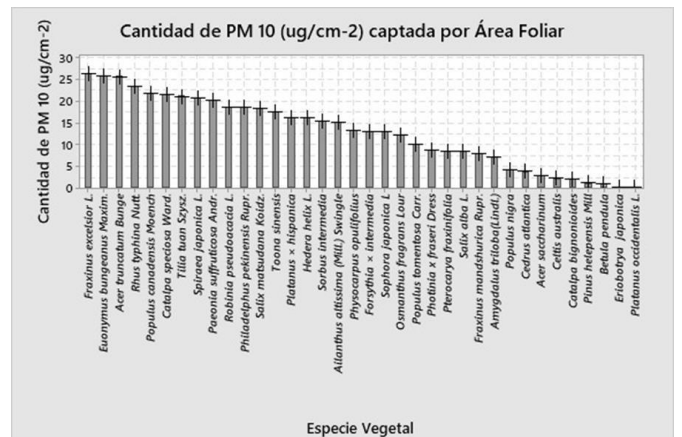


Fig. 3b PM₁₀ (µg/cm⁻²) captado por el área foliar de cada especie.

Representamos en la figura 2a y 2b, que la especie *Sophora Japonica* (362,98 µg/cm²) presenta mayor retención de material particulado fino por retención de área foliar en relación a las otras especies ubicadas en este grupo, mientras que la especie con menor captación es *Pinus helepensis Mill* que presentó 0,04 µg/cm².

Asimismo, elaboramos la Figura 3a y 3b para comparar los resultados de adsorción de PM₁₀, allí las especies de plantas son analizadas por los autores a nivel laboratorio donde el material particulado grueso se obtuvo mediante análisis gravimétrico y lavado con agua desionizada y cloroformo en la retención que tuvo en su área foliar.

Los datos recolectados que plasmamos en la Figura 3a y 3b evidencian que la especie *Pinus sylvestris L.* adsorbe mayor cantidad de PM₁₀ (417,5 µg/cm²) en relación a las demás especies y la especie que tiene menor cantidad de adsorción de PM₁₀ fue *Platanus occidentalis* (0,25 µg/cm²). Dicha variación encontrada entre las diversas cantidades de PM en referencia a cada planta, se debe a las diferencias que presenta las características morfológicas y estructurales, las cuales influyen fuertemente en la capacidad de captura del material particulado que tiene la superficie de la hoja [9].

C. *Relación entre el material particulado y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica en espacios urbanos.*

Para la selección del estadístico de correlación, se ejecuta la prueba de normalidad mediante el estadístico Kolmogorov-Smirnov, donde se utilizan las variables y dimensiones mencionadas anteriormente. Los datos obtenidos nos permiten comprobar el nivel de significancia (p).

Para el caso de PM_{2.5} el valor de significancia en la correlación de Rho de Spearman nos dio el valor de p,0041 (r = 0.225), donde las especies que tiene mayor eficiencia para la captación de material particulado fino son los árboles *Sabina*

chinensis (275.10 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) y *Taxus baccata* L. (138.80 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) y la especie con menor adsorción fue el arbusto caducifolio con hoja de tipo elíptica *Prunus Cerasifera Ehrhar f. atropurpurea* (Jacq.) Rehd. (2.27 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$). Mientras que para PM_{10} el valor de significancia en la correlación de Rho de Spearman nos dio el valor de $p = .0047$ ($r = 0.237$), donde los árboles perennifolios de hoja lanceolada *Taxus baccata* L. (240.70 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) y *Pinus sylvestris* L. (417.50 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$), fueron las que adsorbieron mayor material particulado grueso y las especies con menor adsorción fue el arbusto caducifolio con hoja de tipo elíptica *Amygdalustriloba* (Lindl.) (40.59 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) y *Weigela florida* (Bunge) (27.77 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$).

Por otro lado, en la Figura 4a y 4b mostramos el grado de relación entre los rangos de material particulado y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica en urbes descrita por los autores en las 37 investigaciones seleccionadas mediante la codificación mencionada en la tabla II, la cual alcanza un puntaje máximo, ≥ 8 .

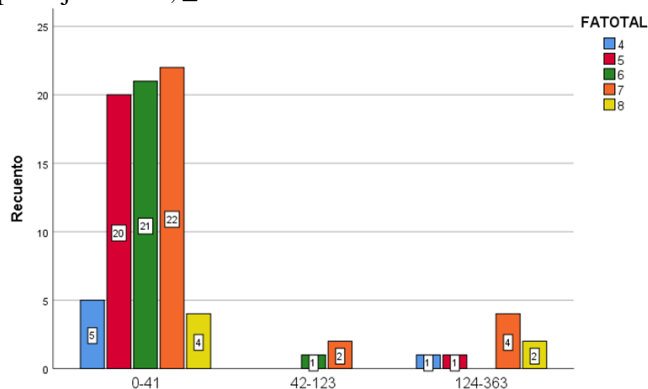


Fig. 4a Relación entre los rangos de $\text{PM}_{2.5}$ y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica

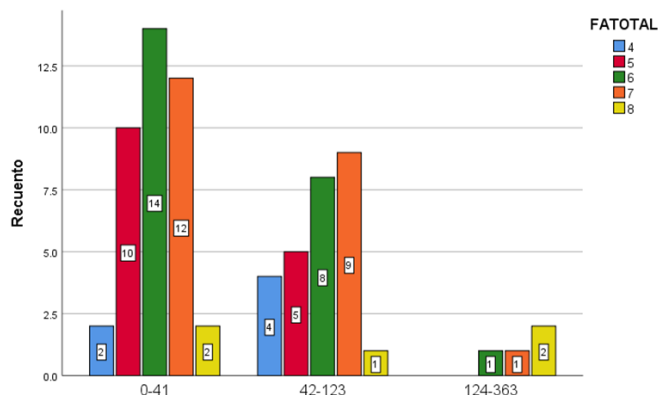


Fig. 4b Relación entre los rangos de PM_{10} y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica

Por ende, en la figura 4a se aprecia que 6 especies (7.2%) presentan mayor eficiencia para $\text{PM}_{2.5}$ (*Sabina chinensis*, *Juniperus chinensis*, *Juniperus formosana*, *Osmanthus fragrans* Lour, *Pinus sylvestris* L, *Taxus baccata* L.); mientras que la figura 4b se deduce que 5 especies (7%) adsorben PM_{10} con el mismo puntaje (*Cupressus arizonica*, *Juniperus*

formosana, *Osmanthus fragrans* Lour, *Pinus sylvestris* L., *Taxus baccata* L.).

Estudios anteriores que obtienen un nivel de significancia de $P < 0,05$ muestra un rango de adsorción de 16,06 a 19,46 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ entre las especies que absorben mayor material particulado [24], debido a que la acumulación de $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} en las plantas depende de las diferencias morfológicas y anatómicas que poseen sus hojas [16].

Nuestro estudio no es una excepción a ese patrón, ya que para el caso de material particulado fino la especie *Sabina chinensis* (la especie con mayor retención foliar y eficiencia de retención para $\text{PM}_{2.5}$) tiene un hábito de vida de tipo árbol, la permanencia del follaje es perennifolio y la forma foliar de sus hojas son lanceoladas [9], en contraste con el arbusto de follaje caducifolio con forma foliar elíptica de *Prunus Cerasifera Ehrhar f. atropurpurea* (Jacq.) Rehd. que presenta los valores más bajos de permanencia de follaje [12], mientras que para el material particulado grueso la especie *Pinus sylvestris* L. (la especie con mayor retención foliar y eficiencia de retención para PM_{10}) tiene un hábito de árbol de tipo perennifolio y la forma foliar de sus hojas palmeadas lobuladas [22], en contraste con el arbusto de follaje caducifolio con forma foliar elíptica *Weigela florida* (Bunge) que presenta los valores más bajos de permanencia de follaje [12].

IV. CONCLUSIONES

Existe una correlación entre las características morfológicas de cada especie y el material particulado fino y grueso captado por estas, debido a que nivel de significancia para ambos fue menor al 5% aceptando la hipótesis planteada en el estudio; el coeficiente de correlación fue positiva baja para $\text{PM}_{2.5}$ ($r = 0.225$) y para PM_{10} ($r = 0.237$), por lo que, la eficiencia está determinada por el código de asignación con el resultado más alto, ≥ 8 .

Se evidenció que en las investigaciones realizadas por los diversos autores la totalidad de especies de plantas se desarrollan en espacios urbanos donde el hábito de vida predominante fue de tipo: árbol, permanencia de follaje: caducifolio y la forma foliar: lanceolada encontrando que alrededor de 65 árboles adsorben $\text{PM}_{2.5}$ siendo las más representativas: *Juniperus chinensis*, *Juniperus formosana*, *Osmanthus fragrans* Lour, *Pinus sylvestris* L, *Sabina chinensis*, *Taxus baccata* L.; mientras que los árboles que adsorben PM_{10} fueron 61 entre ellas: *Cupressus arizonica*, *Juniperus formosana*, *Osmanthus fragrans* Lour, *Pinus sylvestris* L., *Taxus baccata* L.

Se conoció la adsorción de material particulado ($\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10}) por fitorremediación atmosférica en espacios urbanos con base a diversas metodologías, el más utilizado por los autores en laboratorio fue el método gravimétrico por lavado de agua y cloroformo, donde se analizaron 364 especies de plantas siendo la especie más representativa para $\text{PM}_{2.5}$ la

especie *Sophora Japonica* (362,98 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) y para PM_{10} la especie *Pinus sylvestris* L. (417,5 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestra alma mater la Universidad Privada del Norte por habernos formado dentro de sus aulas y a nuestros familiares por su apoyo incondicional.

REFERENCIAS

- [1] Ortega - García JA, Martínez-Hernández I, Boldo E, Cárcelos-Alvarez A, Solano-Navarro C, Ramis R, et al. Contaminación atmosférica urbana e ingresos hospitalarios por asma y enfermedades respiratorias agudas en la ciudad de Murcia (España). *An Pediatr (Engl Ed)* [Internet]. 2020;93(2):95–102. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anpedi.2020.01.012>
- [2] Adhikari A. Introduction to spatiotemporal variations of ambient air pollutants and related public health impacts. En: *Spatiotemporal Analysis of Air Pollution and Its Application in Public Health*. Elsevier; 2020. p. 1–34.
- [3] Ambient (outdoor) air pollution [Internet]. Who.int. [citado el 13 de febrero de 2022]. Disponible en: [https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- [4] Rodríguez-Fernández P, Prat-Aymerich C, Domínguez J. Interacción entre contaminación ambiental e infecciones respiratorias. *Arch Bronconeumol* [Internet]. 2019;55(7):351–2. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arbres.2018.10.018>
- [5] Tapia V, Carbajal L, Vásquez V, Espinoza R, Vásquez-Velásquez C, Steenland K, et al. Reordenamiento vehicular y contaminación ambiental por material particulado (2,5 y 10), dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en Lima Metropolitana, Perú. *Rev Peru Med Exp Salud Publica* [Internet]. 2018;35(2):190. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3250>
- [6] Agarwal P, Sarkar M, Chakraborty B, Banerjee T. Phytoremediation of Air Pollutants. En: *Phytomanagement of Polluted Sites*. Elsevier; 2019. p. 221–41
- [7] Gawronski SW, Gawronska H, Lomnicki S, Sæbo A, Vangronsveld J. Plants in Air Phytoremediation. En: *Phytoremediation*. Elsevier; 2017. p. 319–46.
- [8] Zhang L, Zhang Z, Chen L, McNulty S. An investigation on the leaf accumulation-removal efficiency of atmospheric particulate matter for five urban plant species under different rainfall regimes. *Atmos Environ* (1994) [Internet]. 2019;208:123–32. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.04.010>
- [9] Zhang W, Zhang Y, Gong J, Yang B, Zhang Z, Wang B, et al. Comparison of the suitability of plant species for greenbelt construction based on particulate matter capture capacity, air pollution tolerance index, and antioxidant system. *Environ Pollut* [Internet]. 2020;263(114615):114615. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114615>
- [10] Yang J, Chang Y, Yan P. Ranking the suitability of common urban tree species for controlling $\text{PM}_{2.5}$ pollution. *Atmos Pollut Res* [Internet]. 2015;6(2):267–77. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5094/apr.2015.031>
- [11] Xu Y, Xu W, Mo L, Heal MR, Xu X, Yu X. Quantifying particulate matter accumulated on leaves by 17 species of urban trees in Beijing, China. *Environ Sci Pollut Res Int* [Internet]. 2018;25(13):12545–56. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-018-1478-4>
- [12] Mo L, Ma Z, Xu Y, Sun F, Lun X, Liu X, et al. Assessing the capacity of plant species to accumulate particulate matter in Beijing, China. *PLoS One* [Internet]. 2015;10(10):e0140664. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0140664>
- [13] Sun et al., 2018 Sun X, Li H, Guo X, Sun Y, Li S. Capacity of six shrub species to retain atmospheric particulates with different diameters. *Environ Sci Pollut Res Int* [Internet]. 2018;25(3):2643–50. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-0549-2>
- [14] Chen X, Zhou Z, Teng M, Wang P, Zhou L. Accumulation of three different sizes of particulate matter on plant leaf surfaces: Effect on leaf traits. *Arch Biol Sci* [Internet]. 2015;67(4):1257–67. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2298/abs150325102c>
- [15] Łukowski A, Popek R, Karolewski P. Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tilia cordata*: deposition and ecophysiology. *Environ Sci Pollut Res Int* [Internet]. 2020;27(10):10296–307. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-020-07672-0>
- [16] Popek, R., Łukowski, A. y Grabowski, M. (2018). Influence of Particulate Matter Accumulation on Photosynthetic Apparatus of *Physocarpus opulifolius* and *Sorbaria sorbifolia*. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(5), 2391-2396. <https://doi.org/10.15244/pjoes/78626>
- [17] Sæbo, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H., Gawronska, H. y Gawronski, S. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of The Total Environment*, 427–428, 347-354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.084>
- [18] Lu, S., Yang, X., Li, S., Chen, B., Jiang, Y., Wang, D. y Xu, Lu. (2018). Effects of plant leaf surface and different pollution levels on $\text{PM}_{2.5}$ adsorption capacity. *Urban Forestry & Urban Greening*, 34, 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.05.006>
- [19] Xu, Y., Xu, W., Mo, L., Heal, M., Xu, X. y Yu, X. (2018). Quantifying particulate matter accumulated on leaves by 17 species of urban trees in Beijing, China. *Environ Sci Pollut Res* 25, 12545–12556. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1478-4>
- [20] Alcalá, J., Sosa, M., Moreno, M., Quintana, C., Campos, A. y Holguin, C. (2008). Retención de polvo atmosférico en especies arbóreas indicadoras de la planeación urbana sustentable: ciudad de Chihuahua, México. *Multequina*, 17, 17-28
- [21] Dzierzanowski K, Popek R, Gawronska H, Sæbø A, Gawronski SW. Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *Int J Phytoremediation* [Internet]. 2011;13(10):1037–46. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2011.552929>
- [22] Przybysz A, Sæbø A, Hanslin HM, Gawronski SW. Accumulation of particulate matter and trace elements on vegetation as affected by pollution level, rainfall and the passage of time. *Sci Total Environ* [Internet]. 2014;481:360–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.072>
- [23] Mariën B, Mariën J, Nguyen XH, Nguyen TC, Nguyen VS, Samson R. Particulate matter accumulation capacity of plants in Hanoi, Vietnam. *Environ Pollut* [Internet]. 2019;253:1079–88. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.035>
- [24] Chen, L., Liu, C., Zhang, L., Zou, R., & Zhang, Z. Variation in Tree Species Ability to Capture and Retain Airborne Fine Particulate Matter ($\text{PM}_{2.5}$). *Scientific reports* [Internet]. 2017;7(1): 3206. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03360-1>